

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، (پیاپی ۱۶): صص ۳۱-۳۹

## تحلیل و بررسی اثر دایک بتنی بر کاهش آسیب پذیری مخزن سوخت در برابر انفجار

امین قلی زاده<sup>۱</sup>، مجید رستمی بهنمیری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۶

### چکیده

مخازن ذخیره سوخت از جمله مهم ترین سازه های موجود در مجموعه های صنعتی پالایشگاهی و یا نیروگاهی هستند که ممکن است در معرض انفجارات نظامی و یا غیرنظامی قرار گیرند؛ در نتیجه، بررسی راه های مقاوم سازی این مخازن در پالایشگاه می تواند حائز اهمیت باشد. در این مقاله به بررسی عملکرد دایک بتنی برای کاهش بار انفجار وارد به مخازن پرداخته شده و مشخص گردیده است که دایک با ضخامت ۳۵ سانتی متر و ارتفاع ۵ متر و مقاومت ۳۵ مگاپاسکال توانسته است در برابر انفجار ناشی از GP500 ایستادگی نموده و در کاهش حداکثر فشار و ضربه تأثیرگذار باشد. در این تحقیق از نرم افزار Autodyn برای انجام مدل سازی و تحلیل استفاده شده است.

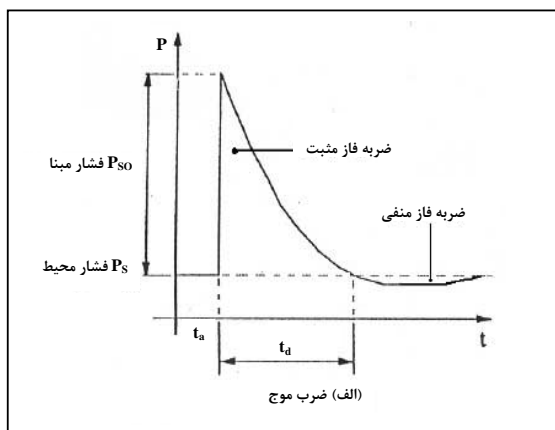
**کلیدواژه ها:** مخازن فولادی سوخت، بار انفجار، پدافند غیرعامل

۱- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه محقق اردبیلی

۲- کارشناس ارشد سازه دانشگاه محقق اردبیلی Rostamibahnimirajid@yahoo.com - نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

عسگرپور در سال ۱۳۹۰ به بررسی تأثیر اندر کنش خاک سازه سیال در مخازن بتنی مکعبی روزمینی تحت انفجار سطحی پرداخته است. در این تحقیق مشخص شده است که میزان خرابی سازه، بدون اندرکنش خاک-سازه بیشتر از حالتی است که مخزن بر روی خاک انعطاف‌پذیر قرار دارد و این اثر در خاک نرم بیشتر از خاک سخت است، اما در حالتی که اندرکنش خاک-سازه در نظر گرفته می‌شود، میزان خرابی مخزن تحت بار انفجار در خاک سخت بیشتر از خاک نرم می‌شود [۲]. روستایی نیز در سال ۱۳۹۰ طی پژوهشی تحلیل پایداری مخازن نفتی روزمینی مهارنشده در برابر بارگذاری انفجاری را بررسی کرد که طی آن، مخزن تحت سناریوهای انفجار قرار گرفت و آسیب‌پذیری مخزن مورد نظر مورد مطالعه قرار گرفت [۳]. به‌طور کلی، وقتی مقدار قابل توجهی انرژی، در یک زمان بسیار کوتاه آزاد شود می‌گوییم انفجار رخ داده است. این انرژی در سیستم به‌صورت‌های گوناگون مانند هسته‌ای، شیمیایی، الکتریکی و... می‌تواند ذخیره شده باشد. بارگذاری سازه‌ها تحت انفجار خارجی، از دو عامل ناشی می‌شود. اول، افزایش آبی بسیار زیاد فشار هوا یا همان موج شاک و دوم، نیروی دراگ وارده از جریان هوای پشت موج شاک. با توجه به شکل (۱)، انفجار با دو پارامتر فشار و زمان شناخته می‌شود که با توجه به نمودار،  $P_{SO}$  فشار مینای انفجار و  $T_d$  مدت زمان فاز مثبت (زمان تداوم انفجار بر حسب ثانیه) می‌باشد [۴].



شکل ۱- نمودار فشار- زمان [۴]

## ۳- بارگذاری انفجار

میزان بار وارد بر سازه ناشی از انفجار، به دو عامل اصلی: (۱) وزن ماده منفجره که بر حسب TNT بیان می‌شود و (۲) فاصله خرج از سازه مورد نظر بستگی دارد. در آیین‌نامه‌های صنعت نفت [۵] و TM 5-855 [۶]، سطوح خطر و جدول (۱) کلاس انفجار با توجه به وزن ماده منفجره و فاصله آن از سازه برای اعمال بار انفجار بر سازه‌های صنعتی، برای بررسی عملکرد سازه در برابر آن ارائه شده است که به

بخش مهم بسیاری از مجتمع‌های صنعتی خصوصاً پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی را مخازن استوانه‌ای روزمینی نگهدارنده مایع تشکیل می‌دهد. از لحاظ هزینه و امنیت، این سازه‌ها بسیار مهم می‌باشند. با توجه به اینکه مایعات ذخیره شده در مخازن موجود در مجتمع‌های مرتبط با صنعت نفت اغلب مواد خطرناک سمی یا قابل اشتعال می‌باشند، آسیب‌دیدگی این مخازن علاوه بر ایجاد خسارات فیزیکی مستقیم، ممکن است سبب ایجاد خسارات غیرمستقیمی چون آلودگی زیست‌محیطی و نیز آتش‌سوزی گردد. آسیب دیدگی مذکور می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی و یا غیرطبیعی باشد. عوامل غیرطبیعی می‌تواند انفجارهای نظامی یا غیرنظامی رخ داده در سایت باشد. در این تحقیق به مطالعه اثر دایک بتنی بر کاهش بار انفجار و کاهش خرابی سازه پرداخته شده است. در ابتدا انفجار در حالت بدون دایک انجام شده و سپس در برابر دایک قرار گرفته است تا اثر دایک بررسی شود. نمودارهای فشار-زمان انفجار قبل و بعد دایک با هم مقایسه شده و در مورد فشار و ضربه ناشی از انفجار قبل از وجود دایک و مقدار کاهش آنها بعد از وجود دایک نتیجه‌گیری شده است. در این تحقیق، اندرکنش سازه و سیال و رفتار غیرخطی فولاد در نظر گرفته شده است.

## ۲- انفجار

به دلیل اهمیت انفجار و سازه‌های مورد بررسی، بحث انفجار، بحث مورد پسند جامعه مهندسی بوده و می‌باشد. لذا بررسی عملکرد مقاوم‌سازی سازه‌ها مورد توجه بسیار می‌باشد. تحلیل‌های انفجاری سابقه‌ای در حدود چندین قرن دارد. تحلیل‌های ابتدایی که با روش‌های تقریبی انجام می‌گرفت به قرن‌های ۱۳ و ۱۴ میلادی بازمی‌گردد. در سال ۱۹۱۹ قانون مقیاس برای انفجارهای ساده توسط هاپکینسون [۱] ارائه شده که پایه ریاضی نداشت ولی از نظر کاربردی بسیار با اهمیت بود. این قانون به‌طور کامل و در سال ۱۹۲۶ توسط گرنز [۱] ارائه شد. اولین آیین‌نامه مطرح در بارگذاری انفجاری با نام TM 5-855 [۶]، در سال ۱۹۸۶ توسط دپارتمان تحقیقات نظامی ارتش آمریکا برای سازه‌های مقاوم در برابر انفجارهای غیر اتمی تهیه شد. در فرمول‌های ارائه‌شده بعدی، تأثیر عوامل بیشتری لحاظ شده است. از آن جمله می‌توان به آزمایشات انجام‌شده توسط ISHIKAWA و EPPU [۷] منتشرشده در سال ۲۰۰۷ در مورد تأثیر وجود دیوار نگهدارنده در مسیر انتشار موج اشاره کرد. پس از آن، مدلسازی رایانه‌ای انجام‌گرفته توسط ZHOU و HAO [۸] در سال ۲۰۰۸ منجر به ارائه فرمول‌های ارزشمندی در محاسبه اثر دیوار نگهدارنده در مسیر موج انفجار گردیده است [۱]. سازه‌های صنعتی نیز از جمله سازه‌هایی می‌باشند که بررسی آنها در برابر این بار نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. تحقیقاتی نیز بر روی مخازن انجام شده است که

شرح زیر می باشد.

سطح خطر ۱- هرگونه اصابت هسته‌ای

سطح خطر ۲- هرگونه اصابت غیر از اصابت هسته‌ای

سطح خطر ۳- اصابت راکت‌ها و بمب‌های کوچک‌تر از GP-500

سطح خطر ۴- انفجار یک بمب GP-500 در فاصله ۱۰ متری

سطح خطر ۵- انفجار یک بمب GP-200 در فاصله ۱۵ متری

سطح خطر ۶- انفجارات متداول شیمیایی مطابق SG-22

جدول ۱- کلاس انفجاری ارائه شده در کتاب TM 5-855 [۶]

کلاس انفجار	وزن کل بمب lb	وزن کل بمب kg	درصد وزنی ماده منفجره	قدرت انفجار معادل TNT(kg)
GP100	۱۱۰	۵۰	۵۱	۲۵
GP250	۲۶۰	۱۱۸	۴۸	۵۶
GP500	۵۲۰	۲۳۵	۵۱	۱۲۰
GP750	۸۳۰	۳۷۶	۴۴	۱۶۵
GP1000	۱۰۲۰	۴۶۲	۵۴	۲۴۹
GP2000	۲۰۹۰	۹۴۷	۵۳	۵۰۲

با کمک این دو آیین‌نامه، انفجار مورد نظر انتخاب و در بخش ۷ توضیح داده خواهد شد.

#### ۴- راهکارهای ایمن‌سازی مخازن در برابر انفجار

مقاوم‌سازی از جمله کارهایی است که امروزه در صنعت برای حفظ سازه‌ها استفاده می‌شود. در آیین‌نامه NFPA راهکارهایی به شرح ذیل آورده شده است:

۱- استفاده از دایک بتنی اطراف مخزن

۲- استفاده از خاکریز شنی در اطراف مخزن

۳- استفاده از حائل در اطراف مخزن

از دایک بتنی برای جلوگیری از انتشار مایع داخل مخزن پس از ریختن به اطراف استفاده می‌شود که در اینجا اثر کاهندگی آن برای کاهش بار انفجار سنجیده شده است.

#### ۵- معرفی نرم‌افزار

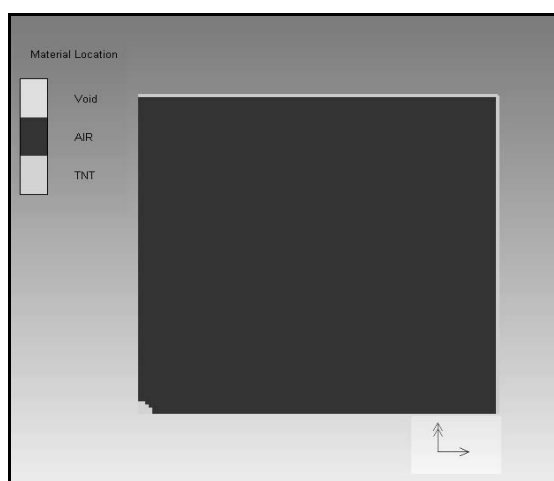
در اعمال بار انفجار و انجام تحلیل، از نرم‌افزار AUTODYN استفاده شده که قدرت خوبی در مدل‌سازی و اعمال بار انفجار دارد. این نرم‌افزار قدرت بالایی در تحلیل دینامیکی و حل صریح داشته و در سه حالت یک‌بعدی و دوبعدی و سه‌بعدی قابلیت مدل‌سازی انفجار و مدل را دارد. این نرم‌افزار به کتابخانه‌ای قوی از مدل‌های مصالح مختلف شامل خاک، سیال، فولاد، بتن و مواد منفجره مجهز می‌باشد. خروجی این نرم‌افزار بر اساس زمان می‌باشد. از جمله مزایای این نرم‌افزار، در نظرگیری انفجار با موج آن است [۹].

#### ۶- مصالح

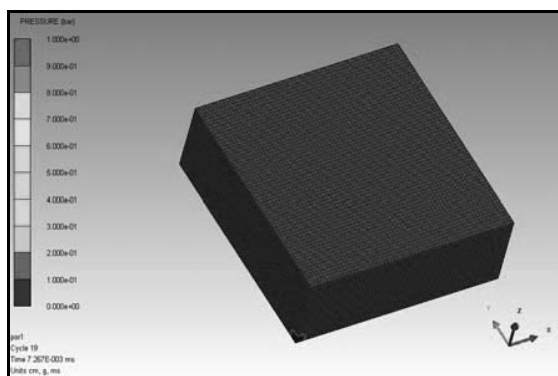
در مدل‌سازی انفجار، از TNT با چگالی ۱۶۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده که در نرم‌افزار موجود است. برای مدل‌سازی هوا از Air که دارای انرژی داخلی ۲۰۶۸ با واحد  $J/kg$  [۱۰] و [۱۱] استفاده شده است. چگالی هوا برابر ۱/۲۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب است تا بتواند فشار ۱ اتمسفر را ایجاد کند. از فولاد برای بدنه سازه، سقف و کف با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده است. اطلاعات سازه مخزن و دایک در جدول‌های (۲ و ۳) در قسمت مدل‌سازی آمده است. از بتن با مقاومت ۳۵ مگاپاسکال و چگالی ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و کرنش ۰،۰۰۳ برای معیار خرابی در مدل‌سازی دایک بتنی استفاده شد. از Oil با چگالی ۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مدول بالک ۱،۶e۸ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده است که به غیر از Oil بقیه در کتابخانه نرم‌افزار موجود است [۹].

#### ۷- مدل‌سازی انفجار و سازه

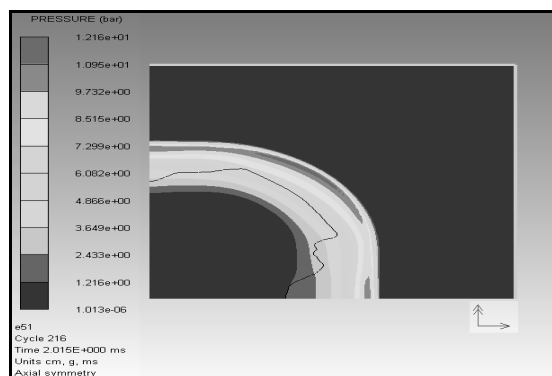
انفجار مورد نظر از نوع خارجی می‌باشد. با توجه به آیین‌نامه صنعت نفت [۸] و TMS - 855 [۲]، از بمب GP 500 در فاصله ۱۰ متری استفاده شده است که معادل TNT با شکل کره‌ای به شعاع ۲۶ سانتی‌متر می‌باشد. برای اینکه در زمان و حجم کار صرفه‌جویی کنیم ابتدا مدل‌سازی انفجار در حالت دو بعدی انجام شده و به حالت سه بعدی نگاشت شده است. در واقع در یک فضای دو بعدی با حضور هوا (محیط اولیری) و TNT انفجار انجام شده که در شکل‌های (۲، ۳، ۴ و ۵) ماده منفجره و انفجار آن مشهود است. برای اینکه گستره هوا را کوچک‌تر کنیم در اطراف هوا مرزهایی به‌عنوان Flow out تعریف می‌کنیم.



شکل ۲- ماده منفجره اولیه در حالت دو بعدی در صفحه x-y (بدون وجود دایک)



شکل ۶- قلمرو هوا (سه بعدی) در فشار ۱ بار (فشار محیط) و مدل TNT در گوشه برای اعمال انفجار



شکل ۳- توزیع فشار بعد از گذشت زمان ۲,۰۱۵ ms پس از انفجار در صفحه x-y (بدون وجود دایک)

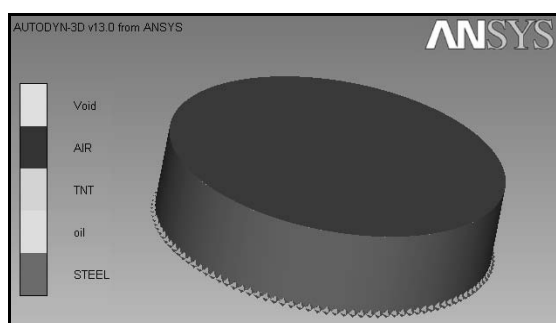
هندسه سازه با توجه به ابعاد جدول (۲) مدل سازی شده و در شکل (۷) آمده است. قسمت فلزی با المان Shell (Lagrange) مدل سازی می شود. مقدار شتاب ثقل نیز ۹,۸۱ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- اطلاعات سازه مخزن

ارتفاع سازه (H)	قطر سازه (D)	(H/D)	ضخامت پوسته
۱۲ متر	۴۶ متر	۰,۲۶	۲ سانتی متر

جدول ۳- اطلاعات سازه دایک بتنی

طول ضلع دایک	ارتفاع دایک	ضخامت دایک	مقاومت بتن
۶۰ متر	۵ متر	۳۵ سانتی متر	۳۵ مگاپاسکال

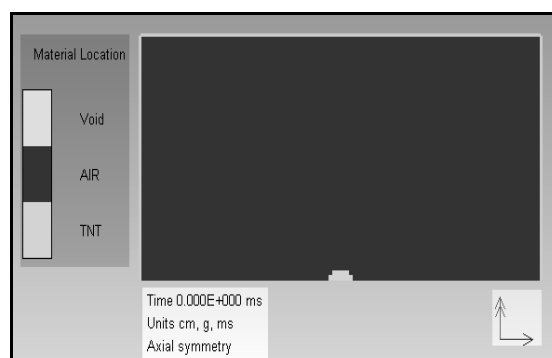


شکل ۷- سازه با گیرداری در کف

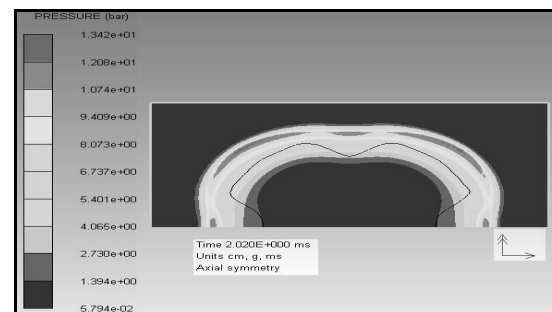
### ۸- مدل سازی سیال

بعد از مدل سازی سازه به مدل سازی سیال می پردازیم. مخزن در حالت کاملاً پر مدل سازی شده و فشار هیدرواستاتیکی بر مبنای شتاب ثقل اعمال شده و با همبسته کردن سیال و سازه، اندرکنش

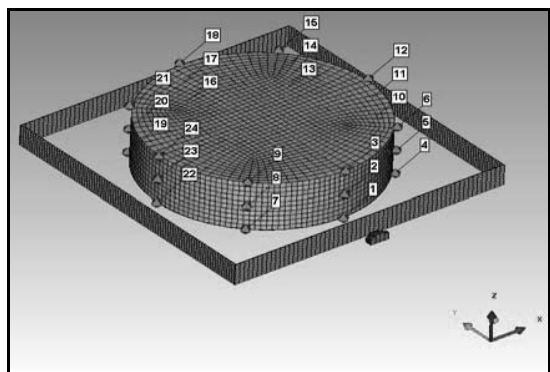
در ادامه به انفجار در حالت سه بعدی می پردازیم. برای اینکه انفجار در حالت سه بعدی را داشته باشیم، ابتدا فضای هوا و یا Domain را در محیط اویلری تعریف کرده و سپس انفجار را نگاشت می کنیم. هوا در یک فضای اویلری تعریف می شود. مرز Flow out برای حالت سه بعدی نیز تعریف می شود. در شکل های (۴، ۵، ۶) مدل هوا و TNT مشهود است. برای انفجار در برابر دایک نیز روند مدل سازی به صورت شکل های (۴ و ۵) می باشد.



شکل ۴- ماده منفجره اولیه در حالت دو بعدی در صفحه x-y (با وجود دایک)



شکل ۵- توزیع فشار بعد از گذشت زمان ۲,۰۲ ms پس از انفجار در صفحه x-y (با وجود دایک)



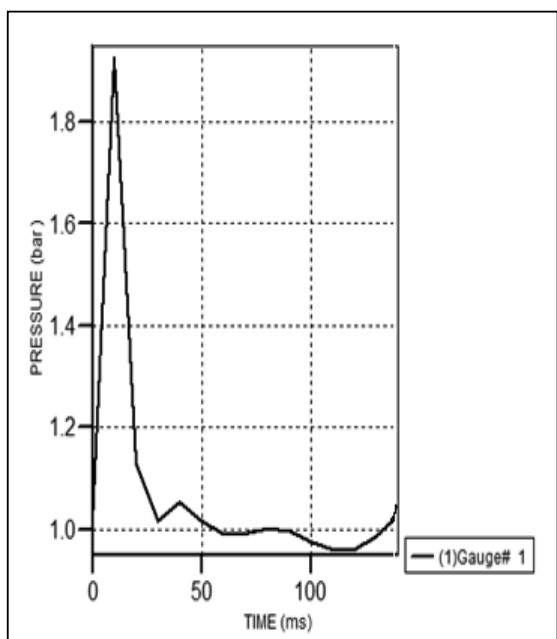
شکل ۱۰- سازه دایک و مخزن با حضور TNT در حالت گیج گذاری شده

### ۱۱- نتایج و بحث

#### ۱۱-۱- تحلیل مخزن بدون حضور دایک پیرامون

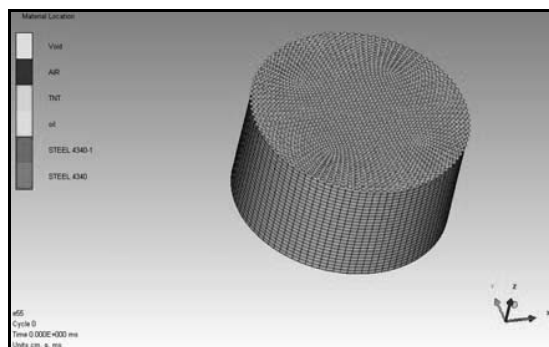
در ابتدای کار، از مدل هوا در حالت بدون مواد منفجره، تحلیل انجام گرفت و نتیجه فشار ۱ بار از این مدل گرفته شد تا صحت سنجی مدل هوا انجام شود. نتیجه بررسی فشار هوا در فشار ۱ اتمسفری در شکل (۶) آورده شده است.

بررسی گیج‌های موجود روی مخزن در وجه رو به سمت انفجار از اهمیت خاصی برخوردار است؛ چرا که روبروی منبع انفجار می‌باشند. لذا در طی گزارش، بیشتر به بررسی گیج‌های وجه جلوی مخزن پرداخته شده است.



شکل ۱۱- نمودار فشار - زمان گیج ۱

بین آنها را اعمال می‌کنیم. مدل‌سازی اجزای محدود سیال در محیط اویلری - لاگرانژی (ALE) انجام شده است. در سطح سیال نیز شرایط مرزی به‌گونه‌ای تعریف شده است که بتواند آزادانه حرکت کند که در شکل (۸) نشان داده شده است [۹].



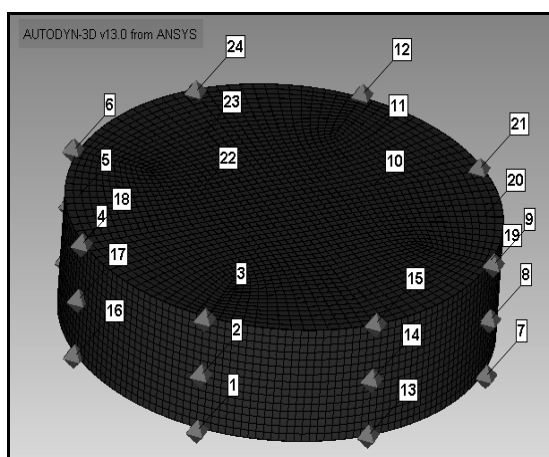
شکل ۸- سیال با شرایط مرزی در سطح آن

### ۹- روند پژوهش

در حالت اول، سازه در حالت پر از سیال و بدون حضور دایک بررسی می‌شود و نتایج آن جهت مقایسه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالت دوم، با در نظر گرفتن دایک اطراف مخزن، انفجار را اعمال می‌کنیم تا به مقایسه با حالت اول و بحث مقاوم‌سازی بپردازیم.

### ۱۰- تحلیل و نتایج

بعد از مدل‌سازی با گیج‌گذاری در نقاط مورد نظر که در شکل‌های (۹ و ۱۰) آمده، شروع به انجام تحلیل می‌کنیم. بعد از تحلیل، نتایج به‌صورت نموداری بررسی خواهد شد.



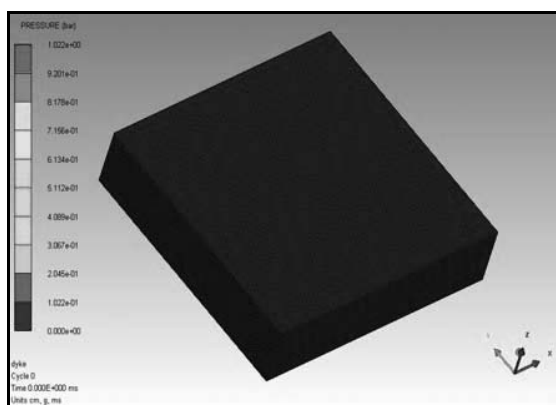
شکل ۹- سازه مخزن در حالت گیج گذاری شده

در شکل (۱۳) نمودار گیج ۳ با توجه به فاصله بیشتر از انفجار نسبت به گیج ۱، دیرتر شروع به اوج‌گیری کرده که نشان‌دهنده فاصله بیشتر از منبع انفجار می‌باشد.

#### ۱۱-۲- تحلیل در حالت مخزن پر با در نظر گرفتن دایک

##### پیرامون

در این بخش نیز در ابتدای کار چون ابعاد قلمرو هوا با ابعاد اولیه آن متفاوت است، یک بار تحلیل در فضای بدون مواد منفجره انجام شد تا صحت شرایط مدل‌سازی در شرایط واقعی بررسی شود.

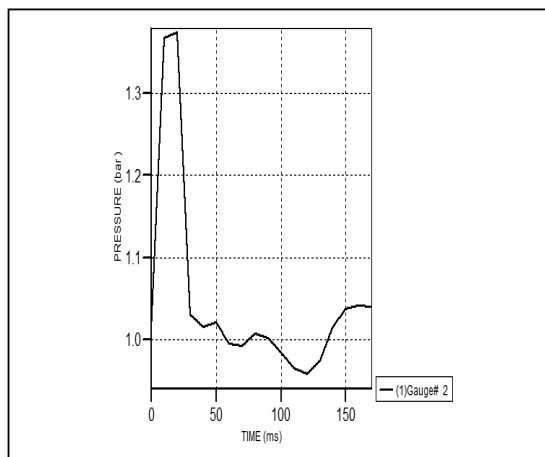


شکل ۱۴- فشار در قلمرو هوا

پس از مدل‌سازی در این فضا و تحلیل، نتایج در راستای کاهش مقدار فشار ناشی از انفجار بوده است. بررسی گیج‌های روبرو به مرکز انفجار در این شرایط نیز مانند حالات دیگر بیشتر مورد توجه می‌باشد.

با توجه به شکل‌های (۱۵، ۱۷ و ۱۹) نمودارها از فشار ۱ بار شروع شده‌اند. نمودار فشار زمان گیج ۱ با توجه به اعداد به‌دست آمده از حالت اول، کاهش ۳۵ درصدی حداکثر فشار را داشته است. نمودار گیج ۲ نیز از این قاعده مستثنی نیست و کاهش ۱۵ درصدی داشته است. لذا دایک توانسته از ایجاد حداکثر فشار جلوگیری کند. در ادامه می‌توان گفت که ارتفاع دایک در کاهش مقدار حداکثر فشار برای گیج ۳ نیز تأثیرگذار بوده است ولی تأثیر آن در مقدار حداکثر فشار بر روی گیج‌های ۱ و ۲ بیشتر بوده است.

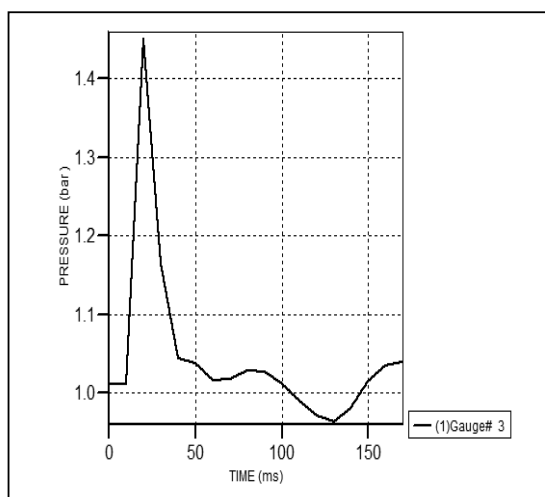
دایک باعث شده است که نمودار گیج ۱ که در حالت اول در ثانیه‌های ابتدای انفجار، شروع به اوج‌گیری می‌کرد، در اینجا با کمی تأخیر شروع به اوج‌گیری کند. لذا دایک توانسته زمان رسیدن موج به گیج ۱ را به تأخیر بیندازد. بررسی گیج ۱ همان‌طور که از قبل گفته شد به این دلیل حائز اهمیت است که گیج روبروی انفجار است و به‌دلیل فاصله کمتر، انفجار اثر بیشتری بر آن خواهد گذاشت.



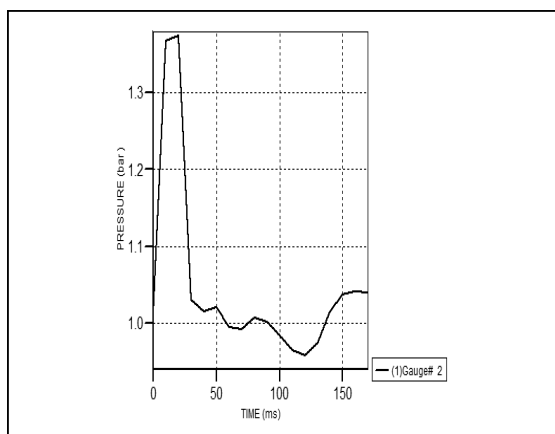
شکل ۱۲- نمودار فشار - زمان گیج ۲

با توجه به نمودار فشار- زمان گیج‌های مربوط به وجه جلوی مخزن، تمام نمودارها از فشار ۱ بار شروع شده است که حاکی از انجام تحلیل در فشار ۱ بار می‌باشد. نمودار فشار- زمان شکل (۱۱) مربوط به گیج ۱ می‌باشد که نزدیک‌ترین فاصله را از محل انفجار دارد و در نتیجه مقدار فشار بیشتری را به خود اختصاص داده است.

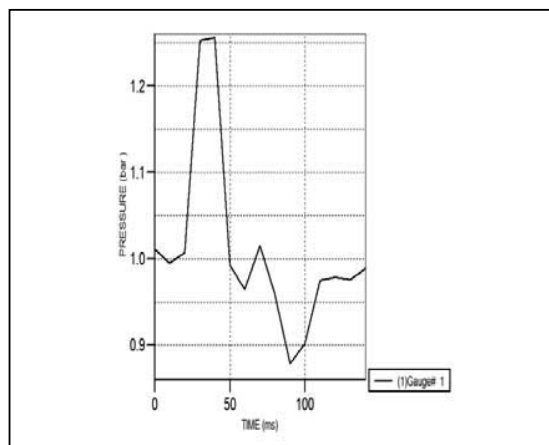
برای گیج‌های بالاتر فاصله بیشتر خواهد شد. نمودار شکل (۱۲) مربوط به گیج ۲ می‌باشد که با توجه به فاصله بیشتر از منبع انفجار، مقدار حداکثر، فشار کمتری را به خود اختصاص داده است. نمودار گیج‌ها با توجه به فاصله از منبع انفجار هر کدام که فاصله کمتری داشته‌اند زودتر شروع به ثبت فشار و اوج و کاهش آن کرده‌اند که حاکی از حرکت و گذر موج از تمام آنها می‌باشد. شکل (۱۳) مربوط به نمودار فشار- زمان گیج ۳ می‌باشد. موارد گفته شده برای آن نیز صادق است.



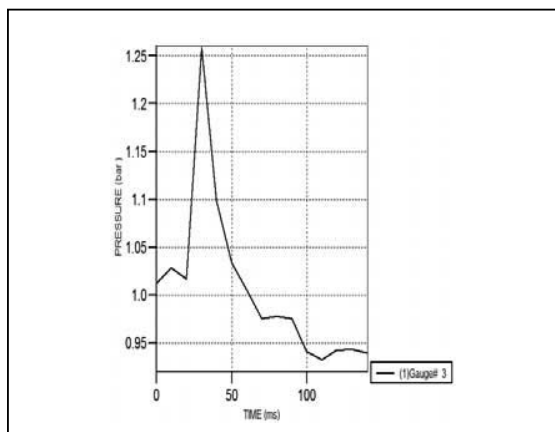
شکل ۱۳- نمودار فشار - زمان گیج ۳



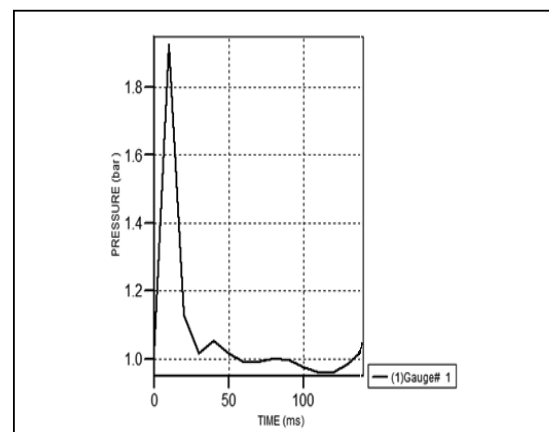
شکل ۱۸- نمودار فشار زمان گیج ۲ بدون دایک



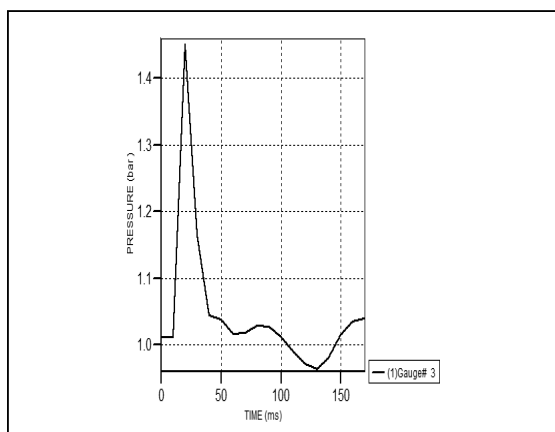
شکل ۱۵- نمودار فشار زمان گیج ۱ با وجود دایک



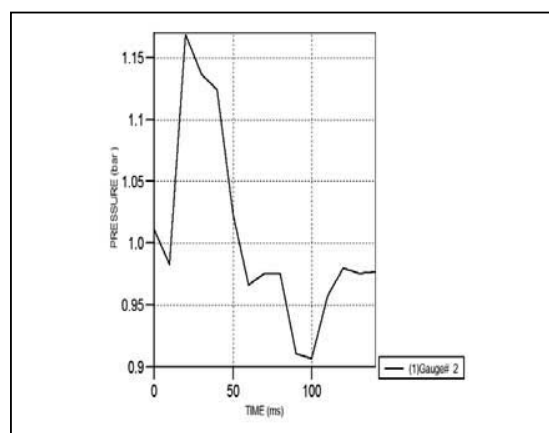
شکل ۱۹- نمودار فشار زمان گیج ۳ با وجود دایک



شکل ۱۶- نمودار فشار زمان گیج ۱ بدون دایک



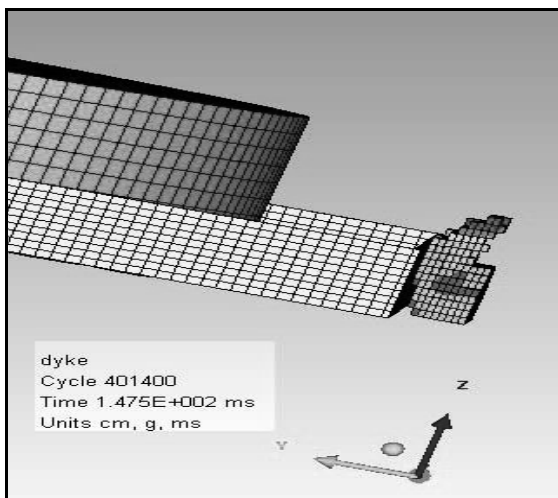
شکل ۲۰- نمودار فشار زمان گیج ۳ بدون دایک



شکل ۱۷- نمودار فشار زمان گیج ۲ با وجود دایک

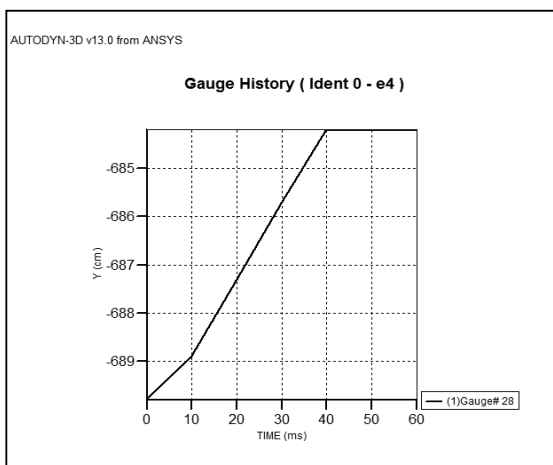
در انتهای نمودار مشهود است که فشار به سمت فشار طبیعی هوا در حال حرکت است. البته این تغییرات با نوسان انجام شده است که دلیل آن همان کشش و فشار ناشی از حرکت موج می باشد.

در ابتدای نمودارهای گیج های ۱ و ۲ مقداری کاهش داشته ایم. این حالت به این خاطر است که ارتفاع دایک به اندازه ای بوده است که توانسته در ابتدای کار جلوی موج را در برابر گیج های ۱ و ۲ بگیرد و



شکل ۲۳- نحوه توسعه گازهای ناشی از مواد منفجره (۱۴۷ میلی ثانیه پس از انفجار)

در تمام مواردی که موج به دایک برخورد کرده است، نسبت به حالت بدون وجود دایک، موج با سرعت بیشتری برگشت داشته و سپس موج در فضا پراکنده شده است.



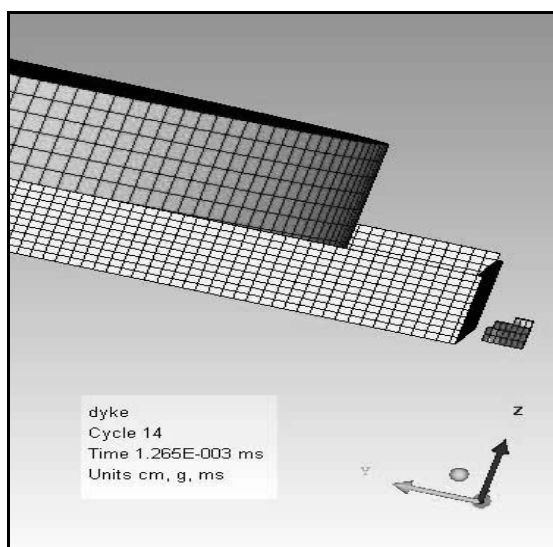
شکل ۲۴- شکل حرکت دایک بتنی با توجه به نمودار تغییر مکان در جهت Y (عمود بر دایک و در جهت انفجار) و با توجه به موقعیت منفی دایک

سر آزاد دیواره جلویی دایک پس از برخورد انفجار با آن حدود ۶ سانتی متر تغییر مکان داشته است که در شکل (۲۴) نمودار تغییر مکان لبه آزاد دایک در راستای انفجار آورده شده است.

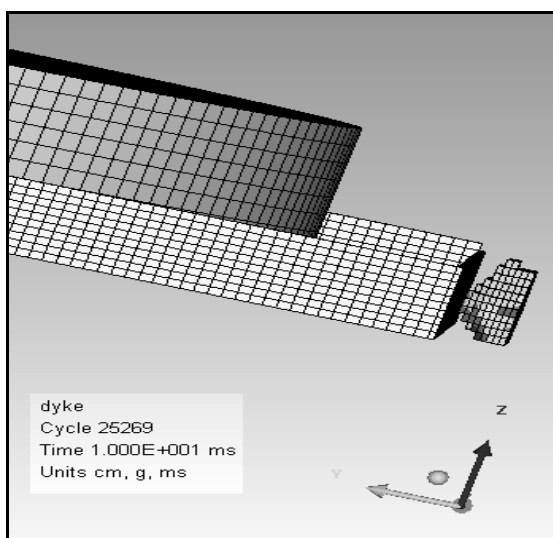
جدول ۴- مقادیر کرنش در ارتفاع در سازه دایک

ارتفاع	۰	۱متری	۲متری	۳ متری
مقدار کرنش	$۳,۶۵ e - ۶$	$۲,۴ e - ۶$	$۱,۳ e - ۶$	$۶,۶ e - ۸$

به علت برگشت موج، ایجاد مقداری مکش کند ولی در ادامه به روند افزایشی خود ادامه داده و با توجه به سرعت انفجار، به حالت طبیعی انفجار برگشته است؛ ولی برای گیج ۳ چنین حالتی ایجاد نشده است. با توجه به شکل‌های (۲۱، ۲۲ و ۲۳) دایک توانسته شکل کروی گازهای ناشی از مواد منفجره پس از انفجار را دستخوش تغییر نماید. در ابتدا گازهای انفجاری به سمت دیوار پیشروی کرده و پس از برخورد به سمت بالا تغییر مسیر داده‌اند.



شکل ۲۱- نحوه توسعه گازهای ناشی از مواد منفجره در ثانیه‌های اول پس از انفجار



شکل ۲۲- نحوه توسعه گازهای ناشی از مواد منفجره (۱۰ میلی ثانیه پس از انفجار)



## مراجع

۱. آبروشن، ف؛ مرادلو، ج؛ «تحلیل دینامیکی رفتار غیرخطی هندسی دیوارهای برشی کامپوزیت تحت اثر بارگذاری انفجاری»، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، ایران، (۱۳۸۹).
۲. عسگری، ا؛ «تأثیر اندر کنش خاک سازه سیال در مخازن بتنی مکعبی روزمینی تحت انفجار»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی عمران، (۱۳۹۰).
۳. روستایی، ج؛ «تحلیل پایداری مخازن نفتی روزمینی مهار نشده در برابر بارگذاری انفجاری»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی عمران، (۱۳۹۰).
۴. مقررات ملی ساختمان، «پیش نویس مبحث بیست و یکم: پدافند غیرعامل»، ویرایش ششم (۱۳۸۸).
۵. «مجموعه ضوابط و مقررات پیشنهادی پدافند غیرعامل»، شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران.
6. Department Of The Army Washington, Dc, "Fundamentals Of Protective Design For Conventional Weapons", TM 5-855-1, (1986).
7. Ishikawa. N., Eeppu.M, "Lessons From Past Explosive Tests on Protective Structures In Japan", International Journal of Impact Engineering, vol. 34, pp.1535-1545, (2007).
8. Zhou. X. Q., Hao. H, "Prediction of airblast loads on structures behind a protective barrier", International Journal of Impact Engineering 35- 363-375, (2008).
9. "Ansys Autodyn" Help version 13.
10. Van Gool, W.; Bruggink, J. J. C, "(Eds) Energy and time in the economic and physical sciences". North-Holland. pp. 41-56. ISBN 0444877487, (1985).
11. Grubbström, Robert W. "An Attempt to Introduce Dynamics Into Generalised Exergy Considerations". Applied Energy 84: 701-718, (2007).

کرنش دایک در نقاط مختلف در ارتفاع، در جدول (۴) آورده شده است که از کرنش شکست بتن که حدود  $0.003$  است کمتر می باشد.

## ۱۲- نتیجه گیری

می دانیم مساحت زیر نمودار فشار- زمان برابر مقدار ضربه وارده است. با توجه به اشکال به دست آمده، مساحت هر نمودار فشار- زمان، مساحت یک مثلث می باشد که برای گیب ۱ در حالت بدون دایک با توجه به فشار (ارتفاع)  $0.188$  و زمان (قاعد)  $40$  میلی ثانیه، مقدار ضربه برابر  $15 \times 10^2$  کیلوگرم متر بر ثانیه می باشد. این مقدار برای گیب ۲، برابر  $10^2 \times 8$  کیلوگرم متر بر ثانیه است. در حالتی که دایک وجود دارد مقدار ضربه با توجه به حداکثر فشار گیب ۱، برابر  $4 \times 10^2$  کیلوگرم متر بر ثانیه و در گیب ۲، برابر  $1 \times 10^2$  کیلوگرم متر بر ثانیه می باشد؛ لذا نشان دهنده این است که دایک در کاهش مقدار ضربه نیز موثر بوده است.

- دایک بتنی توانسته حداکثر مقدار فشار را کاهش دهد. همچنین دایک در به تاخیر انداختن رسیدن موج انفجار به سازه تاثیر داشته است.

- دایک توانسته الگوی توزیع گازهای حاصل از انفجار را برهم بزند. البته بر هم زدن شکل موج انفجار به ارتفاع دایک نیز برمی گردد.

- دایک با ارتفاع ۵ متری روی گیب های پایینی و با به عبارتی گیب های پایین مخزن، تأثیر بسزایی در کاهش حداکثر مقدار فشار داشته ولی روی سقف مخزن یا گیب بالایی به دلیل ارتفاع بالای مخزن تأثیر بسزایی نگذاشته است.

- سازه دایک با این مقاومت و ابعاد توانسته در برابر انفجار ناشی از GP500 مقاومت کند.

## **Analysis and Study of Concrete Dike on Vulnerability Mitigation of Fuel Tanks against Explosions**

**A. Gholizad<sup>1</sup>**

**M. Rostami Bahanmiri<sup>2</sup>**

### **Abstract**

Fuel storage tanks are among the most important structures present in refinery industrial complexes or power plants that might be exposed to military or non-military explosions. As a result, examining the methods of hardening these tanks in refineries can be of paramount importance. This article deals with the study of concrete dike to minimize the blast load exerted on these tanks and it was realized that dike with a thickness of 35 centimeters and a height of 5 meters and resistance of 35 mega-Pascal could withstand an explosion resulted from GP500 and be effective in reducing maximum pressure and impact. This article uses the Autodyn software for modeling and analysis.

**Key Words:** *Steel Fuel Tanks, Blast Load, Passive Defense*

---

1- Assistant Professor of Faculty of Civil Engineering, Mohaghegh Ardebili University

2- M.S in Structure, Mohaghegh Ardebili University (Rostamibahnanimajid@yahoo.com) - Writer in Charge