



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله : ۸۰۴۰۰

زمان پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۲۵

مطالعه تاثیر موقعیت انفجار بر رفتار مخازن فولادی مرتفع تحت بارگذاری انفجاری

رسول درخشان^۱، محمودرضا شقاقیان^۲

^۱ کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

^۲ استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده:

با بررسی حوادثی که در سال‌های اخیر برای مخازن نگهداری سیالات افتاده است به وضوح دیده می‌شود که مخازن یکی از آسیب‌پذیرترین سازه‌ها می‌باشند بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع باید تدابیر لازم جهت تامین ایمنی آنها اتخاذ شود. انفجار، آزاد شدن انرژی در مقیاس بزرگ، سریع و ناگهانی تعریف شده است. این آزاد شدن انرژی در یک زمان کوتاه باعث ایجاد فشار خیلی زیاد می‌شود که این فشار غیرمتعارف وارد شده باعث بروز صدمات جبران‌ناپذیری بر سازه‌ها می‌گردد. بنابراین مطالعات دقیق بر روی رفتار و پاسخ این مخازن تحت امواج انفجار ضروری می‌باشد. در این پژوهش تاثیر موقعیت وقوع انفجار بر پاسخ و رفتار دینامیکی مخازن نگه‌دارنده سیال مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور یک نمونه مخزن فولادی تحت بار انفجار با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و سیال در نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS به صورت سه بعدی مدل‌سازی گردید. مخزن تحت بار انفجار به میزان ۸۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در سه موقعیت انفجاری و در سه حالت خالی، نیمه‌پر و پر تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که تاثیر انفجار آزاد در هوا نسبت به دو حالت انفجار در هوا و انفجار در سطح زمین بسیار زیاد می‌باشد و توصیه می‌شود در بررسی رفتار دینامیکی مخازن هوایی تحت بارگذاری انفجاری، حالت بحرانی‌تر که انفجار آزاد در هوا می‌باشد منظور گردد. همچنین میزان سیال داخل مخزن رابطه‌ی عکس با پاسخ دینامیکی مخزن دارد. به عبارت دیگر هرچه میزان سیال داخل مخزن افزایش می‌یابد، جابجایی راس مخزن، برش پایه‌ی سازه و لنگر واژگونی و تنش در جداره مخزن کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: مخازن هوایی، بارگذاری انفجاری، اندرکنش سازه و سیال، پاسخ دینامیکی

(۱) مقدمه

با توجه به شرایط کنونی جهان و به واسطه تامین امنیت جانی و مالی عموم جامعه لزوم بررسی تاثیر بار ناشی از انفجار بر فراسازه‌ها نمایان‌تر شده است. یکی از مهم‌ترین فراسازه‌ها، مخازن ذخیره‌ی مایعات می‌باشند. با بررسی حوادثی که در سال‌های اخیر برای مخازن نگهداری سیالات افتاده است به وضوح دیده می‌شود که مخازن یکی از آسیب‌پذیرترین سازه‌ها می‌باشند بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع باید تدابیر لازم جهت تامین ایمنی آنها اتخاذ شود. براساس مطالعات انجام شده بر روی حوادث رخ داده بر روی مخازن مشاهده می‌شود که انفجار پس از آتش‌سوزی دومین عامل رویداد این حوادث می‌باشد که بیشتر این حوادث نیز در پالایشگاه‌های نفت و مخازن روغن رخ می‌دهد. تخریب این مخازن و آسیب دیدن آنها ممکن است فجایع زیان‌باری از جمله بحران و تهدید سلامت موجودات زنده به دلیل پخش شدن مواد شیمیایی، آتش‌سوزی و فجایع زیست‌محیطی دیگری را در پی داشته باشد. از دیدگاه اقتصادی نیز تخریب و آسیب دیدن مخازن می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

بنابراین همان‌گونه که گفته شد به خاطر تهدیداتی که بر اثر شرایط بارگذاری شدید در سازه‌ها به وجود می‌آید مطالعه‌ی رفتار و پاسخ فراسازه‌ها از جمله مخازن ذخیره‌ی سیال در مقابل بار انفجار اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند به همین دلیل تحلیل و طراحی این سازه‌ها در جهت افزایش ایمنی و کارایی و نیز به حداقل رساندن آسیب‌های وارده امری اجتناب‌ناپذیر است، بدین منظور به فهم کامل پدیده‌ی انفجار و پاسخ دینامیکی اجزای سازه نیازمندیم.

تاکنون محققان زیادی پاسخ سازه‌های مختلف در مقابل بار انفجاری را مورد بررسی قرار داده‌اند. در بخشی از تحقیقات رفتار ورق‌ها و صفحات تحت بارگذاری انفجاری مطالعه شده است (Nurick و Martin، ۱۹۸۹ و Ranjendran و Lee، ۲۰۰۹). در گروه دیگری از مطالعات، بارهای تولید شده ناشی از انفجار را مورد بررسی قرار داده‌اند (Remennikov، ۲۰۰۳، Pandey و همکاران، ۲۰۰۶ و Kadid، ۲۰۰۸). بخش دیگری از پژوهش‌ها، رفتار سازه‌های ساختمانی و ضوابط آیین‌نامه‌های ساختمانی را تحت شرایط انفجار مطالعه نمودند (Marchand و Alfawakhiri، ۲۰۰۵ و Shope، ۲۰۰۶). گروه وسیعی از مطالعات نیز روش‌های تحلیل سازه‌ها و اندرکنش‌های بوجود آمده در سازه‌ها را مورد مطالعه قرار دادند (Ngo و همکاران، ۲۰۰۷، Borvik و همکاران، ۲۰۰۹، Chafi و همکاران، ۲۰۰۹ و Teich و همکاران، ۲۰۱۳). هر چند طی تحقیقات صورت گرفته اطلاعات مفیدی در خصوص پاسخ دینامیکی سازه‌های مختلف تحت بارهای انفجاری حاصل گردیده است، با این وجود نکات مبهم فراوانی جهت بررسی وجود دارد. تاکنون چند تن از محققان آنالیز دینامیکی مخازن نگهدارنده‌ی سیال را تحت بارهای لرزه‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند (Lin و Chang، ۲۰۰۶ و Shakib و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین بررسی‌های محدودی در مورد پاسخ مخازن هوایی تحت بار انفجاری صورت گرفته است (Atkinson، ۲۰۱۱ و Mittal و همکاران، ۲۰۱۴).

۲) مخازن هوایی

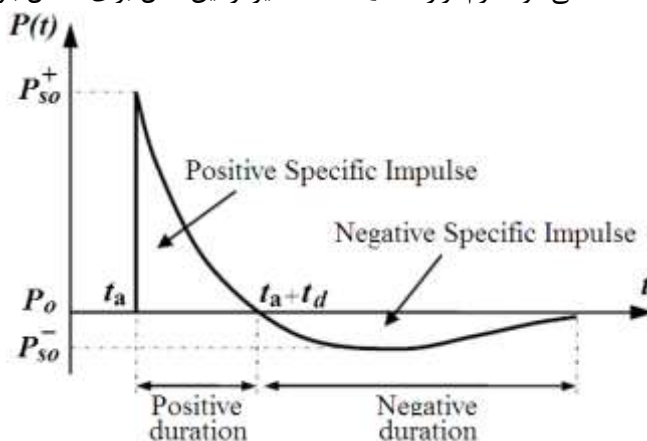
مخازن ذخیره‌سازی سیالات را می‌توان از جهات گوناگون دسته‌بندی نمود. مخازن از لحاظ قرارگیری در سطح زمین به چهار نوع مخازن هوایی، زمینی، نیمه‌مدفون و مدفون تقسیم می‌شوند. مخازن زمینی برای احجام بسیار بزرگ مناسب می‌باشند که برای تامین فشار در این حالت مخازن بر روی زمین مرتفع مانند تپه‌ها ساخته می‌شوند. در اکثر مواقع که از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود یا در مناطق مسطح که فاصله شبکه‌ی مصرف تا نقاط مصرف زیاد است، استفاده از مخازن زمینی مقرون به صرفه نبوده و نیاز به احداث مخازن هوایی وجود دارد. مخزن هوایی می‌تواند علاوه بر ذخیره سیال، یک فشار استاتیکی در شبکه ایجاد نماید. حسن مخزن هوایی در این است که اگر برق قطع شود تا ساعاتی می‌تواند سیال مصرفی سرویس‌ها را تامین نماید (Mirzabozorg و همکاران، ۲۰۱۲). ارتفاع مخازن هوایی برحسب نوع مصرف خانگی یا صنعتی و با توجه به حجم آن می‌تواند بین ۱۰ تا ۳۰ متر متغیر باشد. لازم به ذکر است که ارتفاع مخازن از کف تانک تا کف فونداسیون آن می‌باشد ولی به هرحال فشار لازم در شبکه و افت فشار شبکه تعیین کننده‌ی ارتفاع مخازن می‌باشد، که باید مورد محاسبه قرار گیرند. البته باید سعی نمود که مخزن را در نقاطی از زمین که بلندتر از سایر نقاط است نصب کرد تا ارتفاع خود برج را بتوان کمتر در نظر گرفت و ارزان‌تر تمام شود. سطح مایع در برج در دو نقطه کنترل می‌گردد، یکی حد بالای سطح آن و دیگری حد پایینی سطح که این دو سطح توسط یک شناور الکتریکی کنترل می‌گردد. مخازن هوایی دارای دو لوله می‌باشد که از سطح زمین و از محور عمودی برج وارد تانک می‌شود که یکی هم لوله پرکننده و هم لوله مصرف می‌باشد و دیگری سرریز برج است که در صورتی که شناور الکتریکی کار نکند مایع اضافه به حد بالای سطح آب از طریق آن خارج شده و در صورت وجود مخازن زمینی به آنها می‌ریزد و در صورت نبودن مخازن زمینی به نقطه‌ای ریخته می‌شود که اپراتور با ملاحظه آن مطلع می‌شود که شناور الکتریکی کار نمی‌کند و نسبت به تعمیر آن اقدام می‌نماید.

۳) بارگذاری انفجار



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

انفجار یک بمب در نزدیکی یا داخل یک سازه می‌تواند صدمات فاجعه باری را در پی داشته باشد، سقوط و پرتاب شدن مصالح و قطعات سازه و اثرات ثانویه ناشی از انفجار می‌تواند باعث از دست دادن زندگی و صدمه دیدن افراد شود. با توجه به تهدیدات ناشی از چنین شرایط بارگذاری شدید، تلاش‌های بسیاری در طول سه دهه گذشته به منظور توسعه روش‌های تحلیل و طراحی برای مقاومت در برابر بارهای انفجاری صورت گرفته است تجزیه و تحلیل و طراحی سازه تحت بارهای انفجار نیاز به درک دقیقی از پدیده انفجار و پاسخ دینامیکی عناصر مختلف سازه در برابر آن دارد. انفجار، آزاد شدن سریع انرژی ذخیره شده می‌باشد که با روشنایی زیاد و موج صوتی قابل شنیدن همراه می‌باشد. بخشی از انرژی به صورت تشعشع حرارتی منتشر می‌شود و بخشی نیز به صورت کوپل با هوا به عنوان انفجار در هوا و بخشی هم به عنوان شوک زمینی به خاک آزاد می‌شود که هر دوی این امواج ضربه‌ای به صورت شعاعی گسترش می‌یابد. گسترش سریع گازهای داغ ناشی از انفجار مواد منفجره، منجر به یک موج متراکم می‌شوند که به موج ضربه‌ای موسوم‌اند که از طریق هوا منتشر می‌شوند. موج انفجار بلافاصله فشار اتمسفر محیط را به یک مقدار فشار بالاتر افزایش می‌دهد (Baker, 1973). این موج به عنوان فاز مثبت می‌باشد که به صورت موج ضربه‌ای است که با گسترش یافتن به بیرون از منبع انفجار از بین می‌رود. پس از مدت کوتاهی، فشار پشت جبهه ممکن است به پایین‌تر از فشار محیط کاهش یابد. همان‌طور که موج ضربه‌ای به سمت بیرون از محل انفجار حرکت می‌کند، فشار در نوک موج، به نام فشار اوج، به طور پیوسته کاهش می‌یابد. در فاصله‌های بسیار دورتر از محل انفجار، فشار اوج بی‌نهایت کوچک می‌شود و موج به صورت یک موج صوتی رفتار می‌کند. انفجار هنگامی رخ می‌دهد که مقدار زیادی انرژی به صورت گرما و فشار به طور سریع و ناگهانی آزاد شود. خصوصیات بارگذاری انفجاری به صورت کمی تحت تاثیر منبع و رفتار ماده منفجره می‌باشد. مشخصات کمی ماده منفجره با استفاده از پارامترهایی همچون مقدار انرژی، چگالی انرژی، سرعت آزاد شدن انرژی و قدرت ماده منفجره مشخص می‌شود. هنگامی که ماده منفجره ایده‌آل باشد قطع نظر از چگالی انرژی و قدرت منبع آن، می‌توان انفجار را با استفاده از یک پارامتر، میزان کل انرژی، توصیف نمود. در اکثر مواد منفجره‌ای که در مقاصد نظامی و یا صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، TNT به عنوان ماده منفجره مرجع می‌باشد و قدرت ماده منفجره معمولاً با وزن TNT مشخص می‌شود. افزایش فشاری که به یک نقطه خاص می‌رسد بستگی به فاصله و میزان مواد منفجره دارد (Kinney و Graham, 1985). منحنی فشار-زمان برای امواج انفجار در هوا در شکل ۱ نشان داده شده است. انفجارهای خارج از سازه که در محیط آزاد هستند از نظر بارگذاری انفجاری به سه دسته اصلی انفجار آزاد در هوا، انفجار در هوا و انفجار سطحی تقسیم می‌شوند که به موقعیت محل انفجار نسبت به سازه مانند ارتفاع از سطح زمین، فاصله‌ی افقی بین سازه و محل انفجار و وزن ماده منفجره بستگی دارند. امروزه در بسیاری از نرم‌افزارهای مدل‌سازی عددی از روش CONWEP برای اعمال و محاسبه‌ی بار انفجاری استفاده می‌شود. نرم‌افزار ABAQUS نیز از این مدل برای اعمال بارگذاری مستقیم امواج انفجاری استفاده می‌کند.



شکل ۱) منحنی فشار - زمان برای امواج انفجار در هوا (Kinney و Graham, 1985)



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

کینگری و بولماش معادلات مورد نیاز برای پیش‌بینی پارامترهای انفجار ناشی از خرج‌های کروی و نیمه‌کروی را با استفاده از نتایج تحقیق‌های آزمایشی استخراج کردند (Kingery و Bulmash, ۱۹۸۴). این معادلات به عنوان پیش‌بینی کننده‌های دقیق مهندسی برای محاسبات فشار و بارگذاری روی سازه‌ها مورد تأیید قرار گرفته‌اند و توسط کد کامپیوتری CONWEP توسعه داده شدند. با استفاده از CONWEP می‌توان مقادیر مختلفی از بارگذاری انفجاری در هوا را مورد محاسبه قرار داد. با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط اسپارزا (Esparza, ۱۹۸۶)، کینگری و بولماش (Kingery و Bulmash, ۱۹۸۴) و با استفاده از داده‌های به دست آمده از گودمن (Goodman, ۱۹۶۰)، کینگری (Kingery, ۱۹۶۶)، ریزلر (Reisler) و همکاران، (۱۹۹۰) منحنی چندجمله‌ای به دست آوردند و با توجه به این منحنی‌ها، CONWEP اطلاعاتی از قبیل میزان و نوع ماده منفجره موردنظر و همچنین فاصله مواد منفجره تا هدف را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و فشار بازگشتی را محاسبه می‌کند. در روش CONWEP اضافه فشار اعمالی به بخش‌های مختلف سازه‌ها توجه به زاویه θ با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(1) \quad P(t) = P_1(t)[1 + \cos \theta - 2 \cos^2 \theta] + P_r(t) \cos^2 \theta \quad \cos \theta \geq 0$$

$$(2) \quad P(t) = P_1(t) \quad \cos \theta < 0$$

که در این رابطه $P(t)$ فشار برخورد کلی در زمان t است، همچنین $P_1(t)$ و $P_r(t)$ به ترتیب فشار فاز مثبت و فشار بازتابی می‌باشند. همچنین θ زاویه بین بردار نرمال سطح جسم با برداری که سطح برخورد را به محل انفجار وصل می‌کند، می‌باشد.

۴) مطالعه موردی

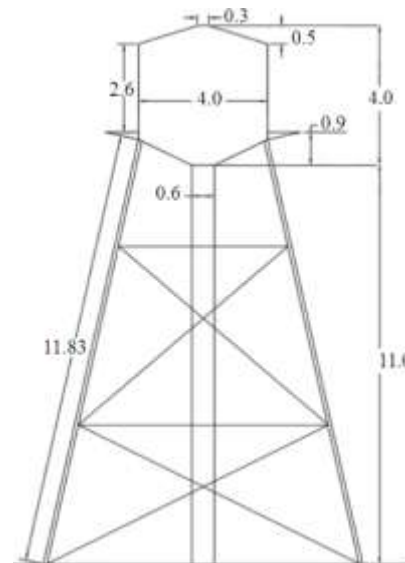
در این پژوهش رفتار و پاسخ دینامیکی مخزن هوایی تحت بار انفجاری مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مخازن فلزی را تحت بار انفجار با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و سیال و با استفاده از فرمول‌بندی کوپل اولر- لاگرانژی در نرم‌افزار ABAQUS، مدل‌سازی شده و به تحلیل حساسیت سازه در مقابل پارامترهای تاثیرگذار در رفتار سازه با استفاده از نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود. در این پژوهش یک مخزن فولادی با اندازه‌ی معین در نظر گرفته شده است. همچنین مواردی مانند تعیین بحرانی‌ترین نوع بارگذاری انفجاری در هوا و بررسی تاثیر ارتفاع سیال داخل مخزن بر پاسخ دینامیکی مخازن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۱) مشخصات هندسی مدل

جزئیات طراحی مخزن که دارای نسبت ارتفاع به شعاع مخزن ۲ می‌باشد، با استفاده از نقشه‌های اجرایی شرکت ملی فرآورده‌های نفتی در نظر گرفته شده است. مخزن موردنظر دارای حجم ۳۰ مترمکعب می‌باشد. ارتفاع خود مخزن ۴ متر و شعاع آن ۲ متر می‌باشد که جزئیات بیشتر در شکل ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که ضخامت جداره‌ی مخزن در تمامی مدل‌ها ۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در این پژوهش برای سازه مخزن هوایی از فولاد نرم ST37 با ضریب الاستیسیته (E) ۲۱۰ گیگاپاسکال، ضریب پواسون ۰.۳ و چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده است. به منظور تاثیر دادن نرخ کرنش بر تنش نیز خواص پلاستیکی فولاد با استفاده از مدل سخت‌شوندگی جانسون-کوک در نظر گرفته شده است. آب به صورت سیال نیوتونی و غیرلزج در نظر گرفته شده است که با استفاده از معادله‌ی حالت $Us-Up$ مدل‌سازی شده است. چگالی آب ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ویسکوزیته آن ۰.۰۰۱ پاسکال در ثانیه در نظر گرفته شده است. برای معادله حالت نیز سرعت صوت برابر ۱۵۰۰ متر بر ثانیه فرض شده است.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل ۲) جزئیات طراحی مخزن هوایی آب

۲-۴) روند مدل سازی

برای مدل سازی عددی مخزن مورد نظر از روش کوپل اولری- لاگرانژی استفاده شده است. در این روش مخزن فولادی به عنوان قطعه‌ی لاگرانژی و آب داخل مخزن به صورت اولری در نظر گرفته شده است. در بررسی حاضر تماس به وجود آمده بین جداره‌ی مخزن فولادی و آب با توجه به کوپل اولری- لاگرانژی به صورت اتوماتیک در طول آنالیز توسط نرم افزار محاسبه می شود. فشار ناشی از انفجار اعمال شده به تانک با استفاده از الگوریتم General contact به آب اولری منتقل می شود. در این مدل سازی مخزن فولادی با استفاده از المان های چهار گرهی پوسته (S4r) مش بندی شده است. مکان قطعه‌ی اولری آب در این روش مدل سازی ثابت در نظر گرفته می شود به گونه ای که با ماده‌ی لاگرانژی یعنی مخزن در اندرکنش می باشد. برای مدل سازی قطعه‌ی اولری از المان های سه بعدی هشت گرهی با انتگرال گیری کاهش یافته (EC3D8R) استفاده شده است. سازه مورد نظر در این پژوهش تحت بار استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بار استاتیکی ناشی از بار وزن خود سازه و بار دینامیکی ناشی از بار انفجار می باشد. برای اعمال بار انفجار در نرم افزار ABAQUS از روش CONWEP استفاده می شود، که بار حاصل از انفجار مقدار مشخصی از TNT را در فاصله‌ی معینی از سازه محاسبه کرده و به سازه اعمال می کند. در این پژوهش پس از تعیین بحرانی ترین نوع بارگذاری انفجار در هوا، با در نظر گرفتن یک میزان بار انفجاری مناسب در یک فاصله‌ی معین، پاسخ دینامیکی سازه مورد بررسی قرار گرفته است.

۵) بحث و بررسی نتایج

در این بخش ابتدا تاثیر موقعیت بارگذاری انفجار بر پاسخ های دینامیکی مخزن مورد بررسی قرار می گیرد و تاثیرگذارترین نوع انفجار در هوا تعیین می شود. پس از تعیین موثرترین بارگذاری انفجار به بررسی تاثیر میزان سیال داخل مخزن بر پایداری سازه‌ی مخزن هوایی و پاسخ بدنه‌ی مخزن در حالات مختلف میزان سیال پرداخته می شود. لازم به ذکر است که در این پژوهش دو نوع بررسی به منظور درک پاسخ سازه، مورد نظر قرار دارد. گروه اول شامل بررسی پارامترهای مؤثر در پایداری سازه مخزن مانند لنگر واژگونی، برش پایه و جابجایی نسبی راس مخزن و گروه دوم شامل بررسی رفتار بدنه‌ی مخزن در مقابل بار انفجاری مانند تغییرات تنش در بدنه‌ی مخزن می باشد.

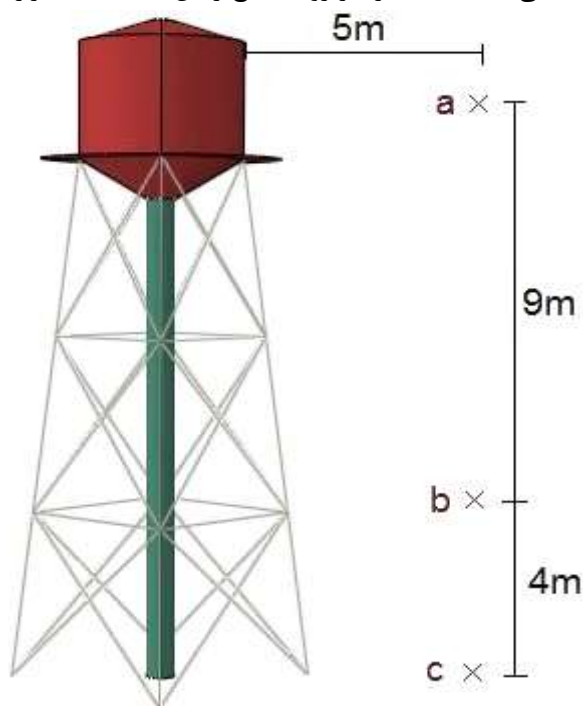
۵-۱) بررسی انواع انفجار در هوا و تعیین بحرانی ترین نوع بارگذاری انفجاری



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



همان‌طور که اشاره شد بارگذاری انفجاری در هوا به سه نوع انفجار اعم از انفجار آزاد در هوا، انفجار در هوا و انفجار سطحی تقسیم می‌شود که مهم‌ترین تفاوت آنها در محل انفجار نسبت به سازه می‌باشد. در این بخش به مدل‌سازی و بررسی نتایج هر سه نوع بارگذاری پرداخته می‌شود. بدین منظور به عنوان نمونه مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ مدل‌سازی شده و با قرار دادن مواد منفجره در ارتفاع معین از سطح زمین مطابق شکل ۳ پاسخ سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای شبیه‌سازی انفجار آزاد در هوا و انفجار در هوا، ماده‌ی منفجره به ترتیب در ارتفاع ۱۳ و ۴ متری از سطح زمین (نقاط a و b) و برای شبیه‌سازی انفجار سطحی، ماده‌ی منفجره بر روی سطح زمین (نقطه‌ی c) قرار داده می‌شود.

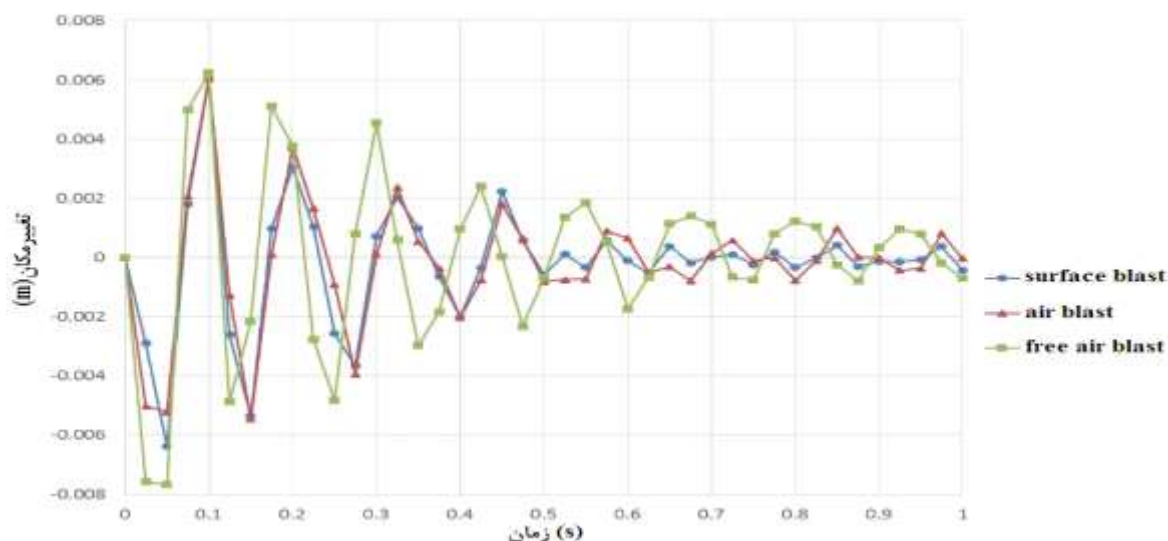


شکل ۳) محل قرارگیری مواد منفجره در سه حالت بارگذاری انفجاری

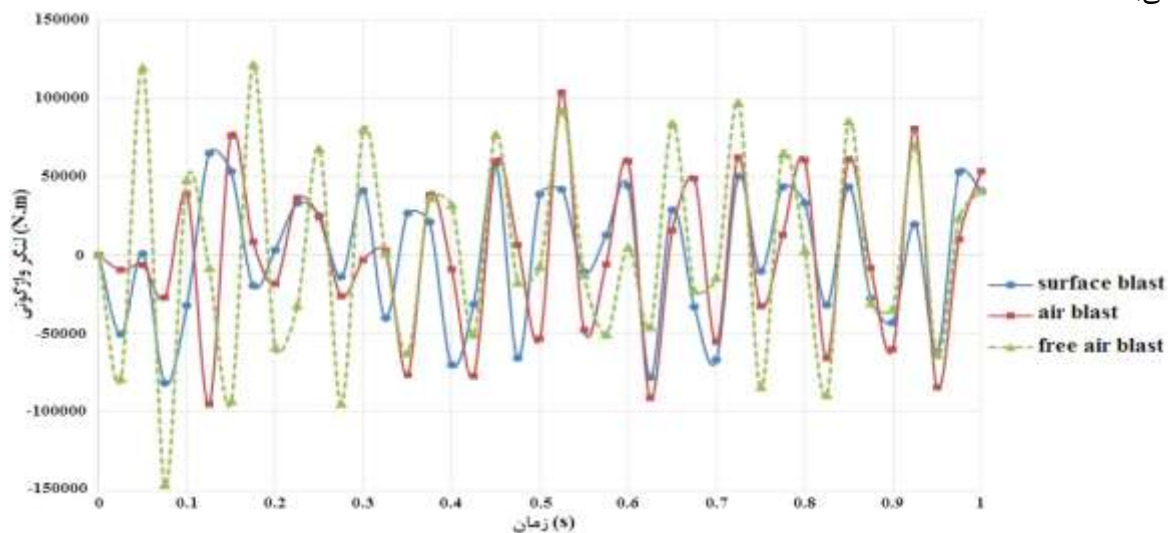
شکل ۴ نشان دهنده‌ی تاریخچه زمانی جابجایی راس مخزن در برابر بار انفجاری برای سه حالت انفجار آزاد در هوا، انفجار در هوا و انفجار سطحی می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۴ معلوم است جابجایی هنگامی که انفجار به صورت انفجار آزاد در هوا می‌باشد بیشتر از دو حالت دیگر می‌باشد و همین‌طور در حالت انفجار در هوا بیشتر از انفجار سطحی می‌باشد.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل ۴) تاریخچه زمانی جابجایی راس مخزن در برابر بار انفجاری برای سه حالت مختلف انفجار شکل ۵ لنگر واژگونی به وجود آمده در پای سازه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود لنگر به وجود آمده در حالت انفجار آزاد در هوا بیشتر از حالات دیگر می‌باشد. همچنین در حالت انفجار در هوا بیشتر از حالت انفجار سطحی می‌باشد، دلیل این امر بزرگی طول بازوی لنگر در حالت انفجار آزاد در هوا به دلیل فاصله‌ی برخورد امواج انفجاری نسبت به دو حالت دیگر می‌باشد.



شکل ۵) تاریخچه زمانی لنگر واژگونی سازه در برابر بار انفجاری برای سه حالت مختلف انفجار

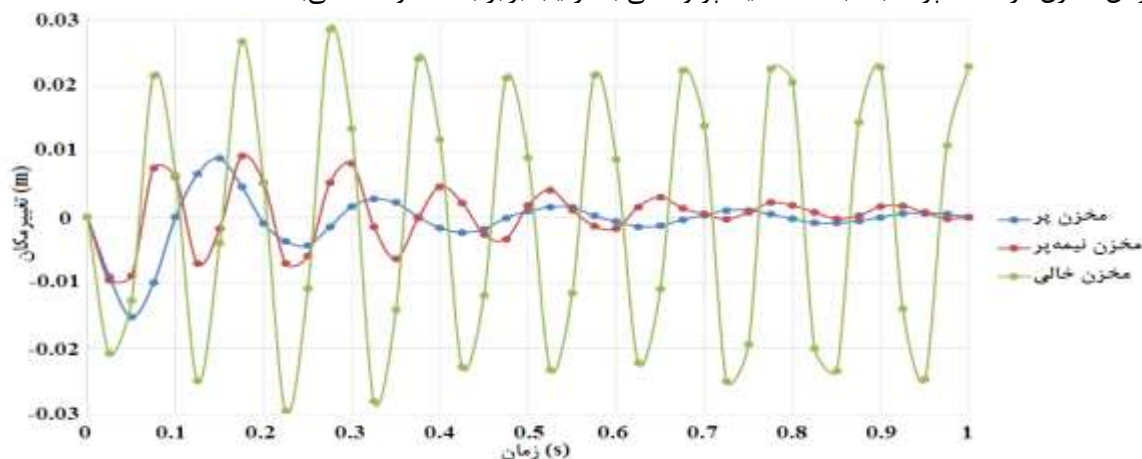
۲-۵ بررسی تاثیر ارتفاع سیال داخل مخزن بر پایداری سازه

در این بخش تاثیر میزان سیال داخل مخزن بر پایداری سازه تحت بار انفجاری آزاد و ثابت به میزان ۸۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله‌ی ۵ متری از سطح مخزن در جهت محور Xها (نقطه‌ی a در شکل ۳) مورد بررسی قرار گرفته است. مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در سه حالت خالی، نیمه‌پر، و پر مدل‌سازی شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند که نتایج آنها در ادامه ارائه شده است. شکل ۶ نشان دهنده‌ی تاریخچه زمانی جابجایی راس مخزن در سه حالت خالی، نیمه‌پر و پر برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲، تحت بار انفجاری می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود جابجایی مخزن خالی بیشتر از مخزن نیمه‌پر و پر



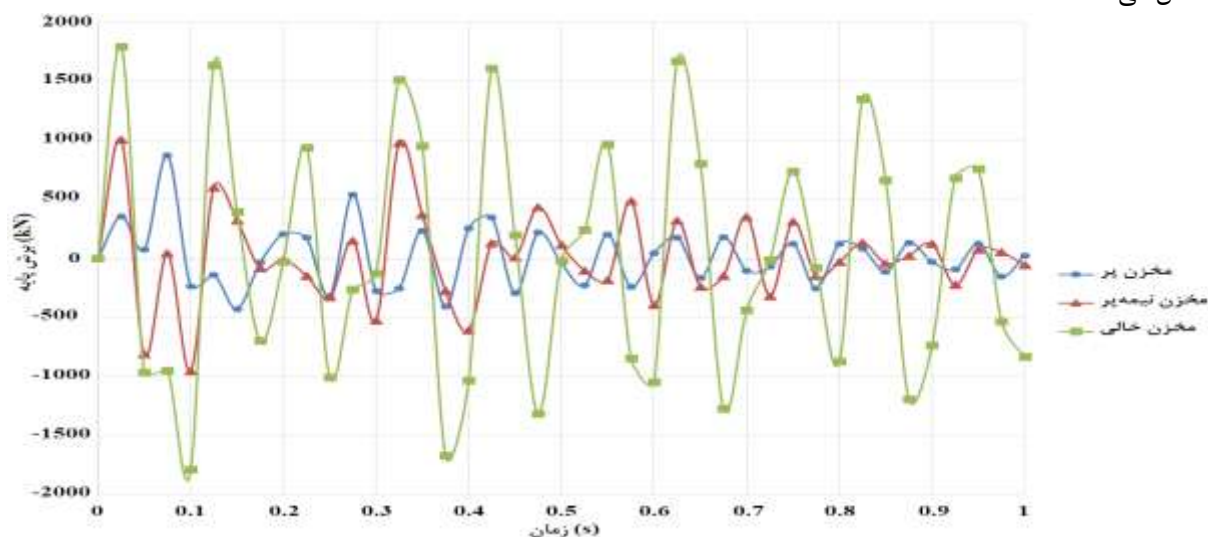
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

می باشد. همچنین جابجایی مخزن نیمه پر بیشتر از مخزن کاملاً پر می باشد. با توجه به شکل ۶ درصد کاهش جابجایی بیشینه ی راس مخزن در حالت پر نسبت به حالت نیمه پر و خالی به ترتیب برابر با ۱۲٪ و ۶۸٪ می باشد.



شکل ۶) مقایسه تاریخچه زمانی جابجایی راس مخزن در برابر بار انفجاری برای سه حالت میزان آب داخل مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲

شکل ۷ نشان دهنده ی تاریخچه زمانی نیروی برش پایه ی سازه ی مخزن در سه حالت خالی، نیمه پر و پر برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲، تحت بار انفجاری می باشد. با توجه به شکل مشاهده می شود که مخزن خالی بیشترین برش پایه را تجربه می کند. در بین مخزن نیمه پر و پر هم برش به وجود آمده در مخزن نیمه پر بیشتر می باشد و مخزن پر برش پایه کمتری را تحمل می کند.

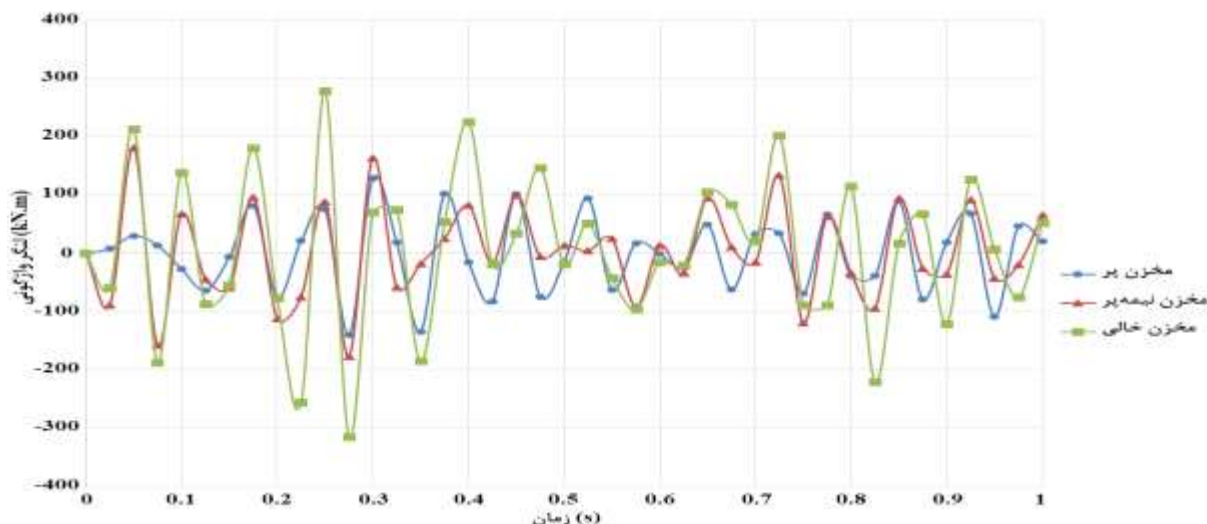


شکل ۷) مقایسه تاریخچه زمانی نیروی برش پایه به وجود آمده در پای مخزن در برابر بار انفجاری برای سه حالت میزان آب داخل مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲

شکل ۸ نشان دهنده ی تاریخچه زمانی لنگر واژگونی سازه ی مخزن در سه حالت خالی، نیمه پر و پر برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲، تحت بار انفجاری می باشد. با توجه به شکل مشاهده می شود که مخزن خالی بیشترین لنگر را تجربه می کند. در بین مخزن نیمه پر و پر هم لنگر واژگونی به وجود آمده در مخزن نیمه پر بیشتر می باشد و مخزن پر لنگر واژگونی کمتری را تحمل می کند.



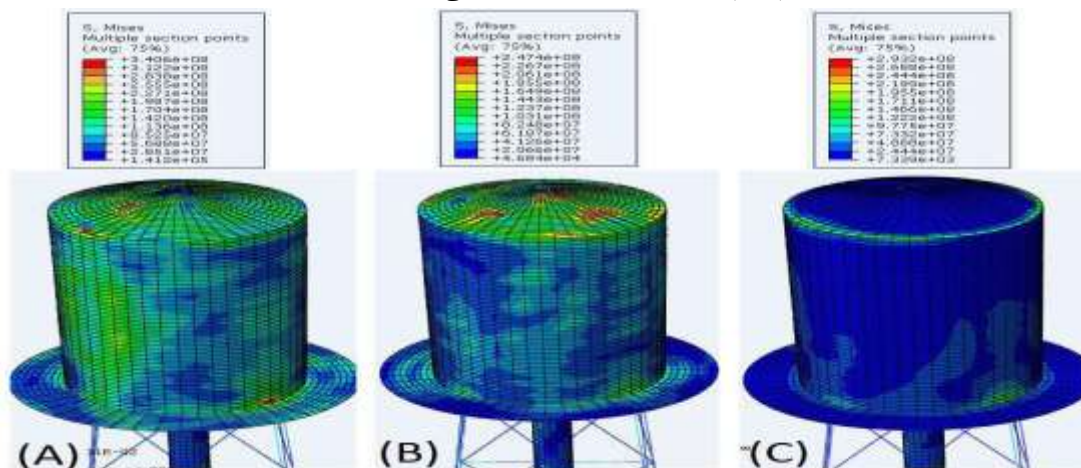
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل ۸) مقایسه تاریخچه زمانی لنگر واژگونی سازه مخزن در برابر بار انفجاری برای سه حالت میزان آب داخل مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲

۳-۵) بررسی تاثیر ارتفاع سیال داخل مخزن بر رفتار بدنه مخزن

در این بخش رفتار بدنه مخزن در مقابل بار انفجاری آزاد در هوا به مقدار ثابت ۸۰ کیلوگرم تی ان تی در فاصله ۵ متری از سطح مخزن در جهت محور Xها مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی به عنوان نمونه مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در نظر گرفته شده است و تنش‌های به وجود آمده در بدنه مخزن در سه حالت خالی، نیمه پر و پر مورد بررسی واقع شده است. شکل ۹ نمونه‌ای از کانتورهای تنش فون مایسز به وجود آمده در جداره مخزن در سه حالت خالی، نیمه پر و پر در یک زمان معین آورده شده است. با بررسی کانتورها مشاهده شد که در مخزن خالی اکثر ماکزیمم تنش‌ها در محل اتصال پایه‌های کناری به مخزن و در مخزن نیمه پر و پر در سقف مخزن به وجود می‌آید.



شکل ۹) کانتورهای تنش فون مایسز. (A): مخزن خالی، (B): مخزن نیمه پر، (C): مخزن پر

۶) نتیجه گیری

در این پژوهش رفتار یک مخزن هوایی نگهداری سیال تحت بارگذاری انفجاری مورد مطالعه قرار گرفت و تاثیر موقعیت وقوع انفجار و بحرانی‌ترین بارگذاری انفجاری مورد بررسی قرار گرفت. این مخزن در بحرانی‌ترین موقعیت انفجار در حالات مختلفی از



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

میزان سیال داخل مخزن مدل‌سازی شد و پایداری سازه مخزن و رفتار بدنه‌ی مخزن مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی حالات مختلف انفجار مشاهده می‌شود که شدت تاثیر انفجار آزاد در هوا نسبت به دو حالت دیگر بسیار زیاد می‌باشد. دلیل این موضوع انتقال مستقیم انرژی ناشی از انفجار می‌باشد که در حالات دیگر وجود مانع یا برخورد با سطح زمین موجب جذب بخشی از انرژی شوک انفجاری می‌شود. به عبارت دیگر انفجار آزاد در هوا بحرانی‌ترین حالت بارگذاری انفجاری برای مدل مخزن هوایی می‌باشد بنابراین توصیه می‌شود در بررسی رفتار دینامیکی مخازن هوایی تحت بارگذاری انفجاری، حالت بحرانی‌تر که انفجار آزاد در هوا می‌باشد منظور گردد. میزان سیال داخل مخزن رابطه‌ی عکس با پاسخ دینامیکی مخزن دارد. به عبارت دیگر هرچه میزان سیال داخل مخزن افزایش می‌یابد، جابجایی راس مخزن، برش پایه‌ی سازه و لنگر واژگونی کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که مخزن خالی جابجایی، برش پایه و لنگر واژگونی بیشتری را تحت بار انفجاری به میزان معین در مقایسه با مخزن نیمه‌پر و پر تحمل می‌کند. مخزن نیمه‌پر نیز در مقایسه با مخزن پر جابجایی، برش پایه و لنگر واژگونی بیشتری نشان می‌دهد. میزان سیال داخل مخزن بر رفتار جداره‌ی مخزن نیز تاثیرگذار می‌باشد. هرچه سیال داخل مخزن بیشتر باشد تنش‌های تجربه شده مانند تنش فون مایسز کاهش می‌یابد. با بررسی نتایج حاصل از تاثیر میزان سیال داخل مخزن بر رفتار بدنه مشاهده شد که مخزن خالی تنش فون مایسز بیشتری را از مخزن نیمه‌پر و پر تحمل می‌کند و به همین ترتیب مخزن نیمه‌پر تنش‌های بیشتری را در مقایسه با مخزن کاملا پر تحمل می‌کند.

منابع

1. Atkinson, G. (2011). *Blast damage to storage tanks and steel clad buildings*, Process Safety and Environmental Protection 89. pp. 382-390
2. Baker, W.E. (1973). *Explosions in air*, University of Texas Press
3. Borvik, T., Hanssen, A.G., Langseth, M. and Olovsson, L. (2009). *Response of structures to planar blast loads—A finite element engineering approach*, Computers & Structures 87. pp. 507-520
4. Chafi, M.S., Karami, G. and Ziejewski, M. (2009). *Numerical analysis of blast-induced wave propagation using FSI and ALE multi-material formulations*, International Journal of Impact Engineering 36. pp. 1269-1275
5. Chang, J.I. and Lin, C.C. (2006). *A study of storage tank accidents*, Journal of loss prevention in the process industries 19. pp. 51-59
6. Esparza, E.D. (1986). *Blast measurements and equivalency for spherical charges at small scaled distances*, International journal of impact engineering 4. pp. 23-40
7. Goodman, H. (1960). *Compiled free-air blast data on bare spherical pentolite*, Defense Technical Information Center
8. Kadid, A. (2008). *Stiffened plates subjected to uniform blast loading*, Journal of Civil Engineering and Management 14. pp. 155-161
9. Kingery, C.N. (1966). *Air blast parameters versus distance for hemispherical TNT surface bursts*, Defense Technical Information Center
10. Kingery, C.N. and Bulmash, G. (1984). *Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical surface burst*, Ballistic Research Laboratories, Technical report BRL, 02555
11. Kinney, G.F. and Graham, K.J. (1985). *Explosive shocks in air*, Springer Verlag 1. pp. 282
12. Marchand, K.A. and Alfawakhiri, F. (2005). *Blast and progressive collapse, facts for steel Buildings*, American Institute of Steel Construction Inc



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



13. Mirzabozorg, H. and Hariri-Ardebili, M. (2012). *Free surface sloshing effect on dynamic response of rectangular storage tanks*, American Journal of Fluid Dynamics 2. pp. 23-30
14. Mittal, V., Chakraborty, T. and Matsagar, V. (2014). *Dynamic analysis of liquid storage tank under blast using coupled Euler–Lagrange formulation*, Thin-Walled Structures 84. pp. 91-111
15. Ngo, T., Mendis, P., Gupta, A. and Ramsay, J. (2007). *Blast loading and blast effects on structures—an overview*, Electronic Journal of Structural Engineering 7. pp. 76-91
16. Nurick, G. and Martin, J. (1989). *Deformation of thin plates subjected to impulsive loading—a review part II: experimental studies*, International Journal of Impact Engineering 8. pp. 171-186
17. Pandey, A.K., Kumar, R., Paul, D.K. and Trikha, D.N. (2006). *Non-linear response of reinforced concrete containment structure under blast loading*, Nuclear Engineering and design 236. pp. 993-1002
18. Rajendran, R. and Lee, J. (2009). *Blast loaded plates*, Marine Structures 22. pp. 99-127
19. Reisler, R., Pellet, B. and Kennedy, L. (1977). *Air burst data from height-of-burst studies in Canada*, Vol. II, Technical report BRL, 1990
20. Remennikov, A.M. (2003). *A review of methods for predicting bomb blast effects on buildings*, Journal of Battlefield Technology 6. pp. 5-10
21. Shakib, H., Omidinasab, F. and Ahmadi, M. (2010). *Seismic Demand Evaluation of Elevated Reinforced Concrete Water Tanks*, International Journal of Civil Engineering 8. pp. 204-220
22. Shope, R.L. (2006). *Response of wide flange steel columns subjected to constant axial load and lateral blast load*, Virginia Polytechnic Institute
23. Teich, M. and Gebbeken, N. (2013). *Analysis of FSI effects of blast loaded flexible structures*, Engineering Structures 55. pp. 73-79