

# Performance Investigation of a Reinforced Concrete Reservoir Containing Fluid by Considering Fluid-Structure Interaction (FSI) under Blast Loading by LBE Method

*Seyed Mohammad Reza Moheymani Mousavi*

*M.Sc Student, Department of Engineering, Lian Institute of Higher Education, Bushehr, Iran*

**Mohsen Parviz\***

*Assistant Professor, Department of Engineering, Lian Institute of Higher Education, Bushehr, Iran*

*Mohsen\_Parviz1987@yahoo.com*

*Yaser Aryanpour*

*PhD Candidate, Department of Engineering, Lian Institute of Higher Education, Bushehr, Iran*

## **Abstract**

*In light of the importance of reinforced concrete reservoirs, as well as the increasing number of Explosion damages, this study attempts to evaluate the performance of reinforced concrete reservoirs containing a fluid with response to TNT explosion at different distances while considering the Fluid-structure interaction (FSI) in relation to the loading impact from the blast wave. The LBE method in the LS-DYNA software was used for this research. The amounts of TNT used are 20, 40, 60, and 80 Kg at distances of 3, 4.5, 6 and 7.5 meters from the top of a concrete reservoir in simulated buried and non-buried situations. One of the most important results of this research is an increase of 14%, 33%, 35% and 41% of pressure in the blast impact on the reservoir with respectively 1.2, 1.4, 1.6 and 1.8 times of the TNT amount in the buried situation at a distance of 3 meters. Furthermore, the maximum pressure on the reservoir in the buried state at a distance of 3 meters was associated with an increase of 13%, 23%, 30% and 36%, respectively. The simulation results also illustrate the effect of soil as a protective cover in reducing the blast impact on the reservoir.*

**Keywords:** *Fluid, Concrete Reservoir, Reinforced Concrete, FSI, Explosion. LS-DYNA*

# بررسی عملکرد مخزن بتنی مسلح حاوی سیال با لحاظ اندرکنش آب و سازه تحت اثر بارگذاری ناشی از موج انفجار به روش LBE

دریافت مقاله ۲۱-۰۸-۱۳۹۹

پذیرش مقاله ۱۳-۰۴-۱۴۰۰

سید محمدرضا مهیمنی موسوی

کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، موسسه آموزش عالی لیان، بوشهر، ایران

محسن پرویز\*

دکتری تخصصی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، موسسه آموزش عالی لیان، بوشهر، ایران

یاسر آریان پور

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، موسسه آموزش عالی لیان، بوشهر، ایران

## چکیده

با توجه به اهمیت مخازن بتنی مسلح و همچنین با توجه به اینکه خسارت انفجاری روبه رشد می باشد، در این تحقیق به بررسی عملکرد مخزن بتنی مسلح حاوی سیال با تی ان تی و فواصل مختلف با لحاظ اندرکنش آب و سازه تحت اثر بارگذاری ناشی از موج انفجار پرداخته شده است. از مهمترین اهداف این تحقیق می توان به بررسی عملکرد مخزن بتنی مسلح حاوی سیال با تی ان تی و فواصل مختلف اشاره نمود. در این پژوهش از روش LBE برای بارگذاری انفجار استفاده شده است. مدل سازی مخزن با نرم افزار اجزای محدود LS-DYNA انجام شده است. مقادیر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم تی ان تی در فواصل مختلف ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ متری از مخزن بتنی در دو حالت مدفون با غیرمدفون شبیه سازی شده و بیشینه تنش و فشار اعمالی به مخزن بتنی در دو حالت مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. از مهمترین نتایج این تحقیق می توان به افزایش ۱۴٪، ۳۳٪، ۳۵٪ و ۴۱٪ فشار وارده به مخزن به ترتیب با ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶ و ۱/۸ برابر کردن مقدار تی ان تی در حالت غیرمدفون در فاصله ۳ متری اشاره نمود. همچنین حداکثر فشار وارده به مخزن در حالت مدفون در فاصله ۳ متری نیز به ترتیب با افزایش ۱۳٪، ۲۳٪، ۳۰٪ و ۳۶٪ همراه بوده است. در حقیقت نتایج بدست آمده از شبیه سازی بیانگر تاثیر خاک به عنوان پوشش محافظتی در کاهش فشار وارده به مخزن می باشد.

واژه‌های کلیدی: سیال، مخزن بتنی، بتن مسلح، اندرکنش، انفجار، LS-DYNA

در طراحی مخازن علاوه بر سازه مخزن، سیال داخل آن نیز از مهم ترین پارامترهای طراحی می‌باشد. در این مورد نیز می‌بایست اثرات اندرکنش سیال و سازه لحاظ گردد. در طراحی سازه‌ها و بررسی پاسخ‌های آن‌ها به بارهای دینامیکی و در حالتی که سازه با محیط آب در ارتباط است، اثرات متقابل آب و سازه بر یکدیگر می‌بایست در نظر گرفته شود. لحاظ نمودن اثر اندرکنش بستگی به اهمیت سازه دارد و در طراحی پروژه‌های مهم همانند مخازن ذخیره، این اثر بر پاسخ سیستم لحاظ می‌شود. طراحی سازه‌های ایمن در برابر بلاهای طبیعی مانند زلزله و همچنین انفجار از اهمیت بسیاری برخوردار است. از جمله تأسیسات مهم یک کشور میتوان از مخازن حاوی سیال نام برد که بایستی در برابر آسیب‌های گوناگون همانند انفجار ایمن باشند. شکست سازه مخازن پس از انفجار علاوه بر زیان اقتصادی، ممکن است، قطع آب و نشت مواد سمی را به همراه داشته باشد. استفاده از مخازن فلزی در ایران و سایر نقاط جهان، رایج می‌باشد لیکن پیشرفت سازه‌های بتنی ضرورت مطالعه در مورد این سازه‌ها را اجتناب پذیر می‌نماید. مخازن عمدتاً برای ذخیره آب و فرآورده های نفتی استفاده می‌شود. امروزه بررسی عملکرد دینامیکی سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی نظیر انفجار و زلزله به منظور بهینه سازی رفتار آنها متداول گشته است. مخازن بتنی مدفون به عنوان یکی از سازه‌های استراتژیک، نقش مهمی در مقاصد نظامی و اقتصادی کشور دارند، که بایستی مقاوم سازی آنها مورد توجه خاص قرار گیرد. شکست سازه مخازن در نتیجه وقوع انفجار، علاوه بر زیان‌های اقتصادی ممکن است عواقبی همچون قطع آب و یا نشت مواد سمی را به همراه داشته باشد. در این تحقیق از نرم افزار LS-DYNA برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم افزار برای حل مسائل غیرخطی دینامیکی به ویژه برای فشار و تغییر شکل‌های بزرگ توسعه داده شده است. نرم افزار LS-DYNA قابلیت استفاده از محیط‌های اویلری، الگرنژی و دیگر روش‌ها را برای مش بندی هندسه مدل دارا می‌باشد. مخازن جدار نازک به شکل‌های روزمینی و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مخازن تحت فشار داخلی ناشی از مواد ذخیره شده، فشار محوری ناشی از اصطکاک کششی مواد ذخیره شده با دیواره و فشار محوری ناشی از بار سقف قرار دارند [1]. برای مدل‌سازی پاسخ مخازن به بارهای انفجاری می‌توان با استفاده از نتایج آزمایشات و تحقیقات تجربی صورت گرفته، بارهای انفجاری را به شکل نرم افزاری به سازه اعمال نمود و با توجه به روش‌های عددی و اجزاء محدود به مدل‌سازی پاسخ سازه به این بارها پرداخت. تعیین دقیق و منطقی بار انفجاری اساس تحلیل میزان خرابی سازه‌ای و طراحی مقاوم سازی مخازن تحت این بارها می‌باشد [2]. استرینگرها یا همان سخت کننده طولی برای دستیابی به مقاومت خمشی محوری تاثیر بیشتری دارند. بهینه سازی آنها با قرار گرفتنشان در فاصله اندک امکان پذیر می‌باشد. اما رینگ‌ها یا همان سخت کننده‌های عرضی بیشتر برای دستیابی به مقاومت در برابر فشار داخلی تاثیر گذارند [3].

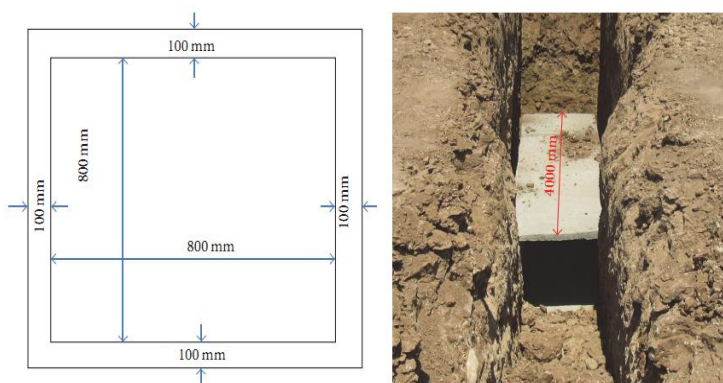
به دلیل خواص ضد محیط زیست مواد ذخیره شده در آنها، حفاظت از آنها امری مهم می‌باشد و از این جهت در رده سازه‌های بسیار حساس می‌باشند. در زلزله ۱۹۹۹ کوهکالی ترکیه و در ۱۹۶۴ نیجاتای ژاپن آسیب دیدگی مخازن بر اثر زلزله موجب خسارات شدیدی به محیط زیست و خسارات اقتصادی مهمی گردیده است. در نیجاتا زلزله موجب انفجار و فوران آتش غیر قابل کنترل در مخازن شد. پنج مخزن ذخیره نفتی پالایشگاه به مدت ۱۵ روز سوخت و به نوبه خود باعث شکسته شدن تعادل زیست محیطی منطقه گردید و ۲۸۶ خانه اطراف تجهیزات پالایشگاه به آتش کشیده شدند. [4] همچنین بررسی دقیقی بر روی حوادث بوجود آمده بوسیله انفجار و یا سایر عامل‌ها در سراسر دنیا انجام دادند. یک نمونه آتش گسترده ایجاد شده توسط انفجار توده بخار گازی بنفیلد در سال ۲۰۰۵ بود که خرابی عمده‌ای به مخازن ذخیره دیزلی و تاسیسات زیر بنایی اطراف وارد نمود. انفجارها موجب شعله‌ور شدن آتش در مخازن شده و نتیجه آن تغییر شکل‌های پلاستیک مخازن بود. نمونه دیگر انفجار در انبارهای یکی از شرکت‌های نفتی هند در جایپور می‌باشد که موجب آتش سوزی ویرانگر در مناطق اطراف شده و خرابی‌های فراوانی را در شعاع سه کیلومتری از مرکز انفجار ایجاد نمود [5]. سازه‌ها نه تنها بایستی در مقابل زلزله مقاوم باشند، بلکه در

انفجارهای عمدی نیز استحکام خود را حفظ کنند. اگر یک سازه مقاوم در برابر زلزله اصول مقاوم سازی انفجاری را نیز رعایت کند، می‌تواند ایستادگی حداقل و عدم فروپاشی را در انفجار نیز داشته باشد [6]. تاریخچه ی طراحی و ساخت مخازن بتن مسلح در سالیان گذشته بسیاری از محققین اقدام به تحلیل و بررسی تاثیرات زلزله بر روی مخازن نموده اند. یاکوبسن در سال ۱۹۴۹ از جمله اولین محققینی است که مطالعات گسترده‌ای بر روی رفتار دینامیکی مخازن آب انجام داده است. پس از وی لیزمر تحقیقات وسیعی در زمینه پدیدآوری مدل دینامیکی ساده ای برای مخازن تحت مسئله اندرکنش خاک برای انواع سازه‌های مستطیلی و استوانه ای انجام داد [7]. بررسی بار دینامیکی از سال ۱۹۶۰ در طراحی پی‌های مستطیلی مطرح شد. پیش از آن نیز پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه ی آنالیز رفتار دینامیکی سازه‌ها انجام گرفته بود. در این آنالیزها پاسخ سازه با در نظر گرفتن درجات آزادی وقتی اثر زلزله مستقیم بر آن اعمال می‌شود، با استفاده از معادلات حرکت سازه بدست می‌آید، اما در حالتی که اطراف سازه خاک بوده است، اثر زلزله به خاک وارد شده و مستقیماً به سازه وارد نمی‌شود. در این حالات روشن شد که رفتار سازه از تغییرات دینامیکی سیستم پی نوین تحت عنوان اندرکنش خاک و سازه در بررسی رفتار، فنداسیون، تاثیر می‌پذیرد که این تاثیر پایه گذار رویکردی دینامیکی سازه‌ها نامیده شد. مشکل اصلی نظریه مرزهای جاذب محدودیت در تحلیل حوزه ی فرکانسی بود. این مسئله سبب گردید لایزمر تحقیقات خود را در زمینه ی مرزهای جاذب ادامه داده و در سال‌های ۱۹۶۹ و ۱۹۷۲ مدل‌های تکمیلی دیگری بر مبنای تئوری مرزهای جاذب ارائه نماید [8]. اکثر تحقیقات در زمینه بررسی اندرکنش خاک و سازه بر پایه اجزای محدود به تحلیل مدل‌های دو بعدی مخازن براساس نرم‌افزارهای مختلف پرداخته است. [9] تیلور نیز مطالعاتش را بر روی دینامیک موجهای انفجار ناشی از مواد منفجره نقش بسیار زیادی در پیشرفت مرکز تحقیقات وزارت دفاع بریتانیا در سالهای بین ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۳ ادامه دادند. مقاله‌های نخست وی در مورد انتشار و استهلاک موج‌های انفجار ناشی از سلاحهای متعارف بود ولی در مطالعات بعدی وی بر روی رفتار موجهای انفجار ناشی از نخستین انفجار اتمی در نیومکزیکو متمرکز شد. پژوهش‌های مختلف نشان داده اند که مصالح شکل پذیر حتی با مقاومت کمتر عملکرد بسیار بهتری در برابر بارهای انفجاری دارند. یکی از مطالعه‌هایی که در این زمینه انجام شده است بررسی عملکرد عرشه پل‌ها با مصالح مختلف در برابر بار ناشی از انفجار وسیله نقلیه می‌باشد [10]. پژوهش دیگر توسط آستانه و همکاران در این زمینه انجام شده است که مربوط به بررسی تاثیر انفجار ناشی از وسیله نقلیه بر روی دیوار پیشنهادی وی که ترکیبی از دیوار برشی فولادی و بتنی می‌باشد [11]. لوچیونی و روجیر یکی دیگر از پژوهشگرانی است که در زمینه انفجار مطالعات بسیاری انجام داده است. در یکی از این پژوهش‌ها، رفتار دال بتنی تحت اثر بار انفجار بررسی شده است [12]. در اینجا رفتار ارتعاشی مخزن بر پایه معادلات دقیق حرکت فلاگ بیان شد. فشار هیدرو دینامیکی مربوط به مخزن مایع با استفاده از روش پتانسیل سرعت بدست آمد. نتایج بدست آمده در مقایسه با محاسبات هارون و هازنر تطابق خوبی داشت. همچنین سازن و همکاران به بررسی کارکرد لرزه‌ای مخازن و تحقیق بر روی پارامترهای موثر در رفتار دینامیکی مخازن پرداختند. [13] در این مطالعه برای تحلیل دینامیکی از یک مدل ساده شده سه جرمی و مدل اجزاء محدود استفاده شد و نتایج تایید کرد که مقاومت محوری و جانبی ستون‌های تکیه‌گاهی دو مخزن تقریباً پر برای مقاومت مورد نیاز در برابر زلزله کافی نبودند. مطابق با عملکرد سازه‌ای مشاهده شده، یک پاسخ الاستیک برای ستون‌های تکیه‌گاهی ۲۵٪ عدم خرابی را برای مخازن پر یکسان پیش بینی می‌کند. در بررسی تابع ایزدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به مقاوم سازی مخازن با سخت کننده‌های شعاعی و عمودی و ورق‌های پوشاننده در برابر بارهای انفجاری پرداخته شد. [14] در این تحقیق از یک مخزن معمولی در ایران با ضخامت پوسته متغیر استفاده شده است. وی برای شبیه سازی تلاطم آب در مخزن از روش اویلری-لاگرانژی در آباکوس استفاده گردیده است. آنها ابتدا رفتار مخزن خالی در برابر بار انفجاری ثابت در فاصله‌ای از سازه را بررسی نموده و سپس عملکرد مخزن در حالت‌های مختلف استفاده از تعداد مختلف سخت کننده‌های طولی و حلقوی را

مطالعه نمودند. بررسی آنها نشان داد که افزایش تعداد سخت کننده طولی و عرضی می‌تواند در کاهش حداکثر میزان تنش فون مایز و حداکثر جابه‌جایی خارج از صفحه آن و کاهش کرنش پلاستیک دیواره مخزن مفید واقع شود. ژانگ و همکارانش به مطالعه عددی پاسخ دینامیکی و تحلیل شکست مخازن ذخیره کروی تحت بار انفجاری پرداخته است. در این بررسی متد TNT معادل، برای شبیه سازی انفجار بخارهای نفت خام بر روی مخزن ۱۰۰۰ متر مکعب قرار گرفته و پاسخ دینامیکی این مخزن، مانند توزیع تنش موثر تغییر مکان‌های سازه‌ای، مد شکست و توزیع انرژی تحت بارهای انفجاری مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که فشار ایجاد شده بر مخزن کروی به تدریج از خط میانه کره به سمت قطب‌های آن کاهش پیدا می‌کند، با این وجود این اثرات موج انفجاری در پایه‌های مخزن آشکار نیست. این بررسی با استفاده از نرم افزار LS-DYNA مورد مطالعه قرار گرفت [15]. مطالعات عددی چن و همکاران در سال ۲۰۰۵ به این نتیجه رسید که استفاده بهینه از سخت کننده‌های حلقوی در نواحی بحرانی اثری مناسب‌تر در جلوگیری از کماتش پافیلی مخازن خواهد داشت. در مطالعه آنها بوسیله محاسبات استاتیکی و دینامیکی ریاضی رفتار مخزن در معرض بارهای محوری و جانبی، با سخت کننده‌های مختلف از لحاظ وزن و میزان بکارگیری مورد تحقیق قرار گرفت. این بررسی نشان می‌دهد اگر از مقدار خیلی زیاد یا مقدار خیلی کم سخت کننده حلقوی استفاده شود، هر دو باعث کاهش مقاومت مخزن خواهد شد [16]. نرم افزار ال اس داینا، نرم افزاری برای شبیه سازی سه بعدی است که بیشتر برای مسایل اندرکنش نوع دوم مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم افزار یکی از حلگرهای اجزا محدود بسیار قدرتمند است که در حال حاضر برای شبیه سازی سه بعدی پدیده های دینامیکی پیچیده از جمله ضربه، انفجار و نفوذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین این نرم افزار علاوه بر تحلیل های دینامیکی قادر به حل مسائل گوناگون در حوزه های مختلف فیزیکی از جمله مکانیک جامدات، انتقال حرارت، دینامیک سیالات و همچنین به صورت مستقل یا همزمان با دیگر پدیده های فیزیکی قادر به حل مسائل تنش حرارتی و برهم کنشی سیالاتی می‌باشد. روش حل مسائل آن نیز بر پایه EXPLICIT TIME INTEGRATION می‌باشد. اهمیت این نرم افزار در شبیه سازی و تحلیل مسائل غیرخطی و گذرای دینامیکی با استفاده از حل المان محدود صریح می‌باشد. این نرم افزار در صنعت هوافضا، نظامی، ساخت سازه‌ها و زیست مهندسی و غیره کاربرد زیادی دارد.

## ۲- شبیه سازی عددی

آزمایشی که برای راستی آزمایی انتخاب شده است توسط سهیلی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با همکاری شرکت جهاد نصر استان کرمانشاه مورد آزمایش قرار گرفته است. در این آزمایش یک مخزن مکعب مستطیل به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر و ابعاد طول و عرض ۱۰۰۰ میلی‌متر در ۴۰۰۰ میلی‌متر و به ارتفاع ۱۰۰۰ میلی‌متر ساخته شده است که مطابق شکل (۱) در خاک مدفون شده است. مقاومت ۲۸ روزه بتن ۱۹ مگاپاسکال، مقاومت کششی ۱/۹ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۲/۳ مگاپاسکال و چگالی ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است [17].



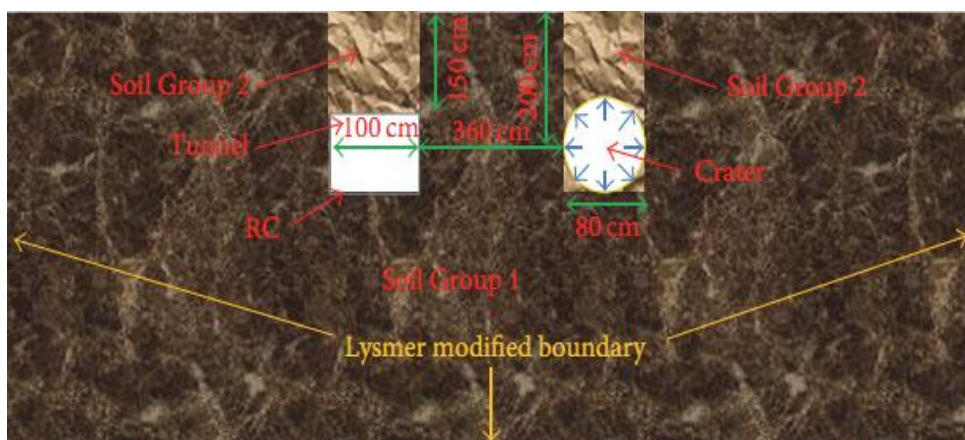
شکل ۱: مخزن آزمایشگاهی مدفون در خاک



مخزن بتنی که در آزمایش بررسی انفجار استفاده شده است یک سازه بتن مسلح است که با میلگردهای ۸ که فاصله بین میلگردها ۱۰۰ میلیمتر با مقاومت تسلیم ۳۴۰ مگاپاسکال مسلح شده در نرم افزار مدل سازی گردیده است. شکل ۲ آرماتوربندی مخزن بتنی در آزمایش را نشان می دهد.



شکل ۲: آرماتوربندی سازه بتنی در مدل آزمایشگاهی



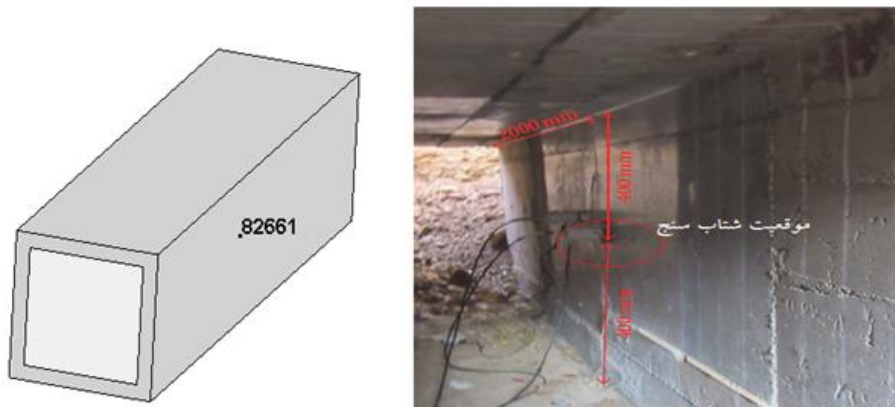
شکل ۳: نحوه جاسازی سازه و ماده منفجره و ابعاد آن در مدل آزمایشگاهی

سازه بتن مسلح به فاصله ۱۵۰۰ میلیمتری از سطح زمین قرار گرفته است که در شکل ۴ به خوبی ارائه شده است.



شکل ۴: محل قرارگیری و فاصله آن از سطح خاک

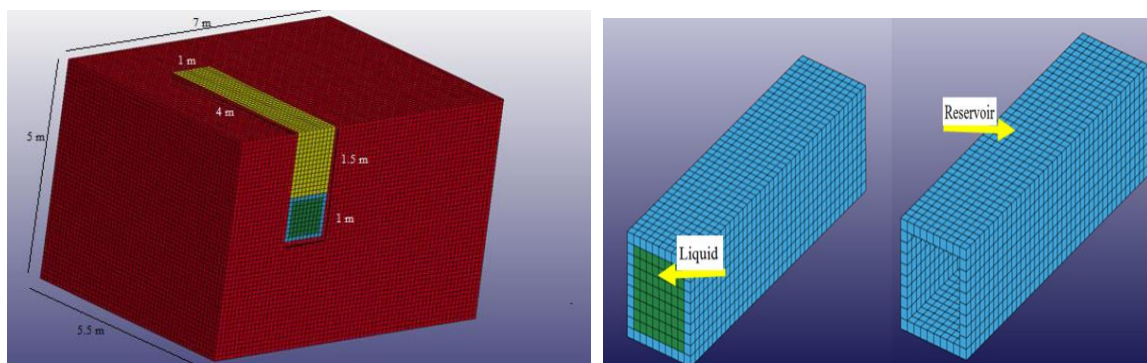
آزمایش در هر مرحله با شتاب سنج استفاده شده است. ماده منفجره در آزمایش از نوع آمونیوم نیترات (ANFO) است که در یک مرحله ۳۸۵ گرم که معادل ۱/۶۹ کیلوگرم TNT استفاده شده است. معیار ارزشیابی در آزمایش اندازه گیری شتاب می باشد. از نکات بسیار مهم این است که مقدار شتابها در هر نقطه از سازه بسیار متفاوت می باشد. به همین منظور در آزمایش انجام شده موقعیت شتاب سنج دقیقا ارائه شده است. از سوی دیگر خود شتاب سنجها دارای حساسیت متفاوتی هستند که می تواند مقدار شتابها را متفاوت از هم ارائه دهد. موقعیت شتاب سنجها در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: موقعیت شتاب سنج در آزمایش و شبیه سازی

## ۲-۱ مدل ماده های شبیه سازی

در این تحقیق یکی از مهم ترین اهدافی که مورد بررسی قرار گرفته است اثر انفجار بر مخزن می باشد که جهت مدل سازی از روش LBE (Load Blast Enhanced) و از نرم افزار ال اس دایناس استفاده شده است. برای شروع مدل سازی باید روش صریح انتخاب شود سپس نوع المان که المان جامد ۸ گره ای (solid-164) است انتخاب می شود. شکل ۶ هندسه مورد نظر را نشان می دهد. برای اینکه اثر اندرکنش سیال داخل مخزن و مخزن در نظر گرفته شود در نرم افزار انسیس از منوی <sup>1</sup>FSI که بیانگر اندرکنش سیال و مخزن می باشد استفاده شده است که بتوان اثر سیال را بر روی مخزن مشاهده نمود و همچنین برای اعمال این اثر در مدل سازی در نرم افزار LS-DYNA از دستور CONSTRAINED\_LAGRANGE\_IN\_SOLID استفاده شده است.



شکل ۶: شماتیک مدل هندسی

<sup>1</sup> Fluid-Structure Interaction

### ۲-۱-۱ مدل ماده منفجره

در این تحقیق برای مدل ماده انفجار از معادله حالت JWL و از مدل ماده مربوطه در نرم افزار ال‌اس‌داینما به نام MAT\_HIGH\_EXPLOSIVE\_BURN استفاده شده است که در آن  $A, B, R_1$  و  $R_2$  ضرایبی هستند که بر حسب نوع مواد منفجره تغییر می‌کند.  $V$  حجم ماده منفجره و  $E$  انرژی مشخصه انفجار است.

جدول ۱: مشخصات تی ان تی [۱۷]

مشخصات مدل ماده	مقدار عددی
چگالی (کیلوگرم/متر مکعب)	1630
سرعت انتشار موج انفجار (متر بر ثانیه)	6930
Pcj (Gpa)	21
A (Gpa)	374
B (Gpa)	3.23
$R_1$	4.15
$R_2$	0.95
$\Omega$	0.35
V	1
$E_0$ (J/kg)	6.00E+09

### ۲-۱-۲ مدل ماده هوا

مدل هوا در تحقیقات مختلف معمولاً با مدل ماده NULL MATERIAL و معادله حالت EOS مدلسازی می‌شود که در آن  $C_0$  تا  $C_5$  ضرائب ثابت معادله حالت می‌باشند و  $E_0$  انرژی مشخصه داخلی بر واحد حجم می‌باشد.

جدول ۲: مشخصات هوا [۱۷]

چگالی (کیلوگرم/متر مکعب)	1.29
$C_0$	0
$C_1$	0
$C_2$	0
$C_3$	0
$C_4$	0.4
$C_5$	0.4
$E_0$ (J/kg)	2.5E+05

### ۲-۱-۳ مدل ماده مخزن بتنی

در این تحقیق برای مدل ماده مخزن بتنی مدل جانسون هلمکوئست برای مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته است. مخزن مورد استفاده در این تحقیق با سطح مقطع مستطیلی  $1000 * 1000 * 4000$  و به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر مدلسازی شده اند.

جدول ۳: مشخصات مخزن بتنی [۱۷]

مشخصات مدل ماده	مقدار عددی
چگالی (کیلوگرم/متر مکعب)	۲۴۰۰
مدول یانگ (مگاپاسکال)	۳۰۰۰۰
مقاومت فشاری	۲۳
مقاومت کششی	۲.۳
کرنش تسلیم	۰.۳۵



#### ۴-۱-۲- مدل ماده خاک

برای مدلسازی خاک از مدل ماده SOIL\_AND\_FOAM که مدلی ساده و بسیار کاربردی است و عملکرد مناسبی در برابر انفجار دارد، استفاده شده است و خصوصیات آن در جدول ۴ آورده شده است. مطابق با جدول ۴،  $a_0$ ،  $a_1$  و  $a_2$  نیز ضرائب ثابت تابع تنش می‌باشند که بسته به نوع مدل ماده خاک متغیر می‌باشند.

جدول ۴: مشخصات خاک مورد استفاده در مدلسازی

مشخصات خاک	مشخصات مدل ماده
1440	چگالی
3.4 E + 6	مدول برشی
15.02 E + 6	مدول بالک
0	$P_C$
0	$a_0$
0	$a_1$
۰/۶	$a_2$

#### ۵-۱-۲- مدل ماده سیال

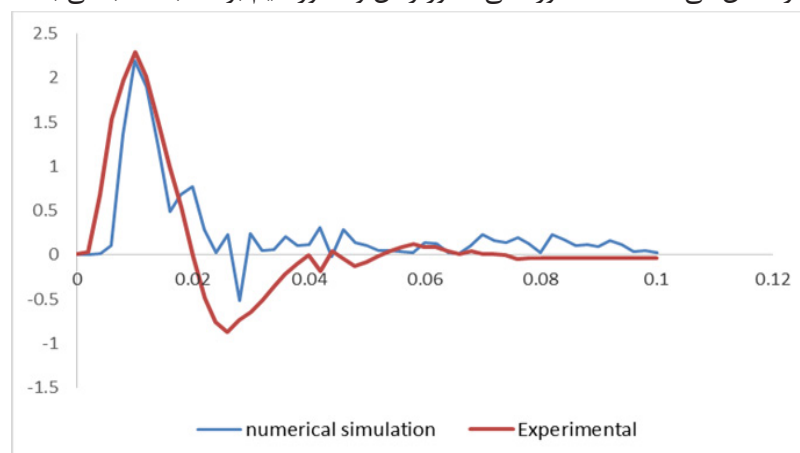
مدل ماده سیال مورد استفاده در این تحقیق به نام MAT NULL در نرم‌افزار ال‌اس‌دایناس تعریف شده است و دارای یک معادله حالت کلی به نام Gruneisen Equational state می‌باشد.  $S_1$  تا  $S_3$  و  $\gamma_0$  و  $\alpha$  نیز ضرائب ثابت معادله حالت می‌باشند.  $E$  مقدار ویژه داخلی و  $C$  سرعت موج انتشار در سیال می‌باشد.

جدول ۵: مشخصات مدل ماده سیال

$\rho(\text{kg/m}^3)$	$C$ (m/s)	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$\gamma_0$
1025	1.48E+03	142	0.33	0.7	0.50

#### ۳- راستی آزمایشی

مدل راستی آزمایشی یک مدل آزمایشگاهی است که توسط سهیلی و همکاران در سال ۲۰۱۶ اجرا شده است. در شکل ۷ نمودار مقایسه بین پیک شتاب در شبیه سازی در حالتی که مقدار تی ان تی ۱/۶۹ کیلوگرم می‌باشد با حالت مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد [۱۷]. محور افقی محور زمان و محور قائم بر حسب شتاب می‌باشد.



شکل ۷: نمودار مقایسه شتاب بر حسب زمان شبیه سازی و مدل آزمایشگاهی

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه نقطه پیک شتاب در انفجار بسیار حائز اهمیت است در این تحقیق سعی بر آن شده است که نقاط پیک شتاب هم از نظر مقداری و هم از نظر زمانی بر روی یکدیگر تطابق مناسبی داشته باشد. پیک شتاب شبیه سازی ۲/۲g در زمان ۰/۰۱ ثانیه بدست آمده و پیک شتاب مقاله صحت سنجی نیز برابر با ۲/۱۶g در ۰/۰۱ ثانیه رخ داده است. میزان اختلاف بدست آمده حدود ۱/۸۸٪ می باشد که این میزان خطا بیانگر این موضوع است که نتایج حاصل از شبیه سازی بسیار نزدیک به نتایج مدل آزمایشگاهی می باشد.

#### ۴- نتایج حاصل از مدلسازی

در این تحقیق مقادیر تی ان تی ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در فواصل مختلف ۳ و ۴.۵، ۶ و ۷/۵ متری مخزن تحت بارگذاری انفجار مورد بررسی قرار می گیرد. اما آنچه در این بخش بسیار مهم است تاثیر مقدار تغییرات تی ان تی در کاهش یا افزایش میزان فشار اعمالی به مخزن خواهد بود. در ادامه به بررسی میزان تاثیر مقدار تی ان تی و فاصله از مخزن را در کاهش یا افزایش مقدار بیشینه فشار اعمالی به مخزن پرداخته شده است.

#### ۴-۱- تاثیر چگالی سیال بر فشار وارده بر مخزن بتنی

در این بخش به منظور بررسی نقش سیال در کاهش آسیب و فشار وارده به مخزن، با شبیه سازی با متغیرهای تاثیرگذار اعم از مقادیر ماده منفجره، موقعیت ماده منفجره از مخزن بحث و بررسی شده است. مقادیر تی ان تی در حالت های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ کیلوگرم مورد بررسی قرار می گیرد. فواصل تی ان تی در فواصل ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ متری از مخزن در نظر گرفته شده است.

جدول ۶: تنش وارده به مخزن در فواصل مختلف برای جرم های مختلف تی ان تی

مقدار تی ان تی (کیلوگرم)	تنش وارده به مخزن در فاصله ۳ متری	تنش وارده به مخزن در فاصله ۴/۵ متری	تنش وارده به مخزن در فاصله ۶ متری	تنش وارده به مخزن در فاصله ۷/۵ متری
۲۰	۲/۵۲	۲/۰۷	۱/۶۴	۱/۲۴
۴۰	۴/۲۱	۳/۵۴	۲/۶۲	۲/۰۲
۶۰	۵/۹۳	۴/۷۴	۳/۵۷	۲/۷۴
۸۰	۶/۹	۶/۰۴	۴/۳۵	۳/۷۲

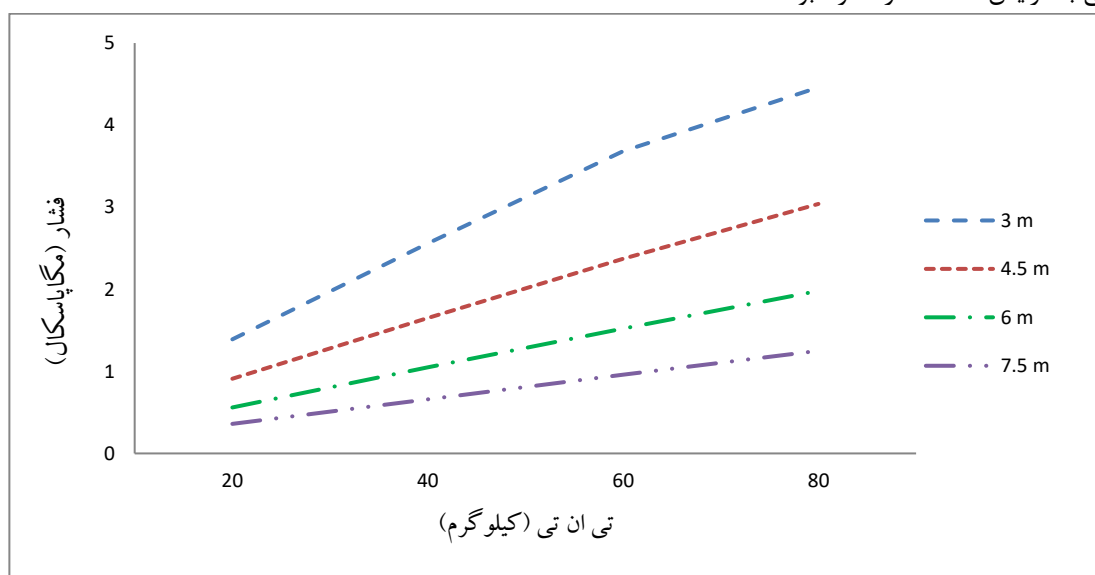
همانطور که در جدول ۶ کاملاً مشخص است نتایج نشان می دهد که با ۱/۵ برابر کردن فاصله برای ۲۰ کیلوگرم تی ان تی تنش وارده به مخزن ۱۸٪ کاهش یافته است و این مقدار با ۲ برابر کردن فاصله تی ان تی با کاهش ۳۵٪ همراه بوده است. همچنین با ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی تنش وارده به مخزن ۵۱٪ کاهش یافته است. این مقدار تنش برای ۴۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی به ترتیب با ۳۸٪، ۵۲٪ و ۵۳٪ کاهش همراه بوده است. برای ۶۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵ برابر کردن فاصله تنش وارده به مخزن ۲۰٪ کاهش یافته است و این مقدار با ۲ برابر کردن فاصله تی ان تی با کاهش ۴۰٪ همراه بوده است. همچنین با ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی تنش وارده به مخزن ۵۴٪ کاهش یافته است. این مقدار تنش برای ۸۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی به ترتیب با ۱۲٪، ۳۷٪ و ۴۶٪ کاهش همراه بوده است. نتایج نشان می دهد که در فاصله ۳ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی تنش وارده به مخزن ۴۰٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۵۸٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۴٪ تنش همراه بوده است. در فاصله ۴/۵ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی تنش وارده به مخزن ۴۲٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۵۶٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۶٪ تنش همراه بوده است. در فاصله ۶ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی تنش وارده به مخزن ۳۷٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۵۴٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۲٪ تنش همراه بوده است. در فاصله ۷/۵ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی تنش وارده به مخزن ۳۸٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۵۵٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۷٪ تنش همراه بوده است.

جدول ۷: فشار وارده به مخزن در فواصل مختلف برای جرم‌های مختلف تی ان تی

مقدار تی ان تی (کیلوگرم)	فشار وارده به مخزن در فاصله ۳ متری	فشار وارده به مخزن در فاصله ۴/۵ متری	فشار وارده به مخزن در فاصله ۶ متری	فشار وارده به مخزن در فاصله ۷/۵ متری
۲۰	۱/۳۹	۰/۹۱	۰/۵۶	۰/۳۶
۴۰	۲/۵۶	۱/۶۵	۱/۰۵	۰/۶۶
۶۰	۳/۶۸	۲/۳۷	۱/۵۲	۰/۹۶
۸۰	۴/۴۶	۳/۰۴	۱/۹۸	۱/۲۵

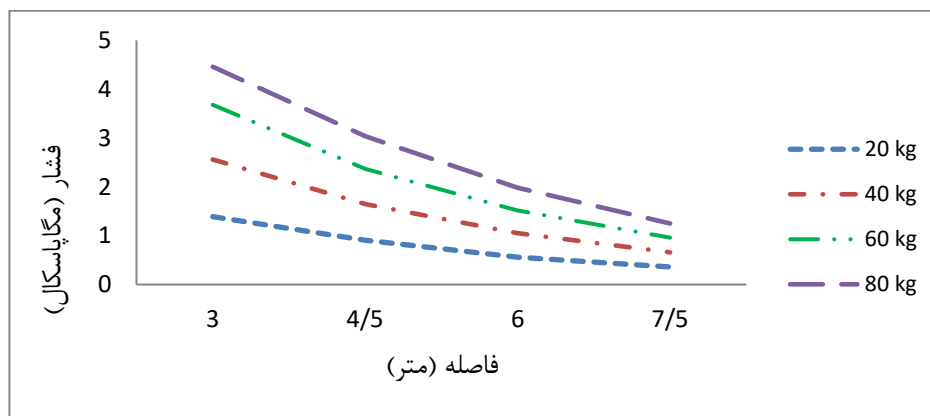
نتایج نشان می‌دهد که با ۱/۵ برابر کردن فاصله برای ۲۰ کیلوگرم تی ان تی فشار وارده به مخزن ۳۵٪ کاهش یافته است و این مقدار با ۲ برابر کردن فاصله تی ان تی با کاهش ۶۰٪ همراه بوده است. همچنین با ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی فشار وارده به مخزن ۷۴٪ کاهش یافته است. این مقدار فشار برای ۴۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی به ترتیب با ۳۵٪، ۵۹٪ و ۷۴٪ کاهش همراه بوده است. برای ۶۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵ برابر کردن فاصله فشار وارده به مخزن ۳۶٪ کاهش یافته است و این مقدار با ۲ برابر کردن فاصله تی ان تی با کاهش ۵۹٪ همراه بوده است. همچنین با ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی فشار وارده به مخزن ۷۴٪ کاهش یافته است. این مقدار فشار برای ۸۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی به ترتیب با ۳۲٪، ۵۶٪ و ۷۲٪ کاهش همراه بوده است.

نتایج نشان می‌دهد که در فاصله ۳ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی فشار وارده به مخزن ۴۶٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۲٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۹٪ فشار همراه بوده است. در فاصله ۴/۵ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی فشار وارده به مخزن ۴۵٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۱٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۷۱٪ فشار همراه بوده است. در فاصله ۶ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی فشار وارده به مخزن ۴۷٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۳٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۷۲٪ فشار همراه بوده است. در فاصله ۷/۵ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی فشار وارده به مخزن ۴۵٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۲٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۷۱٪ فشار همراه بوده است.



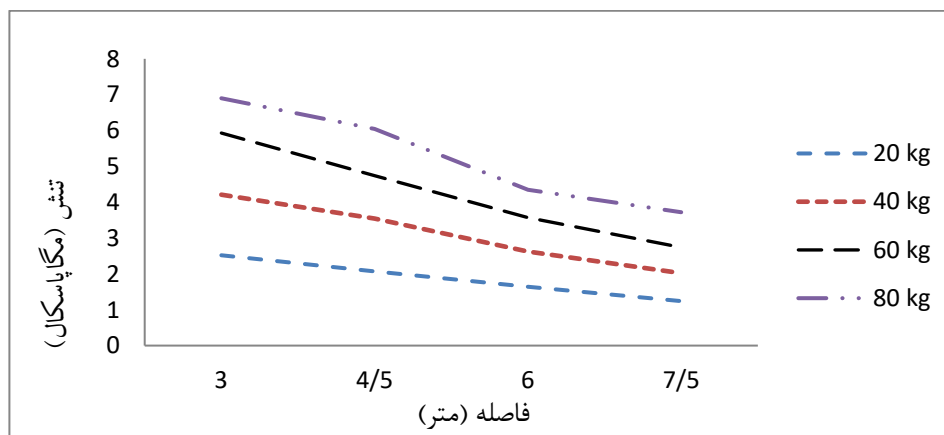
شکل ۹: نمودار فشار بر حسب تی ان تی برای فواصل مختلف

شکل ۹ بیشینه فشار بر حسب تی ان تی برای فواصل مختلف را نشان می‌دهد. مقدار فشار اعمالی به مخزن برای جرم ۲۰ کیلوگرم در فواصل ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ متری به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۵۶ و ۰/۳۶ و مگاپاسکال بدست آمده است. این مقدار برای جرم ۴۰ کیلوگرم به ترتیب ۲/۵۶، ۱/۶۵، ۱/۰۵ و ۰/۶۶ مگاپاسکال بدست آمده است. فشار اعمالی به مخزن برای جرم ۶۰ کیلوگرم در فواصل ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ متری به ترتیب ۳/۶۸، ۲/۳۷، ۱/۵۲ و ۰/۹۶ مگاپاسکال بدست آمده است. این مقدار برای جرم ۸۰ کیلوگرم به ترتیب ۴/۴۶، ۳/۰۴، ۱/۹۸ و ۱/۲۵ مگاپاسکال بدست آمده است.



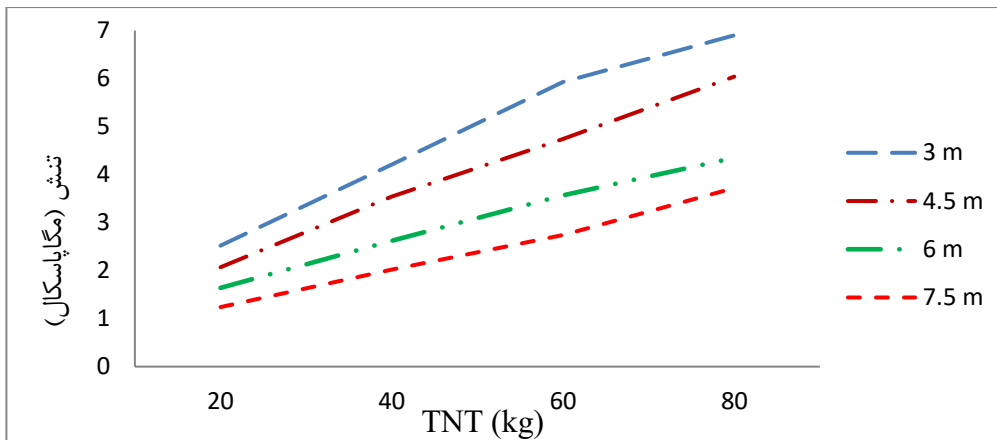
شکل ۱۰: نمودار فشار بر حسب فاصله برای تی ان تی‌های مختلف

شکل ۱۰ بیشینه فشار بر حسب فاصله برای تی ان تی‌های مختلف را نشان می‌دهد. مقدار فشار اعمالی به مخزن برای فاصله ۳ متری برای جرم‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم به ترتیب ۱/۳۹، ۲/۵۶، ۳/۶۸ و ۴/۴۶ مگاپاسکال بدست آمده است. این مقدار برای فاصله ۴/۵ متری به ترتیب ۰/۹۱، ۱/۶۵، ۲/۳۷ و ۳/۰۴ مگاپاسکال بدست آمده است. فشار اعمالی به مخزن برای فاصله ۶ متری برای جرم‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم به ترتیب ۱/۰۵، ۱/۵۲ و ۱/۹۸ مگاپاسکال بدست آمده است. این مقدار برای فاصله ۷/۵ متری به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۶۶، ۰/۹۶ و ۱/۲۵ مگاپاسکال بدست آمده است.



شکل ۱۱: نمودار تنش بر حسب فاصله برای تی ان تی‌های مختلف

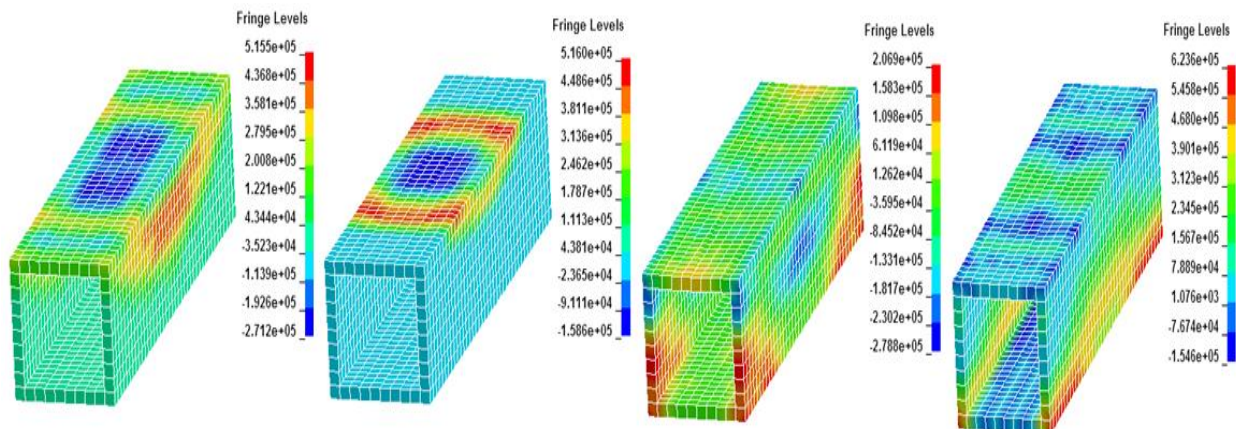
شکل ۱۱ بیشینه تنش بر حسب فاصله برای تی ان تی‌های مختلف را نشان می‌دهد. مقدار تنش اعمالی به مخزن برای فاصله ۳ متری برای جرم‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم به ترتیب ۲/۵۲، ۴/۲۱، ۵/۹۳ و ۶/۹۰ مگاپاسکال بدست آمده است. این مقدار برای فاصله ۴/۵ متری به ترتیب ۲/۰۷، ۳/۵۴، ۴/۷۴ و ۶/۰۴ مگاپاسکال بدست آمده است. تنش اعمالی به مخزن برای فاصله ۶ متری برای جرم‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم به ترتیب ۱/۶۴، ۲/۶۲، ۳/۵۷ و ۴/۳۵ مگاپاسکال بدست آمده است. این مقدار برای فاصله ۷/۵ متری به ترتیب ۱/۲۴، ۲/۰۲، ۲/۷۴ و ۳/۷۲ مگاپاسکال بدست آمده است.



شکل ۱۲: نمودار تنش بر حسب تی ان تی های برای فواصل مختلف

شکل ۱۲ بیشینه تنش بر حسب تی ان تی برای فواصل مختلف را نشان می دهد. مقدار تنش اعمالی به مخزن برای جرم ۲۰ کیلوگرم در فواصل ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ متری به ترتیب ۲/۵۲، ۲/۰۷، ۱/۶۴ و ۱/۲۴ مگا پاسکال بدست آمده است. این مقدار برای جرم ۴۰ کیلوگرم به ترتیب ۴/۲۱، ۳/۵۴، ۲/۶۲ و ۲/۰۲ مگا پاسکال بدست آمده است. تنش اعمالی به مخزن برای جرم ۶۰ کیلوگرم در فواصل ۳، ۴/۵، ۶ و ۷/۵ متری به ترتیب ۵/۹۳، ۴/۷۴، ۳/۵۷ و ۲/۷۴ مگا پاسکال بدست آمده است. این مقدار برای جرم ۸۰ کیلوگرم به ترتیب ۶/۹۰، ۶/۰۴، ۴/۳۵ و ۳/۷۲ مگا پاسکال بدست آمده است. در نتایج فوق منظور از فشار، نیروی وارده از موج انفجار به سطح خارجی مخزن می باشد و منظور از تنش، نیروی وارده از تاثیر سیال به داخل سطح مخزن با توجه به موج انفجار می باشد.

شکل ۱۳ کانتور فشار وارده به مخزن در گام های زمانی مختلف را نشان می دهد. لازم بذکر است که مخازن حاوی سیال می باشد اما بمنظور بهتر دیده شدن اثر موج انتشار ناشی از انفجار بر روی مخازن، بصورت توخالی نمایش داده شده است.



شکل ۱۳: کانتور فشار وارده به مخزن غیرمدفون در گام های زمانی مختلف

## ۵- نتیجه گیری

مخازن از جمله سازه هایی می باشند که به عنوان منابعی جهت ذخیره سازی شریان های حیاتی مانند آب مورد استفاده قرار می گیرند. استفاده از مخازن جهت ذخیره سازی آب، نفت و غیره در مکان هایی که امکان لوله کشی وجود ندارد از اهمیت به سزایی برخوردار است. که این موضوع باعث شده است تحقیقات مختلفی در رابطه با



مقاومت و رفتار این سازه‌ها در برابر بارهای انفجاری صورت پذیرد. در این تحقیق به بررسی عملکرد مخزن بتنی مسلح حاوی سیال با تی ان تی و فواصل مختلف با لحاظ اندرکنش تحت اثر بارگذاری ناشی از موج انفجار پرداخته شده است. مقادیر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم تی ان تی در فواصل مختلف ۳، ۴/۵، ۶، ۷/۵ متری از مخزن بتنی در دو حالت مدفون با غیرمدفون حاوی سیال در محیط نرم افزار شبیه سازی شده و بیشینه فشار و تنش اعمالی برحسب زمان به مخزن بتنی در دو حالت مذکور مورد بررسی قرار گرفت که مهمترین نتایج اخذ شده در این تحقیق به شرح زیر می باشد:

- با ۱/۲ برابر کردن مقدار تی ان تی فشار حداکثر وارده به مخزن در حالت غیرمدفون در فاصله ۳ متری ۱۴٪ افزایش یافته است. با ۱/۴ برابر کردن جرم تی ان تی این مقدار حدود ۳۳٪ با افزایش همراه بوده است. با ۱/۶ برابر کردن جرم تی ان تی فشار ماکزیمم وارده به مخزن تا حدود ۳۵٪ افزایش و با ۱/۸ برابر کردن جرم تی ان تی این مقدار تا ۴۱٪ با افزایش همراه بوده است.

- با ۱/۲ برابر کردن مقدار تی ان تی فشار حداکثر وارده به مخزن در حالت مدفون در فاصله ۴/۵ متری ۱۱٪ افزایش یافته است. با ۱/۴ برابر کردن جرم تی ان تی این مقدار حدود ۲۳٪ با افزایش همراه بوده است. با ۱/۶ برابر کردن جرم تی ان تی فشار ماکزیمم وارده به مخزن تا حدود ۳۰٪ افزایش و با ۱/۸ برابر کردن جرم تی ان تی این مقدار تا ۳۶٪ با افزایش همراه بوده است.

نتایج نشان می دهد که با ۱/۵ برابر کردن فاصله برای ۲۰ کیلوگرم تی ان تی تنش وارده به مخزن ۱۸٪ کاهش یافته است و این مقدار با ۲ برابر کردن فاصله تی ان تی با کاهش ۳۵٪ همراه بوده است. همچنین با ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی تنش وارده به مخزن ۵۱٪ کاهش یافته است. این مقدار تنش برای ۴۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی به ترتیب با ۱۶٪، ۳۸٪ و ۵۲٪ کاهش همراه بوده است.

- با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۶٪ تنش همراه بوده است. در فاصله ۶ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی تنش وارده به مخزن ۳۷٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۵۴٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۲٪ تنش همراه بوده است. در فاصله ۷/۵ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی تنش وارده به مخزن ۳۸٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۵۵٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۷٪ تنش همراه بوده است.

- با ۱/۵ برابر کردن فاصله برای ۲۰ کیلوگرم تی ان تی فشار وارده به مخزن ۳۵٪ کاهش یافته است و این مقدار با ۲ برابر کردن فاصله تی ان تی با کاهش ۶۰٪ همراه بوده است. همچنین با ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی فشار وارده به مخزن ۷۴٪ کاهش یافته است. این مقدار فشار برای ۴۰ کیلوگرم تی ان تی با ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر کردن فاصله تی ان تی به ترتیب با ۳۵٪، ۵۹٪ و ۷۴٪ کاهش همراه بوده است.

- همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۷۱٪ فشار همراه بوده است. در فاصله ۶ متری با ۲ برابر کردن تی ان تی فشار وارده به مخزن ۴۷٪ افزایش یافته است و این مقدار با ۳ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۶۳٪ همراه بوده است. همچنین با ۴ برابر کردن تی ان تی با افزایش ۷۲٪ فشار همراه بوده است.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هم فکری و همراهی دانشکده فنی و مهندسی موسسه آموزش عالی لیان کمال سپاسگزاری را دارند.

### منابع

- [1] Rotter, M. (1990). Local Collapse Of Axially Compressed Pressurized Thin Steel Cylinders. *Journal Of Structural Engineering*, 116(7), 1955- 1970.
- [2] Hu, K., Zhao, Y. (2016). Numerical Simulation Of Internal Gaseous Explosion Loading In Large-Scale Cylindrical Tanks With Fixed Roof. *Thin Walled Structures*, 105, 16-28.

- [3] Nobakht Namin, A. (2012). *Buckling Of Stiffened Thin-Walled Cylindrical Shells Under Axial Compression With Symmetrical Imperfections*. *Journal Of Structural Engineering And Geotechnics*, 2(2), 19-28.
- [4] Akatsuka, H., & Kobayashi, H. (2010). *Fire Of Petroleum Tank, Etc. By Niigata Earthquake*.
- [5] Atkinson G. (2011). *Blast Damage To Storage Tanks And Steel Clad Buildings*. *Process Saf Environ Prot*, 89, 382-90.
- [6] Parisi, F., Augenti, N. (2012). *Influence Of Seismic Design Criteria On Blast Resistance Of RC Framed Buildings: A Case Study*. *Engineering Structures*, 44, 78-93.
- [7] Lysmer, J. And Kuhlemeyer, R. (1969). *Finite Dynamic Model For Infinite Media*", *Journal Of Eng. Mech. Div ASCE, EM24*, PP 859- 877.
- [8] Lysmer, J. And Wass, G. (1972). *Shear Waves In Plane Infinite Structures*, *Journal Of Eng. Mech Div. ASCE Emi*, PP85\_105.
- [9] Taylor, G.I. (1939). *The Propagation And Decay Of Blast Waves*," UK Home Office, ARP Dept. RC 39.
- [10] Son, J., Astaneh-Asl, A. And Rutner, M. (2005). *Performance Of Bridge Decks Subjected To Blast Load*, *The 6th Japanese-German Bridge Symposium, Munich, Germany*.
- [11] Astaneh-Asl, A., Heydari, C. And Zhao, Q. (2003). *Analysis Of Car-Bomb Effects On Buildings Using MSC-Dytran Software And Protective Measures*, *Proceedings Of The MSC Software Virtual Product Development Conference, Dearborn, Michigan, October 13-15*.
- [12] Luccioni B.M. And Luege, M. (2006). *Concrete Pavement Slab Under Blast Loads*, 1248-1266, 32(8).
- [13] Sezena, H., Livaoglub, R., Dogangunc, A. (2008). *Dynamic Analysis And Seismic Performance Evaluation Of Above-Ground Liquid-Containing Tanks*. *Engineering Structures*, 30, 749-803.
- [14] Tabaeh Izadi, I., Hosayn Chaman, M., 2, Karimidoost, M. S. (2015). *A New Scheme To Retrofit Steel Tanks Against Blast Loading: International Conference On Science And Engineering, Dubai*.
- [15] Zhang, B.Y., Li, H.H., Wang, W. (2015). *Numerical Study Of Dynamic Response And Failure Analysis Of Spherical Storage Tanks Under External Blast Loading*. *Loss Prevention In The Process Industries*, 34, 209-217.
- [16] Chen, J.F., Rotter, G.M., Teng, J.G. (2005). *Strengthening Silos And Tanks Against Elephant'S Foot Buckling*. *Fourth International Conference On Advances In Steel Structures, Shanghai, China*.
- [17] Soheyli, M. R., Akhaveissy, A. H., & Mirhosseini, S. M. (2016). *Large-Scale Experimental And Numerical Study Of Blast Acceleration Created By Close-In Buried Explosion On Underground Tunnel Lining*. *Shock And Vibration*.
- [18] Tabaeh Izadi, I., Hosayn Chaman, M., 2, Karimidoost, M. s. (2015). *A new scheme to retrofit steel tanks against blast loading: international conference on science and engineering, Dubai*.
- [19] Alsayed, Saleh H., Elsanadedy, H.M., Al-Zaheri, Zaki M., Al-Salloum, Yousef A., Abbas, H. (2016). *Blast response of GFRP –strengthened infill masonry walls*. *Construction and Building Materials*, 115, 438-451.