

## Investigation of the seismic behavior of the on ground quadropole elliptical tanks

Reza Lotfi<sup>1</sup>, Masoud Mahmoudabadi<sup>2\*</sup>, Ehsan Dehghani<sup>2</sup>

1- PhD student of structural engineering, Department of engineering, University of Qom, Qom, Iran

2-Assistant Professor, Department of engineering, University of Qom, Qom, Iran

### ABSTRACT

The seismic behavior of the on ground quadropole elliptical tanks has been investigated in the current study. Basically, the tank is a structure used to store different types of fluid, and it is also widely used in refineries, sewage treatment plants and factories in the form of on ground and elevated tanks made from concrete and steel. Regarding the application of the huge dynamic and hydrodynamic loads on a tank at the time of earthquake and the great importance of the structure's complete function continuity in the critical situations, it is highly important to study its seismic behavior. Among the different analyses, the seismic analysis of the tank is highly important because by investigating the results obtained from this analysis, a useful recognition of the quality of the tank's behavior at the time of a real earthquake can be obtained. The monopole and quadropole on ground elliptical tanks have been dynamically analyzed under Cape and Tabas and Manjil earthquakes simultaneously in the longitudinal and transverse directions in various conditions of prolateness and slenderness of the tank and the maximum impulsive pressure and the maximum wave height parameters of corresponding cases have been compared with each other in the current research. By study of the concluded diagrams, it was revealed that the reduction percent of the maximum impulsive pressure and the maximum wave height parameters due to partitioning of the tank is higher in the more slender tanks. It also was revealed that the reduction percent of the maximum impulsive pressure and the maximum wave height parameters due to partitioning of the tank is lower in the more prolate tanks.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 02 July 2020

**Revise Date:** 19 August 2020

**Accept Date:** 08 October 2020

### Keywords:

Seismic analysis

Elliptical tank

Tank partitioning

Sloshing mitigation

Fluid and Structure Interaction

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.237737.2181>

\*Corresponding author: Masoud Mahmoudabadi

Email address: m.mahmoudabadi@qom.ac.ir

## بررسی رفتار لرزه ای مخازن بیضوی روزمینی چهارقلو

رضا لطفی<sup>۱</sup>، مسعود محمودآبادی<sup>۲\*</sup>، احسان دهقانی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه قم، قم، ایران

۲- استادیار، دانشگاه قم، قم، ایران

### چکیده

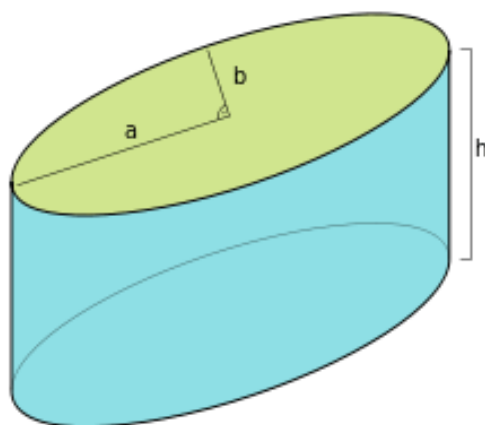
در این تحقیق، رفتار لرزه ای مخازن بیضوی روزمینی چهارقلو مورد مطالعه قرار گرفته است. اساسا مخزن سازه ای است که برای ذخیره انواع مایع به کار می رود و در انواع زمینی و هوایی و نیز بتنی و فولادی کاربرد گسترده ای در تصفیه خانه ها و پالایشگاهها و کارخانه ها دارد. با توجه به اعمال نیروهای دینامیکی و هیدرودینامیکی عظیم به یک مخزن بزرگ در هنگام زلزله و اهمیت زیاد تداوم عملکرد کامل سازه مذکور در شرایط بحرانی، مطالعه رفتار لرزه ای آن از اهمیت بالایی برخوردار است. در میان تحلیلهای گوناگون، تحلیل لرزه ای مخزن دارای اهمیت قابل ملاحظه ای است زیرا با بررسی نتایج حاصل از آن می توان شناخت مفیدی را از کیفیت رفتار مخزن در هنگام وقوع یک زلزله واقعی به دست آورد. در این تحقیق مخازن بیضوی روزمینی یک قلو و چهارقلو در حالتیهای مختلف کشیدگی و لاغری مخزن تحت زلزله های کیپ و طیس و منجیل به طور همزمان در جهات طولی و عرضی تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفته اند و پارامترهای فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج حالتیهای متناظر با هم مقایسه شده اند. با بررسی نمودارهای حاصله مشخص شد که درصد کاهش پارامترهای فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج به واسطه تقسیم مخزن در مخازن لاغرتر بیشتر است. همچنین مشخص گردید که درصد کاهش پارامترهای فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج به واسطه تقسیم مخزن در مخازن کشیده تر کمتر می باشد.

کلمات کلیدی: تحلیل لرزه ای، مخزن بیضوی، تقسیم مخزن، کاهش موج.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	<a href="https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.237737.2181">https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.237737.2181</a>	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.237737.2181	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	۱۳۹۹/۰۷/۱۷	۱۳۹۹/۰۷/۱۷	۱۳۹۹/۰۵/۲۹	۱۳۹۹/۰۴/۱۲
			مسعود محمودآبادی		*نویسنده مسئول:	
			m.mahmoudabadi@qom.ac.ir		پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

مخزن سازه ای است که برای ذخیره انواع مایع به کار می رود و در انواع زمینی و هوایی و نیز بتنی و فولادی کاربرد گسترده ای در تصفیه خانه ها و پالایشگاهها و کارخانه ها دارد. مخازن زمینی شامل انواع مختلفی مانند مربعی و مستطیلی و دایره ای و بیضوی می شوند که نمونه ای از مخزن بیضوی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: مخزن بیضوی.

با توجه به اعمال نیروهای دینامیکی و هیدرو دینامیکی عظیم به یک مخزن بزرگ در هنگام زلزله و اهمیت زیاد تداوم عملکرد کامل سازه مذکور در شرایط بحرانی، مطالعه رفتار لرزه ای آن از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه با گسترش دانش اجزای محدود و تقویت سخت افزاری کامپیوترها و همچنین پیشرفت نرم افزارهای کامپیوتری مختلف مثل ANSYS، امکان احتساب مسایل پیچیده علمی در تحلیل و طراحی مخازن فراهم گردیده است. ANSYS دارای قابلیت مدل سازی سه بعدی انواع سازه های پیچیده به همراه محیط خاک و سیال مجاور آنها و نیز المانهای جامد و سیال سه بعدی متنوعی با قابلیت های رفتاری گوناگون مانند کشسانی و مومسانی و اصطکاک و میرایی و هیبریدی می باشد لذا در این تحقیق برای انجام تحلیل اجزای محدود از این نرم افزار استفاده گردیده است. در این تحقیق مخازن بیضوی روزمینی یک قلو و چهارقلو در حالت های مختلف کشیدگی و لاغری مخزن تحت زلزله های کبک و طبس و منجیل به طور همزمان در جهات طولی و عرضی تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفته اند و پارامترهای فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج حالت های متناظر با هم مقایسه شده اند. با بررسی نمودارهای حاصله مشخص شد که درصد کاهش پارامترهای فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج به واسطه تقسیم مخزن در مخازن لاغرتر بیشتر است. همچنین مشخص گردید که درصد کاهش پارامترهای فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج به واسطه تقسیم مخزن در مخازن کشیده تر کمتر می باشد.

## ۲- تحقیقات گذشته

مسرول و فورتینی در سال ۱۹۸۷ دینامیک موج مایع را در یک مخزن چنبره گونی مطالعه نمودند [۱]. باثور و ایدل در سال ۱۹۸۹ نوسانات مایع را در یک مخزن بیضی گونی تحت مطالعه قرار دادند [۲]. بارنیاک در سال ۱۹۹۷ نوسانات نرمال یک مایع لزج را در یک مخزن استوانه ای مدور افقی که تا قسمتی با مایع پر شده است مورد بررسی قرار داد [۳]. باثور در سال ۱۹۹۹ نوسانات مایع غیرلزج را

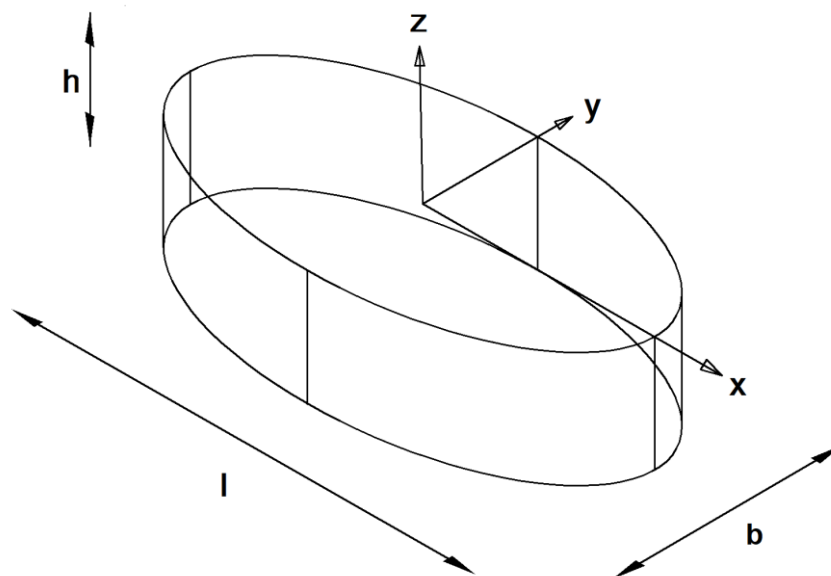
در مخازن استوانه ای بیضوی افقی مطالعه نمود [۴]. بائور و ایدل در سال ۲۰۰۰ نوسانات آزاد و اجباری یک مایع بی اصطکاک را در یک مخزن مستطیلی طویل با موانع سازه ای در سطح آزاد مایع بررسی نمودند [۵]. چن و کیانوش در سال ۲۰۱۰ سیستم تک درجه آزادی تعمیم یافته را برای تحلیل دینامیکی مخازن مستطیلی بتنی ذخیره مایع بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که فرکانس توصیه شده برای استفاده در طراحی دیواره مخزن فرکانسی است که پاسخ دینامیکی ماکزیمم را ایجاد می کند [۶]. شکیب و همکاران در سال ۲۰۱۰ تقاضای لرزه ای مخازن هوایی بتنی مسلح آب را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که اثرات همزمان افزایش جرم و کاهش سختی قاب بندی مخزن به افزایش برش پایه و گشتاور واژگونی و جابه جایی و فشار هیدرودینامیکی منجر می گردند [۷]. آلگرین و همکاران در سال ۲۰۱۱ رفتار مخزن هوایی بتنی آب را در معرض حرکت مصنوعی زمین بررسی نمودند. آنها نشان دادند که رویه ساده شده برای ارزیابی خصوصیات و پاسخ دینامیکی مخزن هوایی با استفاده از دو درجه آزادی کافیتتر است و از نظر اقتصادی ممکن است قابل کاربرد باشد [۸]. گاوریلیوک و همکاران در سال ۲۰۱۱ روش چندمودی را برای تموج خطی مایع در یک مخزن مخروطی ناقص صلب ارایه نمودند. آنها دریافتند که استفاده از روش چندمودی خطی می تواند یک جایگزین موثر برای ابزار عددی و تحلیلی سنتی برای مطالعه نوسانات همبسته باشد [۹]. مسکوریس و همکاران در سال ۲۰۱۱ مخازن ذخیره مایع را تحت تحلیل لرزه ای قرار دادند. آنها با جدول بندی عوامل متفاوت روابط ریاضی پرحمت را برای محاسبه مولفه های بار قابل اجتناب نمودند [۱۰]. گراژیک و موان در سال ۲۰۱۱ پاسخ سازه ای را به تحریک تموج در مخزن غشایی گاز طبیعی مایع بررسی نمودند. آنها دریافتند که روش فرود محافظه کارانه است اما پراکندگی نتایج ممکن است بسیار زیاد باشد [۱۱]. کیانوش و قائم مقامی در سال ۲۰۱۱ اثر محتوای فرکانسی زلزله را بر رفتار لرزه ای مخازن مستطیلی بتنی مایع با استفاده از روش اجزای محدود با احتساب اندرکنش خاک و سازه بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که رفتار دینامیکی سیستم سیال و مخزن و خاک تا حد بالایی به خصوصیات فرکانسی رکورد زلزله حساس می باشد [۱۲]. چاکر و لیواالگو در سال ۲۰۱۲ مدل تحلیلی عملی سریعی را برای تحلیل سیستمهای اندرکنشی خاکریز و مخزن مستطیلی و سیال ارائه دادند. آنها نشان دادند که اندرکنش خاکریز و انعطاف دیواره و اندرکنش سیال به طور قابل ملاحظه ای جابه جاییهای جانبی را تحت تاثیر قرار می دهند [۱۳]. مسلمی و کیانوش در سال ۲۰۱۲ رفتار دینامیکی مخازن زمینی استوانه ای را مورد مطالعه پارامتریک قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که رویه طراحی فعلی در تخمین فشار هیدرودینامیکی بسیار محافظه کارانه می باشد [۱۴]. جبار و پاتل در سال ۲۰۱۲ رفتار لرزه ای مخازن هوایی بتنی مسلح آب را تحت الگوهای قابندی و خصوصیات زلزله متفاوت بررسی نمودند. آنها نشان دادند که پاسخهای سازه به طور فوق العاده ای توسط وجود آب و خصوصیات زلزله تحت تاثیر قرار می گیرند [۱۵]. کاظم و مهرپویا در سال ۲۰۱۲ ارتفاع موج تموج را در مخازن استوانه ای پهن ذخیره نفت با استفاده از روشهای عددی تخمین زدند. آنها با استفاده از رگرسیون آماری رابطه ای را برای ارتفاع موج بر حسب نسبت ارتفاع آب به قطر مخزن به دست آوردند [۱۶]. مادهورار و مادهوری در سال ۲۰۱۳ مقایسه ای میان تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی مخزن هوایی آب انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که هنگامی که ظرفیت افزایش می یابد تفاوت میان پاسخهای استاتیکی و دینامیکی افزایش پیدا می کند [۱۷]. رنجبر و همکاران در سال ۲۰۱۳ رفتار لرزه ای مخازن هوایی بتنی آب را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که پاسخهای سیستم تا حد بالایی توسط پارامترهای سازه ای و مشخصات زلزله از قبیل محتوای فرکانس تحت تاثیر قرار می گیرند [۱۸]. یوسفی و همکاران در سال ۲۰۱۳ مخازن ذخیره را با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه تحت تحلیل استاتیکی و دینامیکی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش ضریب کشسانی و زاویه اصطکاک داخلی و وزن مخصوص خاک و کاهش چسبندگی آن فشار اعمالی بر دیواره مخزن به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد [۱۹]. کلانی و همکاران در سال ۲۰۱۴ مخازن هوایی ذخیره آب را تحت مولفه های دورانی و انتقالی حرکات زمین تحت تحلیل دینامیکی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مولفه های دورانی یک حرکت زمین اثر بیشتری روی جابه جایی افقی و نیروی برشی دارند اما نیروی واکنش قائم را تحت تاثیر قرار نمی دهند [۲۰]. میتال و همکاران در سال ۲۰۱۴ مخزن ذخیره مایع را تحت انفجار با استفاده از رابطه بندی اوپلر لاگرانژ همبسته تحت تحلیل دینامیکی قرار دادند. آنها مشاهده نمودند که تنشها و ارتفاعهای تموج مایع در مخزن با کاهش فاصله مقیاس شده ماده منفجره و افزایش نسبت ارتفاع به شعاع افزایش پیدا می کنند [۲۱]. کتراسوا و همکاران در سال ۲۰۱۴ پاسخ دینامیکی تاریخچه زمانی مخزن استوانه ای را تحت زلزله با در نظر گرفتن اندرکنش سیال و سازه مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که دانستن فشارهای عمل کننده بر روی دیواره ها و کف مخازن و فشارهای درون بدنه آنها و فرایند تموج سطح مایع و ارتفاع ماکزیمم موج آن در طی یک زلزله نقشی اساسی را در طراحی مطمین و پایای مقاوم لرزه ای مخازن بازی می کند [۲۲]. خادیرانایکار

و دونداسی در سال ۲۰۱۴ دوره تناوب بنیادی را در مخزن هوایی آب با استفاده از روشهای عددی تخمین زدند. آنها با استفاده از رگرسیون آماری رابطه ای را برای دوره تناوب بنیادی بر حسب ارتفاع پایه مخزن به دست آوردند [۲۳]. تیواری و هورا در سال ۲۰۱۵ سیستم مخزن اینتزه و سیال و خاک لایه بندی شده را تحت تحلیل اندرکنشی قرار دادند. آنها دریافتند که اثر اندرکنش افزایش متغیری را در تنشهای درون اجزای مختلف مخزن ایجاد می نماید [۲۴]. وانگ و اکسیونگ در سال ۲۰۱۵ مخزن ذخیره آب به طور محوری مقید را تحت بارگذاری انفجار تحلیل نمودند. آنها نشان دادند که روش معادله لاگرانژ از روش تک درجه آزادی بهتر می باشد زیرا آن می تواند پیشگوییهای محافظه کارانه ای را در همه رژیمهای پاسخ فراهم کند [۲۵]. تیواری و هورا در سال ۲۰۱۵ سیستم مخزن هوایی آب اینتزه و سیال و خاک را تحت تحلیل گذرا قرار دادند. آنها دریافتند که فرکانس طبیعی سیستم اندرکنشی کاهش می یابد هنگامی که وزن آب در مخزن افزایش می یابد [۲۶]. لطفی و محمودآبادی در سال ۲۰۱۶ ارتعاش یک مخزن مدفون آب را با احتساب اندرکنشهای آب و سازه و خاک و سازه و سازه بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش ضریب کشسانی و مقاومت فشاری خاک فرکانسهای طبیعی سیستم سازه و خاک و آب افزایش می یابد [۲۷]. سالونک و همکاران در سال ۲۰۱۷ دیواره توپر و توخالی مخزن نفت فولادی دایره ای را برای تنشها در استادپرو تحلیل نمودند. آنها نتیجه گرفتند که چون تنشها در مخزن توخالی کمتر از تنشها در مخزن توپر با ضخامت یکسان هستند مقاطع توپر از مقاطع توخالی موثرتر می باشند [۲۸]. ال انصاری و الدماتی در سال ۲۰۱۷ رفتار مخازن مخروطی مرکب را تحت فشار هیدروستاتیکی بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که جابه جاییهای به دست آمده از روش اجزای محدود مرکب به طور قابل ملاحظه ای از مقادیر متناظر منتجه از روش مقطع معادل بزرگتر می باشند زیرا روش اجزای محدود مرکب ترک خوردگی بتن را به حساب می آورد [۲۹]. یزدانین و قاسمی در سال ۲۰۱۷ فرکانسهای بنیادی مخازن مستطیلی بتنی را با استفاده از روش اجزای محدود و آیین نامه های تحلیلی مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که افزایش ضخامت دیوار هیچ اثری روی فرکانسهای موج ندارد در حالیکه فرکانسهای ضربه ای را افزایش می دهد [۳۰]. یزدانین و قاسمی در سال ۲۰۱۷ فرکانسهای بنیادی مخازن استوانه ای ذخیره به دست آمده از آیین نامه ها و روش اجزای محدود را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که یک افزایش در تراز مایع به ترتیب به یک افزایش و کاهش در فرکانسهای موج و ضربه ای منجر می گردد [۳۱]. موسی و الدماتی در سال ۲۰۱۷ رویه طراحی را برای مخازن مخروطی فولادی ذخیره مایع تحت بارگذاری لرزه ای ارایه کردند. آنها نتیجه گرفتند که برش پایه ضربه ای ماکزیمم هنگامی که مخزن مایلتر می شود کاهش می یابد در حالیکه برش پایه موج برای مقادیر زاویه شیب بالاتر افزایش پیدا می کند [۳۲]. عالم زاده و شکیب در سال ۲۰۱۷ پاسخ مخازن زمینی فولادی را با حرکت گهواره ای آزاد تحت اثر تحریک افقی زلزله مورد مطالعه عددی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که پاسخهای نیرویی مخزن مهارنشده نسبت به مخزن مهارشده کاهش و پاسخهای تغییرمکانی بام و جرم صلب سیال افزایش دارند [۳۳]. سن سیاستیان و همکاران در سال ۲۰۱۷ مخزن هوایی آب را در یک ساختمان قاب بندی شده تحت تحلیل لرزه ای قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مخزن مستطیلی آب قرار گرفته نزدیک موقعیت گوشه در ساختمان قاب بندی شده از گزینه های دیگر بهتر عمل می کند [۳۴]. گورکالو و همکاران در سال ۲۰۱۷ یک برج آب بتنی مسلح شکافدار ابداعی را در مناطق لرزه ای تحت تحلیل غیرخطی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که با یک طراحی مناسب تبدیل یک برج آب توپر به یک برج شکافدار می تواند به طور قابل ملاحظه ای شکلپذیری آن را تحت کنش لرزه ای بدون لطمه قابل ملاحظه به ظرفیت باربری آن افزایش دهد [۳۵]. کتراسوا و همکاران در سال ۲۰۱۷ علل ممکن آسیب به مخازن بتنی را با بررسی عددی اندرکنش سیال و سازه و خاک مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که وقتی مخزن بتنی روی خاکهای نرم قرار داده می شود اندرکنش سیال و سازه و خاک نقش مهمی را در پاسخ لرزه ای مخازن ذخیره خواهد داشت [۳۶]. نیاکو و عربزاده در سال ۲۰۱۸ هزینه ساخت و ساز را در مخازن کروی ذخیره با استفاده از روشهای عددی تخمین زدند. آنها با استفاده از رگرسیون آماری رابطه ای را برای هزینه ساخت و ساز بر حسب ضخامت جداره و قطر مخزن و طول خطوط جوش به دست آوردند [۳۷].

### ۳- بیان مساله

به طور کلی معادله دیفرانسیل حاکم بر پدیده تموج مایع در مخزن صلب تحت شتاب زلزله معادله لاپلاس است که با شرایطی مرزی روی کف مخزن و دیوار آن و سطح آزاد مایع همراه می باشد.

فرض می شود که به یک مخزن بیضوی صلب روزمینی مطابق شکل (۲) شتابهای زلزله در جهات X و Z اعمال گردد.



شکل ۲: مخزن بیضوی صلب روزمینی [۳۸].

معادله لاپلاس حاکم بر تموج مایع درون این مخزن در مختصات استوانه ای به شکل زیر نوشته می شود:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

در رابطه فوق  $\varphi$  تابع پتانسیل جریان مایع بر حسب متر مربع بر ثانیه است.  $r$  و  $\theta$  و  $z$  نیز به ترتیب مختصه شعاعی بر حسب متر و مختصه زاویه ای بر حسب رادیان و مختصه قائم بر حسب متر می باشند.

شرط مرزی جریان در کف مخزن به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad @ \quad z = -h \quad (2)$$

در رابطه فوق  $h$  ارتفاع مایع بر حسب متر است.

شرط مرزی جریان در دیوار مخزن به صورت زیر بیان می گردد:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0 \quad @ \quad r = \frac{1}{2} \sqrt{(l \cos \theta)^2 + (b \sin \theta)^2} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $l$  و  $b$  به ترتیب طول مخزن بر حسب متر و عرض مخزن بر حسب متر می باشند.

شرط مرزی اول جریان در سطح آزاد مایع به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{\partial s}{\partial t} = 0 \quad @ \quad z = s \quad (4)$$

در رابطه فوق  $s$  و  $t$  به ترتیب ارتفاع موج مایع بر حسب متر و زمان بر حسب ثانیه می باشند.

شرط مرزی دوم جریان در سطح آزاد مایع نیز به صورت زیر بیان می گردد:

$$s(g + a_z) - \frac{\partial \varphi}{\partial t} + a_x r \cos \theta = 0 \quad @ \quad z = s \quad (5)$$

در رابطه فوق  $g$  شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه است.  $a_x$  و  $a_z$  نیز به ترتیب شتاب طولی زلزله بر حسب متر بر مجذور ثانیه و شتاب قائم زلزله بر حسب متر بر مجذور ثانیه می باشند [۳۸].

پدیده موج مایع تحت زلزله های قوی فشارهای هیدرو دینامیکی بزرگی را در مخازن متوسط ایجاد می نماید. با توجه به لزوم طراحی اقتصادی مخازن لازم است که با روشهای مناسبی اثرات پدیده موج را بر آنها کاهش داد.

یکی از بهترین روشهای کاهش موج مایع در مخازن استفاده از دیوار داخلی در آنها می باشد. دیوار داخلی در امتداد عمود بر زلزله طول موثر مایع را در امتداد موازی زلزله نصف می کند و از این طریق موج مایع را کاهش می دهد.

کارایی دیوار داخلی در کاهش موج مایع درون مخزن بیضوی به میزان لاغری و کشیدگی آن بستگی دارد. لاغری مخزن بیضوی با نسبت ارتفاع مایع به طول مخزن در امتداد زلزله تعریف می شود. کشیدگی مخزن بیضوی نیز با نسبت طول مخزن در امتداد زلزله به طول مخزن در امتداد عمود بر زلزله تعریف می گردد.

هدف این تحقیق بررسی اثر پارامترهای لاغری و کشیدگی مخزن بیضوی روزمینی بر کارایی دیوار داخلی در کاهش موج مایع درون آن تحت زلزله های اعمالی در جهات طولی و عرضی به طور همزمان می باشد.

شایان ذکر است که در مخازن دوقلو مخزن فقط در راستای عمود بر دیوار داخلی توان کاهش اثرات هیدرو دینامیکی پدیده موج را دارد در حالی که در مخازن چهارقلو با توجه به تجزیه هر زلزله دلخواه به دو مولفه متعامد مخزن در هر راستای دلخواه توان کاهش اثرات هیدرو دینامیکی پدیده موج را دارد.

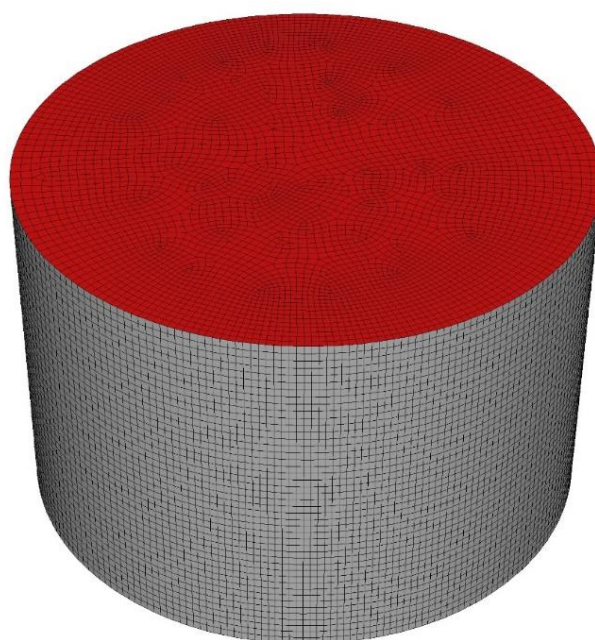
با توجه به اینکه عملاً زلزله در هر جهت دلخواهی ممکن است به مخزن اعمال شود لذا در این تحقیق مخازن بیضوی چهارقلو برای مطالعه و مقایسه با مخازن بیضوی یک قلو در نظر گرفته شده اند.

به طور کلی همگرایی تحلیل‌های اندرکنشی مبتنی بر مخزن منعطف، نسبت به اندازه شتاب زلزله حساسیت بالایی دارد و نیازمند صرف زمان زیادی می باشد. همچنین آیین نامه های طراحی مخازن از روابط مبتنی بر مخزن صلب برای بارگذاری لرزه ای مخازن استفاده می نمایند.

بنابراین با توجه به اینکه تحقیق حاضر به بارگذاری لرزه ای مخازن بیضوی روزمینی چهارقلو می پردازد، در این مطالعه با فرض مخزن صلب، از اثر اندرکنش آب و سازه صرف نظر گردیده است.

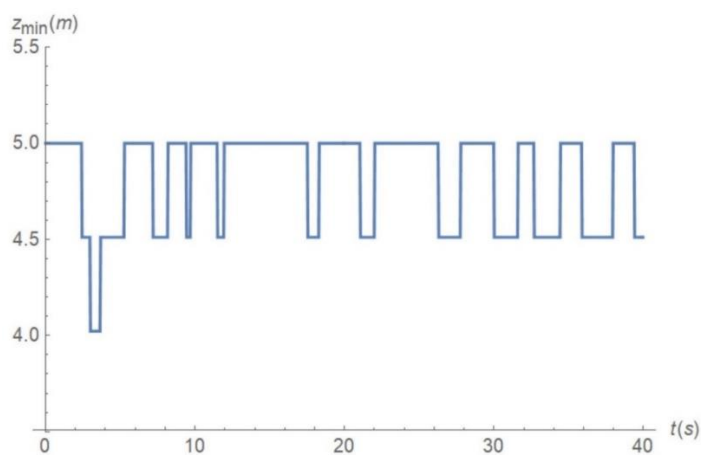
#### ۴- صحت سنجی روش

برای صحت سنجی روش تحقیق یک مخزن روزمینی دایره ای با کف گیردار به قطر ۳۴ متر و ارتفاع آب ۱۱ متر مطابق شکل (۳) تحت مولفه طولی زلزله السنترو مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته است.



شکل ۳: مخزن دایره ای روزمینی.

مسلمی در سال ۲۰۱۱ ارتفاع ماکزیمم موج مخزن مذکور را تحت زلزله فوق الذکر برابر با ۱/۰۵ متر به دست آورده است [۳۹]. در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار FLUENT نمودار تراز مینیمم سطح آزاد آب بر حسب زمان مطابق شکل (۴) محاسبه شده است.



شکل ۴: نمودار تراز مینیمم سطح آزاد آب بر حسب زمان.

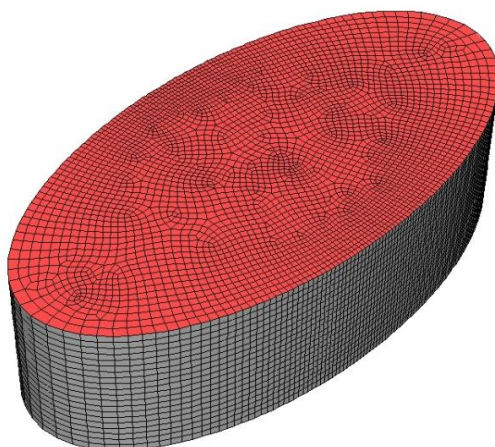
تراز سطح آزاد آب مخزن مذکور در حالت استاتیکی برابر با ۵ متر بوده است لذا در حالت دینامیکی با توجه به شکل (۴) ارتفاع ماکزیمم موج برابر با ۱ متر به دست آمده است که با دقت مناسبی برابر با ۱/۰۵ متر می باشد.



## ۵- روش تحقیق

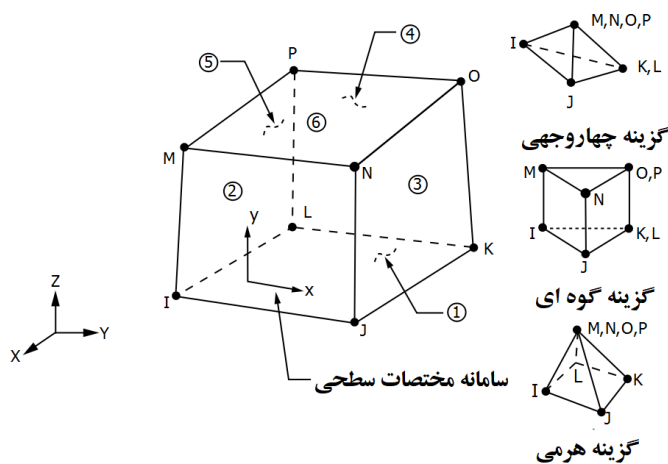
در این تحقیق چگالی و لزجت و سرعت صوتی و ضریب میرایی آب درون مخزن به ترتیب برابر با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۱۱۵ میلی پاسکال ثانیه و ۱۵۰۰ متر بر ثانیه و ۰/۵ درصد فرض گردیده اند.

برای تعیین فشار ماکزیمم صلب و ارتفاع ماکزیمم موج تحت شتاب افقی زلزله از نرم افزار FLUENT استفاده شده است. معمولا در مدل سازی مخازن با روش اجزای محدود مطابق شکل (۵) جهت نیل به دقت کافی اندازه المان برابر ۰/۱ کوچکترین بعد مخزن در نظر گرفته می شود.



شکل ۵: مش بندی مخزن بیضوی.

برای مدل سازی آب در نرم افزار FLUENT، مطابق شکل (۶) از المان FLUID30 استفاده شده است. این المان مکعبی دارای ۸ گره با درجات آزادی جابه جایی و نیز فشار می باشد [۴۰].



شکل ۶: المان FLUID30 [۴۰].

شرایط مرزی کف مخزن به صورت گیردار و شرایط مرزی دیواره های آن به صورت صلب تعریف شده است. مخزن فاقد سقف می باشد لذا سطح فوقانی آن از نوع خروجی فشار تعریف گردیده است. همچنین لغزش آب روی سطح در جهت موازی با سطح دیوارها و کف مخزن با استفاده از گزینه دیوار استاندارد تامین گردیده است.

پس از مدل سازی هندسی و تعریف مصالح و شرایط مرزی و اعمال سرعت نداشت زلزله به مخازن یک قلو و چهارقلو با لاغری ها و کشیدگی های مختلف در نرم افزار فلوئنت تحلیل لرزه ای گذرا به طور همزمان در جهات طولی و عرضی بر روی آنها انجام گردیده است.

مشخصات مخازن تحت مطالعه در جدول (۱) درج گردیده اند.

جدول ۱: مشخصات مخازن تحت مطالعه.

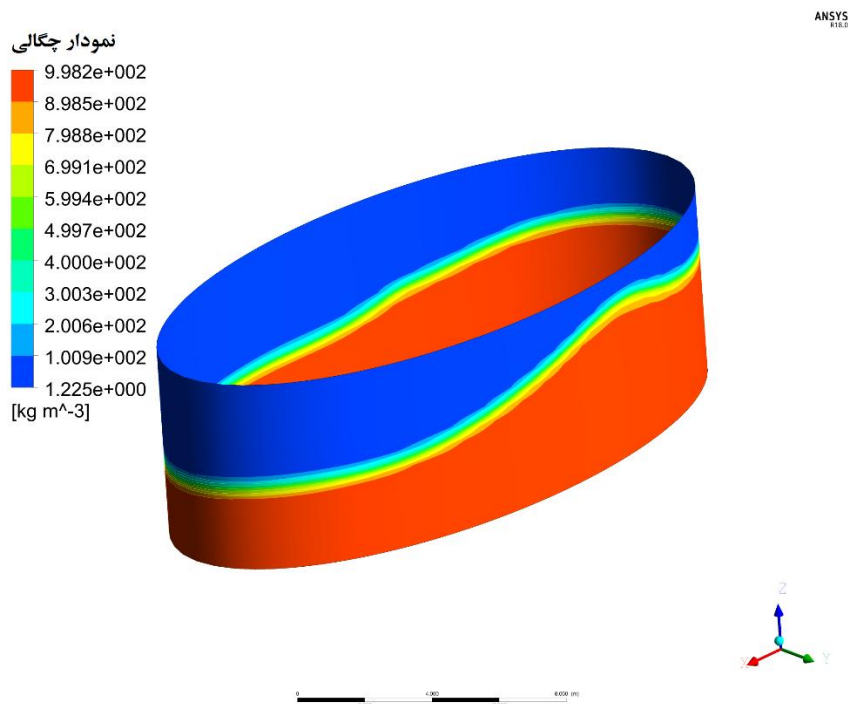
مخزن	نوع	طول (متر)	عرض (متر)	ارتفاع (متر)
A	یک قلو	۳۵	۱۰	۵
B	چهارقلو	۳۵	۱۰	۵
C	یک قلو	۳۰	۱۰	۵
D	چهارقلو	۳۰	۱۰	۵
E	یک قلو	۲۵	۱۰	۵
F	چهارقلو	۲۵	۱۰	۵
G	یک قلو	۲۰	۱۰	۵
H	چهارقلو	۲۰	۱۰	۵
I	یک قلو	۱۵	۱۰	۵
J	چهارقلو	۱۵	۱۰	۵
K	یک قلو	۲۰	۱۰	۴
L	چهارقلو	۲۰	۱۰	۴
M	یک قلو	۲۰	۱۰	۳
N	چهارقلو	۲۰	۱۰	۳
O	یک قلو	۲۰	۱۰	۲
P	چهارقلو	۲۰	۱۰	۲
Q	یک قلو	۲۰	۱۰	۱
R	چهارقلو	۲۰	۱۰	۱

همچنین مشخصات زلزله های اعمالی به مخازن تحت مطالعه در جدول (۲) درج گردیده اند.

جدول ۲: مشخصات زلزله های اعمالی به مخازن تحت مطالعه.

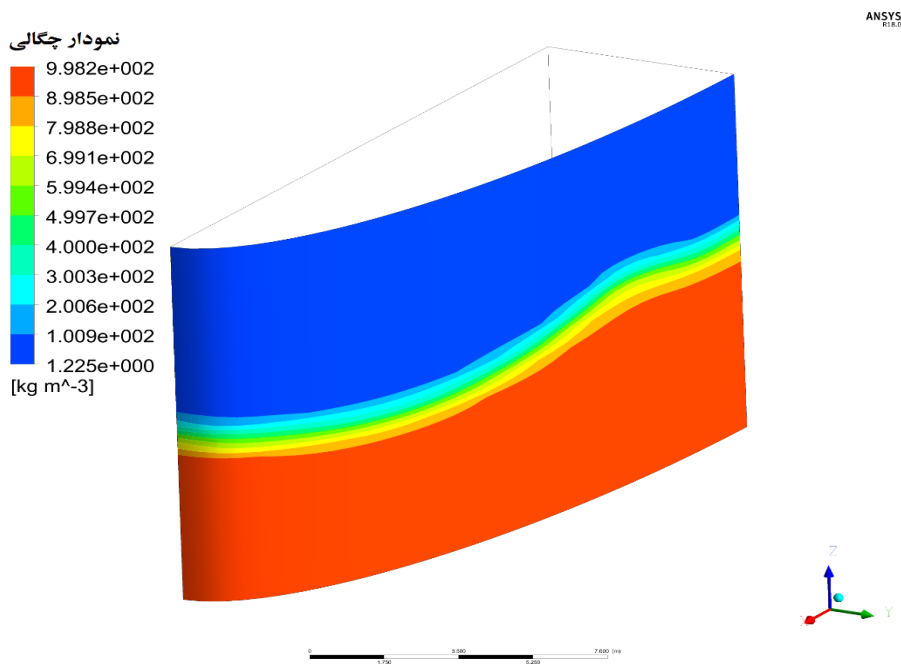
زلزله	شتاب بیشینه (متر بر مجذور ثانیه)	سرعت بیشینه (متر بر ثانیه)	جابه جایی بیشینه (متر)	زمان تداوم (ثانیه)
کیپ طولی	۱۴/۹۷۳	۱/۲۵۱	۰/۳۹۷	۲۹/۹۸
کیپ عرضی	۱۰/۳۹۵	۰/۴۱۳	۰/۱۲۶	۲۹/۹۴
طیس طولی	۸/۳۵۸	۰/۹۷۸	۰/۳۸۷	۳۲/۸۲
طیس عرضی	۸/۵۱۸	۱/۲۱۳	۰/۹۴۵	۳۲/۷۸
منجیل طولی	۵/۱۴۶	۰/۴۲۷	۰/۱۸۳	۵۲/۴۶
منجیل عرضی	۴/۹۶۹	۰/۵۰۸	۰/۲۲۳	۴۵/۹۴

به عنوان نمونه تموج آب درون مخزن M تحت زلزله های همزمان طیس طولی و طیس عرضی در شکل (۷) نمایش داده شده است.



شکل ۷: موج آب درون مخزن M تحت زلزله های همزمان طبس طولی و طبس عرضی.

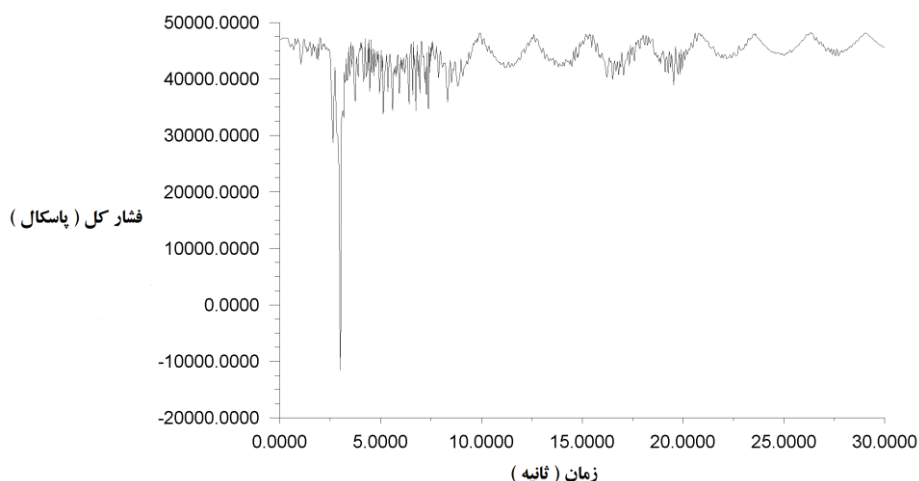
همچنین به عنوان نمونه موج آب درون مخزن B تحت زلزله های همزمان طبس طولی و طبس عرضی در شکل (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۸: موج آب درون مخزن B تحت زلزله های همزمان طبس طولی و طبس عرضی.

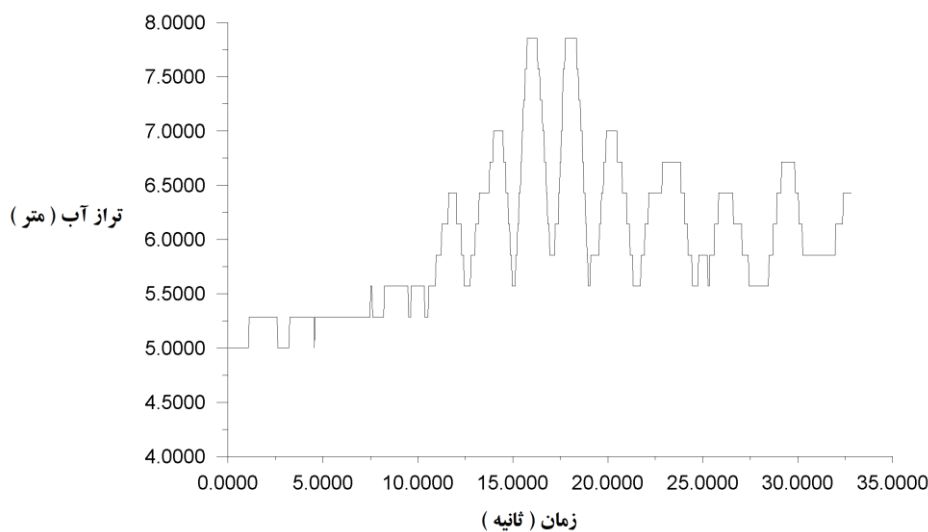
لازم به ذکر است که فشار ماکزیمم صلب آب تحت زلزله های همزمان طولی و عرضی در پایین دیوار در انتهای قطر همراستای زلزله برآیند رخ می دهد. همچنین ارتفاع ماکزیمم موج آب تحت زلزله های همزمان طولی و عرضی در سطح آزاد آب در انتهای قطر همراستای زلزله برآیند اتفاق می افتد.

به عنوان نمونه نمودار تاریخچه زمانی فشار ماکزیمم کل آب تحت اعمال مولفه های طولی و عرضی زلزله کیپ به طور همزمان به مخزن G در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹: نمودار تاریخچه زمانی فشار ماکزیمم کل آب در مخزن G تحت اعمال همزمان مولفه های طولی و عرضی زلزله کیپ.

همچنین به عنوان نمونه نمودار تاریخچه زمانی تراز ماکزیمم سطح آزاد آب تحت اعمال مولفه های طولی و عرضی زلزله طیس به طور همزمان به مخزن M در شکل (۱۰) به نمایش درآمده است.



شکل ۱۰: نمودار تاریخچه زمانی تراز ماکزیمم سطح آزاد آب در مخزن M تحت اعمال همزمان مولفه های طولی و عرضی زلزله طیس.

فشار ماکزیمم صلب مایع بر حسب پاسکال از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P_i = |P_t - \gamma_w h| \quad (6)$$

در رابطه فوق  $P_t$  و  $h$  و  $\gamma_w$  به ترتیب فشار ماکزیمم کل آب بر حسب پاسکال و تراز استاتیکی سطح آزاد آب بر حسب متر و وزن مخصوص آب بر حسب نیوتن بر متر مکعب می باشند.

همچنین ارتفاع ماکزیمم موج مایع بر حسب متر از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$h_w = |z_{max} - z_w| \quad (7)$$

در رابطه فوق  $z_w$  و  $z_{max}$  به ترتیب تراز استاتیکی سطح آزاد آب بر حسب متر و تراز ماکزیمم سطح آزاد آب بر حسب متر می باشند.

درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب بر حسب درصد از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P_p = 100 \left( 1 - \frac{P_q}{P_e} \right) \quad (8)$$

در رابطه فوق  $P_q$  فشار ماکزیمم صلب مخزن بیضوی چهارقلو و  $P_e$  فشار ماکزیمم صلب مخزن بیضوی یک قلو هستند.

همچنین درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج بر حسب درصد از رابطه زیر تعیین می گردد:

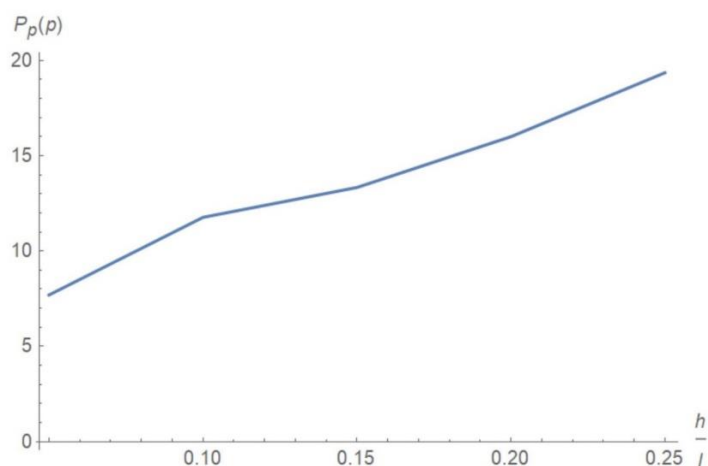
$$P_h = 100 \left( 1 - \frac{h_q}{h_e} \right) \quad (9)$$

در رابطه فوق  $h_q$  ارتفاع ماکزیمم موج مخزن بیضوی چهارقلو و  $h_e$  ارتفاع ماکزیمم موج مخزن بیضوی یک قلو می باشند.

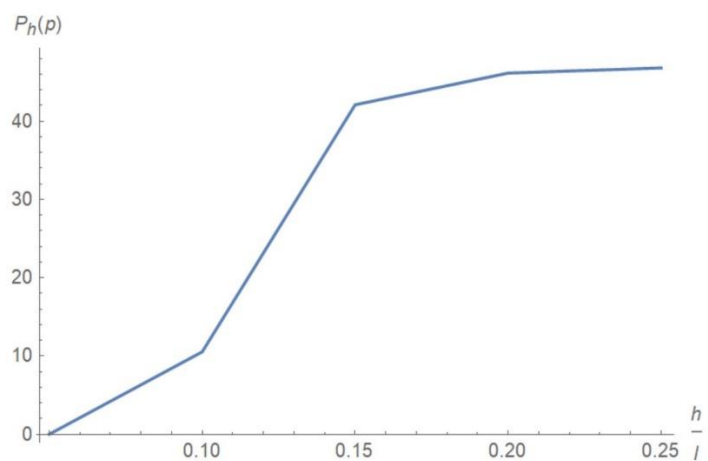
برای بررسی اثر لاغری مخزن بیضوی بر کارایی دیوار داخلی، مخازن بیضوی روزمینی دارای کف گیردار با طول ۲۰ متر و عرض ۱۰ متر با ارتفاعهای آب مختلف تحت زلزله های کیپ و طبس و منجیل به طور همزمان در جهات طولی و عرضی با نرم افزار FLUENT مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته اند.

لازم به ذکر است که در محاسبه فشارهای ماکزیمم صلب مایع زلزله کیپ حاکم شده است در حالی که در محاسبه ارتفاعهای ماکزیمم موج مایع زلزله طبس حاکم گردیده است.

نمودارهای درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب مایع و درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع بر حسب میزان لاغری مخزن بیضوی به ترتیب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نمایش داده شده اند.



شکل ۱۱: نمودار درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب مایع بر حسب میزان لاغری مخزن بیضوی.

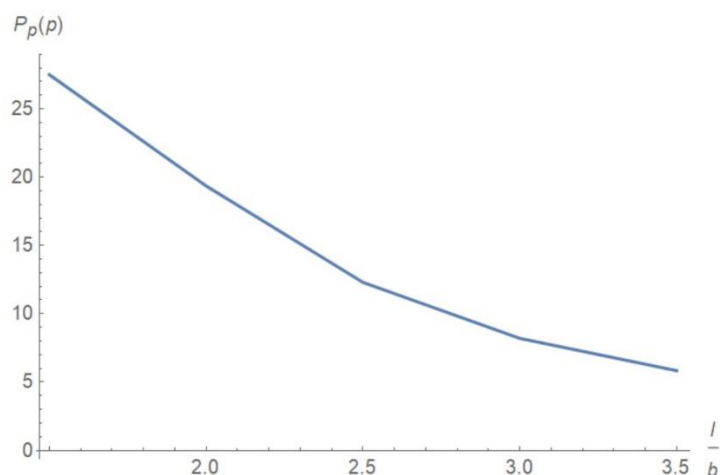


شکل ۱۲: نمودار درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع بر حسب میزان لاغری مخزن بیضوی.

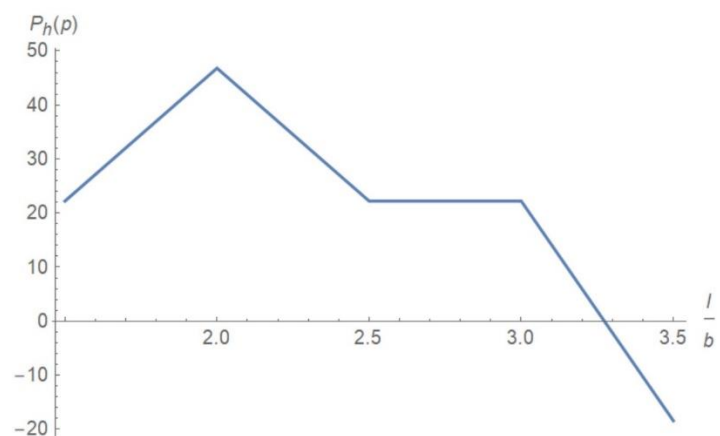
با بررسی شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشخص می‌شود که به طور کلی کارایی دیوارهای داخلی در کاهش توج مایع، در مخازن بیضوی لاغرتر بیشتر می‌باشد.

همچنین برای بررسی اثر کشیدگی مخزن بیضوی بر کارایی دیوار داخلی، مخازن بیضوی روزمینی دارای کف گیردار با عرض ۱۰ متر و ارتفاع آب ۵ متر با طول‌های مختلف تحت زلزله های کیپ و طبس و منجیل به طور همزمان در جهات طولی و عرضی با نرم افزار FLUENT مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته اند.

نمودارهای درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب مایع و درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع بر حسب میزان کشیدگی مخزن بیضوی به ترتیب در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نمایش داده شده اند.



شکل ۱۳: نمودار درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب مایع بر حسب میزان کشیدگی مخزن بیضوی.



شکل ۱۴: نمودار درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع بر حسب میزان کشیدگی مخزن بیضوی.

با بررسی شکل‌های (۱۳) و (۱۴) مشخص می‌شود که به طور کلی کارایی دیوارهای داخلی در کاهش موج مایع، در مخازن بیضوی کشیده تر کمتر می‌باشد.

## ۹- نتیجه گیری

با بررسی نتایج حاصل از این تحقیق مشخص گردید که در مخازن بیضوی روزمینی به طور کلی کارایی دیوارهای داخلی در کاهش موج مایع، در مخازن لاغرتر بیشتر است. همچنین مشخص شد که در مخازن مذکور کارایی دیوارهای داخلی در کاهش موج مایع، در مخازن کشیده تر کمتر می‌باشد.

بر اساس مطالعات انجام شده در این تحقیق به واسطه تقسیم مخزن نتایج کمی زیر به دست آمده اند:

(۱) بیشترین درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب مایع برابر با ۱۹/۳۵۵ درصد در میزان لاغری ۰/۲۵ رخ داد.

(۲) بیشترین درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برابر با ۴۶/۸۰۹ درصد در میزان لاغری ۰/۲۵ رخ داد.

۳) بیشترین درصد کاهش فشار ماکزیمم صلب مایع برابر با ۲۷/۵ درصد در میزان کشیدگی ۱/۵ رخ داد.

۴) بیشترین درصد کاهش ارتفاع ماکزیمم موج مایع برابر با ۴۶/۸۰۹ درصد در میزان کشیدگی ۲ رخ داد.

## مراجع

- [1] Meserole, J., Fortini, A. (1987). Slosh dynamics in a toroidal tank, *J. Spacecraft*, Volume (24), Page (523–531).
- [2] Bauer, H., Eidel, W. (1989). Liquid oscillations in a prolate spheroidal container, *Ing. Archiv.*, Volume (59), Page (371–381).
- [3] Barnyak, O. (1997). Normal oscillations of a viscous liquid partially filling a circular horizontal channel, *Int. Appl. Mech.*, Volume (33), Page (335–343).
- [4] Bauer, H. (1999). Oscillations of non-viscous liquid in various container geometries, *Forschungsbericht LRT-WE*, Volume (), Page ().
- [5] Bauer, H., Eidel, W. (2000). Free and forced oscillations of a frictionless liquid in a long rectangular tank with structural obstructions at the free liquid surface, *Arch. Appl. Mech.*, Volume (70), Page (550–560).
- [6] Chen, J., Kianoush, M. (2010). Generalized sdof system for dynamic analysis of concrete rectangular liquid storage tanks effect of tank parameters on response, *Canadian journal of civil engineering*, Volume (37), Page (262-272).
- [7] Shakib, H., Omidinasab, F., Ahmadi, M. (2010). Seismic demand evaluation of elevated reinforced concrete water tanks, *Journal of civil engineering*, Volume (8), Page (204-220).
- [8] Algreane, G., Osman, S., Karim, O., Kasa, A. (2011). Behaviour of elevated concrete water tank subjected to artificial ground motion, *Journal of geotechnical engineering*, Volume (16), Page (387-406).
- [9] Gavrilyuk, I., Hermann, M., Lukovsky, I., Solodun, O., Timokha, A. (2012). Multimodal method for linear liquid sloshing in a rigid tapered conical tank, *Engineering computations journal*, Volume (29), Page (198-220).
- [10] Meskouris, K., Holtschoppen, B., Butenweg, C., Rosin, J. (2011). Seismic analysis of liquid storage tanks, *International workshop on active tectonics and earthquake geology and archaeology and engineering*, Corinth.
- [11] Graczyk, M., Moan, T. (2011). Structural response to sloshing excitation in membrane lng tank, *Journal of offshore mechanics and arctic engineering*, Volume (133), Page (1-9).
- [12] Kianoush, M., Ghaemmaghami, A. (2011). The effect of earthquake frequency content on the seismic behavior of concrete rectangular liquid tanks using the finite element method incorporating soil structure interaction, *Engineering structures journal*, Volume (33), Page (2186-2200).
- [13] Cakir, T., Livaoglu, R. (2012). Fast practical analytical model for analysis of backfill rectangular tank fluid interaction systems, *Soil dynamics and earthquake engineering journal*, Volume (37), Page (24-37).
- [14] Moslemi, M., Kianoush, M. (2012). Parametric study on dynamic behaviour of cylindrical ground supported tanks, *Engineering structures journal*, Volume (42), Page (214-230).
- [15] Jabar, A., Patel, H. (2012). Seismic behaviour of rc elevated water tank under different staging pattern and earthquake characteristics, *Journal of advanced engineering research and studies*, Volume (1), Page (293-296).
- [16] Kazem, H., Mehrpouya, S. (2012). Estimation of sloshing wave height in broad cylindrical oil storage tanks using numerical methods, *Journal of structural engineering and geotechnics*, Volume (2), Page (55-59).
- [17] Madhurar, G., Madhuri, M. (2013). Comparison between static and dynamic analysis of elevated water tank, *Journal of scientific and engineering research*, Volume (4), Page (2043-2052).
- [18] Ranjbar, M., Bozorgmehrnia, S., Madandoust, R. (2013). Seismic behaviour evaluation of concrete elevated water tanks, *Civil engineering infrastructures journal*, Volume (46), Page (175-188).
- [19] Yosefi, A., Naderi, R., Talebpur, M., Shahabifar, H. (2013). Static and dynamic analysis of storage tanks considering soil structure interaction, *Journal of applied and basic sciences*, Volume (6), Page (515-532).
- [20] Kalani, L., Navayineya, B., Tavakoli, H., Vaseghi, J. (2014). Dynamic analysis of elevated water storage tanks due to ground motions rotational and translational components, *Journal of science and engineering*, Volume (39), Page (4391-4403).
- [21] Mittal, V., Chakraborty, T., Matsagar, V. (2014). Dynamic analysis of liquid storage tank under blast using coupled euler lagrange formulation, *Thin walled structures journal*, Volume (84), Page (91-111).
- [22] Kotrasova, K., Grajciar, I., Kormanikova, E. (2014). Dynamic time history response of cylindrical tank considering fluid structure interaction due to earthquake, *Applied mechanics and materials journal*, Volume (617), Page (66-69).
- [23] Khadiranaikar, R., Dhundasi, A. (2014). Equation for estimation of fundamental time period for elevated water tank, *International journal of civil engineering and technology*, Volume (5), Page (266-275).
- [24] Tiwari, N., Hora, M. (2015). Interaction analysis of intze tank fluid layered soil system, *Journal of engineering and applied sciences*, Volume (10), Page (940-953).



- [25] Wang, Y., Xiong, M. (2015). Analysis of axially restrained water storage tank under blast loading, *Journal of impact engineering*, Volume (86), Page (167-178).
- [26] Tiwari, N., Hora, M. (2015). Transient analysis of elevated intze water tank fluid soil system, *Journal of engineering and applied sciences*, Volume (10), Page (869-882).
- [27] Lotfi, R., Mahmoudabadi, M. (2016). Investigation of vibration of buried water tank considering fluid structure and soil structure interactions, *Fourth international conference of civil and architectural engineering and urban development*, Tehran.
- [28] Salunke, S., Kulkarni, S., Kadlag, V. (2017). Analysis of solid and hollow wall of circular steel petroleum tank for stresses in staad pro, *Journal of engineering and technology*, Volume (4), Page (1716-1719).
- [29] Elansary, A., Eldamatty, A. (2017). Behaviour of composite conical tanks under hydrostatic pressure, *Engineering structures journal*, Volume (134), Page (172-189).
- [30] Yazdani, M., Ghasemi, S. (2017). Study on the fundamental frequencies of rectangular concrete tanks using fem and analytical codes, *Journal of optimization in civil engineering*, Volume (7), Page (617-632).
- [31] Yazdani, M., Ghasemi, S. (2017). Study on fundamental frequencies of cylindrical storage tanks obtained from codes and finite element method, *Civil engineering infrastructures journal*, Volume (50), Page (135-149).
- [32] Musa, A., Eldamatty, A. (2017). Design procedure for liquid storage steel conical tanks under seismic loading, *Journal of civil engineering*, Volume (), Page (1-53).
- [33] Alemzade, H., Shakib, H. (2016). Numerical study of the response of ground steel tanks with free rocking motion under effect of horizontal excitation of earthquake, *Structure and steel journal*, Volume (13), Page (71-79).
- [34] Sensebastian, N., Thomas, A., Kurian, J. (2017). Seismic analysis of elevated water tank in a framed building, *Journal of engineering and technology*, Volume (4), Page (1629-1632).
- [35] Gurkalo, F., Du, Y., Poutos, K., Bescos, C. (2017). The nonlinear analysis of an innovative slit reinforced concrete water tower in seismic regions, *Engineering structures journal*, Volume (134), Page (138-149).
- [36] Kotrasova, K., Hegedusova, I., Harabinova, S., Panulinova, E., Kormanikova, E. (2017). The possible causes of damage to concrete tanks numerical experiment of fluid structure soil interaction, *Key engineering materials journal*, Volume (738), Page (227-237).
- [37] Niaki, T., Arabzadeh, V. (2018). Construction cost estimation of spherical storage tanks artificial neural networks and hybrid regression GA algorithms, *International journal of industrial engineering*, Volume (14), Page (747-756).
- [38] Ibrahim, R. (2005). Liquid sloshing dynamics, *Cambridge University press*, New York, USA.
- [39] Moslemi, M. (2011). Seismic response of ground cylindrical and elevated conical reinforced concrete tanks, *Ryerson University*, Toronto, Canada.
- [40] (2016). ANSYS Documentation, *SAS IP Inc.*, Southpointe, USA.