

بررسی عددی پارامترهای موثر بر جریان سیال آشوبناک در تانکرهای حمل سوخت پره دار

عقیل شاولی پور*
 استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ایران، a.shavalipour@velayat.ac.ir

سعید ریزه بندی
 گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ایران

چکیده

امروزه کامیون های تانکر دار مرسوم ترین وسایل حمل و نقل محموله های شامل مایعات هستند که درصد زیادی از این مایعات، قابلیت اشتعال فراوانی دارند. تلاطم مایع درون تانکرهای جاده ای به طور قابل توجهی تعداد حوادث جاده ای را در چند دهه گذشته افزایش داده است. بنابراین تحقیقات قابل توجهی برای بررسی و طراحی و بهینه سازی پره های درون این تانکرها به منظور بالابردن حالت سکون و پایداری در مایع درون تانکرهای حمل سوخت مورد نیاز است. رفتاری که بارگذاری های شامل مایعات از خود نشان می دهند بسیار متفاوت تر از رفتاری است که در بارگذاری های خشک صورت میگیرد. هنگامی که مایع درون مخزن شروع به تلاطم می کند، باعث ایجاد جابجایی سیال در نقاط مختلف مخزن می شود. که این جابجایی موجب ایجاد تکانه (مومنتوم) در مخزن می گردد و به سرعت فروکش نمی کند. در این پژوهش، بمنظور بررسی اثرات هیدرودینامیکی سیال بروی مخازن ابتدا تاثیر عمق پرشدگی برای مقایسه زمان استراحت سیال و نیروی وارده بر پروانه در عمق های پرشدگی مختلف بررسی شده است. بعلاوه یک تجزیه و تحلیل دقیق از اثربخشی استفاده از پره های ضد تلاطم در تعداد و جهت های مختلف و تحت سیالات مختلف ارائه شده است. تنظیمات مختلف پره ها که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است شامل بدون پره، قرار گیری پره ها در جهت افقی و همچنین قرار گیری پره ها بصورت افقی و عمودی است. همچنین بعد از انتخاب حالت بهینه قرارگیری پره ها اثرات نوع سیال بروی تلاطم سیال نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: سیال آشوبناک، پره های ضد تلاطم، عمق پرشدگی، تعداد پره ها، لزجت سیال، معادلات ناویر-استوکس.

Numerical Investigation of Parameters Affecting Sloshing Fluid in Fuel Tankers

A. Shavalipour

Department of Mechanical Engineering, Velayat University, Iranshahr, Iran

S. Rizeh Bandi

Department of Mechanical Engineering, Velayat University, Iranshahr, Iran

Abstract

Today, trucks are the most common means of transport of liquids, with a large percentage of liquids being highly flammable. Fluid turbulence inside road tankers has significantly increased the number of road accidents in the past few decades. Therefore, considerable research is needed to investigate and design and optimize the blades inside these tankers in order to improve the stability of the fluid inside the fuel tankers. The behavior of liquids containing loads is much different from that of dry loads. When the fluid in the tank begins to vibrate, it causes changes in the force of weight. This weight transfer causes momentum in the liquid and does not subside rapidly. In this study, in order to investigate the hydrodynamic effects of the fluid on the tanks, first, the influence of the depth of filling was investigated to compare the fluid resting force and force applied to the impeller at different filling depths. In addition, a detailed analysis of the effectiveness of using anti-turbulence blades in different numbers and directions and under different fluids is presented. The different blade settings examined in this study include blades, blades in horizontal direction, and blades horizontally and vertically. The effects of fluid type on fluid turbulence have also been investigated after selecting the optimum blades position.

Keywords: Sloshing fluid, anti-turbulence blades, depth of filling.

حرکت مایع داخل مخزن را ایجاد می کند و باعث ایجاد پدیده های سیال آشوبناک می شود. نوسانات سیال درون تانکر را می توان به دو دسته طبقه بندی؛ تلاطم های طولی و تلاطم جانبی. تلاطم های طولی معمولاً هنگام استفاده از ترمزها ایجاد می شوند و می تواند باعث شکست در ترمزها شود. از سوی دیگر، تلاطم های جانبی به دلیل حرکات جانبی (به عنوان مثال تغییر خط یا تغییر مسیر حرکت) رخ می دهند، و در نتیجه سیال درون مخزن، با جابجایی جانبی، به شتاب جانبی ایجاد شده در این عملیات پاسخ می دهد. این حرکت جانبی مایع درون تانکر مسئول واژگونی خودرو است.

از آنجایی که وجود تلاطم در مخازن سوختی خودروها، هواپیما، تانکرها و کشتی های بزرگ، پدیده ای معمولی و اجتناب ناپذیر است، بررسی و درک پدیده تلاطم نظر بسیاری از پژوهشگران علاقه مند را

۱- مقدمه

مواد اشتعال پذیر و خطرناک به طور معمول در کامیون های سنگین حمل می شود که تقریباً ۱۰ درصد از کل حمل و نقل جاده ای را شامل می شود. (انپوی ژانگ (۲۰۱۹) (۱۱) هر حادثه ای در هنگام حمل چنین کالاهایی می تواند باعث زیان های مالی شدید و همچنین قرار دادن ایمنی انسان ها و محیط زیست بشری در معرض خطر شود. مطالعه آمار حوادث نشان می دهد که دلیل اصلی این نوع حوادث، واژگون شدن تانکرهای سوخت است. یکی از علل اصلی این واژگونی ها، وجود تلاطم و آشوب در سیال درون تانکر است که به عنوان حرکت نوسانی مایع با سطح آزاد در یک ظرف مایع تعریف می شود. هر قسمتی از تانکر که کمتر از ظرفیت کامل آن پر می شود،

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: a.shavalipour@velayat.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۲

مشغول کرده است. رابلی (۱۸۷۶) [۲] برای شبیه سازی اثرات دینامیکی تلاطم از آونگ استفاده کرد و طول های صحیح را برای آونگ های معمولی که با فرکانس های طبیعی مایع همراه بودند، به دست آورد. علی آبادی، اندرو و جلال (۲۰۰۳) [۳] سیال متلاطم را با استفاده از مدل آونگ شبیه سازی کردند. روش های محاسباتی استفاده شده مقادیر مناسبی را برای ضریب سختی و اینرسی مایع ارائه دادند. از آنجائیکه استفاده از پره ها نسبت به وزن کم آنها باعث کاهش قابل ملاحظه ای در آشوب سیال میشوند، این تکنیک کاهش آشوب سیالات بیشترین امیدواری را برای کاربرد عملی پیدا کرد. پیکربندی پره ها، عرض، ضخامت، محل و انعطاف پذیری، پارامترهای مهمی است که بر میزان نوسانات و فرکانس نوسان ها تاثیر می گذارد. اکثر مطالعات بررسی شده در بالا بروی سازه های فضایی انجام گردید که تحت تحریکات سینوسی هستند. بهمین دلیل نتایج این مطالعات را نمیتوان بصورت مستقیم در تانکرهای حمل سوخت بکار برد. بعلاوه اثرات تلاطم افقی و جانبی در مخازن نیم پر شده بصورت محدود مطالعه گردیده است. اکثر مطالعات انجام شده به دلیل پیچیدگی در استفاده از شرایط مرزی برای دستیابی به یک راه حل تحلیلی به روش های تجربی یا عددی متکی هستند. یان و راجا (۲۰۰۹) [۴]، تلاطم طولی مایع را در داخل مخزن حاوی پره با استفاده از معادلات ناویر-استوکس همراه با معادله کسر حجمی (VOF)^۱ در نرم افزار Fluent شبیه سازی کردند. خصوصیات ترمزهای خط مستقیم برای حجم های مختلف پر شدگی و مقادیر شدت فشار بروی پدال ترمز در بار ثابت محاسبه شد. تضعیف عملکرد ترمز تانکر نیمه پر شده به ویژه در غیاب پره های داخل تانکر مشاهده شد. مدرسی - تهرانی، راجا و سیتهارو (۲۰۰۷) [۵] برای بررسی اهمیت نیروهای بی ثبات کننده و گشتاورهای ناشی از تلاطم گذرای مایع، یک تانکر استوانه ای را بصورت عددی در معرض شتابهای جانبی، طولی و ترکیبی از شتاب طولی و جانبی قرار دادند. هر دو پیکربندی خالص (بدون پره) و با استفاده از پره مدلسازی شدند. نتایج نشان داد که استفاده از پره های عرضی تنها به کاهش تلاطم مایع درون سیلندر در جهت طولی کمک می کنند و در کاهش زاویه در جهت جانبی بسیار مفید نیستند. برار و سینگ (۲۰۱۴) [۶] مطالعه ای را بر روی تعامل ساختار سیال در یک مخزن استوانه ای بصورت آزمایشگاهی و شبیه سازی توسط دینامیک سیالات محاسباتی CFD^۲ انجام دادند. در این مطالعه حرکت سیال در یک مخزن استوانه ای با استفاده از شبیه سازی و آزمایش انجام شد و از پیکربندی های مختلف پره ها در طول آزمایش استفاده گردید. پاسخ دینامیکی مخزن ذخیره مایع به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفت تا تاثیر محل و شکل های مختلف پره ها تحت تحریک را بررسی کند. نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیبی از پیکره بندی پره ها بصورت افقی و عمودی نقش قابل توجهی در کنترل میزان آشوبناکی سیال دارد. اثر عمق پرشدگی مخزن بروی رفتار سیال آشوبناک در مطالعه سورس پاتیل و همکاران (۲۰۱۵) [۷] مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه اثر آشوبناکی سیال بر روی دیواره های مخزن با ۶۰٪ و ۷۰٪ عمق پرشدگی مخزن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این

مطالعه نشان داد که اختلاف در عمق پرشدگی موجب ایجاد اختلاف در میزان نیروی وارد شده و همچنین ارتفاع تلاطم در سیال میشود. اثرات لزجت سیال بروی سیال آشوبناک تحت نیروی خارجی در مطالعه جین و لین (۲۰۱۹) [۸] مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده در این مطالعه لزجت هم زمان نشست سیال و هم تغییر فاز بین فشار اول و فشار شتاب را افزایش می دهد. ساناپالا و همکاران (۲۰۱۸) [۹] دینامیک آشوبی سیال تحت تحریکات مختلف شامل حمل و نقل، وزش باد و زلزله را برای یک تانکر با پره های افقی بصورت عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که اثر تحریکات ناشی از زلزله را می توان با استفاده از حالت بهینه پره ها کاهش داد. پانیگراهی و همکاران (۲۰۰۹) [۱۰] یک سری از آزمایشات را برای تخمین فشار ایجاد شده در دیواره مخزن و جابجایی سطح آزاد آب با استفاده میانگین استاتیک در یک مایع در حال افزایش تلاطم انجام دادند. خزار و همکاران (۲۰۰۹) [۱۱] یک حلقه آزمایشی برای مطالعه پدیده تلاطم آب درون مخزن مستطیلی که تحت تاثیر ضربه ناگهانی قرار گرفته است، طراحی کردند. ژوو و همکاران (۲۰۱۲) [۱۲] مدل جریان سیال دو فاز داخلی را با حل معادلات ناویر-استوکس مورد مطالعه قرار دادند تا به بررسی پدیده های مایع متلاطم در مخزن مکعبی با پیکره بندی های بافر مختلف تحت تحریک هارمونیک بپردازند. هاشمی نژاد و همکاران (۲۰۱۴) [۱۳] جریان متلاطم دو بعدی گذرا در مخازن استوانه ای افقی غوطه ور و پر شده با مایعات لزج تراکم ناپذیر به عمق دلخواه که بعدا دارای شتاب وابسته به زمان دلخواه میباشد را مورد بررسی قرار دادند. نیکولچی و همکاران (۲۰۱۳) [۱۴] بر روی پدیده سیالات متلاطم و تحلیل دینامیکی سیالات محاسباتی (CFD) با استفاده از آنالیز المان محدود (FEA) مورد استفاده برای پیش بینی دامنه موج تلاطم، فرکانس حالت هم سنجی، فشار اعمال شده روی دیواره ها و اثر لغزش در نیروهای نقطه تحکیم تمرکز کردند. میان ژو و همکاران (۲۰۱۷) [۱۵] اثر بخشی چهار نوع پره مختلف در فرونشاندن آشوب سیال در مخزن مکعبی را به صورت آزمایشی تحت طیف گسترده ای از فرکانس های مختلف تحت بررسی قرار دادند. نتایج تجربی نشان داد که تغییر زمینه های جریان و تغییر فرکانس طبیعی ممکن است به طور موثر فشار ضربه بر روی دیواره های مخزن را سرکوب کند.

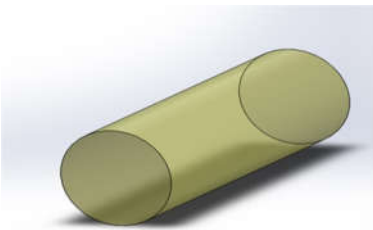
اگرچه برخی مطالعات بر روی درک تلاطم های جانبی مایع متمرکز شده اند، اما کارهای انجام گرفته از تجزیه و تحلیل دقیق تلاطم های جانبی و اثر بخشی خصوصیات هندسی مختلف مخزن برای سطوح مختلف پرشدگی برخوردار نیست. مطالعه انجام شده در این پژوهش مطالعات قبلی در ادبیات را با معرفی شکل های جدید مخزن که با ثبات حداکثری در چرخش، با طرح های موجود در مخازن استاندارد مطابقت دارد، گسترش می دهد بر این اساس پارامترهای بررسی شده در این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

- ۱- بررسی تاثیر عمق پرشدگی بر زمان سکون سیال
- ۲- بررسی تاثیر تعداد پره ها در زمان ساکن شدن سیال
- ۳- بررسی تاثیر لزجت بر زمان سکون سیال و نیروهای وارده

بر دیواره

¹ Volume of fluid

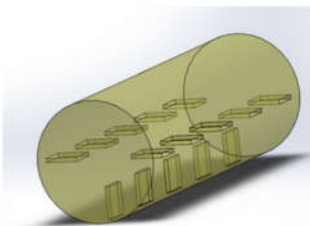
² Computational fluid dynamics



شکل ۱ - مخزن استوانه ای بدون پره



شکل ۲ - مخزن استوانه ای با دو ردیف پره



شکل ۳ - مخزن استوانه ای با سه ردیف پره

جدول ۱ - ابعاد هندسه های مورد استفاده

هندسه	طول	ضخامت	عرض	قطر
مخزن استوانه ای	۵ متر	۰/۰۱ متر	-	۱/۵ متر
پره	۰/۴ متر	۰/۰۵ متر	۰/۴ متر	-

شرایط اولیه مرزی حاکم بر مساله برای جداره مخزن شامل شرط عدم لغزش (سرعت سیال مجاور دیواره صفر میباشد) و آدیاباتیک بودن دیواره میباشد. همچنین فرض می شود که مخزن استوانه ای حرکت ناگهانی با سرعت ۳ متر بر ثانیه در راستای افقی داشته باشد. حرکت این مخزن در راستای عمودی با سرعت ۸ متر بر ثانیه انجام خواهد شد. همچنین در تمام شکل‌های این تحقیق داخل مخزن دو فاز مایع (بیشتر آب) و گاز (هوا) داریم که بر اساس اختلاف چگالی مایع در پایین و هوا در بالا قرار میگیرد. همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی بر روی مخزن استوانه ای با جنس فولاد با ضریب پواسون ۰/۳ و مدول یانگ ۲۴۴/۲۷ گیگا پاسکال ارائه گردیده است

۴- بررسی استقلال شبکه از مش

به منظور بررسی استقلال از شبکه تعداد المان های برای سه شبکه به ترتیب برابر ۲۷۵۰۰۰، ۵۵۰۰۰۰ و ۱۱۰۰۰۰۰ می باشد. در شکل های ۴ و ۵ عمق پرشدگی یک چهارم حجم تانک و همچنین

۲- معادلات حاکم بر جریان

حل کامل معادلات ناویر-استوکس هدف نهایی شبیه سازی عددی جریان سیال است. در واقع خواص جریان یک سیستم پیوسته، می تواند توسط معادلات ناویر-استوکس بیان شود. فرم بقایی معادلات ناویر-استوکس در مختصات دکارتی در حالت کلی به صورت زیر می باشد.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial z} = 1 \quad (1)$$

که در آن U, F, G, H و J از روابط زیر به دست می آیند.

$$U = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ \rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$G = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho uv - \tau_{yx} \\ p + \rho v^2 - \tau_{yy} \\ \rho vw - \tau_{yz} \\ \rho v \left(e + \frac{V^2}{2} \right) + pv - k \frac{\partial T}{\partial y} - u\tau_{yx} - v\tau_{yy} - w\tau_{yz} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$H = \begin{bmatrix} \rho w \\ \rho uw - \tau_{zx} \\ \rho vw - \tau_{zy} \\ p + \rho w^2 - \tau_{zz} \\ \rho w \left(e + \frac{V^2}{2} \right) + pw - k \frac{\partial T}{\partial z} - u\tau_{zx} - v\tau_{zy} - w\tau_{zz} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$J = \begin{bmatrix} 0 \\ \rho f_x \\ \rho f_y \\ \rho f_z \\ \rho \vec{q} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V} \end{bmatrix} \quad (5)$$

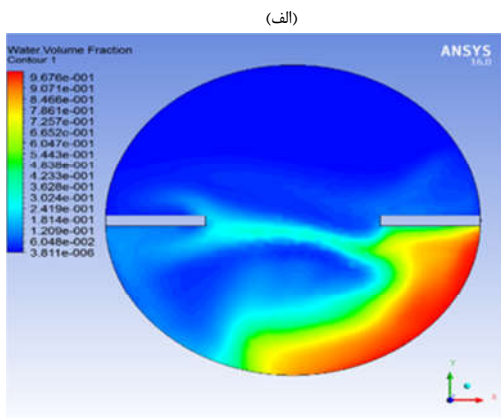
در روابط فوق ρ چگالی، u سرعت در راستای محور x ، v سرعت در راستای محور y ، w سرعت در راستای محور z ، V سرعت کل، e انرژی داخلی، p فشار، f_x, f_y, f_z به ترتیب نیروی حجمی در راستای x, y و z و \vec{q} نرخ گرمایش حجمی افزوده شده در المان بر جرم واحد می باشد. تنها پارامتری که به عنوان تکمیل کننده روابط فوق برای تحلیل عددی لازم می باشد، رابطه لزجت و رسانایی گرمایی با فشار و دما است، که معمولاً این ارتباط از اطلاعات آزمایشگاهی بدست می آید.

۳- شبیه سازی با استفاده از دینامیک سیالات

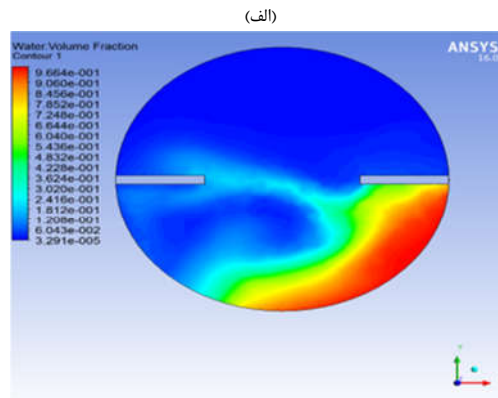
محاسباتی

در این تحقیق از سه مخزن استوانه ای بسته با شکل های متفاوت به منظور شبیه سازی حرکت سیال استفاده شده است. بدین صورت که یک مخزن استوانه ای بدون پره، مخزن استوانه ای دوم با دو ردیف پره ۵ تایی و مخزن استوانه ای سوم با سه ردیف پره ۵ تایی در نظر گرفته شده است. طرحواره دامنه های محاسباتی در شکل های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. ابعاد مخزن استوانه ای و پره های استفاده شده در آنها در جدول ۱ ارایه شده است.

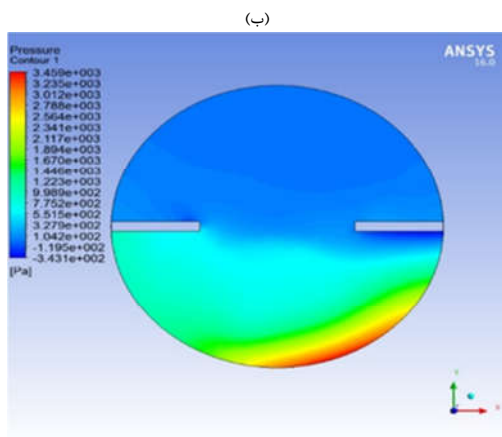
فرض میشود که حرکت مخزن با سرعت ۳ متر بر ثانیه در راستای افقی و سرعت ۸ متر بر ثانیه در راستای عمودی باشد. در شکل های ۴ و ۵ کانتور فشار و کسر حجمی آب و هوا در تعداد المان های مختلف شان داده شده است. همچنین، میزان نیروی وارد بر بدنه در سه حالت فوق در نمودار شکل ۶ نشان داده شده است.



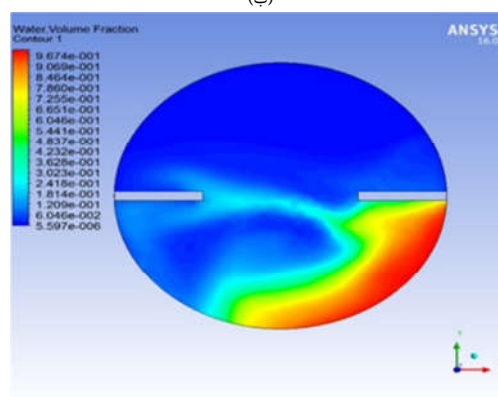
(الف)



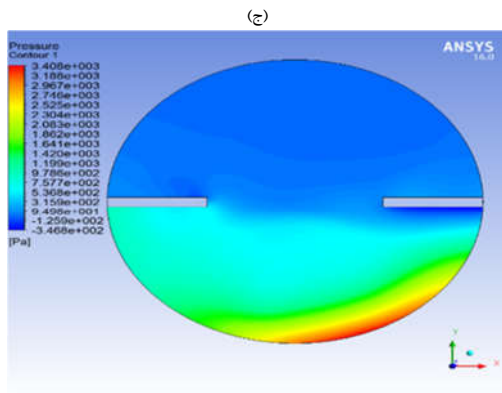
(الف)



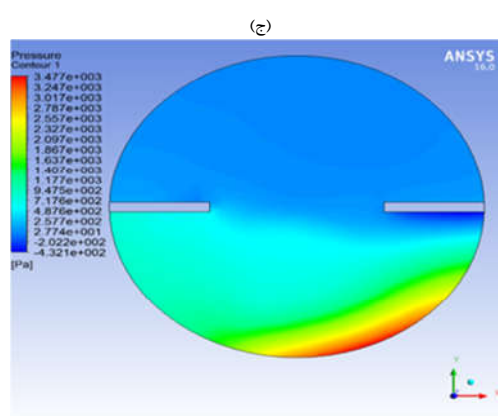
(ب)



(ب)



(ج)

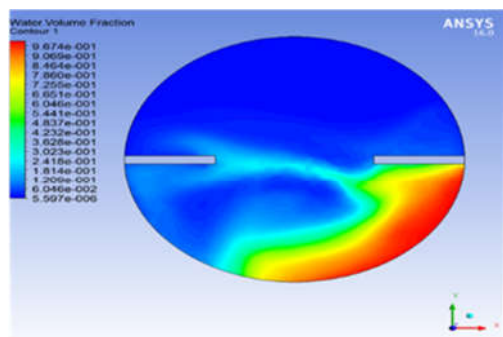


(ج)

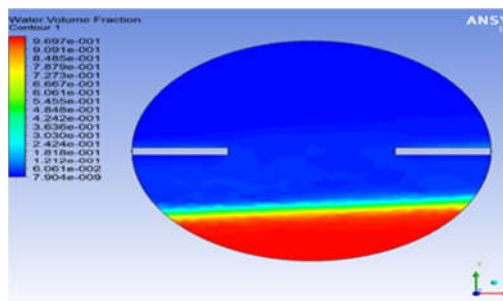
شکل ۵- کانتور فشار در زمان ۱ ثانیه در شبکه بندی با الف) ۲۷۵,۰۰۰ المان ب) ۵۵۰,۰۰۰ المان ج) ۱,۱۰۰,۰۰۰ المان

شکل ۴- کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه در شبکه بندی با الف) ۲۷۵,۰۰۰ المان ب) ۵۵۰,۰۰۰ المان ج) ۱,۱۰۰,۰۰۰ المان

سبزآبی کم رنگ به ترتیب کسر حجمی آب کاهش میابد به دلیل چگالی کم ذرات سیال در این نواحی برخورد آنها با بدنه یا پره ها قابل توجه نیست. محدوده حرکت آب در این حالت از پایین مخزن تا پایین پره های سمت راست میباشد. (شکل ۷) سرعت حرکت آب در اثر نیروی جاذبه و لزجت سیال کاهش یافته تا اینکه پس از ۱۵ ثانیه آب کاملا ساکن میشود. (شکل ۸)



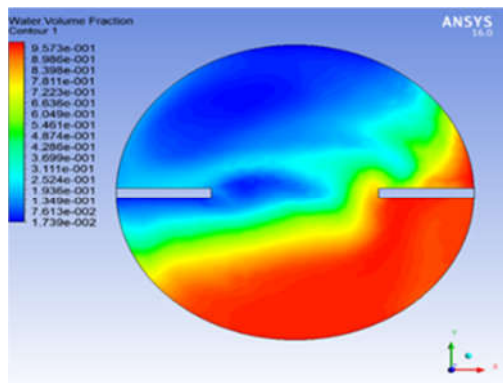
شکل ۷ - کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه با عمق یک چهارم



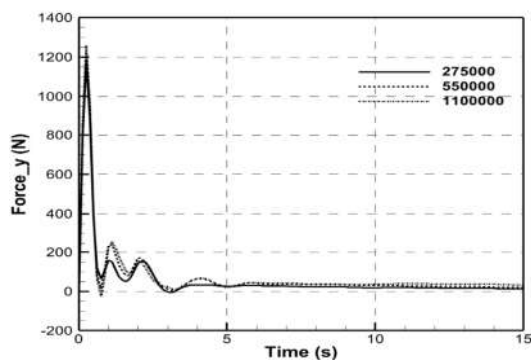
شکل ۸ - کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱۵ ثانیه با عمق یک چهارم

۵-۲- عمق پر شدگی یک دوم

با افزایش عمق پرشدگی سطح آب و نحوه ی حرکت جریان آب به صورت شکل های زیر خواهد بود. در شکل ۹ محدوده حرکت آب در این عمق از پایین پره های سمت چپ تا بالای پره های سمت راست کشیده شده است که از محدوده حرکت آب در عمق یک چهارم بیشتر است. در شکل ۱۰ مشاهده میشود با گذشت زمان پس از ۱۵ ثانیه در اثر نیروی جاذبه و لزجت سیال ، آب ساکن میشود.



شکل ۹- کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه با عمق یک چهارم



شکل ۶- نیروی وارد بر بدنه در تعداد المان های مختلف

با دقت در شکل ۶ کاملا مشخص است که اختلاف بین دو شبکه بندی با تعداد المان های ۵۵۰,۰۰۰ و ۱,۱۰۰,۰۰۰ بسیار ناچیز می باشد بنابراین می توان از شبکه بندی با ۵۵۰,۰۰۰ المان برای سایر شبیه سازی ها استفاده نمود. اختلاف بین سه شبکه بندی در زمان ۱ ثانیه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- اختلاف بین سه شبکه بندی در زمان ۱ ثانیه

شبکه بندی	۲۷۵,۰۰۰	۵۵۰,۰۰۰	۱,۱۰۰,۰۰۰	اختلاف	
				بین مش ۱ و ۲ (درصد)	بین مش ۲ و ۳ (درصد)
مقدار نیرو وارد بر بدنه در زمان ۱ ثانیه (نیوتن)	۱۵۷/۹۱۶	۲۳۰/۷۲۱	۲۲۴/۱۷۸	۳۱	۲/۵

ملاحظه می شود که اختلاف بین شبکه بندی ۲ و ۳ بسیار ناچیز می باشد، با پذیرفتن این درصد خطای ناچیز از شبکه بندی با ۵۵۰,۰۰۰ المان برای شبیه سازی سایر حالت ها استفاده می کنیم.

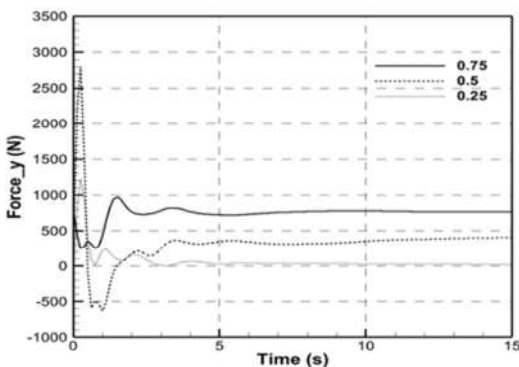
۵- بررسی تاثیر عمق پر شدگی در زمان ساکن شدن سیال

بمنظور بررسی اثرات عمق پرشدگی از سه عمق پرشدگی یک چهارم ، یک دوم حجم مخزن و سه چهارم حجم مخزن استوانه ای برای مقایسه زمان استراحت سیال استفاده شده است.

۵-۱- عمق پر شدگی یک چهارم

در این حالت ابتدا آب یک چهارم حجم مخزن را اشغال کرده است. سپس در اثر حرکت مخزن حرکتی با سرعت ۳ متر بر ثانیه به سمت راست خواهد داشت. در ثانیه اول در اثر حرکت آب به سمت راست و برخورد با پره های سمت راست و همچنین جدار مخزن آب دچار نوسان محسوس و قابل توجهی میشود. در قسمت های زرد و

بیشترین نیرو در جهت مثبت y در حالت عمق پرشدگی 0.75 و بیشترین نیرو در خلاف جهت محور y در عمق پرشدگی 0.25 (یک دوم) اتفاق می افتد. از بین سه عمق پرشدگی فوق، ترتیب استراحت سیال با ساکن شدن آن به صورت 0.75 ، 0.25 (یک چهارم) و 0.5 خواهد بود. در نتیجه مخزن در عمق پرشدگی یک دوم مدت زمان بیشتری تحت تاثیر نیروی ناشی از حرکت آب خواهد بود بنابراین در تحلیلهای بعدی از عمق پرشدگی یک دوم در مخزن استفاده میشود.



شکل ۱۳ - نیروی وارد بر پره ها در عمق های پرشدگی مختلف

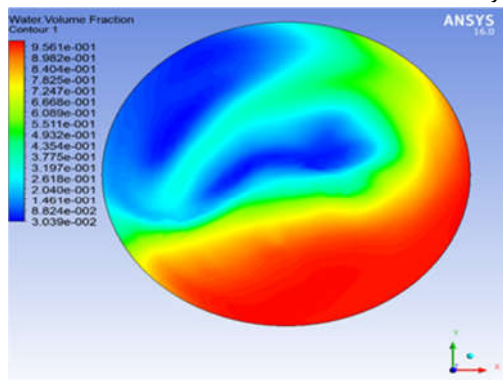
۶- بررسی تاثیر تعداد پره ها در زمان ساکن شدن

سیال

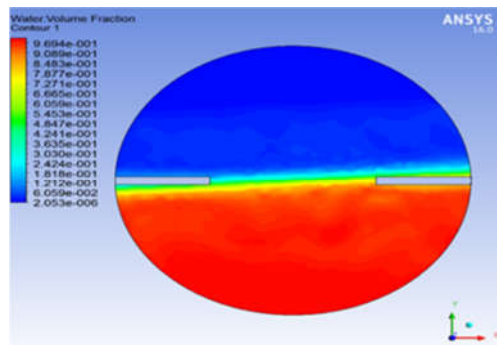
در این بخش از مخزن استوانه ای بدون پره، با دو ردیف و سه ردیف پره برای شبیه سازی حرکت سیال (آب) استفاده شده است. سرعت افقی سیال برابر ۳ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. همچنین عمق پر شدگی در این سه حالت برابر یک دوم حجم مخزن می باشد.

۶-۱- مخزن استوانه ای بدون پره

در شکل ۱۴ حرکت آب تقریباً تمامی نیمه بالایی مخزن را تحت تاثیر قرار داده است که علت آن عدم وجود پره در مخزن است. در شکل ۱۵ کاملاً مشخص است که در طول زمان ۱۵ ثانیه جریان سیال ساکن می شود.



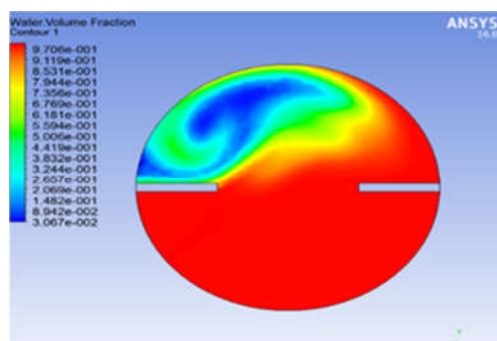
شکل ۱۴ - کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه در مخزن بدون پره



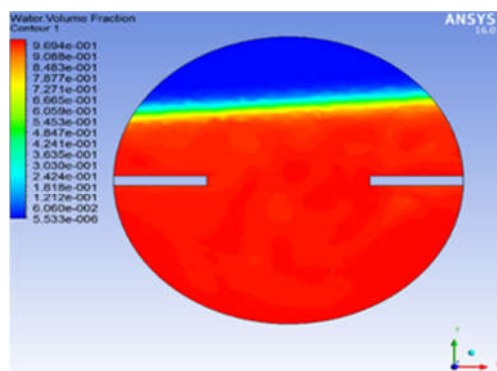
شکل ۱۰ - کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱۵ ثانیه با عمق یک چهارم

۵-۳- عمق پر شدگی سه چهارم

در این قسمت افزایش عمق پرشدگی به مقدار سه چهارم خواهیم داشت. که نتایج در شکلهای زیر نشان داده شده است. در شکل ۱۱ محدوده حرکت آب بیشتر در نیمه بالایی مخزن دیده میشود. که در این حالت از قسمت بالای پره سمت چپ تا قسمت بالایی مخزن کشیده شده است که از محدوده حرکت آب در عمق یک دوم کمتر است. در شکل ۱۲ مشاهده میشود با گذشت زمان پس از ۱۵ ثانیه اثر نیروی جاذبه و لزجت، آب ساکن میشود.



شکل ۱۱ - کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه با عمق یک چهارم



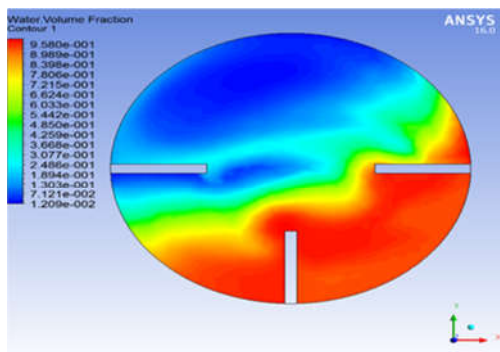
شکل ۱۲ - کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱۵ ثانیه با عمق یک چهارم

با رسم مقدار نیروی وارد بر پره ها در سه حالت فوق بر روی یک نمودار شکل ۱۳ می توان زمان سکون سیال را به راحتی تشخیص داد. با دقت در کاملاً مشخص است که بیشترین نیرو در حالتی اتفاق می افتد که عمق پرشدگی برابر 0.75 (سه چهارم) باشد. به بیان دیگر

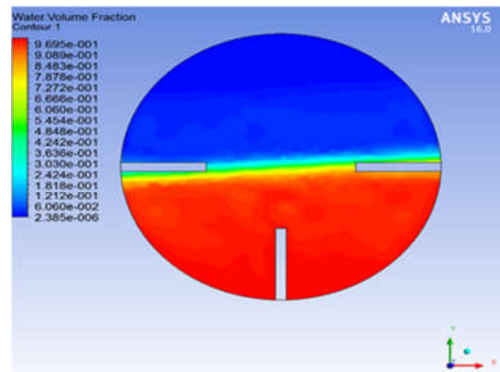
۳-۶- مخزن استوانه ای با سه ردیف پره

در این حالت نیز عمق پرشدگی مخزن برابر یک دوم حجم مخزن می باشد. با این تفاوت که تعداد سه ردیف پروانه برای جلوگیری از حرکت سیال درون مخزن استوانه ای تعبیه شده است. نتایج مربوط به شبیه سازی به قرار زیر خواهد بود.

در این حالت نیز مطابق شکل ۱۸ با نصب ۳ ردیف پره از نفوذ آب به نیمه بالایی مخزن تا حد زیادی کاسته شده اما محدوده حرکت آب در این حالت تقریباً هم اندازه محدوده حرکت در مخزن با دوردیف پره می باشد. در این حالت نیز پس از ۱۵ ثانیه سیال مطابق شکل ۱۹ تحت تاثیر نیروی جاذبه و لزجت و به کمک پره ها مهار شده و ساکن می شود.

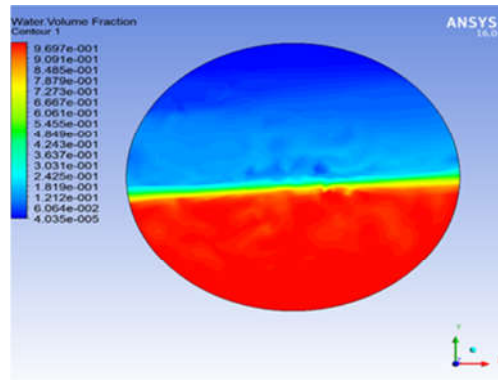


شکل ۱۸- کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه در مخزن با سه ردیف پره



شکل ۱۹- کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱۵ ثانیه در مخزن با سه ردیف پره

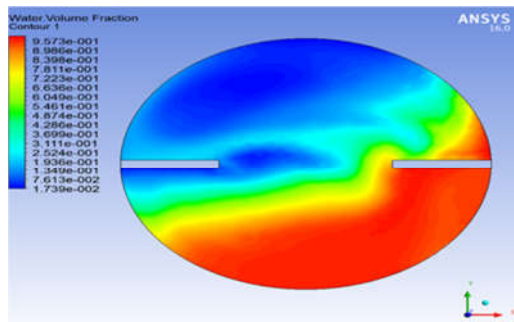
با رسم نیروی وارد بر پره و دیواره می توان زمان سکون سیال را به دست آورد. دقت شود که در نمودار شکل ۲۰ در حالت مخزن استوانه ای بدون پره، نیروی وارد بر دیواره و در حالات دیگر نیروی وارد بر مخزن استوانه ای با دو ردیف پره و سه ردیف پره محاسبه شده است.



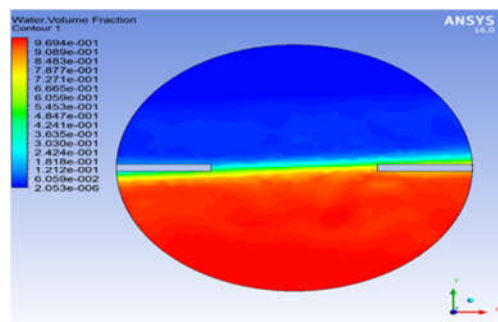
شکل ۱۵- کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱۵ ثانیه در مخزن بدون پره

۲-۶- مخزن استوانه ای با دو ردیف پره

در این حالت از مخزن استوانه ای با دو ردیف پره ۵ تایی برای جلوگیری از حرکت سیال استفاده شده است. نتایج مربوط به این شبیه سازی به قرار زیر است. در شکل مشاهده می شود که با نصب دو ردیف پره در داخل مخزن مطابق شکل ۱۶ از نفوذ آب به نیمه بالایی مخزن تا حد زیادی کاسته شده است و پره ها توانسته اند تا حد زیادی سرعت حرکت آب را کاهش دهند تا اینکه مطابق شکل ۱۷ پس از ۱۵ ثانیه با کمک پره ها، نیروی جاذبه و لزجت و ساکن می شود. محدوده حرکتی آب در این حالت از محدوده حرکتی آن در مخزن بدون پره کوچکتر است.



شکل ۱۶- و کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه در مخزن با دو ردیف پره

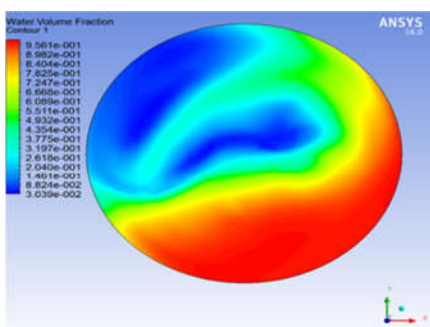


شکل ۱۷- کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱۵ ثانیه در مخزن با دو ردیف پره

داشته و فقط تحت تاثیر نیروی گرانشی و لزجت سیال ساکن خواهند شد. همچنین عمق پر شدگی سیال یک دوم حجم مخزن میباشد. نتایج مربوط به شبیه سازی در این حالت به قرار زیر خواهد بود.

۷-۱- نتایج مربوط به شبیه سازی آب

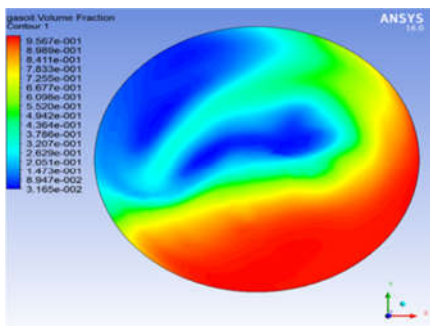
در این حالت آب با سرعت سه متر بر ثانیه به طرف راست حرکت خواهد کرد. نتایج مربوط به شبیه سازی در ۱۵ ثانیه به صورت شکل های زیر خواهد بود. حرکت آب مطابق شکل ۲۱ در ثانیه اول باعث وارد شدن نیرو به جداره های مخزن میشود مقدار این نیرو وارد بر جداره مخزن حاوی آب میتواند از مقدار آن در جداره مخزن حاوی نفت گاز بیشتر باشد زیرا چگالی آب بیشتر از نفت گاز است. اما کمتر بودن لزجت آب نسبت به نفت گاز میتواند باعث شود تا آب دیرتر از نفت گاز ساکن شود. (شکل ۲۲)



شکل ۲۱- کانتور کسر حجمی آب در زمان ۱ ثانیه در مخزن

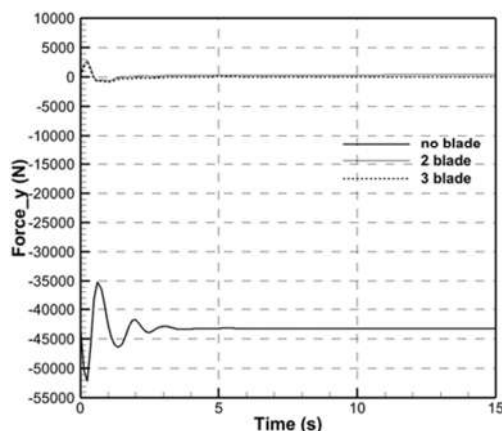
۷-۲- نتایج مربوط به شبیه سازی نفت گاز

همانند حالات گذشته سرعت سیال در این حالت برابر ۳ متر بر ثانیه به سمت راست خواهد بود. بعد از این حرکت ناگهانی، مخزن هیچ گونه حرکتی نداشته و نفت گاز تحت تاثیر نیروی گرانش و لزجت ساکن خواهد شد. نیروی وارد بر جداره های مخزن در اثر حرکت سیال (شکل ۲۲) در این حالت کمتر است زیرا چگالی نفت گاز از آب کمتر است. اما نفت گاز زودتر از آب به حالت سکون (شکل ۲۳) میرسد چون لزجت نفت گاز بیشتر از آب است.



شکل ۲۲- کانتور کسر حجمی نفت گاز در زمان ۱ ثانیه

نتایج مربوط به شبیه سازی نفت گاز در مدت زمان ۱۵ ثانیه در شکل های فوق نشان داده شد. کاملا مشخص است که در این مدت



شکل ۲۰- نیروی وارد بر پره ها و دیواره در سه حالت بدون پره، ۲ ردیف پره و ۳ ردیف پره

همان گونه که قبلا نیز بیان شد، در حالتی که مخزن بدون پره باشد، نیروی وارد بر دیواره جانبی استوانه محاسبه شده است. تاثیر استفاده از پره برای کاهش نوسانات مایع به خوبی در شکل فوق نشان داده شده است. استفاده از پره باعث کاهش چشم گیر زمان ساکن شدن سیال خواهد شد. همچنین کاملا مشخص است که استفاده از دو ردیف پره و سه ردیف پره در زمان ساکن شدن سیال و نیروی وارد بر پره ها تفاوت زیادی را ایجاد نمی کند. با توجه به اینکه زمان ساکن شدن سیال و نیروی وارد بر پره ها در مخزن با دو ردیف پره و در مخزن با سه ردیف پره تقریبا یکسان است بنابراین برای انتخاب تعداد ردیف مناسب برای پره های پاره های تنش، کرنش و تغییر شکل در دو مخزن یکی با دو ردیف پره و دیگری با سه ردیف پره بررسی میشوند.

۷- بررسی تاثیر لزجت بر زمان سکون سیال و

نیروهای وارده بر دیواره

در این بخش تاثیر لزجت سیال بر زمان سکون سیال جهت پیدا کردن سیال ایده آل تر مطالعه خواهد شد. به همین منظور برای شبیه سازی حرکت سیال و نیروهای وارد بر دیواره از دو سیال آب و نفت گاز استفاده خواهد شد. خواص نفت گاز در جدول ۳ و خواص آب در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- خواص نفت گاز

واحد	مقدار	خاصیت
kg/kmol	۱۸/۰۲	جرم مولکولی
kg/m ³	۹۹۷	چگالی
kg/ms	۰/۰۰۰۸۸۹۹	لزجت

جدول ۴- خواص آب

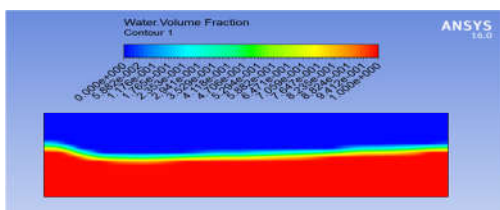
واحد	مقدار	خاصیت
Kg/kmol	۲۲۱/۱۶	جرم مولکولی
kg/m ³	۸۳۰	چگالی
Kg/ms	۰/۰۰۳۳۲	لزجت

دقت شود که دو سیال درون مخزن استوانه ای بدون پره قرار

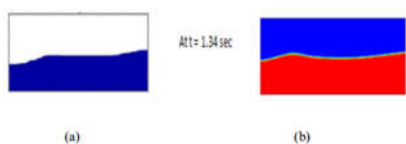
نتایج مربوط به شبیه سازی در زمان ۱/۱۴ ثانیه به قرار زیر در شکل ۲۵-۴۶ خواهد بود.



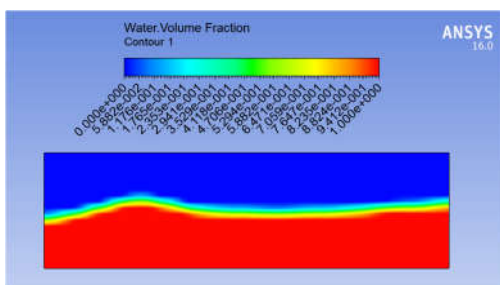
شکل ۲۵- نتایج مقاله مرجع در زمان ۱/۱۴ (a) تجربی (b) شبیه سازی [۱۶]



شکل ۲۶- نتایج شبیه سازی حاضر در زمان ۱/۱۴ ثانیه



شکل ۲۷- نتایج مقاله مرجع در زمان ۱/۳۴ ثانیه (a) تجربی (b) شبیه سازی [۱۶]



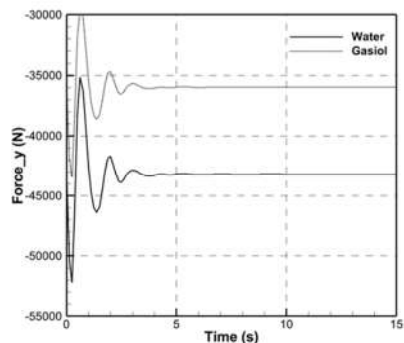
شکل ۲۸- نتایج شبیه سازی حاضر در زمان ۱/۳۴ ثانیه

ملاحظه می شود که نتایج به دست آمده تطابق مناسبی با داده های تجربی دارد.

۹- نتیجه گیری

یکی از مشکلات بزرگ در حمل و نقل مواد سوختی و آتشنا توسط کامیونهای تانکر دار تلاطم مایعات درون این تانکرهاست. یکی از روشهای حل این مشکل استفاده از پره های میرا کننده این تلاطم ها درون تانکر می باشد. تا کنون پژوهشهای فراوانی در این زمینه انجام گرفته اما اکثر این مطالعات به بررسی پره های عرضی که تنها قادر به میرا کردن تلاطم های افقی هستند پرداخته شده در این پژوهش به بررسی اثر نوع جدیدی از پره ها بصورت افقی پرداخته می شود. در قسمت اول به بررسی اثر طرز قرارگیری پره ها پرداخته شده است. بر این اساس سه مدل تانکر بدون پره، با دو ردیف پره و با سه ردیف پره پیشنهاد گردید. استفاده از پره باعث کاهش چشم گیر زمان ساکن

زمان، سیال کاملا ساکن می شود. نیروهای وارد بر دیواره در دو حالت فوق در نمودار شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳- نمودار نیروهای وارد بر دیواره در دو حالت سیال آب و نفت گاز

با دقت در نمودار شکل ۲۳ کاملا مشخص است که مقدار نیروی وارده از سمت آب به دیواره بسیار بیشتر از نفت گاز خواهد بود. دلیل این امر بالاتر بودن چگالی آب نسبت به نفت گاز است. همچنین زمان ساکن شدن نفت گاز کمتر از آب خواهد بود، به نحوی که نفت گاز و آب به ترتیب پس از ۷ و ۱۰ ثانیه ساکن خواهند شد. در زمان استراحت یا سکون سیال، نیروی وارد بر دیواره به صورت کاملا خطی و یکسان در طول زمان خواهد بود. چگالی بالاتر نفت گاز نسبت به آب موجب ساکن شدن سریع تر آن خواهد شد. باتوجه به بزرگ تر بودن نیروی وارده به مخزن از طرف آب و همچنین دیرتر ساکن شدن آب نسبت به نفت گاز، گزینه مناسب برای سیال درون مخزن جهت تحلیل مقاومت مخزن در برابر تنش کرنش و تغییر شکل، آب میباشد. در ادامه از آب به عنوان سیال لزوج درون مخزن استفاده میشود.

۸- صحت سنجی نتایج

به منظور صحت سنجی نتایج حاضر، مقاله مرجع [۱۶] شبیه سازی خواهد شد. شرایط مرزی حاکم بر مساله به گونه ای که در ابتدا ۵۰ درصد حجم کل محفظه از آب پر شده است. تحت تاثیر جاذبه سطح آب در مدت ۲ ثانیه بررسی می شود. بردار جاذبه دارای مولفه های $X=0.63$ و $Y=-9.81$ متر بر مجذور ثانیه می باشد. طرحواره محفظه و ابعاد آن در شکل ۲۴-۶۸ نشان داده شده است.



شکل ۲۴- هندسه مقاله مرجع [۱۶]

شدن سیال خواهد شد. همچنین مشخص شد که استفاده از دو ردیف پره و سه ردیف پره در زمان ساکن شدن سیال و نیروی وارد بر پره ها تفاوت زیادی را ایجاد نمی کند. در بخش دیگری از پژوهش، تاثیر لزجت سیال بر زمان سکون سیال جهت پیدا کردن سیال ایده آل تر مطالعه گردید و مشخص شد که مقدار نیروی وارد از سمت آب به دیواره بسیار بیشتر از نفت گاز خواهد بود. دلیل این امر بالاتر بودن چگالی آب نسبت به نفت گاز است. همچنین زمان ساکن شدن نفت گاز کمتر از آب خواهد بود.

۱۰- مراجع

- [1] Zhang E., Numerical research on sloshing of free oil liquid surface based on different baffle shapes in rectangular fuel tank, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, p. 0954407019855569, 2019.
- [2] Rayleigh J. W. S. L. *On waves*. Philosophical Magazine Series 51, 257-279, 1876.
- [3] Aliabadi S., Johnson A., & Abedi J. Comparison of finite element and pendulum models for simulation of sloshing. *Computers & fluids*, 32(4), 535-545, 2003.
- [4] Yan G., Rakheja, S., & Siddiqui, K. Experimental study of liquid slosh dynamics in a partially-filled tank. *Journal of fluids engineering*, 131(7), 071303, 2009.
- [5] Modaressi-Tehrani, K., Rakheja S., & Stihar, I. Three-dimensional analysis of transient slosh within a partly-filled tank equipped with baffles. *Vehicle System Dynamics*, 45(6), 525-548, 2007.
- [6] Brar GS, Singh S. An experimental and CFD analysis of sloshing in a tanker. *Procedia Technology*.; 14:490-6 2014.
- [7] PG.L. A Prasad B., Maheswar D., Chakradhar S., The study of sloshing performance in three dimensional tanks for different volume fraction of fluid with time increment step and acceleration with CFD approach, *Anveshana's International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, vol. 1/1. 2015.
- [8] Jin X, Lin P. Viscous effects on liquid sloshing under external excitations. *Ocean Engineering*.; 171:695-707, 2019.
- [9] Sanapala V, Rajkumar M, Velusamy K, Patnaik B. Numerical simulation of parametric liquid sloshing in a horizontally baffled rectangular container. *Journal of Fluids and Structures*.; 76:229-50, 2018.
- [10] Panigrahy, P., Saha, U., & Maity, D. Experimental studies on sloshing behavior due to horizontal movement of liquids in baffled tanks. *Ocean Engineering*, 36(3-4), 213-222, 2009.
- [11] Khezzar, L., Seibi, A., & Goharzadeh, A. Water sloshing in rectangular tanks—an experimental investigation & numerical simulation. *International Journal of Engineering (IJE)*, 3(2), 174, 2009.
- [12] Xue, M.-A., Zheng, J., & Lin, P. Numerical simulation of sloshing phenomena in cubic tank with multiple baffles. *Journal of Applied Mathematics*, 2012.
- [13] Hasheminejad S. M., Mohammadi M., & Jarrahi M. Liquid sloshing in partly-filled laterally-excited circular tanks equipped with baffles. *Journal of Fluids and Structures*, 44, 97-114 2014.
- [14] Nolic S., & Bilegan R. Fluid structure interaction modeling of liquid sloshing phenomena in flexible tanks. *Nuclear Engineering and Design*, 258, 51-56, 2013.
- [15] M.-A. Xue, J. Zheng, P. Lin, and X. Yuan, "Experimental study on vertical baffles of different configurations in suppressing sloshing pressure," *Ocean Engineering*, vol. 136, pp. 178-189, 2017.
- [16] Ambade R. and Kale R., CFD analysis of sloshing within tank, *Int. J. Innov. Res. Technol. Sci.*, vol. 2, pp. 115-120, 2013.