

## تأثیر پارامترهای هندسی بر کماتش الاستوپلاستیک مخازن فلزی استوانه‌ای زمینی با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و سیال

احمد تاجداران<sup>۱</sup>، محمد حسن صداق<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

### چکیده

امروزه با گسترش جمعیت و صنعت، جمع آوری و ذخیره سازی مایعات بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. ذخیره مایعات نفتی و شیمیایی از جمله مواردی هستند که نگهداری آنها نیاز به دقت فراوانی دارد. یکی از سازه‌های مهم و پرکاربرد جهت ذخیره سازی مایعات در صنعت نفت مخازن فلزی استوانه‌ای زمینی می‌باشد. اما با توجه به آسیب‌های عمده‌ای که بر اینگونه مخازن در زلزله‌های گذشته وارد آمده؛ محققین را وادار به درک و پیش‌بینی بهتری از رفتار لرزه‌ای آنها نموده است. از این رو در این پژوهش به بررسی یکی از آسیب‌های محتمل بر مخازن (پدیده کماتش) تحت بارهای لرزه‌ای؛ زلزله های بم، گلباف، فیروزآباد، بجنورد، منجیل، طبس و سرعین با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و سیال پرداخته شده است. مخازن مورد مطالعه با نسبت های ارتفاع به قطر ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ و ۲ با ضخامت پوسته ثابت و متغییر، در حالت پر، انتخاب شده و روش تحلیل، آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی بوده که توسط نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس انجام شده است. مقایسه نتایج با آیین نامه API-۶۵۰، آیین نامه لرزه‌ای سازه های صنعت نفت ایران و نیروهای بدست آمده از تحلیل نشان می‌دهند افزایش قطر و ارتفاع، هر دو پارامتر موثری در افزایش خطر کماتش الاستوپلاستیک می‌باشند. همچنین افزایش نسبت ارتفاع به قطر باعث کاهش خطر کماتش الاستوپلاستیک شده و با افزایش مقدار ضخامت پوسته احتمال رخ دادن پدیده کماتش الاستوپلاستیک بسیار کم می‌شود و طراحی مخازن با آیین نامه های مذکور روش مطمئنی برای جلوگیری از کماتش نمی‌باشد

کلمات کلیدی: مخازن فولادی استوانه‌ای، روش اجزاء محدود، کماتش الاستوپلاستیک، تحلیل دینامیکی غیرخطی، اندرکنش سازه و

سیال

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
10.22065/jsce.2018.105006.1379	doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
https://10.22065/jsce.2018.105006.1379		۱۳۹۸/۱۰/۰۱	۱۳۹۷/۰۲/۰۸	۱۳۹۷/۰۲/۰۸	۱۳۹۶/۱۲/۲۵	۱۳۹۶/۶/۲۸
محمد حسن صداق mh_saddagh@iauest.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

## Effect of Geometric Parameters on Elastoplastic Buckling of Ground Cylindrical Steel Tanks with Regard to the Fluid and Structure Interaction

Ahmad Tajdaran<sup>1</sup>, Mohammad Hassan Saddagh<sup>2\*</sup>

*1 Young Researchers and Elite Club, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran*

*2 Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran*

### ABSTRACT

*Today's due to expansion of population and industry, the collection and storage of liquids has been paid attention more and more. Saving oil and chemical liquids require great care to maintain it. One of the most important and commonly structures for storing liquids is steel cylindrical above ground tanks. On the other hand, due to damage of tanks in past earthquakes, they persuade scientists to better understand the seismic behavior. As a consequence, this research has been studied examines the phenomenon of buckling under Bam, Golbaf, Firuzabad, Bojnurd, Manjil, Tabas and Sarein earthquakes with regard to the fluid and structure interaction. Tanks were selected with ratio of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 with fixed and variable thickness in full mode. These Cases were analyzed with non-linear time history analysis by ABAQUS Software. Finally, Compare the results with American petroleum institute regulation (API), Iranian seismic design code for oil industries and forces show, both height and diameter increase to growth the risk of Elastoplastic buckling and also by increasing the height to diameter ratio reduces the risk of Elastoplastic Buckling. The amount of this damage has declined by increasing shell thickness and in the same vein designing these structure by define standards is not safe method.*

### ARTICLE INFO

Received: 08 November 2017

Revised: 06 May 2018

Accepted: 25 May 2018

### Keywords:

*Cylindrical Steel Tanks, Finite Elements Method, Elastoplastic Buckling, Nonlinear dynamic analysis, Fluid Structure Interaction*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.105006.1379

\*Corresponding author: Mohammad Hassan Saddagh

Email address: mh\_saddagh@iauest.ac.ir

## ۱- مقدمه

یکی از مشکلات گسترش صنایع و افزایش روز افزون تولیدات صنعتی، ذخیره‌سازی و نگهداری محصولات نفتی قبل از فروش و عرضه به بازار است. از جمله محصولاتی که ذخیره‌سازی آنها مورد توجه صنعتگران بوده است می‌توان به مایعات نفتی و شیمیایی اشاره کرد. استفاده از مخازن ذخیره از عمده‌ترین روشهای نگهداری این محصولات محسوب می‌شود.

در اغلب موارد مخازن باتوجه به مزیت‌هایشان، به عنوان اولین انتخاب ذخیره‌سازی مواد برگزیده می‌شوند. اما در بعضی از مواقع دچار مشکل می‌گردند که بسیار خطرناک می‌باشد. یکی از حالت‌هایی که مخازن ذخیره را دچار مشکل می‌سازد، مواقع بروز زلزله است. با توجه به قرار گرفتن بدنه وسیع مخزن در برابر زلزله، نیروی زیادی به سازه اعمال می‌شود که می‌تواند باعث خرابی‌های زیادی شود که البته کشورهای مختلف آیین نامه و استانداردهای مختلفی را جهت طراحی و ساخت هرچه بهتر و مطمئن تر مخازن تدوین نموده اند.

در خصوص استاندارد نمودن روشهای طراحی و ساخت مخازن اتمسفریک و نیز جزئیات مربوط به آن، انستیتو نفت کشور آمریکا اقدام به تهیه استاندارد انستیتو نفت آمریکا در خصوص مخازن نگهداری نفت نمود و تا امروز ویرایش‌های متعددی از این استاندارد تهیه شده است. در کشور ما آیین نامه‌ای تحت عنوان طراحی لرزه‌ای سازه‌های صنعت نفت توسط معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت انتشار گردیده که رعایت استانداردهایی را جهت مقاومت سازه‌های صنعت نفت در برابر زلزله‌های احتمالی بیان می‌کند.

ویلیام اسمیت به همراه دو پسرش در سال ۱۸۹۵ اولین چاه نفت خام را در ایالت پنسیلوانیای آمریکا کشف کرد. با این اکتشاف نیاز به ظروف مناسب جهت ذخیره‌سازی نفت احساس شد و مسئولین امر را به فکر تهیه مخازن مناسب با حجم کافی در اطراف چاه افتادند. اولین مخزن با ظرفیت ۸ شبکه و از جنس چوب در نزدیکی چاه ساخته و نصب شد. در آن روزها مخازن به شکل قوطی مکعب شکل به طول و عرض ۴ فوت و ۳ فوت ارتفاع ساخته شدند. در سال ۱۸۶۱ شخصی به نام آکین اولین مخزن استوانه‌ای را به قطر و ارتفاع ۸ فوت بنا نهاد. در آن زمان نشستی و تبخیر در مخازن مسأله مهمی نبود چون تولیدات پالایشگاه آن موقع نفت چراغ و روغن روان کاری بود. در سپتامبر ۱۸۶۴ کمپانی هاسن و گراف اولین مخزن فلزی با گنجایش ۸۰۰۰ شبکه و ده سال بعد مخزن دیگری با گنجایش ۸۰۰۰ شبکه را ساخت و در سال ۱۹۱۳ اولین مخزن پیچ و مهره‌ای و در سال ۱۹۱۸ اولین مخزن که دارای پله مخصوص بود، ساخته شد. در اوایل دهه ۱۹۲۰ جوش کاری مخازن ابداع شد و به عنوان اولین استاندارد به صنایع مخزن سازی معرفی گردید، همچنین از آن تاریخ به بعد صنعت ساخت مخزن پیشرفت‌های شایانی داشت که مهم‌ترین آن‌ها ساخت مخازن شناور در سال ۱۹۲۲ بود.

در ایران، در حال حاضر بیش از هزار مخزن اصلی با ظرفیت‌های متفاوت از یک هزار مترمکعب تا صد و شصت هزار متر مکعب در انبارهای نفت برای ذخیره‌سازی فرآورده‌های نفتی نصب شده‌اند. با توجه به سرمایه‌گذاری انجام شده در امر سوخت و مخازنی که ظرفیت مجموع آن‌ها بیش از شش میلیارد لیتر می‌باشد، ملاحظه می‌گردد که نگه‌داری و استفاده صحیح از آن‌ها کاملاً امری مهم و حیاتی خواهد بود. گذشته از این، نظر به احداث انبارهای جدید در شهرستان‌های بزرگ و قرار گرفتن انبارهای قدیمی در محدوده شهری و تعطیل شدن آن‌ها به منظور استفاده از مخازن موجود و جلوگیری از سرمایه‌گذاری مضاعف و تداوم عملیات شرکت، انتقال و جابجایی مخازن مذکور از این انبارهای فعال کشور الزامی می‌باشد [۱].

با توجه به توضیحات فوق آشکارا مخازن فلزی استوانه‌ای یکی از انواع سازه‌های مهم و پر کاربرد در صنعت نفت- می‌باشند که پایداری آنها در شرایط مختلف بسیار حائز است. تجربه‌های گذشته حاکی از این قضیه بوده که اینگونه سازه‌ها در مقابل پدیده‌هایی از قبیل طوفان و زلزله بسیار آسیب پذیر بوده و باعث خسارات زیست محیطی جبران‌ناپذیری شده‌اند. برای مثال زلزله‌های کشورهای مختلف نظیر ژاپن، آمریکا و پرو از جمله مواردی هستند که اینگونه سازه‌ها در زمان تحرکات زمین رفتار مناسبی را از خود نشان نداده‌اند و باعث خرابی‌های بسیار شده‌اند. شکل (۱) نمونه‌ی خرابی یک مخزن ذخیره سیال بدون سقف می‌باشد که تحت نیروی زلزله در قسمت بالای آن دچار پدیده کمانش شده است. به همین علت پژوهشگران و محققین سعی بر درک بهتری از رفتار مخازن در زمان زلزله دارند و اغلب تلاشها برای دست یافتن به یک مدل مطلوب تر و دقیق‌تر می‌باشد تا بتوانند رفتار مخازن را کاملاً مدل‌سازی کنند.



شکل ۱: نمونه خرابی مخازن تحت اثر نیرو زلزله

نکته ای که حائز اهمیت این است که پارامترهای طراحی شده (ارتفاع، قطر و ضخامت پوسته) توسط طراحان اغلب از طریق تحلیل استاتیکی معادل بوده و اندرکنش سازه- سیال در تحلیل مخازن در نظر گرفته نشده است و برای بررسی مخازن با در نظر گرفتن آثار ذکر شده نیاز به تحلیل دقیق تری مانند تحلیل دینامیکی می باشد که می بایست با نرم افزارهای موجود آنها را انجام داد. لذا تحقیق و بررسی رفتار مخازن تحت اثر نیروی زلزله از جمله موضوعاتی است که هنوز نیاز به تحقیق و بررسی بیشتری دارد.

مسئله کمانش مخازن ذخیره با جداره نازک به صورت خاص از اواخر دهه ۶۰ مورد توجه قرار گرفت. طوفان هوگو در جزایر ویرجینیای ایالات متحده و پس از آن طوفان مارپلین توجه دانشمندان را به این پدیده معطوف کرد [۲]. تیموشنکو با آزمایش بر روی یک استوانه فلزی رابطه ای را برای تنش بحرانی پوسته های استوانه ای جدار نازک بیان کرده که طبق آن تنش بحرانی پوسته ها متناسب با نسبت ضخامت به قطر می باشد. کروو و توماس با بررسی مخازنی با نسبت شعاع به ضخامت ۱۹۰۰ و نسبت شعاع به ارتفاع ۵ بدون در نظر گرفتن اندرکنش سازه وسیال تحت نیروی جانبی باد به این نتیجه رسیدند که مخازن با قطر زیاد و ارتفاع کم دچار پدیده کمانش شده اند. همچنین رزینگر و گرینر سعی کردند این مخازن بصورت خالی در تونل باد مدل کنند و متوجه آسیب این گونه سازه ها در اثر نیروی جانبی باد شدند [۳ و ۴].

در تحقیق دیگری که در زمینه کمانش احتمالی مخازن توسط کریسانتوپولوس انجام شده است اثر پارامترهای تصادفی ناشی از محدودیت های ساخت در کمانش پوسته ها بررسی شد و همچنین فیلیپ واکر پدیده کمانش در اثر نیروی متمرکز عمود بر پوسته را بررسی نمود [۵ و ۶]. طبق استاندارد انستیتو نفت آمریکا مخازن با نسبت ارتفاع به قطر بیشتر از یک ناپایدار بوده و کمانش پافیلی در مخازن بزرگ و در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ از کف مخازن رخ می دهد و افزایش بیش از حد تنش کششی حلقوی و فشاری قائم باعث ایجاد آسیب هایی در پوسته مخازن می گردد که از جمله آنها می توان به ایجاد پدیده کمانش در جداره اشاره نمود [۷].

با توسعه نرم افزارهای کامپیوتری بخصوص نرم افزارهای اجزا محدود محققین به مدل کردن مخازن در این گونه نرم افزارها پرداختند و نتایج خود را برای استفاده دیگران به صورت مقاله های مختلف ارائه نمودند. لوئیس گودوی و ژلیو مندز کمانش مخازن دارای سقف مخروطی و بدون سقف را مورد بررسی قرار دادند آنها با در نظر گرفتن اطلاعات مربوطه به طوفان جزایر کارائیب نیروی این طوفان را به عنوان بار روی مخزن مورد نظر مورد بررسی قرار دارند و سازه را با ارتفاع ۱۲/۱۹۲ و شعاع ۱۵/۲۴ بصورت مهار شده در نرم افزار الگور<sup>۱</sup> مدل کردند. آنها رفتار دو شاخه ای شدن نمودار نیرو - جابه جایی را برای پوسته ها در اثر فشار استاتیکی باد محاسبه کردند و متوجه شدند که رفتار اینگونه مخازن تحت اثر نیروی باد به مکان آنها بستگی دارد (توپوگرافی). سپس به مقایسه بارهای بحرانی و مودهای کمانش در حالت واقعی با حالت محاسبه شده پرداختند [۸].

<sup>۱</sup>-Algor

تحقیق دیگری که در زمینه کمانش پوسته های استوانه ای انجام شده است توسط گروهی از محققین دانشگاه کازابلانکا صورت گرفته است این گروه اثر عیوب موضعی محلی و تعمیر داده شده را در بار بحرانی پوسته های استوانه ای بلند مورد بررسی قرار دارند. آنها یک پوسته استوانه ایی را با مشخصات شعاع ۱۰۰ میلی متر، ضخامت پوسته ۰/۲۴۷ میلی متر، مدول یانگ ۱۹۸۰۰۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۳ را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که پوسته مذکور تحت فشار ۷۳/۱۱ نیوتون بر میلی متر دچار خرابی می شود و اینکه عیوب موضعی محلی تاثیر کمتری در کمانش پوسته نسبت به عیوب موضعی تعمیر داده شده دارد [۹].

عشقی و آهاری مخازن با ارتفاع ۵ و ۷ متر و قطر ۱۰ متر در حالتی که مخازن کاملاً پر از آب بوده و جنس مخازن از فولاد انتخاب شده توسط نرم افزار انسیس<sup>۲</sup> تحت رکورد زلزله طیس قرار دادند و نتایج آنها از این قرار بود که مهار مخازن می تواند از این نوع کمانش جلوگیری کند، احتمال کمانش پوسته مخازن با افزایش ارتفاع مخازن افزایش می یابد و میزان بلند شدگی و تنش های فشاری ایجاد شده در پوسته با کم شدن ارتفاع مایع داخل مخازن کاهش می یابد [۱۰].

کولر و مالهوترا مخازنی را که توسط آیین نامه یوروکد طراحی و اجرا شده بودند را تحت نیروی زلزله با طیف پاسخ نوع یک برای خاک نوع دوم مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتباط تنگاتنگی بین نسبت ارتفاع به شعاع و بلندشدگی کف مخازن وجود دارد و روتر طی تحقیقاتی که بر روی مخازن، سیلوهوا و پوسته های استوانه ایی داشته اند به این نکته دست یافت که طراحی مخازن و سیلوهوا تابع این نوع کمانش می باشد [۱۱ و ۱۲].

حسین زاده و گودرزی با مدل سازی مخازنی با نسبت ارتفاع به قطر کمتر از یک که تمامی آنها تحت رکوردهای سه زلزله گلباف، طیس و السنترو قرار گرفته اند در نرم افزار انسیس و با در نظر گرفتن اندر کنش سازه و سیال به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع به قطر میزان این نوع کمانش کاهش می یابد و در مخازن با قطر بزرگ خطر کمانش بیشتر است و همچنین یافته های مقدم و سنگی براساس پژوهش هایی که بر روی ۱۳ مدل مخازن فولادی با نسبت ارتفاع های بین ۱ و ۲ تحت رکورد زلزله السنترو داشته اند، بدین ترتیب بوده که با افزایش ارتفاع به قطر، میزان این نوع کمانش کاهش می یابد و طراحی مخازن با استانداردهای انستیتو نفت آمریکا و یوروکد نمی تواند روش مطمئنی برای وقوع چنین کمانشی باشد [۱۳ و ۱۴].

حسین زاده طبق مقایسه ای که نسبت به آیین نامه انستیتو نفت آمریکا و مدل های ساخته شده در نرم افزار اجزا محدود انسیس در مورد جابه جایی کف، کمانش الاستوپلاستیک، بلند شده گی کف و ارتفاع موج بر روی تعدادی مخازن فولادی داشته به این نتیجه دست یافت که مقادیر بدست آمده کمانش پافیلی از فرمول آیین نامه برای مخازن با قطر کوچک نزدیک به مقادیر گزارش شده در نرم افزار می باشد اما در مخازن با قطر بزرگ مقادیر نرم افزاری بسیار بزرگتر از آیین نامه می باشد [۱۵]. در تحقیق دیگری که کاظم بر روی مخزنی با ارتفاع ۱۴/۶ و قطر ۹۷/۵۷ تحت سه رکورد طیس، گلباف و السنترو با بیشینه شتاب ۳/۹۲ توسط نرم افزار انسیس انجام داده به این نتیجه رسید، که دلیل اصلی افزایش تنش در پوسته پدیده بلند شدگی و نشست مخازن در طی زلزله می باشد [۱۶].

ماهری تأثیر پدیده خوردگی در طی ۲۰ تا ۴۰ سال را بر روی کمانش مخازن بررسی نموده است. در این تحقیق مخازن با نسبت ارتفاع به قطر ۰/۴ و ۰/۶۳ و ۰/۹۵ در نرم افزار انسیس تحت رکوردهای دو زلزله پارک فیلد<sup>۳</sup> و السالوادور<sup>۴</sup> با بیشینه شتاب بین ۰/۱ تا ۰/۳ بوده است و نشان می دهد که کمانش الاستیک در مخازن کوچک طی ۱۰ سال به کمانش الاستوپلاستیک در نزدیکی سطح زمین تبدیل می شود و در مخازن بلند بعد از ۲۰ سال نیروی هیدرواستاتیکی به تنهایی باعث ایجاد کمانش الاستوپلاستیک می شود [۱۷]. نیلوفری طی مشاهدات آزمایشگاهی که بر روی دوازده عدد نمونه مخزن استوانه ایی با سقف مخروطی تحت اثر نیروی استاتیکی داشت به این نتیجه رسید که معایب هندسی مخازن با نسبت های مختلف ضخامت به شعاع، باعث افزایش مقاومت کمانشی و نرمی یا سختی رفتار پوسته می شود [۱۸].

<sup>۲</sup> -Ansys

<sup>۳</sup> -Park Field

<sup>۴</sup> -El Salvador

در سال ۲۰۱۳ آقابراتی مخازنی با نسبت های ارتفاع به قطر کوچکتر از ۰/۵ و ضخامت ثابت در دو حالت پر و خالی تحت سه رکورد زلزله السنترو، طبس و امپریال وایلی مورد بررسی قرارداد و نتایج خود را به صورت زیر گزارش کرد، که کمانش الاستوپلاستیک در ۱/۵ متری ارتفاع پای مخزن رخ می دهد و علاوه بر آن کمانش در مخازن پر در مقایسه با مخازن خالی متناظر با یکدیگر در نقاط مجاور تکیه گاه روی می دهد، مقادیر کمانش بیش از مقادیر آیین نامه لرزه ای سازه های صنعت نفت بوده و اگر مخزنی با نسبت قطر به ضخامت بین ۲۳۲۲ و ۲۹۹۱ باشد، همواره از نظر کنترل تنش فشاری جداره و پدیده کمانش پایدار می باشد [۱۹]. در همان سال ژائو و لین مخازنی را با نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۱ با نرم افزار اجزا محدود آباکوس تحت بار باد مورد بررسی قرار داده و نتایجش از این قرار بوده که مقاومت کمانش مخازن تحت نیروی باد بزرگتر از نیروی فشار داخلی می باشد و رفتار کمانش مخازن تحت بار باد تابع جهت وزش باد می باشد [۲۰].

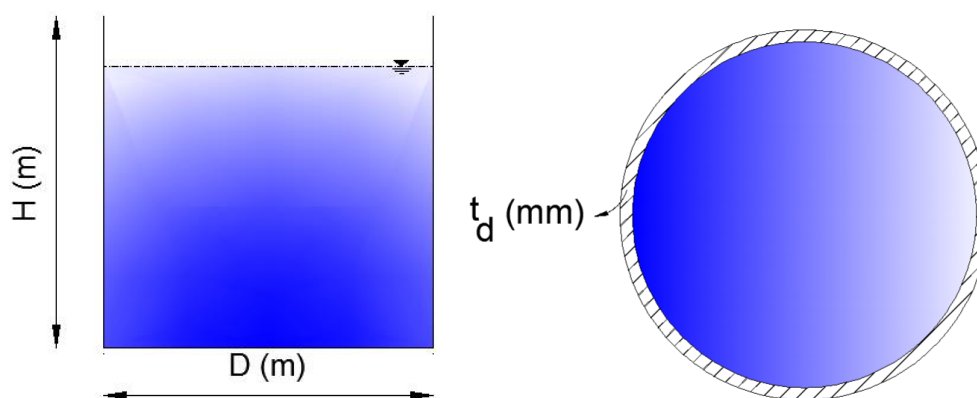
با توجه به تحقیقات مذکور چنین نتیجه می گردد که گر چه پدیده کمانش نادر است ولی اثرات مخرب اقتصادی و زیست محیطی ناشی از آن بسیار بالاست. به همین جهت در این پژوهش به بررسی تاثیر پارامترهای هندسی مخازن استوانه ای (قطر، ارتفاع و ضخامت پوسته) بر کمانش الاستوپلاستیک تحت اثر نیروی زلزله با در نظر گرفتن آثار متقابل سیال و سازه با روش اجزا محدود پرداخته شده است.

## ۲- مدل سازی انجام شده در نرم افزار

نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق آباکوس<sup>۵</sup> می باشد که قابلیت حل مسائل از یک تحلیل ساده تا پیچیده ترین مدل سازی غیرخطی را داراست. این نرم افزار دارای مجموعه المان های بسیار گسترده ای می باشد که هر نوع هندسه ای را می توان توسط این المان ها مدل کرد.

### ۲-۱- هندسه مخازن

مخازن مورد بررسی با رعایت ضوابط استاندارد ای پی آی در چهار نوع با ارتفاع های مختلف به صورت بدون سقف، مدل شده اند. طبق آیین نامه مذکور و ضوابط اجرایی ضخامت پوسته کف مخازن برابر ۸ میلی متر در نظر گرفته شده است. به علاوه اینکه، مطابق شکل (۲) تمامی مخازن از نوع خودمههار بوده و در حالت کاملاً پر (۱۵ درصد ارتفاع آزاد سیال) تحلیل شده اند و برای محاسبه ضخامت پوسته مخازن از معادله (۱) استفاده شده است [۷]. در جدول ۱ ضخامت پوسته مخازن و در جدول ۲ مشخصات هندسی مخازن آمده است.



شکل ۲: هندسه مخازن

<sup>۵</sup>-Abaqus

$$t_d = \frac{4.90(H-0.3)}{S_d} + C_A \quad (1)$$

که در معادله (۱)،  $H$  و  $D$  به ترتیب ارتفاع و قطر مخازن بر حسب متر،  $S_d$  تنش مجاز ورق،  $C_A$  مقدار خوردگی فولاد می باشد که برابر با ۲ میلی متر در نظر گرفته شده است و  $t_d$  ضخامت پوسته بر حسب میلی متر می باشد.

جدول ۱: مشخصات ضخامت پوسته مخازن

شماره مخزن	ضخامت پوسته مخازن در ارتفاع (کورس)						
۵۱۰	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۵۵	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۵۳۳	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۵۲۵	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۱۰۲۰	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۱۰۱۰	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۱۰۶۷	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۱۰۵	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۱۵۳۰	۱۵ میلی متر ارتفاع (۰-۳)	۱۲ میلی متر ارتفاع (۳-۶)	۱۰ میلی متر ارتفاع (۶-۹)	۸ میلی متر ارتفاع (۹-۱۲)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۲-۱۵)		
۱۵۱۵	۱۰ میلی متر ارتفاع (۰-۳)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۵-۲)					
۱۵۱۰	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۱۵۷۵	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						
۲۰۴۰	۲۶ میلی متر ارتفاع (۰-۳)	۲۲ میلی متر ارتفاع (۳-۶)	۱۸ میلی متر ارتفاع (۶-۹)	۱۵ میلی متر ارتفاع (۹-۱۲)	۱۲ میلی متر ارتفاع (۱۲-۱۵)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۵-۱۸)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۸-۲۰)
۲۰۲۰	۱۵ میلی متر ارتفاع (۰-۳)	۱۲ میلی متر ارتفاع (۳-۶)	۱۰ میلی متر ارتفاع (۶-۹)	۱۰ میلی متر ارتفاع (۹-۱۲)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۲-۱۵)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۵-۱۸)	۸ میلی متر ارتفاع (۱۸-۲۰)
۲۰۱۳۴	۱۰ میلی متر ارتفاع (۰-۳)	۸ میلی متر ارتفاع (۲۰-۲)					
۲۰۱۰	در تمامی ارتفاع برابر با ۸ میلی متر						

جدول ۲: مشخصات هندسی مخازن

ردیف	شماره مخزن	ارتفاع (متر)	قطر (متر)	نسبت ارتفاع به قطر
۱	۵۱۰	۵	۱۰	۰/۵
۲	۵۵	۵	۵	۱
۳	۵۳۳	۵	۳/۳	۱/۵
۴	۵۲۵	۵	۲/۵	۲
۵	۱۰۲۰	۱۰	۲۰	۰/۵
۶	۱۰۱۰	۱۰	۱۰	۱
۷	۱۰۶۷	۱۰	۶/۷	۱/۵
۸	۱۰۵	۱۰	۵	۲
۹	۱۵۳۰	۱۵	۳۰	۰/۵
۱۰	۱۵۱۵	۱۵	۱۵	۱
۱۱	۱۵۱۰	۱۵	۱۰	۱/۵
۱۲	۱۵۷۵	۱۵	۷/۵	۲
۱۳	۲۰۴۰	۲۰	۴۰	۰/۵
۱۴	۲۰۲۰	۲۰	۲۰	۱
۱۵	۲۰۱۳۴	۲۰	۱۳/۴	۱/۵
۱۶	۲۰۱۰	۲۰	۱۰	۲

## ۲-۲- مدل اجزاء محدود

نوع مصالح مورد استفاده جهت بدنه مخازن، ایزوتروپ و منطبق بر فولاد ST-42 می باشد که مشخصات مکانیکی آن به اختصار در جدول (۳) قابل مشاهده است. برای در نظر گرفتن مدل شکست از معادله مایزس<sup>۶</sup> (۲) استفاده شده است. شکل المان، جهت مش بندی به صورت چهارضلعی، از نوع درجه یک و با کد S4R بوده و شرایط مرزی اعمال شده به کف مخزن به نحوی است که سازه قابلیت چرخش و انتقال رو به بالا را ندارد.

جدول ۳: مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی

پارامتر	مقدار
تنش تسلیم فولاد (kg/cm <sup>2</sup> )	۲۶۰۰
ضریب ارتجاعی (kg/cm <sup>2</sup> )	۲۱۰۰۰۰۰
ضریب پواسون (kg/cm <sup>2</sup> )	۰/۳

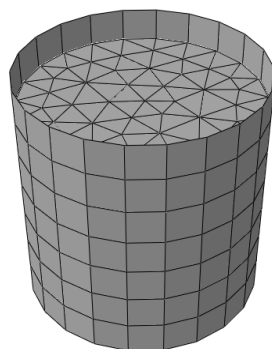
<sup>۶</sup>-Mises



$$\sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_y \quad (2)$$

در معادله (۲)  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  تنش‌های کششی یا فشاری می‌باشند که در سه امتداد اصلی تاثیر کرده و  $\sigma_y$  تنش تسلیم می‌باشد.

سیال مورد نظر در این پژوهش نفت می‌باشد که چگالی، لزجت و سرعت صوت در آن به ترتیب ۸۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۰۸ نیوتون ثانیه بر متر مربع و ۱۶۵۳ متر بر ثانیه لحاظ شده است. همچنین مش‌بندی سیال بصورت چهاروجهی، المان خطی و با کد C3D4 در نظر گرفته شده است. مدل سه بعدی مخزن به همراه نحوه مش‌بندی آن در شکل (۳) دیده می‌شود [۲۴ و ۲۳].



شکل ۳: نمای مدل سه بعدی در نرم‌افزار

## ۲-۳- اندرکنش سازه و سیال

یکی از موارد مهم و اساسی در تحلیل دینامیکی مخازن اثر متقابل سیال و سازه در زمان زمین‌لرزه است که روش جرم افزوده، اویلری- لاگرانژی<sup>۷</sup> و اویلری- اویلری<sup>۸</sup> از روش‌های برخورد با این اثر می‌باشد که در محاسبات مختلف از این روش‌ها استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های مذکور روش اویلری- لاگرانژی بوده که از این روش جهت آنالیز سازه‌های موجود در این پژوهش استفاده شده است. با توجه به روش‌های موجود در مسائل برخورد با اندرکنش سازه و سیال این روش تلفیقی است از دو روش اویلری و لاگرانژی که هر کدام از این دو روش محدودیت‌های خاصی را دارا می‌باشند و برای غلبه بر این محدودیت‌ها این روش بنا نهاده شده است. در این روش که خود مبتنی بر یک فرمولاسیون مکانیک محیط پیوسته منحصر به فرد است، هر وقت تغییر فرم المان‌های لاگرانژی از حدی بیشتر شد، با استفاده از روش اویلری ماده درون سلول‌ها جابجا شده و مش‌بندی جدید لاگرانژی مطابق با محل جدید ماده مورد بررسی ایجاد می‌گردد. بدین ترتیب هم می‌توان از قابلیت منحصر به فرد روش اویلری در تغییر فرم‌های بسیار بزرگ بهره برد و هم مرزهای مواد را با دقت مناسبی پیش‌بینی کرد. در نرم‌افزار آباکوس برای بیان رفتار ماده‌ی اویلری از معادله حالت می‌گرانزین<sup>۹</sup> که برای مدل‌سازی امواج سطحی کاربرد دارد استفاده شده است. رابطه‌ی خطی آن با توجه به فرضیات بصورت معادله‌ی (۳) می‌باشد که،  $\rho_0$  چگالی سیال،  $c_0$  سرعت صوت و  $\eta$  لزجت دینامیکی سیال بوده [۲۳ و ۲۲، ۲۱].

$$P = \rho \cdot c \cdot \eta \quad (3)$$

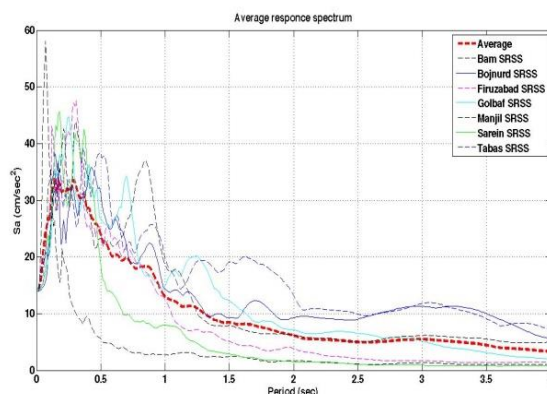
<sup>7</sup>-Eulerian-Lagrangian

<sup>8</sup>-Eulerian-Eulerian

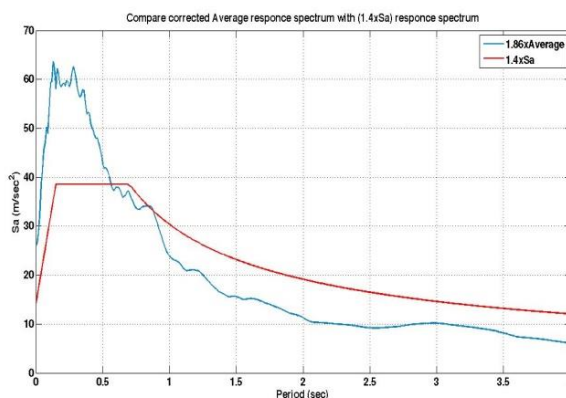
<sup>9</sup>-Mie Grünsien

## ۲-۴- نیروی زلزله

به منظور تحلیل دینامیکی غیرخطی، تمامی مخازن تحت هفت رکورد زلزله بم، بجنورد، فیروزآباد، گلباف، منجیل، سرعین و طبس که بیشترین تطابق را با شرایط ساختگاه داشته‌اند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تحلیل مخازن از اثر زلزله قائم صرف نظر شده و مولفه‌های افقی زلزله‌های مذکور در دو جهت متعامد بطور همزمان با نسبت ۱۰۰٪ به مخازن اثر داده شده‌اند. تمامی زوج شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار حداکثر خود مقیاس شده‌اند و همانطور که در شکل (۴) قابل مشاهده می‌باشد، میانگین طیف‌های زلزله‌های مذکور گرفته شده و در شکل (۵) طیف میانگین اصلاح شده با طیف طرح استاندارد (زمین نوع III) مقایسه شده است [۲۴ و ۲۵].



شکل ۴: نمودار میانگین طیف پاسخ



شکل ۵: نمودار مقایسه طیف پاسخ اصلاح شده با طیف طرح

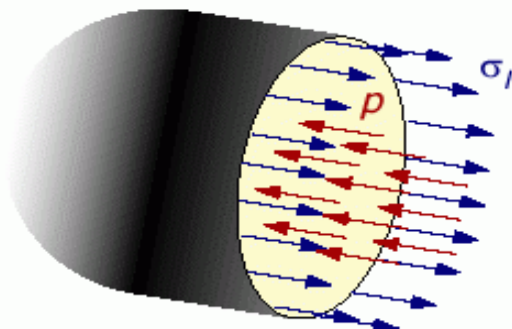
۳- کمانش الاستوپلاستیک<sup>۱۰</sup>:

با توجه به اینکه اعضای فشاری با طول معمولی زمانی کمانه می‌کنند که قسمتی از آنها در ناحیه‌ی پلاستیک قرار داشته باشد. علت ایجاد چنین کمانشی در مخازن آن است که در اثر نیروهای جانبی، قسمتی از کف مخزن بلند شده و در طرف دیگر، تنش فشاری به شدت افزایش می‌یابد. در این حالت، ترکیب دو تنش کششی و فشاری قائم باعث ایجاد این نوع کمانش در پوسته می‌گردد. بدین ترتیب جلوگیری از افزایش بیش از حد تنش کششی و فشاری در پوسته‌ی مخزن، معیاری برای کنترل این نوع کمانش محسوب می‌شود.

<sup>10</sup>-Elasto-plastic Buckling

## ۳-۱- تنش مجاز فشاری قائم جداره

در آئین نامه طراحی سازه‌های صنعت نفت مطابق با روابط (۴) و (۵)، حداکثر تنش فشاری قائم، شکل (۶)، در روش تنش مجاز باید از مقدار تنش مجاز  $F_c$  بر حسب MPa کمتر باشد.



شکل ۶: تنش فشاری ایجاد شده در پوسته مخازن

$$F_c = \frac{6\gamma t_s}{D} \quad \text{برای} \quad \frac{\rho g H_L D^2}{t^2} \geq 440000 \quad (4)$$

$$F_c = \frac{6\gamma t_s}{2.50} + 0.056\sqrt{\rho g H_L} \quad \text{برای} \quad \frac{\rho g H_L D^2}{t^2} < 440000 \quad (5)$$

مقدار  $F_c$  در رابطه (۵) نباید از مقدار  $0.375 F_y$  بیشتر در نظر گرفته شود. در روابط (۴) و (۵)،  $\rho$  وزن مخصوص سیال بر حسب  $kg/m^3$ ،  $D$  و  $H_L$  به ترتیب قطر و ارتفاع سیال بر حسب  $m$ ،  $g$  بر حسب  $m/s^2$ ،  $F_c$  تنش مجاز فشاری قائم جداره MPa،  $t_s$  ضخامت پایین ترین نوار جداره، بر حسب  $mm$ ،  $t$  ضخامت نوار مورد نظر جداره بر حسب  $mm$ ،  $F_y$  حداقل تنش تنظیم مشخص نوار جداره بر حسب MPa می‌باشد. در آیین نامه انستیتو نفت آمریکا این مقادیر بر اساس روابط (۶) و (۷) بدست می‌آید:

$$F_c = \frac{8\gamma t_s}{D} \quad \text{برای} \quad \frac{\rho g H_L D^2}{t^2} \geq 440000 \quad (6)$$

$$F_c = \frac{8\gamma t_s}{2.50} + 7.5\sqrt{\rho g H} \quad \text{برای} \quad \frac{\rho g H_L D^2}{t^2} < 440000 \quad (7)$$

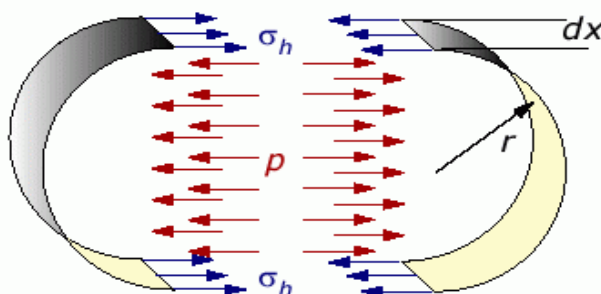
مقدار  $F_c$  در رابطه (۷) نباید از مقدار  $0.5 F_y$  بیشتر در نظر گرفته شود.

در روابط (۶) و (۷)،  $\rho$  وزن مخصوص سیال بر حسب  $kg/m^3$ ،  $D$  قطر و  $H$  ارتفاع مخزن بر حسب  $m$  و  $g$  بر حسب  $m/s^2$ ،  $F_c$  تنش مجاز فشاری قائم جداره بر حسب MPa،  $t_s$  ضخامت پایین ترین نوار جداره بر حسب  $mm$ ،  $t$  ضخامت نوار مورد نظر جداره بر حسب  $mm$  و  $F_y$  حداقل تنش تسلیم نوار جداره بر حسب MPa می‌باشد [۲۴ و ۷].

## ۳-۲- تنش مجاز کششی حلقوی

حداکثر تنش کششی حلقوی، شکل (۷)، حاصل از زلزله نباید از تنش مجاز ورق جداره و همچنین  $a.F_y$  ضرب در ضریب کیفیت اتصال قائم ورق بیشتر باشد.  $F_y$  کمترین مقدار تنش تسلیم اسمی حداقل ورق جداره و مصالح جوش می‌باشد. ضریب کیفیت اتصال در

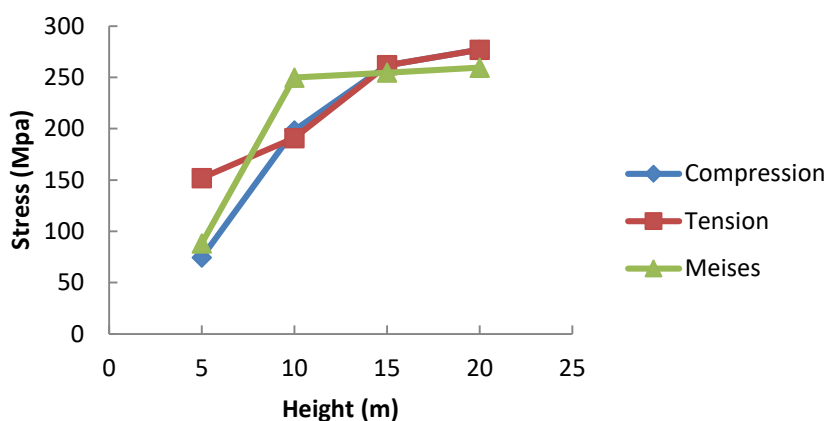
مواردی که آزمایش پرتو نگاری انجام شود برابر ۰/۸۵ و در غیر این صورت برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود. مقدار  $a$  در آئین نامه انستیتو نفت آمریکا برابر با ۰/۹ و در آئین نامه لرزه‌ای سازه‌های صنعت نفت برابر با ۰/۶۷ می‌باشد [۲۴ و ۷].



شکل ۷: تنش کششی ایجاد شده در پوسته مخازن

شکل (۸) بیانگر مقادیر تنش‌های فشاری، کششی و مایزس بوجود آمده نسبت به ارتفاع مخازن می‌باشد و در تمامی نمونه‌ها قطر و ضخامت پوسته مخازن به ترتیب برابر با ۱۰ متر و ۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در نمودار تنش فشاری مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع مقدار این نوع تنش افزایش یافته و احتمال خطر پدیده کماتش الاستوپلاستیک هم بیشتر می‌شود. مقدار تنش کششی، همانند تنش فشاری با افزایش ارتفاع مقدار آن افزایش یافته اما نکته مهمی که وجود دارد این است که، هر دو مقدار تنش با افزایش ارتفاع، بیشتر شده اما شیب نمودار تنش فشاری بیشتر از تنش کششی بوده است.

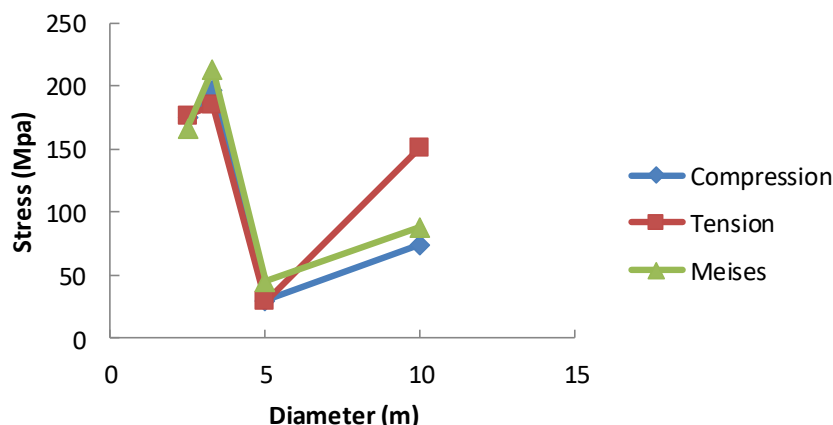
یکی از موارد بسیار مهم و حائز اهمیت، مقادیر تنش مایزس می‌باشد. همانگونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود به دنبال افزایش تنش فشاری و کششی با افزایش ارتفاع میزان تنش مایزس هم افزایش یافته و در نمونه‌هایی با ارتفاع ۱۵ و ۲۰ که مقادیر تنش آنها بیش از مقدار تنش تسلیم فولاد مصرفی شان است بوجود آمدن پدیده کماتش الاستوپلاستیک قطعی می‌باشد و اگر بخواهیم پایدارترین مخزن را در این نمونه‌ها معرفی کنیم، باید به مخزن با ارتفاع ۵ متر، قطر ۱۰ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر اشاره نمود.



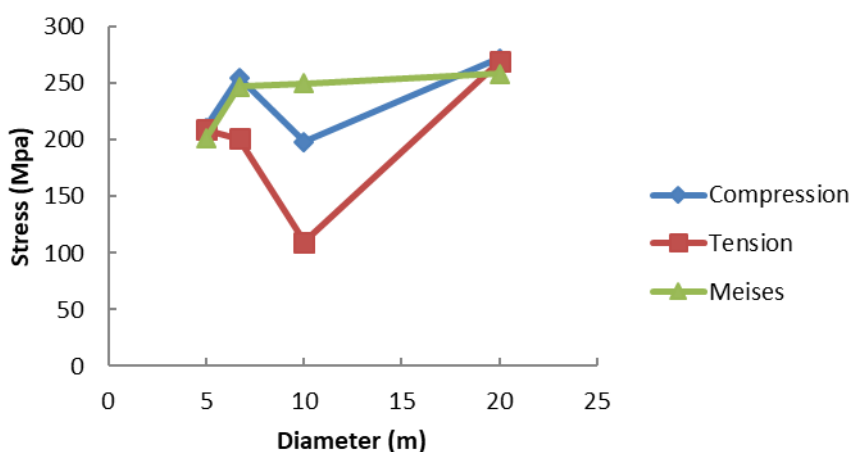
شکل ۸: نمودار تنش - ارتفاع برای مخازن با قطر ۱۰ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر

شکل‌های (۹) و (۱۰) هر دو بیانگر ارتباط تنش‌های موجود با قطر مخازن می‌باشد که در شکل (۹) مقدار ارتفاع و ضخامت پوسته مخازن به ترتیب برابر ۵ متر و ۸ میلی‌متر و در شکل (۱۰) مقدار ارتفاع برابر با ۱۰ متر و ضخامت پوسته برابر با ۸ میلی‌متر می‌باشد. بطور کلی در شکل (۹) می‌توان گفت که با افزایش قطر مقادیر تنش کششی و فشاری روبه کاهش است. همان‌طور که در شکل

(۹) مشاهده می‌شود، با توجه به روند کاهشی دو تنش کششی و فشاری، مقدار تنش مایزس هم روبه کاهش است و در تمامی موارد مقدار تنش مایزس از تنش تسلیم فولاد کمتر است و این بدین معنی می‌باشد که هیچکدام از نمونه‌ها دچار پدیده کمانش الاستوپلاستیک نشده‌اند.



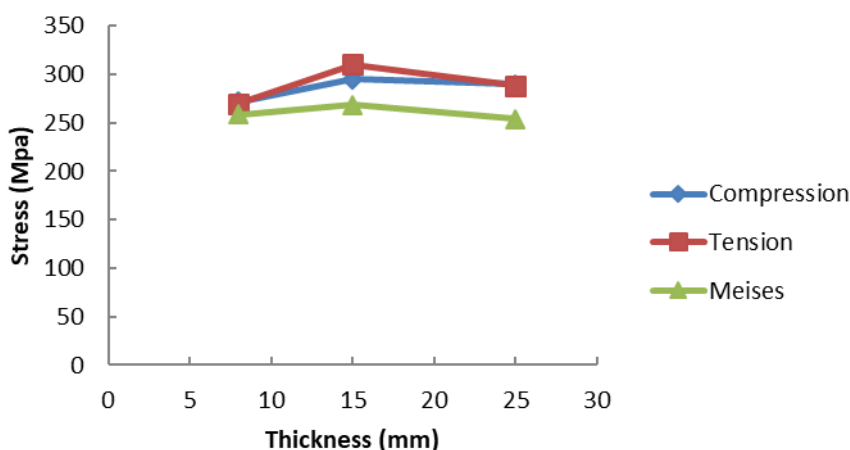
شکل ۹: نمودار تنش - قطر برای مخازن با ارتفاع ۵ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر



شکل ۱۰: نمودار تنش - قطر برای مخازن با ارتفاع ۱۰ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر

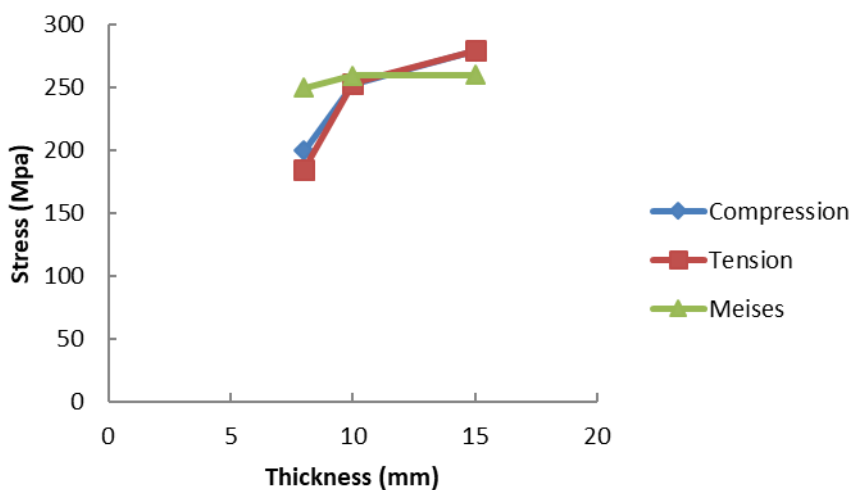
در شکل (۱۰) مقدار تنش کششی با شیب نسبتاً بیشتری نسبت به تنش فشاری افزایش یافته و می‌توان گفت که برخلاف نمونه‌های قبلی با قطر ۵ متر افزایش قطر در این نمونه‌ها با افزایش هر دو تنش کششی و فشاری همراه بوده است. مقادیر تنش مایزس همانند دو نوع تنش دیگر روند افزایشی داشته اما با شیب بسیار ملایم تر و در دو نمونه که مقادیر آنها بیش از تنش تسلیم فولاد بوده رخ دادن پدیده کمانش الاستوپلاستیک قطعی می‌باشد.

شکل (۱۱) بیانگر ارتباط مقادیر تنش با ضخامت پوسته می‌باشد. در شکل (۱۱) نسبت ارتفاع به قطر مخازن،  $0/5$  در نظر گرفته شده است و مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار ضخامت پوسته، مقادیر تنش‌های فشاری، کششی و مایزس تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته و در نهایت گرایش این نوع تنش‌ها روبه کاهش است.



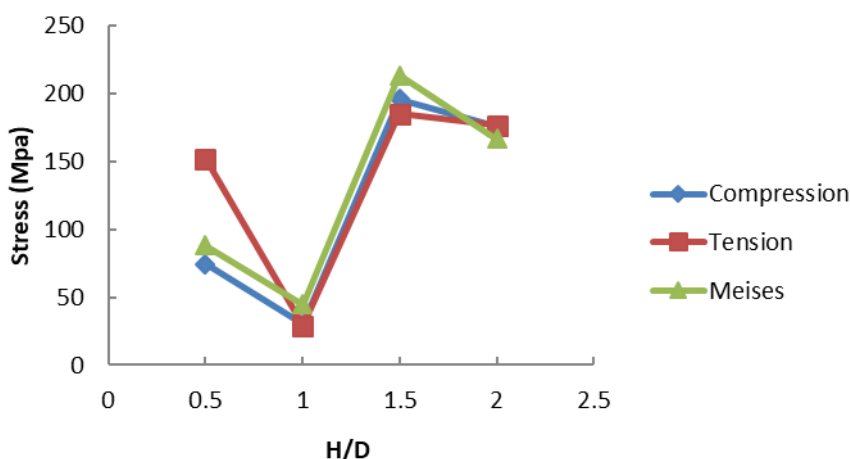
شکل ۱۱: نمودار تنش - ضخامت برای مخازن با نسبت ارتفاع به قطر ۰/۵

در شکل (۱۲) نسبت ارتفاع به قطر مخازن برابر با ۱ در نظر گرفته شده و مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت پوسته مقدار تنش فشاری و کششی هر دو روبه افزایش است. مقدار تنش مایزس هم در ابتدا با شیب بسیار کمی روبه افزایش است و سپس تقریباً بدون تغییر با شیب ثابت به روند خودش ادامه داده است. اما بطور کلی می‌توان گفت که همانند شکل (۱۱)، در شکل (۱۲) افزایش ضخامت پوسته تغییر فابل ملاحظه ایی در مقدار تنش مایزس بوجود نمی‌آورد.



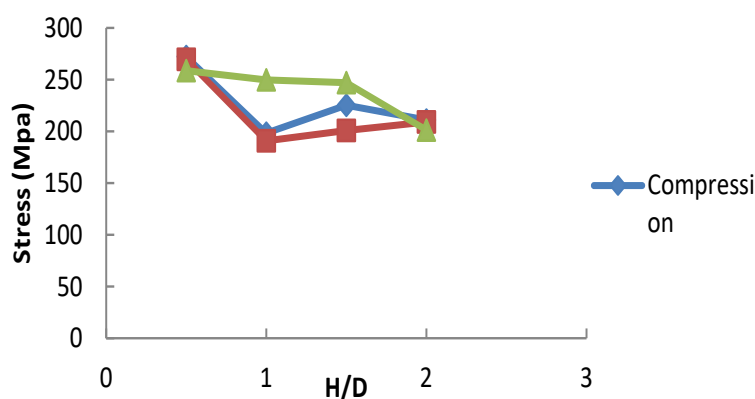
شکل ۱۲: نمودار تنش - ضخامت برای مخازن با نسبت ارتفاع به قطر ۱

اشکال (۱۳) و (۱۴) بیانگر مقدار تنش و نسبت ارتفاع به قطر مخازن با ارتفاع های ۵ و ۱۰ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر می‌باشد. در شکل (۱۳) با افزایش نسبت ارتفاع به قطر مقادیر تنش فشاری و کششی در ابتدا کاهش و سپس افزایش و نهایتاً کاهش پیدا کرده که در تمامی مراحل مقدار تنش‌ها از تنش تسلیم فولاد کمتر بوده که این مسئله بیانگر این است که احتمال ایجاد پدیده کمانش الاستوپلاستیک کم است و با بررسی رفتار تنش مایزس می‌توان با قطعیت تمام به این مسئله اشاره نمود.



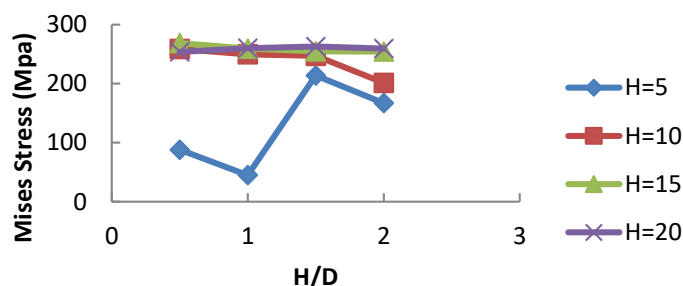
شکل ۱۳: نمودار تنش - نسبت ارتفاع به قطر برای مخازن با ارتفاع ۵ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر

در شکل (۱۴) می‌توان این‌طور بیان کرد که با افزایش نسبت ارتفاع به قطر مقدار تنش فشاری و کششی در ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته و با بررسی رفتار تنش مایزس می‌توان دریافت که با افزایش نسبت ارتفاع به قطر مقدار این نوع تنش روبه کاهش است و در سه نمونه با نسبت ارتفاع به قطر بیش از یک مقدار این نوع تنش کمتر از تنش تسلیم فولاد بوده و با قاطعیت می‌توان گفت که این نمونه‌ها دچار پدیده کمناش الاستوپلاستیک نشده‌اند.



شکل ۱۴: نمودار تنش - نسبت ارتفاع به قطر برای مخازن با ارتفاع ۱۰ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر

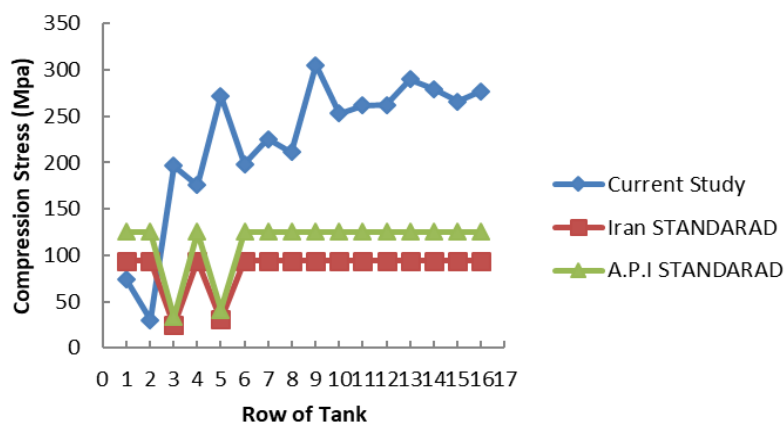
شکل (۱۵) بیانگر مقادیر تنش مایزس نسبت به نسبت ارتفاع به قطر مخازن با ارتفاع‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر می‌باشد. در مخازن با ارتفاع ۵ با افزایش نسبت ارتفاع به قطر رفتار افزایشی برای مقدار تنش مایزس مشاهده شده، برخلاف مخازن با ارتفاع ۵ متر رفتار تنش مایزس در مخازن با ارتفاع ۱۰ متر بصورت نزولی بوده است.



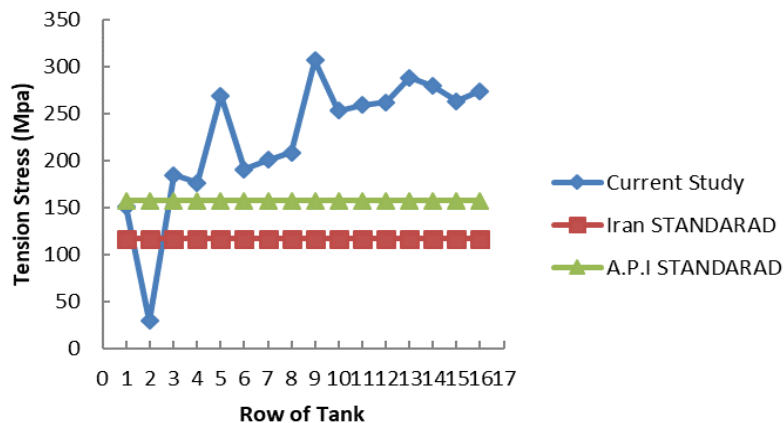
شکل ۱۵: نمودار تنش مایزس - نسبت ارتفاع به قطر

با بررسی مقادیر تنش مذکور برای مخازن با ارتفاع های ۱۵ و ۲۰ متر می توان دریافت که با افزایش نسبت ارتفاع به قطر مقادیر تنش تقریباً ثابت بوده اما مقادیرشان نزدیک به تنش تسلیم فولاد بوده و حتی در بعضی از موارد بیشتر از تنش تسلیم فولاد است که این نتیجه گیری حاکی از این قضیه می باشد که مخازن مذکور در مقابل پدیده کماتش الاستوپلاستیک بسیار آسیب پذیر می باشند.

با توجه به دو شکل (۱۶) و (۱۷) مقادیر تنش های فشاری و کششی حاصل از تحلیل با مقادیر مجاز آیین نامه های مذکور مقایسه گردیده. همانطور که مشاهده شده در بیشتر موارد مقادیر تحلیل از مقدار مجاز آیین نامه ها بیشتر است و بر اساس آیین نامه های ذکر شده این مخازن نمی توانند در مقابل نیروی دینامیکی زلزله مقاوم باشند و دچار آسیب می شوند، از دیگر مواردی که می توان به آن اشاره نمود این است که آیین نامه سازه های صنعت نفت ایران ضریب اطمینان بیشتری را نسبت به آیین نامه انستیتو نفت آمریکا اعمال کرده است.



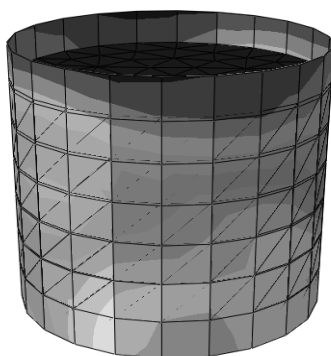
شکل ۱۶: نمودار مقادیر تنش فشاری مخازن



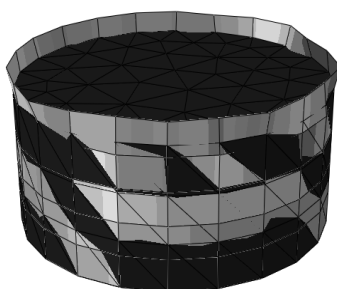


شکل ۱۷: نمودار مقادیر تنش کششی مخازن

اشکال (۱۸) و (۱۹) نشان‌دهنده‌ی میزان تغییر شکل مخازن با قطر و ارتفاع ۵ متر و قطر و ارتفاع به ترتیب ۳۰ و ۱۵ متر تحت اثر تنش مایزس می‌باشد و همانگونه که قابل مشاهده است مخزن در شکل (۱۹) دچار پدیده کمانش الاستوپلاستیک در ناحیه بالایی خود شده است.



شکل ۱۸: تغییر شکل مخزن شماره ۵۵ تحت اثر تنش مایزس



شکل ۱۹: تغییر شکل مخزن شماره ۱۵۳۰ تحت اثر تنش مایزس

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1$$

### ۳- نتیجه‌گیری

- ۱- در مخازن با قطر ۱۰ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر، با افزایش ارتفاع میزان تنش کششی، فشاری و مایزس روبه افزایش بوده که باعث افزایش پدیده کمانش الاستوپلاستیک می‌شود و بیشترین مقدار تنش کششی و فشاری مربوط به مخزن با ارتفاع ۲۰ متر، قطر ۱۰ متر و ضخامت ۸ میلی‌متر می‌باشد.
- ۲- بطور کلی با افزایش قطر در مخازن با ارتفاع ۵ متر و ضخامت پوسته ۸ میلی‌متر مقدار سه تنش کششی، فشاری و مایزس روبه کاهش است و این در حالی است که در مخازن با ارتفاع ۱۰ متر میزان تنش‌های مذکور با افزایش قطر تمایل به بیشتر شدن دارند.
- ۳- در یک نگاه می‌توان گفت، افزایش قطر باعث بیشتر شدن تنش مایزس شده اما با شیب ملایم تری نسبت به افزایش ارتفاع، که هردو باعث افزایش خطر پدیده کمانش الاستوپلاستیک در مخازن شده و لیکن افزایش ارتفاع محتمل تر می‌باشد.
- ۴- با توجه به تحلیل انجام شده، افزایش میزان ضخامت پوسته باعث تغییرات اندکی در مقدار تنش‌های بوجود آمده در پوسته مخازن شده و افزایش یا کاهش این پارامتر تاثیر قابل ملاحظه‌ای در بوجود آمدن پدیده کمانش الاستوپلاستیک ندارد.

- ۵- با افزایش نسبت ارتفاع به قطر در مخازن با قطر ۵ متر، گرایش تنش مایزس روبه بیشتر شدن است و این در حالی است که در مخازن با قطر های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر میزان تنش مایزس کاهش می یابد اما بطور کلی مخازن با ارتفاع ۵ و ۱۰ متر از لحاظ خطر کمانش الاستوپلاستیک نسبت به مخازن با ارتفاع ۱۵ و ۲۰ متر مطمئن تر بوده.
- ۶- به منظور جلوگیری از پدیده کمانش الاستوپلاستیک، بایستی اندازه ارتفاع و قطر مخازن با یکدیگر برابر بوده و یا اینکه نسبت ارتفاع به قطر مخازن کوچکتر مساوی یک باشد.
- ۷- نیرو های بدست آمده از فرمول های آیین نامه جوابگوی مخازن با قطر های کوچک می باشد و این در حالی است که مخازن با قطر های بزرگ نیروهای فراتر از مقادیر آیین نامه ایی را تجربه می کنند و طراحی براساس آیین نامه ایران روشی محافظه کارانه تر نسبت به آیین نامه آمریکا می باشد.
- ۸- طراحی مخازن بر اساس دو آیین نامه انستیتو نفت آمریکا و آیین نامه لرزه ایی سازه های صنعت نفت ایران روش مطمئنی برای کنترل تنش های بوجود آمده در پوسته مخازن و پدیده کمانش نبوده.

## مراجع

- [1] Noori, M. and Mansoori, R. (2011). *Design of Storage Tanks*. Tehran: Andishe sara, 15-30.
- [2] Mendez, J. (2001). Evaluation of Steel Tanks due to Hurricanes. *Engineering structures*, Vol (20), 732-760.
- [3] Timoshenko, S. and Gere, J. (1988). *Theory of Elastic Stability*. New York: McGraw-Hill Book, 620-630.
- [4] Resinger, F. and Griener, R. (1998). Buckling of Wind Loaded Cylindrical Shells. *Buckling of shells*, Vol (1), 305-331.
- [5] Chryssanthopoulos, M. (1998). Probabilistic Buckling Analysis of Plates and Shells. *Thin-walled structures*, Vol (30), 135-157.
- [6] Walker, P. (1998). Buckling of Cylinders with Local Loads Normal to the Shell. *Thin-walled structures*, Vol (30), 160-169.
- [7] API650, (2007). *Welded Steel Tanks for Oil Storage*. Washington D.C.: American petroleum Institute,
- [8] Godoy, L. and Mendez, J. (2001). Buckling of Aboveground Storage Tank with Conical Roof. *Thin-walled structure*, Vol (39), 661-668
- [9] Jamal, M. (2002). A Semi-Analytical Buckling Analysis of Imperfect Cylindrical Shells under Axial Compression, *International journal of solids and structures*, Vol (40), 1311-1327.
- [10] Ahari, M. and Eshghi, S. (2003). Investigate the Seismic Vulnerability of Oil Steel Tanks. In: *4<sup>th</sup> International Earthquake Conference*. Tehran.
- [11] Koller, M. and Malhotra, P. (2004). Seismic Evaluation of Unanchored Cylindrical Tank. In: *13<sup>th</sup> World conference on earthquake engineering*. Vancouver.
- [12] Rotter, J. (2006). Elephant's Foot Buckling in Pressurized Cylindrical Shells, *stahlbau*, Vol. (75), 742-747.
- [13] Hossainzade, N. and Goodarzi, A. (2008). Evaluation of Seismic Failure Mode and Strengthening Methods of Unanchored Cylindrical Steel Liquid Tanks in an Oil Complex, *Journal of Steel and structure*, Vol (3), 26-35.
- [14] Moghaddam, H. and Sangi, S. (2011). Elephant's Foot Buckling of Cylindrical Steel Storage Tanks Subjected to Earthquake Excitation. *6<sup>th</sup> National Congress on Civil Engineering*, Semnan.
- [15] Hosseinzade, N. (2012). Comparison of API650-2008 Provisions FEM Analyses for Seismic Assessment of Existing Steel Oil Storage Tanks, *Loss prevention*, Vol (26), 666-675.

- [16] Kazem, H. (2012). Seismic Vulnerability of Cylindrical Steel Tanks using Static and Dynamic Analysis Fluid Wave Height Control. In: *15<sup>th</sup> world conference on earthquak engineering*. Lisbon.
- [17] Maheri, M. (2012). The Effects of Longterm Uniform Corrosion of the Buckling of Ground Based Steel tanks Under Seismic Loading, *Thin- walled structure*, Vol (62), 1-9.
- [18] Niloufari, A. (2012). Experimental Investigation on the Effect of Geometric Imperfections on the Buckling and Post-buckling Behavior of Steel Tanks under Hydrostatic Pressure. *Thin- walled structure*, Vol (74), 1-10.
- [19] Aghabarati, H. (2013). Evaluation of Nonlinear Buckling under Seismic Effect with Method of Ansys's Finite Element. In: *4<sup>th</sup> National Steel and structure conference*. Tehran.
- [20] Zhao, Y. and Lin, Y. (2013). Buckling of Cylindrical Open-topped Steel Tanks Under Wind Load, *Thin- walled structure*, Vol (79), 83-94.
- [21] Abaqus documentation. (2013). *Example Problems Manual Vol.II*. simulia.
- [22] Streeter, V. (2002). *Fluid Mechanics*. Tehran: Noor pardazan, 4-20.
- [23] Kalani, L and Navaie Nia, B. (2008). Analysis of Concrete Air Tanks with Regard to Water and Structure interaction. In: *4<sup>th</sup> National Civil Engineering Congress*. Tehran: Tehran University.
- [24] Ministry of Petroleum. (2010). *Iranian Seismic Design Code for Oil Industries*. Tehran: Engineering Deputy, 145-173.
- [25] Road, Housing and Urban Development Research Center. (2010). *Iranian code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings 3<sup>th</sup> Edition*. Tehran: Road, Housing and Urban Development Research Center, 37-41.