

بررسی اثر تیغه میراگر حلقوی بر رفتار دینامیکی مخازن هوایی ذخیره سیال تحت بار انفجاری

فرهود کلاته^{*}، رافق فانی خیای^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- کارشناسی ارشد- سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

در دهه‌های گذشته به دلیل انفجارهای حاصل از بمب‌گذاری‌ها و حملات تروریستی و دیگر انفجارهای غیرعمدی روی داده، توجه به بارگذاری انفجار و پاسخ سازه‌های زیربنایی تحت آن اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. یکی از مهم‌ترین سازه‌های زیربنایی، مخازن هوایی ذخیره مایعات می‌باشند که نقش مهم و تأثیرگذاری را در نگهداری مایعات در صنایع بر عهده دارند. این مخازن به‌طور گسترده‌ای در نگهداری آب در جوامع شهری و تصفیه‌خانه‌ها، نگهداری نفت در مجتمع‌های نفتی و پالایشگاه‌ها و مواد شیمیایی و خوراکی در صنایع به‌کاربرده می‌شوند. در این پژوهش به تأثیر تیغه‌های میراگر حلقوی، که در ارتفاع معینی از کف مخازن هوایی استوانه‌ای نصب شده است، بر پاسخ و رفتار دینامیکی مخازن نگه‌دارنده سیال تحت بار انفجار پرداخته شده است. بدین منظور مخزن فولادی تحت بار انفجار با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و سیال و با استفاده از فرمول‌بندی کوپل اولر- لاگرانژی که مزیت در نظر گرفتن معادلات اساسی مکانیک سازه و مکانیک سیالات را به‌صورت کوپل دارد، توسط نرم‌افزار ABAQUS به‌صورت سه‌بعدی، مدل‌سازی گردید. به منظور بررسی دقیق تر موضوع سه نسبت هندسی (H/R) مختلف برای مخزن هوایی منظور گردیده و سطح آب در مخزن نیز در دو حالت پر و نیمه پر مد نظر قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل شده ملاحظه می‌شود با قراردادن تیغه میراگر حلقوی شاهد کاهش لنگر واژگونی و اسلاشینگ در هر دو حالت مخزن پر و نیمه‌پرمی باشیم.

کلمات کلیدی: مخازن هوایی ذخیره سیال، بار انفجاری، تیغه میراگر حلقوی، روش المان محدود، کوپل اولر- لاگرانژی

| شناسه دیجیتال: | | سابقه مقاله: | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------|------------------|------------|------------|
| 10.22065/jsce.2018.118792.1460 | چاپ | انتشار آنلاین | پذیرش | بازنگری | دریافت |
| doi: 10.22065/jsce.2018.118792.1460 | ۱۳۹۹/۰۱/۱۵ | ۱۳۹۹/۰۱/۱۵ | ۱۳۹۷/۰۷/۰۲ | ۱۳۹۷/۰۵/۱۶ | ۱۳۹۶/۱۱/۱۵ |
| فرهود کلاته | | | * نویسنده مسئول: | | |
| fkalateh@tabrizu.ac.ir | | | پست الکترونیکی: | | |

Evaluated of Annular Baffle on Dynamic behavior of Elevated Liquid Storage Tanks under Blast Loading

Farhoud Kalateh^{1*}, Rafiq. Fani²

1-Assistant Professor , Civil Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2-MSc of Hydraulic Structure, Civil Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ABSTRACT

In last decades with an increase in the number of terrorist attacks and other unintentional explosions, the study of blast loading and response of infrastructures have gained much importance. Elevated liquid storage tanks are one of the major infrastructures that play important role in industries. Liquid storage structures can use for the storage of water, milk, liquid petroleum and chemicals in industries. Blast loading on liquid storage structures may lead to disaster due to water crisis. Hence, understanding the dynamic behavior of liquid storage structures under blast loading through numerical simulations is of utmost importance. In the present study, three dimensional (3D) finite element (FE) simulations of a steel water storage elevated tank with annular baffle that put in the specific height of tank's wall subjected to blast loading is investigated using the FE software ABAQUS. The coupled Euler-Lagrange (CEL) formulation in ABAQUS has been adopted herein which has the advantage of considering the coupling of structural mechanics and fluid mechanics fundamental equations. Three different aspect ratio (H/R) are considered in the present study and two different water levels, i.e., full tank and half full tank are considered. Obtained results show that baffle reduces overturning moments and sloshing in both cases of full and half full tanks.

ARTICLE INFO

Receive Date: 10 February 2018

Revise Date: 07 August 2018

Accept Date: 24 September 2018

Keywords:

Elevated Water storage tanks

Blast loading

Annular baffle

Finite elements

Coupled Euler-Lagrange

formulation

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.118792.1460

*Corresponding author: : Farhoud Kalateh.

Email address: fkalateh@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

مخازن ذخیره سیال سازه‌هایی هستند که برای نگهداری مایعات مختلف جهت تأمین نیازهای بهداشتی، شبکه‌های آب‌رسانی شهری، تصفیه‌خانه‌ها، پالایشگاه‌ها، سایت‌های شیمیایی و... مورد استفاده قرار می‌گیرند که وجود آن‌ها برای رفع نیازهای مختلف در جوامع شهری امروزی با توجه به افزایش جمعیت و گسترش شهرها امری غیرقابل چشم‌پوشی است. تخریب این مخازن و آسیب دیدن آن‌ها ممکن است فجایع زیانباری از جمله بحران آب، تهدید سلامت موجودات زنده به دلیل پخش شدن مواد شیمیایی، آتش‌سوزی به خاطر پخش شدن سوخت‌های مایع و فجایع انسانی و زیست‌محیطی دیگری را در پی داشته باشد. از دید اقتصادی نیز تخریب و آسیب دیدن مخازن می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. به عنوان مثال یک حادثه‌ی کوچک در مخازن نگه‌دارنده سیال در پالایشگاه‌های نفتی و سایت‌های شیمیایی می‌تواند میلیون‌ها دلار خسارت وارد کرده و باعث تعطیلی چندروزه شود و در حوادث با ابعاد بزرگ‌تر حتی به ورشکستگی و تضعیف مالی و دارایی بینجامد. چنانگ و لین با بررسی جامع حوادثی که در سال‌های اخیر برای مخازن نگهداری سیالات افتاده است نشان دادند که مخازن نگهداری سیالات یکی از آسیب‌پذیرترین سازه‌های باشند [۱]. از این رو با توجه به اهمیت ویژه‌ی مخازن باید تدابیر لازم جهت تأمین ایمنی آن‌ها اتخاذ شود. لذا لزوم بررسی رفتار چنین سازه‌هایی تحت بار انفجاری از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است. بررسی رفتار سازه‌های مختلف تحت بارهای انفجاری در طی سال‌های اخیر توسط محققین مختلف صورت گرفته است [۱۱-۲]. هرچند 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. در این پژوهش رفتار و پاسخ دینامیکی مخزن هوایی تحت بار انفجاری مورد بررسی قرار گرفته است. امواج تلاطمی سطح آب در مخازن عامل قابل توجه و تاثیرگذار در پاسخ مخزن به تحریکات لرزه ای است. امواج تلاطمی علاوه بر اینکه برش پایه و لنگر واژگونی را بطور قابل توجهی متاثر می‌سازند، در تعیین اندازه ارتفاع آزاد و آسیب‌های ناشی از آن به ویژه خرابی مخازن سقف دار و متعاقب آن، آسیب‌های وارده بر جداره نیز تائثر گذار می‌باشد. تلاطم در مخازن بدون وجود ابزار کاهش اثر تلاطم، توسط تنش لزجت اتلاف می‌شود که تاثیر آن بسیار کم است [۱۲]. لذا استفاده از روش‌های کارآمد و مقرون به صرفه برای کاهش تاثیر اسلاشینگ می‌تواند موجب بهبود عملکرد مجموعه سازه وسیال و منجر به کاهش هزینه ساخت شود [۱۳]. یکی از روش‌های کاهش اثر تلاطم سطحی در مخازن ذخیره سیال، استفاده از تیغه میراگر با شکل و جانمایی‌های مختلف می‌باشد. مکانیسم تیغه میراگر، به عنوان یک سیستم کنترل غیرفعال، ایجاد محلی برای اتلاف انرژی است. شروع مطالعات بر روی تیغه‌های میراگر به مطالعات سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا در دهه شصت میلادی بازمی‌گردد. از آن دوران به بعد، مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی در زمینه تیغه‌های میراگر ادامه پیدا کرد که در این میان به مطالعات میلز [۱۴]، سیلوریا و همکاران [۱۵]، ولت و مودی [۱۶] و ملکی و همکار [۱۷] می‌توان اشاره نمود. در سال ۱۹۹۹، گدیگلی و همکار مدل المان مرزی مخزن صلب را تحت بار لرزه‌ای هارمونیک و همچنین تحت زلزله واقعی مطالعه کردند و تاثیر تیغه میراگر بر برش پایه، لنگر واژگونی و فرکانس مود طبیعی سیال را ارزیابی کردند [۱۸]. در سال ۲۰۰۲، چو و همکاران، با استفاده از روش المان محدود، تاثیر تیغه میراگر بر فرکانس مود طبیعی مخزن انعطاف پذیر برای سیال تراکم پذیر بررسی کردند [۱۹]. در سال ۲۰۰۴، چو و لی یک مدل المان محدود دوبعدی با رویکرد شبه لاگرانژی و شرایط سطح آزاد غیرخطی ارائه دادند و تاثیر تیغه را بر برش پایه و لنگر واژگونی تحت تحریک هارمونیک بررسی نمودند [۲۰]. در سال ۲۰۰۵، چو و همکاران یک مدل المان محدود دوبعدی ارائه نمودند که در شرط مرزی سطح آزاد، عبارت میرایی مصنوعی اعمال شده بود و تاثیر تعداد، ارتفاع، بازشدگی تیغه و میرایی سطح آزاد بر فرکانس مود طبیعی سیال و ارتفاع سطح آزاد آب مورد بررسی قرار داده شده بود [۲۱]. فیروزآبادی و همکاران یک مدل المان مرزی برای سیال داخل مخزن ارائه دادند که توانایی مدل کردن مخازن باهندسه‌های مختلف و حالت‌های مختلف تیغه را دارا بود و تاثیر تیغه بر روی فرکانس مود طبیعی سیال را مورد ارزیابی قرار دادند [۲۲]. عرب و همکار [۲۳] در پژوهشی به بررسی اثر تیغه میراگر حلقوی بر رفتار دینامیکی مخازن ذخیره سیال زمینی پرداخته‌اند، در این تحقیق روش المان مرزی جهت مدلسازی مسئله استفاده شده است که از اثرات اندرکنشی دیواره مخزن و سیال در این پژوهش صرف‌نظر گردیده و دیواره مخزن صلب فرض شده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان دهنده افزایش ناچیزی در برش پایه و کاهش چشمگیر لنگر واژگونی در مخزن در اثر تعبیه میراگر حلقوی در مخزن می‌باشد. هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی تاثیر تیغه میراگر حلقوی شکل بر پاسخ سیال، در مخازن انعطاف پذیر استوانه ای هوایی، تحت موج شوک

ناشی از بارگذاری انفجاری می باشد. با توجه به قابلیت های نرم افزار تجاری آباکوس در مدل سازی اندرکنش سیال و سازه و مدلسازی بارگذاری انفجاری از این نرم افزار برای مدل کردن سازهی مخزن و سیال داخل مخزن استفاده شده است. به همین منظور مخزن فلزیمنتخبی را تحت بار انفجار با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و سیال و با استفاده از فرمول بندی کوپل اولر- لاگرانژی در نرم افزار آباکوس، بصورت سه بعدی به همراه تیغه میراگر حلقوی، مدل سازی نموده و به بررسی اثرات میراگر حلقوی بر رفتار دینامیکی مخزن ذخیره سیال هوایی پرداخته شد، همچنین با در نظر گرفتن سه نسبت ارتفاع مخزن به شعاع مخزن (H/R) متفاوت، عملکرد میراگر حلقوی در این سه مخزن مورد مقایسه قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مدل کوپله اولری - لاگرانژی (CEL)

آنالیزهای کوپل اولری- لاگرانژی اجازه می دهد مدل سازی اثر متقابل اجسام اولری و لاگرانژی را در یک مدل فراهم می سازد. آنالیز کوپله اولری- لاگرانژی به طور معمول جهت مدل سازی اثرات متقابل جسم جامد با یک سیال یا یک ماده تسلیم شده استفاده می شود. بنابراین در روش CEL ماده اولری می تواند با ماده لاگرانژی در تماس باشد که این نوع از تماس به تماس اولری- لاگرانژی معروف است. این تماس در آنالیزهای کوپل اولری- لاگرانژی مورد استفاده قرار می گیرد، از این رو این ابزار قدرتمند این امکان را ایجاد می کند که بتوان بسیاری از مسائل چند فازی از جمله تماس سازه با سیال را حل کرد. از آنجایی که پیاده سازی روش اولری در نرم افزار آباکوس بر اساس روش حجم سیال^۱ می باشد در این روش موقعیت ماده اولری در محیط مش بندی با محاسبه کسر حجمی اولرین در هر المان مشخص می شود. با این تعریف اگر یک المان به طور کامل از یک ماده پر شود مقدار کسر حجمی اولرین آن یک و اگر ماده ای در آن قرار نگیرد کسر حجمی اولرین آن صفر می باشد.

۲-۲- معادلات تعادل دینامیکی حاکم بر محیط سازه و سیال

۲-۲-۱- معادله تعادل دینامیکی قلمرو سازه:

معادله دیفرانسیلی حاکم بر تعادل دینامیکی محیط سازه توسط معادله زیر بیان می شود:

$$\sigma_{ij,i} - F_i = \rho \frac{\partial^2 u_{s_i}}{\partial t^2} \quad (1)$$

بطوریکه σ_{ij} مولفه های تنش، u_{s_i} مولفه های جابه جایی، F_i بردار بار خارجی و ρ دانسیته مصالح می باشند. فرم گسسته سازی معادلات فوق را می توان بصورت زیر بیان نمود:

$$[M]\ddot{u}_s + [C]\dot{u}_s + [K]u_s = [Q]\{P_i + P_r\} + [Q_h]\{P_h\} + \{F_s\} \quad (2)$$

در معادله (۲) ماتریس های $[M]$ ، $[C]$ و $[K]$ به ترتیب ماتریس جرم، میرایی و سختی سازه می باشند و $[Q]$ ماتریس اندرکنش مابین محیط سازه و سیال مجاور است. P_i موج شوک انفجاری برخوردی به سازه و P_r موج شوک منعکس شده از سطح سازه می باشند، نحوه تعیین این بردارها در بخش (۲) بتفصیل توضیح داده شده است. همچنین P_h فشار هیدرودینامیکی وارد بر سازه مخزن، F_s بردار بارهای خارجی موثر بر سازه شامل وزن و ... و u_s بردار جابجایی قلمرو سازه می باشد.

۲-۲-۲- معادله تعادل دینامیکی محیط سیال:

معادله تعادل دینامیکی سیال تراکم پذیر با فرض دامنه کوچک برای حرکت ذرات سیال بصورت زیر می باشد:

¹ - Volume of fluid

$$\frac{\partial P_h}{\partial x} + \gamma \cdot \dot{u}_f + \rho_f \cdot \ddot{u}_f = 0 \quad (3)$$

P اضافه فشار در سیال، X موقعیت مکان ذره سیال، \dot{u}_f سرعت ذره سیال، \ddot{u}_f شتاب ذره سیال، ρ_f چگالی سیال، γ درگ حجمی می باشد. چنانچه سیال غیرلزج، خطی و تراکم پذیر فرض شود داریم:

$$P = -K_f \frac{\partial u_f}{\partial x} = -K_f \nabla u \quad (4)$$

بطوریکه K_f مدول بالک سیال می باشد. برای استخراج معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی مورد استفاده در انتگرال گیری مستقیم تحلیل دینامیکی معادله (3) را بر ρ_f تقسیم کرده و مشتق آنرا نسبت به X بدست آورده سپس با اعمال ساده سازی و ترکیب نتیجه حاصل با معادله (4)، معادله تعادل دینامیکی قلمرو سیال بر مبنای فشار سیال حاصل می گردد:

$$\frac{1}{K_f} \ddot{P} + \frac{\gamma}{\rho_f K_f} \dot{P} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial P}{\partial x} \right) = 0 \quad (5)$$

با استفاده از فرم ضعیف معادله و اعمال روش جزء به جزء فرم نهایی گسسته شده معادله بصورت زیر خواهد بود:

$$[G]\ddot{P}_h + [D]\dot{P}_h + [H]P_h = -[Q]^T \ddot{u}_s + \{F_f\} \quad (6)$$

در معادله (6) ماتریس های $[G]$ ، $[D]$ و $[H]$ به ترتیب ماتریس شبه جرم، شبه میرایی و شبه سختی سازه می باشند و $\{F_f\}$ بردار بارهای خارجی موثر بر سیال است. معادلات (2) و (6)، معادلات همبسته می باشند که باید بطور همزمان در حوزه زمانی با استفاده از گزینه‌ی انتگرالگیری دینامیکی صریح در نرم افزار، انتگرال گیری زمانی شوند.

۲-۳- مدل المان محدود

برای مدل سازی عددی مخزن موردنظر از روش کوپل اولری-لاگرانژی استفاده شده است. در این روش مخزن فولادیه عنوان جسم لاگرانژی و آب داخل مخزن به صورت اولری در نظر گرفته شده است. در بررسی حاضر تماس به وجود آمده بین سطح مخزن فولادی (لاگرانژی) و آب (اولری) با توجه به کوپل اولری-لاگرانژی در طول آنالیز توسط نرم افزار محاسبه می شود. فشار ناشی از انفجار اعمال شده به مخزن با استفاده از الگوریتم تماس عمومی آبه محیط اولری آب داخل مخزن منتقل می شود. در این مدل سازی مخزن فولادی با استفاده از المان های چهار گرهی پوسته (S4I) 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. مخزن در داخل این بخش اولری حرکتی کند و مکان آب داخل مخزن در هر لحظه با محاسبه‌ی درصد آب داخل هر سلول در آن لحظه محاسبه شده و سطح آزاد آب تعیین می شود. برای مدل سازی قطعه‌ی اولری از المان های سه بعدی هشت گرهی با انتگرال گیری کاهش یافته (EC3D8R) استفاده شده است. در این روش قطعه لاگرانژی (مخزن) به طور کامل در داخل قطعه‌ی اولری (آب) قرار می گیرد به طوری که به راحتی می تواند داخل آن حرکت کند. لازم به ذکر است در این روش قبل از شروع تحلیل، مکان اولیه‌ی آب در ارتفاع موردنظر در داخل مخزن تعریف می شود.

۲-۴- مشخصات هندسی مدل

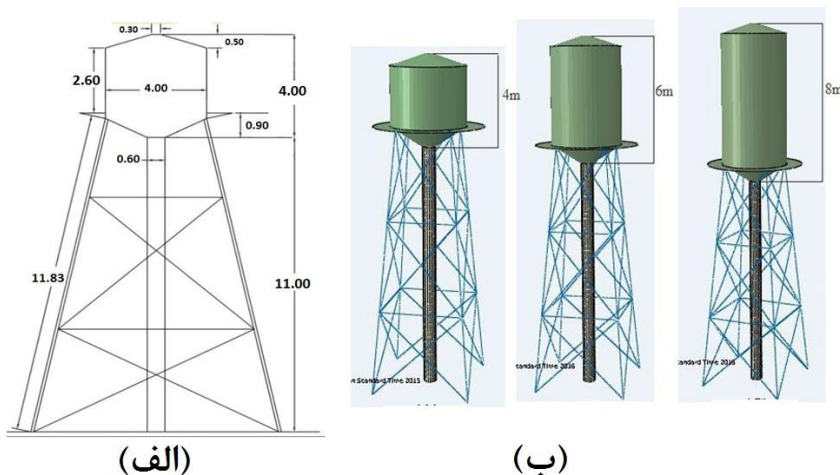
جزئیات طراحی مخزن اولیه که دارای نسبت ارتفاع به شعاع مخزن ۲ می باشد با استفاده از نقشه های اجرایی شرکت ملی فرآورده های نفتی در نظر گرفته شده است. مخزن موردنظر دارای حجم ۳۰ مترمکعب می باشد. ارتفاع مخزن برابر ۴ متر و شعاع آن برابر ۲ متر می باشد، جزئیات بیشتر در (شکل ۱-الف) نشان داده شده است. برای مخزن هوایی دو نسبت ارتفاع به شعاع مختلف برابر ۳ و ۴ نیز با مشخصات

²)General Contact

یکسان مدلسازی شده است، تنها تفاوت آنها در ارتفاع مخزن می باشد. ضخامت جداره مخزن در تمامی مدل‌ها برابر با ۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. مخزن هوایی مورد نظر از فولاد نرم با ضریب الاستیسیته $E=210GPa$ ، ضریب پوواسون $\nu=0.3$ و چگالی $\rho=7000kg/m^3$ ساخته شده است. به منظور تاثیر دادن نرخ کرنش بر تنش خواص پلاستیکی فولاد، مدل سخت شوندگی جانسون-کوک مطابق جدول شماره (۱) مورد استفاده قرار گرفته است [۲۴]. با توجه به رابطه (۱) تنش به صورت تابعی از کرنش، نرخ کرنش و دما در مدل جانسون-کوک تعریف می‌شود [۲۴]. این ویژگی به راحتی در نرم‌افزار آباکوس قابل تعریف می‌باشد.

$$\sigma = [A + B\bar{\epsilon}^n] [1 + C \ln \epsilon^*] [1 - T^{*m}] \quad (7)$$

در رابطه (۷) A, B, C, m و n ثابت‌های مادی هستند و ϵ^* کرنش پلاستیک مؤثر، ϵ^* نرخ کرنش بدون بعد و T^* دمای بدون بعد متناظر می‌باشد. در پژوهش حاضر آب به صورت سیال نیوتونی و غیر لزج در نظر گرفته شده است که با استفاده از معادله حالت $U_s - U_p$ مدل‌سازی شده است. چگالی آب ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ویسکوزیته آن 0.001 پاسکال در ثانیه در نظر گرفته شده است. همانطوریکه در (شکل ۱-الف) مشاهده می‌شود ارتفاع مخزن ۴ متر می‌باشد. برای دو حالت دیگری یعنی نسبت ارتفاع به شعاع ۳ و ۴ ارتفاع مخزن را به ترتیب برابر با ۶ و ۸ متر در نظر گرفتیم. شکل (شکل ۱-ب) نشان‌دهنده سه حالت مخزن مدل‌سازی شده می‌باشد. لازم به ذکر است که در بخش بررسی تأثیر تیغه‌ی میراگر حلقوی، ورق فولادی با ضخامت ۸ میلی‌متر و عرض ۶۰ سانتی‌متر به صورت حلقوی در داخل و در وسط مخزن بصورت افقی مطابق شکل (۷-ج) جایگذاری می‌شود.



شکل ۱- الف) جزئیات طراحی مخزن اولیه. ب) مدل‌های ساخته شده توسط نرم‌افزار ABAQUS
جدول ۱- خواص پلاستیکی فولاد در مدل جانسون-کوک

| A | B | C | n | m |
|---------|---------|-------|-------|---|
| 360 MPa | 365 MPa | 0.075 | 0.114 | 1 |

۲-۵- بارگذاری

سازه مورد نظر در این پژوهش تحت بار استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار داده شد. بار استاتیکی ناشی از بار وزن خود سازه و بار دینامیکی ناشی از بار انفجار می‌باشد. برای اعمال بار انفجار در نرم‌افزار آباکوس از روش CONWEP^۳ استفاده می‌کنیم که بار حاصل از انفجار مقدار مشخصی از TNT را در فاصله معینی از سازه محاسبه کرده و به سازه اعمال می‌کند. در پژوهش حاضر انفجار آزاد در هوا که

^۳) Conventional Weapon

^۴) Free air blast

بحرانی‌ترین نوع بارگذاری انفجاری در هوا برای مخزن هوایی می‌باشد، با در نظر گرفتن میزان بار انفجاری مشخصی برای تحلیل در یک فاصله معین جهت بررسی پاسخ دینامیکی سازه مخزن استفاده شده است.

۳- بارگذاری موج شوک ناشی از انفجار

برای مدل سازی بارگذاری انفجاری بر روی سازه ها دونوع دیدگاه وجود دارد:

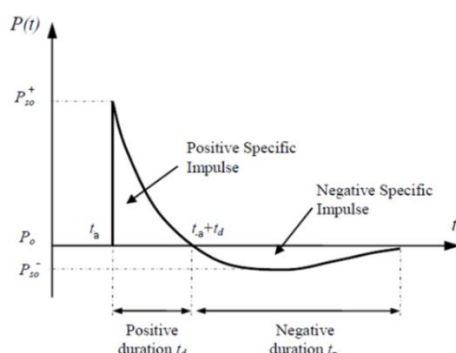
الف: بارگذاری انفجاری به صورت تاریخچه یک فشار بر روی تمام یا قسمتی از سازه بدون در نظر گرفتن تاثیر تغییر شکل های سازه بر توزیع فشار.

ب: بارگذاری با مدل سازی کامل محیط سازه و سیال به صورت کوپل کامل.

روش دوم در صورت اجرای دقیق، به نتایج بسیار دقیق تر از روش اول خواهد انجامید، ولی دارای پیچیدگی های زیاد بوده و زمان تحلیل بسیار طولانی تر خواهد بود. مدل سازی به روش اول در نرم افزارهای معمولی اجزاء محدود قابل انجام می باشد، ولی در مورد روش دوم بسیاری از نرم افزارهای موجود توانایی چنین تحلیلی را ندارند و یا در صورت داشتن چنین قابلیتی انجام تنظیمات آن وقت گیر و پیچیده خواهد بود. بسیاری از بارگذاری های انفجاری را می توان با تقریب خوبی حاصل از انفجاریک خرج کروی دانست. انفجار آزاد شدن سریع انرژی ذخیره شده می باشد که با روشنایی زیاد و موج صوتقابل شنیدن همراه می باشد. بخشی از انرژی به صورت تشعشع حرارتی منتشر می شود و بخشی نیز به صورت کوپل با هوا به عنوان انفجار در هوا و بخشی هم به عنوان شوک زمینی به خاک (زمین) آزاد می شود بطوریکه این امواج ضربه ای به صورت شعاعی گسترش می یابد. افزایش فشاری که به یک نقطه خاص می رسد بستگی به فاصله و میزان مواد منفجره دارد. منحنی فشار-زمان برای امواج انفجار در هوا در شکل (۲) نشان داده شده است. لازم به ذکر می باشد که اگر امواج انفجاری در مسیر انتشار به مانع برخورد کنند امواج ثانویه ای به وجود می آیند که از سطح منعکس می شود که فشار بازتابی نامیده می شود. به خاطر این انعکاس امواج تولید شده میزان اضافه فشار حاصله از انفجار می تواند تا چندین برابر افزایش یابد. میزان تأثیر فشار منعکس شده به بزرگی و زاویه ای انفجار بستگی دارد.

۳-۱- پارامترهای تعریف بارگذاری انفجاری

نمودار اضافه فشار معمولاً با پارامترهایی همچون زمان ورود موج انفجار، اضافه فشار مبنای انفجار و زمان عبور موج انفجار همانند آنچه در شکل (۲) نشان داده شده است، مشخص می شود. با توجه به شکل (۳) ویژگی های اصلی گسترش و پیشرفت این موج فشاری به شرح زیر می باشد: t_a زمان رسیدن موج به نقطه مورد نظر می باشد که شامل زمان انتشار موج انفجار از محل انفجار می باشد. P_{s0}^+ مقدار اوج اضافه فشار می باشد که در این نقطه فشار با سرعت بسیار بالایی (در زمان بی نهایت کم) افزایش می یابد و سپس شروع به کم شدن می کند تا جایی که به فشار اولیه P_0 که اکثراً فشار اتمسفر محیط می باشد،



شکل ۲- منحنی فشار-زمان برای امواج انفجاری در هوا [۲۵]

می‌رسد. t_d مدت زمان فاز مثبت است که در واقع زمان لازم برای رسیدن به نقطه فشار اولیه می‌باشد. پس از این نقطه فشار به پایین تر از فشار محیط کاهش می‌یابد تا به بیشترین مقدار منفی آن یعنی P_{s0}^- برسد. مدت زمان فاز منفی نیز با t_n نشان داده می‌شود. منحنی فشار-زمان (شکل ۲) را می‌توان با استفاده از فرمول اصلاح شده فریدلندر به صورت رابطه (۸) توصیف کرد [۲۶].

$$P(t) = P_0 \left(1 - \frac{t}{t_d} \right) e^{\left(-\frac{b t}{t_d} \right)} \quad (8)$$

در رابطه (۸) تابع $P(t)$ نشان دهنده شدت بار انفجاری بوده که برای سادگی در ناحیه فاز فشار مثبت بار به صورت یکنواخت و برابر P_{s0}^+ در نظر گرفته می‌شود. بدین معنی که P_0 فشار پیک اولیه، t_d زمان فاز مثبت انفجار و پارامتر تجربی b می‌باشد و t نیز معرف زمان است.

۳-۲- روش CONWEP^۵

امروزه در بسیاری از نرم افزارهای مدل‌سازی عددی از روش CONWEP برای اعمال و محاسبه بار انفجاری استفاده می‌شود. نرم افزار آباکوس نیز از این مدل برای اعمال بارگذاری مستقیم امواج انفجاری استفاده می‌کند. مدل CONWEP را می‌توان به طور خلاصه با استفاده از نمودار فشار-زمان مربوط به انفجار آزاد که توسط معادله اصلاح شده فریدلندر توصیف می‌شود به صورت رابطه ۹ بیان کرد [۲۷]:

$$\begin{aligned} P(t) &= P_i(t) [1 + \cos \theta - 2 \cos^2 \theta] + P_r(t) \cos^2 \theta & \cos \theta \geq 0 \\ P(t) &= P_i(t) & \cos \theta < 0 \end{aligned} \quad (9)$$

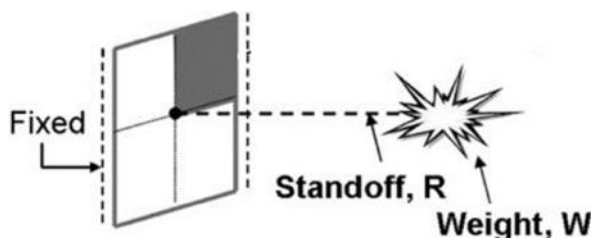
که در این رابطه $P(t)$ فشار کلی در زمان t ، $P_i(t)$ فشار فاز مثبت در زمان t ، $P_r(t)$ فشار بازتابی در زمان t و θ نیز زاویه بین بردار نرمال بر سطح جسم با برداری که سطح برخورد را به محل انفجار وصل می‌کند می‌باشد. لازم به ذکر است در مدل CONWEP فاز منفی انفجار در نظر گرفته نمی‌شود.

۴- اعتبارسنجی حل مسئله

در این قسمت به منظور صحت سنجی عملکرد روش CONWEP در نرم افزار ABAQUS و پژوهش حاضر، نتایج مقاله گزاس و همکاران [۲۸] مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در مرجع [۲۸] یک صفحه فولادی مربع شکل به ابعاد طول و عرض ۹۱۴ میلی‌متر و ضخامت ۳/۱۸ میلی‌متر در حالی که لبه‌های کناری عمودی کاملاً گیرداری باشند، در نظر گرفته شده است. این صفحه فولادی تحت بار

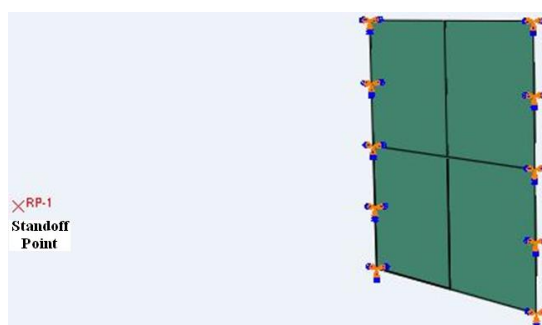
⁵Conventional weapons

انفجاری معادل با ۱/۳۶ کیلوگرم تی.ان.تی در فاصله ۱/۵۲ متری از مرکز صفحه‌ی فولادی قرار گرفته است (شکل ۳) و پاسخ این صفحه فولادی در مقابل بار انفجاری با استفاده از کد نویسی بر اساس معادلات کینگری-بولماش تعیین گردیده است.

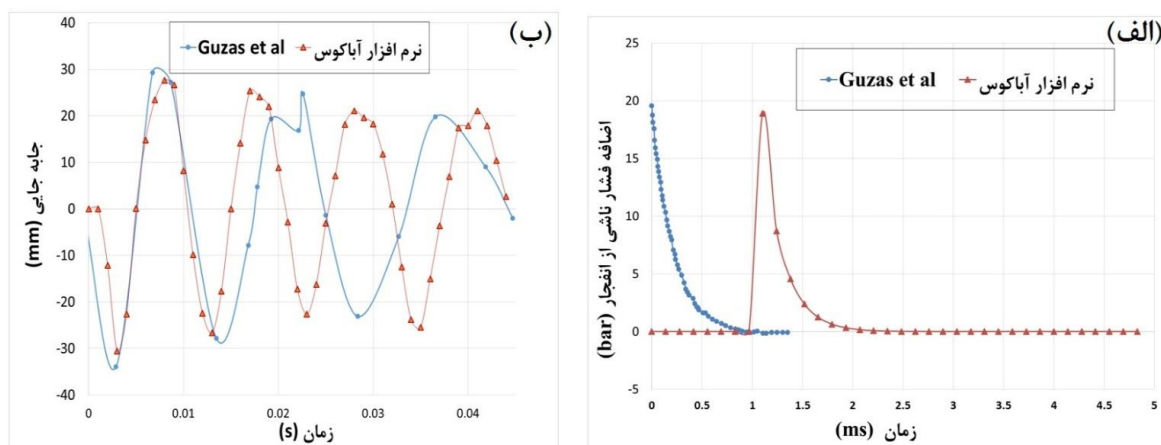


شکل ۳- مدل صفحه‌ی فولادی و محل قرارگیری بار انفجاری [۲۸]

مشخصات در نظر گرفته شده برای فولاد، $\nu = 0.3$ و $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ می‌باشد. همچنین به منظور تأثیر دادن نرخ کرنش بر تنش نیز خواص پلاستیکی فولاد با استفاده از مدل سخت‌شوندگی جانسون-کوکبه صورت $A = 319 \text{ MPa}$ ، $B = 554 \text{ MPa}$ ، $C = 3.27 \times 10^{-2}$ ، $n = 0.135$ و $\epsilon_0 = 5.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ در نظر گرفته شده است. این صفحه فولادی بررسی شده در مرجع [۲۸] با مشخصات ذکر شده در نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شده و با استفاده از مدل CONWEP تحت بارگذاری انفجاری قرار گرفت (شکل ۴). در ادامه به مقایسه نتایج بدست آمده می‌پردازیم.



شکل ۴- صفحه فولادی مدل شده در نرم‌افزار ABAQUS

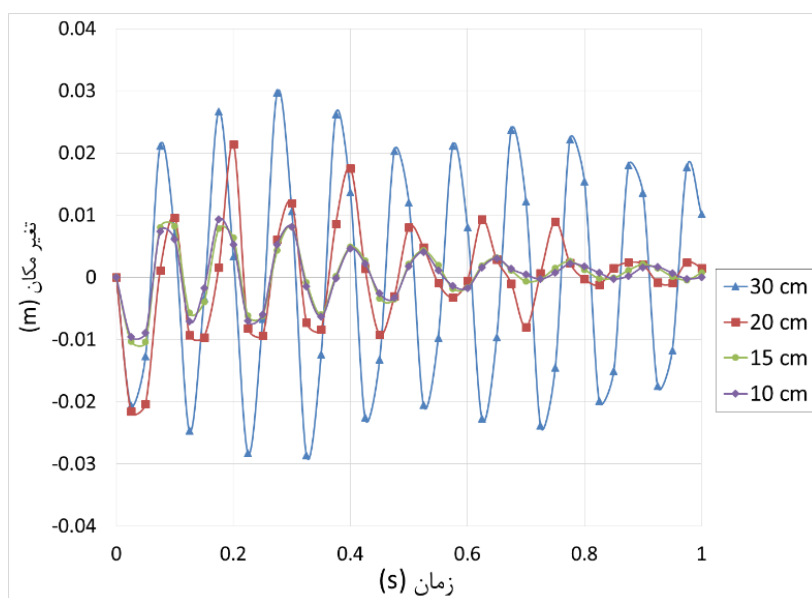


شکل ۵- الف) مقایسه تاریخچه زمانی جابه‌جایی گره مرکزی صفحه‌ی فولادی (ب) مقایسه تاریخچه زمانی اضافه فشار ناشی از بار انفجاری

شکل (۵- الف) نشان دهنده نتایج بدست آمده برای جابه‌جایی گره مرکزی صفحه‌ی فولادی در مدت‌زمان ۲۰۰ میلی‌ثانیه براساس مدل مرجع [۲۸] و نرم‌افزار ABAQUS می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در پیک‌های اولیه نتایج بدست‌آمده از نرم‌افزار ABAQUS با نتایج ارائه شده در مرجع [۲۸] مطابقت خوبی دارد اما مشاهده می‌شود بعد از مدت کمی که صفحه‌ی فولادی شروع به تغییر شکل‌های پلاستیک می‌کند نتایج برای جابه‌جایی‌ها از هم فاصله می‌گیرد، همچنین تفاوت در زمان وقوع پیک‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در روش‌های محاسباتی و فرضیات اولیه برای ویژگی‌های مصالح فولاد باشد. در شکل (۵- ب) نتایج حاصل‌شده برای افزایش فشار ایجاد شده در المان مرکزی صفحه‌ی فولادی در اثر بارگذاری انفجاری ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار پیک اضافه فشار برای هر دو مدل بسیار نزدیک به هم می‌باشد، زمان رسیدن به پیک فشاری برای دو مدل در شکل متفاوت می‌باشد و نمودار مربوط به نرم‌افزار ABAQUS بعد از ۱ میلی‌ثانیه به میزان پیک فشاری می‌رسد که در مرجع [۲۸] این زمان ۱/۰۷۲ میلی‌ثانیه محاسبه شده است (هرچند که در نمودار نشان داده نشده است).

۵- بررسی استقلال نتایج از اندازه مش

به منظور بررسی استقلال نتایج از اندازه مش انتخابی مدل مخزن را با اندازه‌ی مش‌های متفاوت مش بندی نموده و سپس نتایج حاصل باهم مقایسه گردید. مدل‌سازی را به ترتیب از مشی با بعد بزرگ شروع نموده و اندازه مش را تا زمانی که نتایج همگرا شوند کوچک نمودیم. بدین منظور اندازه‌های مش ۳۰، ۲۰، ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر استفاده گردید و نتایج برای جابه‌جایی رأس مخزن را مورد بررسی قرار گرفت. **Error! Unknown switch argument.** (۶) تاریخچه جابه‌جایی رأس مخزن را برای اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۶) مشخص است، در اندازه‌های مش ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر نتایج همگرا شده و بر هم منطبق می‌شوند، از این‌رو در تمام مدل‌سازی‌ها از اندازه مش ۱۰ سانتی‌متری استفاده گردیده تا اندازه مش تأثیری در نتایج نداشته باشند.



شکل ۶- تاریخچه جابه‌جایی رأس مخزن برای اندازه‌ی مش‌های مختلف

۶- بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی

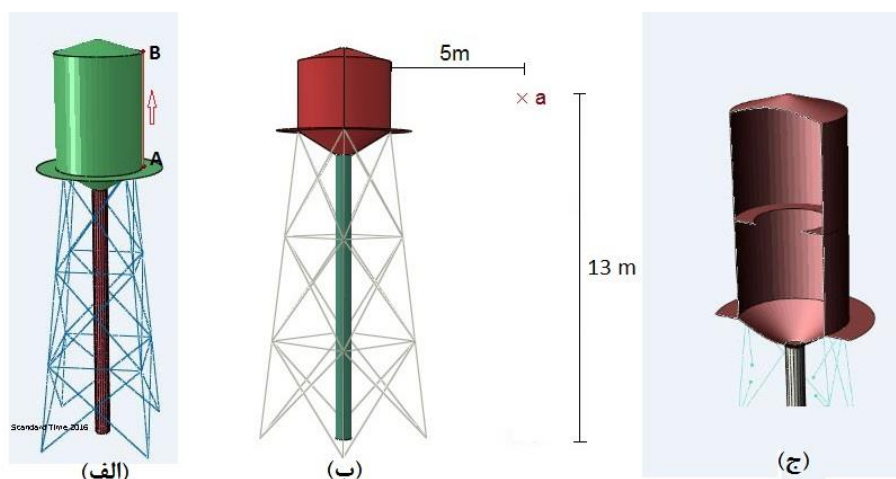
در پژوهش حاضر تاثیر تیغه‌ی میراگر بر پایداری سازه‌ی مخزن هوایی و پاسخ بدنه‌ی مخزن در شرایط مختلف تحت تاثیر بارگذاری انفجاری مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر به منظور درک بهتر پاسخ سازه‌ی مخزن از دو جنبه‌ی مختلف به

بررسی رفتار سازه‌ی مورد نظر پرداخته شده است. در بخش اول پارامترهای موثر در پایداری سازه همانند لنگر واژگونی، برش پایه و جابه جایی نسبی رأس مخزن مورد بررسی قرار گرفته است و در بخش دوم مولفه های موثر بر رفتار بدنه‌ی مخزن در مقابل بار انفجاری از جمله تغییرات تنش حلقوی، تنش برشی، تنش فون مایز و کرنش پلاستیک در بدنه مخزن ارائه گردیده است. در بررسی تنش ها و کرنش های ایجاد شده در بدنه‌ی مخزن، تغییرات چنین مولفه هایی در امتداد یک مسیر انتخابی بر روی بخش استوانه ای بدنه‌ی مخزن مورد بررسی قرار گرفته است. این مسیر در شکل (۷-الف) نشان داده شده است. این مسیر بنحوی انتخاب گردیده است که در وجه رو به روی محل انفجار قرار گرفته و از نقطه A در شکل (۷-الف) شروع شده و به نقطه B ختم گردد. در این روش بررسی تغییرات تنش ها و کرنش های ایجاد شده در گره های مدل المان محدود واقع در امتداد مسیر ثبت و بررسی می گردند. لذا محور افقی نمودارها نشان دهنده‌ی تنش و یا کرنش ایجاد شده در جداره مخزن بوده و محور قائم نشان دهنده ارتفاع مخزن در بخش استوانه ای است.

۶-۱- بررسی تأثیرات تیغه میراگر حلقوی (بافل)

۶-۱-۱- بررسی تأثیر تیغه میراگر حلقوی بر پایداری سازه

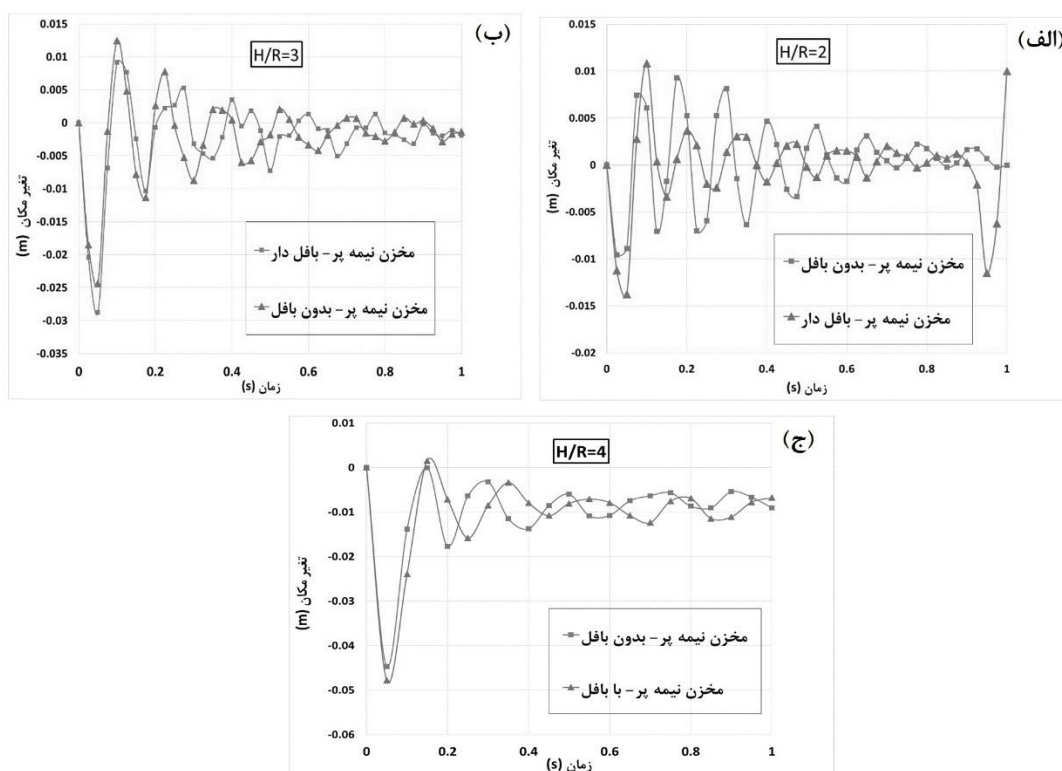
در این بخش تأثیر تیغه میراگر (بافل) بر پایداری سازه‌ی مخزن مورد بررسی قرار گرفته است. تیغه میراگر ورق فولادی با ضخامت ۸ میلی‌متر به صورت حلقه‌ای می‌باشد که عرض آن ۶۰ سانتی‌متر بوده و در وسط مخزن به صورت افقی تعبیه شده است. در مدل‌سازی مخزن سه نسبت ارتفاع به شعاع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و در حالت نیمه‌پر به بررسی تأثیر تیغه میراگر بر روی جابه‌جایی مخزن، برش پایه‌ی مخزن و لنگر واژگونی پرداخته شده است.



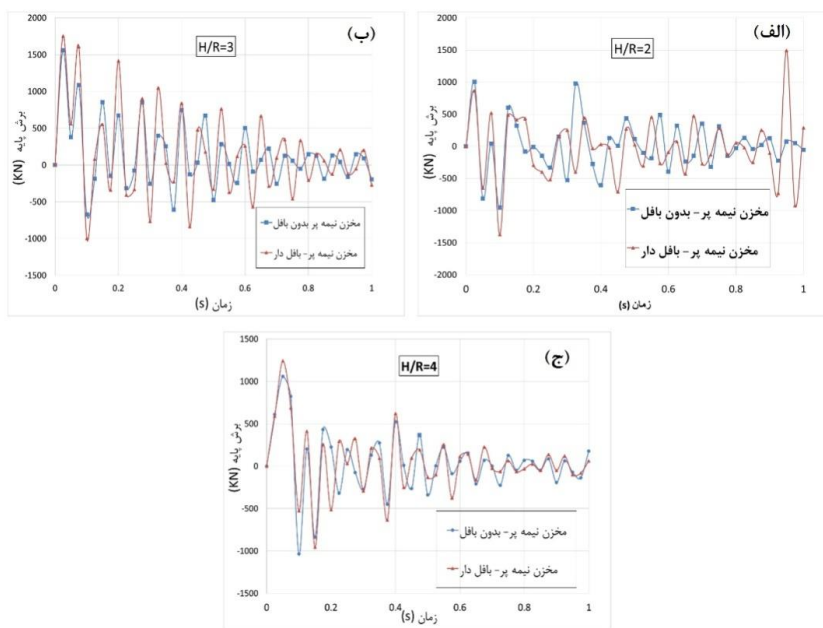
شکل ۷-الف) مسیر AB در روی جداره مخزن (ب) مکان قرارگیری ماده‌ی انفجاری (ج) نحوه‌ی قرارگیری تیغه‌ی میراگر حلقوی در داخل مخزن

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 X ها مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۸-الف) نشان‌دهنده تاریخچه جابجایی رأس مخزن برای نسبت $H/R=2$ در حالت نیمه‌پر و شکل (۸-ب) نشان‌دهنده تاریخچه جابجایی رأس مخزن برای نسبت $H/R=3$ در حالت نیمه‌پر و (شکل ۸-ج) نشان‌دهنده تاریخچه جابجایی رأس مخزن در حالت نیمه‌پر می‌باشد برای نسبت $H/R=3$ می‌باشند. با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که به کارگیری بافل، جابجایی در مخزن با $H/R=2$ را ۳۰ درصد، و برای $H/R=3$ و $H/R=4$ به ترتیب ۱۵ و ۶ درصد افزایش می‌دهد. در واقع درصد تغییر بیش‌ترین مقدارهای تجربه شده را بدست آورده ملاک عمل مقایسه قرار داده‌ایم. شکل (۹-الف) نشان‌دهنده تاریخچه‌ی برش پایه مخزن در

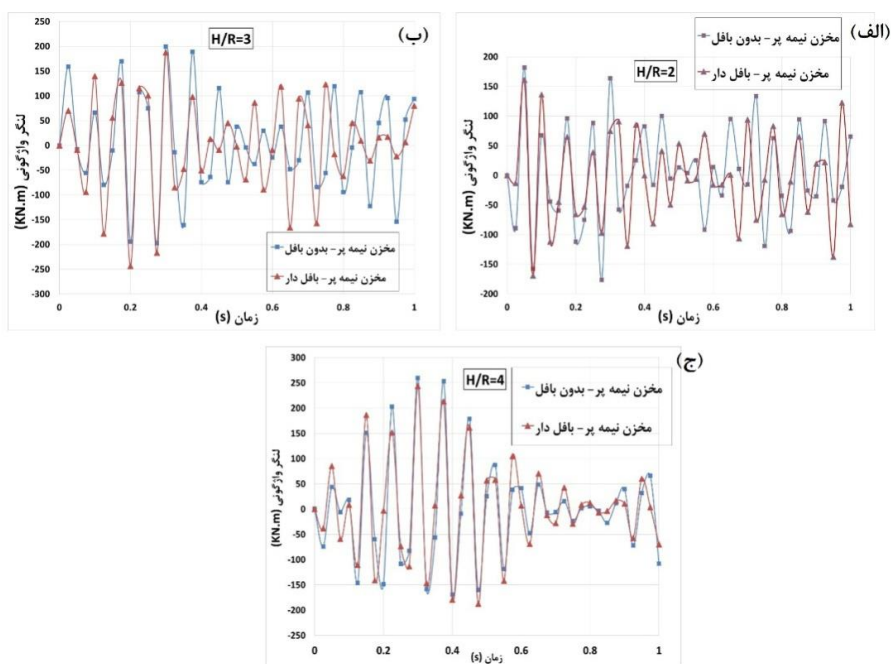
حالت نیمه پر برای نسبت $H/R=2$ و شکل (۹-ب) نشان دهنده برش پایه مخزن در حالت نیمه پر می باشد برای نسبت $H/R=3$ و شکل (۹-ج) نشان دهنده تاریخچه برش پایه مخزن در حالت نیمه پر برای نسبت $H/R=3$ می باشند. با توجه به شکل (۹) مشاهده می شود که تعبیه بافل موجب افزایش برش پایه مخزن به ترتیب به میزان ۳۲، ۱۱ و ۱۴ درصد برای مخزن بانسبتهای $H/R=2$ ، $H/R=3$ و $H/R=4$ گردیده است. شکل (۱۰-الف) نشان دهنده تاریخچه لنگر واژگونی مخزن در حالت نیمه پر برای نسبت $H/R=2$ و شکل (۱۰-ب) نشان دهنده لنگر واژگونی مخزن در حالت نیمه پر برای نسبت $H/R=3$ و شکل (۱۰-ج) نشان دهنده تاریخچه لنگر واژگونی مخزن در حالت نیمه پر برای نسبت $H/R=3$ می باشند. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می شود تعبیه بافل موجب کاهش حداکثر میزان لنگر واژگونی به میزان ۱۲ درصد برای مخزن بانسبت $H/R=2$ و ۶ درصد برای مخزن بانسبت $H/R=3$ و $H/R=4$ گردیده است.



شکل ۸- مقایسه تاریخچه زمانی جابجایی رأس مخزن در برابر بار انفجاری برای مخزن بدون بافل و بافل دار برای مخزن نیمه پر الف) $H/R=2$ ، ب) $H/R=3$ ، ج) $H/R=4$



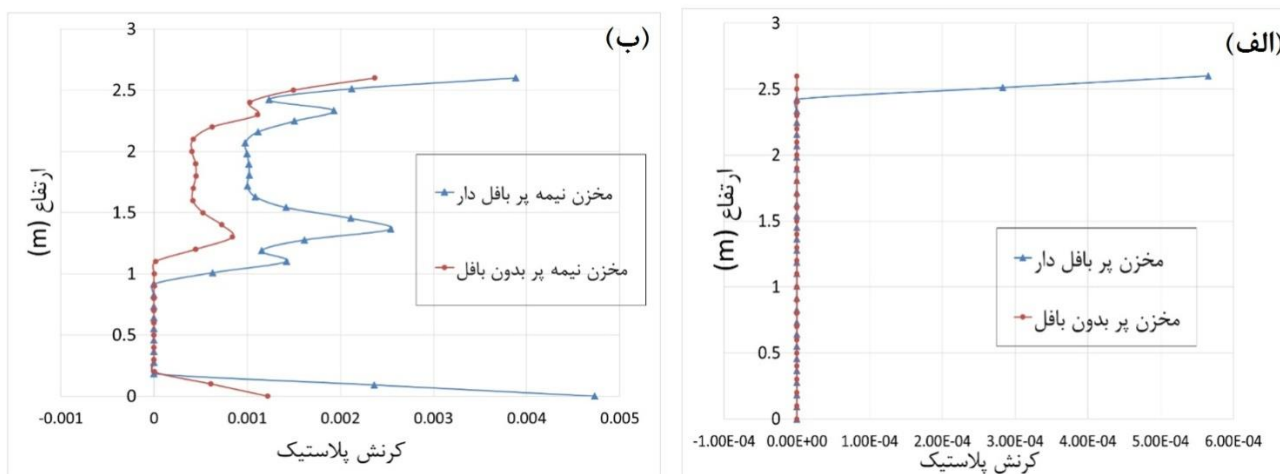
شکل ۹- مقایسه تاریخیچه زمانی برش پایه در برابر بار انفجاری برای مخزن بدون بافل و بافل دار برای مخزن نیمه پر الف) $H/R = 2$ ، ب) $H/R = 3$ ، ج) $H/R = 4$



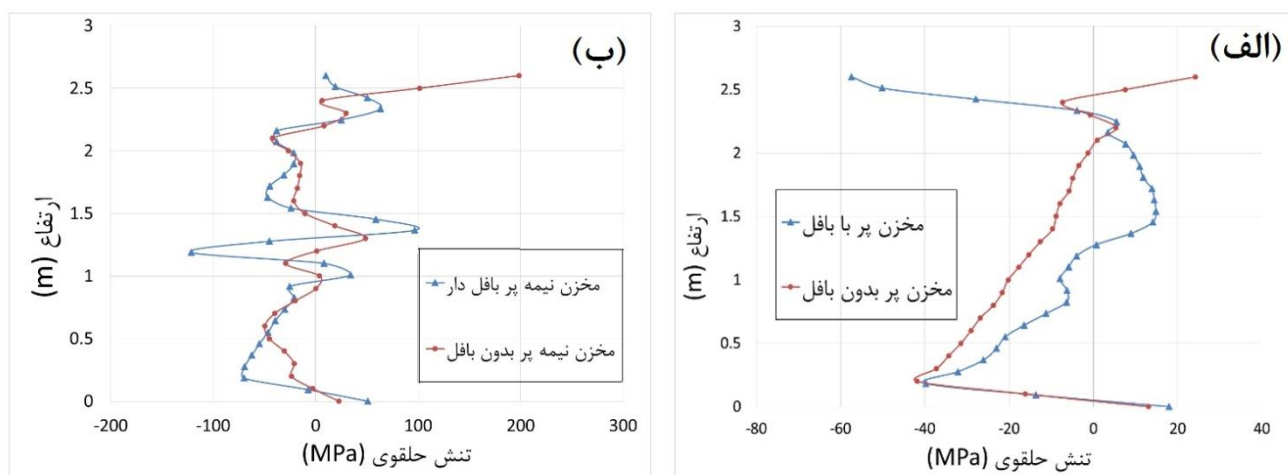
شکل ۱۰- مقایسه تاریخیچه زمانی لنگر واژگونی در برابر بار انفجاری برای مخزن بدون بافل و بافل دار برای مخزن نیمه پر الف) $H/R = 2$ ، ب) $H/R = 3$ ، ج) $H/R = 4$

۶-۲- بررسی تأثیر تیغه میراگر حلقوی (بافل) بر رفتار بدنه مخزن

در این بخش به بررسی تأثیر تیغه میراگر (بافل) بر رفتار بدنه مخزن پرداخته شده است. مشخصات هندسی تیغه میراگر همانند بخش قبل می باشد، بطوریکه تیغه میراگر در وسط مخزن به صورت افقی تعبیه شده است. در این بخش مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ جهت بررسی تأثیر تیغه میراگر بر میزان کرنش پلاستیک، تنش حلقوی و تنش برشی ایجاد شده در جداره مخزن در دو حالت پر و نیمه پر انتخاب گردیده است. شکل (۱۱- الف) نشان دهنده کرنش پلاستیک به وجود آمده در روی مسیر A-B برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در دو حالت بدون بافل و بافل دار در حالت مخزن پر تحت بار انفجاری در یک زمان معین می باشد. همان طوری که مشاهده می شود کرنش پلاستیک به وجود آمده در حالت مخزن پر بدون بافل در روی مسیر انتخابی دچار هیچ کرنشی نمی شود و در حالت بافل دار کرنش بسیار کمی در انتهای مسیر که معادل ناحیه بالایی قسمت استوانه ای مخزن می باشد به وجود می آید. شکل (۱۱- ب) نشان دهنده کرنش پلاستیک به وجود آمده در روی مسیر A-B برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در دو حالت بدون بافل و بافل دار در حالت مخزن نیمه پر تحت بار انفجاری در یک زمان معین می باشد. با توجه به شکل (۱۱- ج) مشاهده می شود که کرنش به وجود آمده در مخزن بافل دار بیش تر از مخزن بدون بافل می باشد. همچنین در محدوده سطح سیال داخل مخزن یعنی تقریباً در میانه ارتفاع قسمت استوانه ای مخزن شاهد تغییر ناگهانی کرنش پلاستیک هستیم. شکل (۱۳- الف) و شکل (۱۳- ب) به ترتیب نشان دهنده تنش حلقوی به وجود آمده در روی مسیر A-B برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در دو حالت مخزن پر و نیمه پر برای مخزن بافل دار و بدون بافل تحت بار انفجاری ثابت در یک زمان معین می باشد. با توجه به شکل (۱۲- الف) مشاهده می شود تنش حلقوی به وجود آمده در مخزن بافل دار در مقایسه با مخزن بدون بافل نسبتاً کم می باشد، اما تنش های بیشینه که در ابتدا و انتهای مسیر به وجود می آید در مخزن بافل دار بیش تر می باشد. در شکل (۱۲- ب) که مربوط به مخزن نیمه پر می باشد مشاهده می شود که تغییرات تنش در دو حالت مخزن بافل دار و بدون بافل تقریباً یکسان می باشد و به غیر از انتهای مسیر، مخزن بافل دار به میزان کمی تنش های بیش تری نسبت به مخزن بدون بافل تحمل می کند. شکل (۱۳- الف) نشان دهنده تنش برشی به وجود آمده در روی مسیر A-B برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در دو حالت بافل دار و بدون بافل و در حالت مخزن پر تحت بار انفجاری ثابت در یک زمان معین می باشد. همان طور که مشاهده می شود تنش های برشی به وجود آمده در مخزن مقادیر نسبتاً کمی می باشند و تغییرات هر دو حالت تقریباً یکسان می باشد و فقط در مخزن بافل دار در ابتدای مسیر تنش برشی بزرگ تری به وجود آمده است. شکل (۱۳- ب) نیز نشان دهنده تنش برشی به وجود آمده در روی مسیر A-B برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در دو حالت بافل دار و بدون بافل در حالت مخزن نیمه پر تحت بار انفجاری ثابت در یک زمان معین می باشد. در حالت نیمه پر نیز تفاوت اندکی در روند تغییرات تنش های برشی ایجاد شده در جداره مخزن به دلیل وجود بافل مشاهده می شود و نیز در حالت بافل دار مقدار تنش ماکزیمم اندکی بیش تر از تنش برشی ماکزیمم در حالت بدون بافل می باشد.

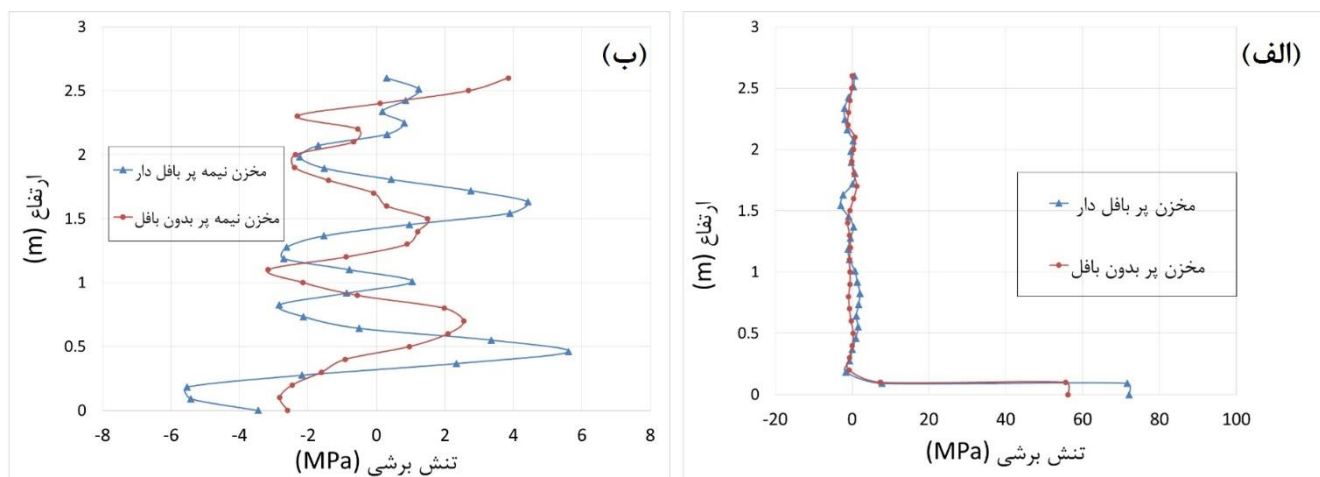


شکل ۱۱- مقایسه تغییرات کرنش پلاستیک در جداره مخزن در دو حالت مخزن بافل دار و بدون بافل. الف) مخزن پر. ب) مخزن نیمه پر

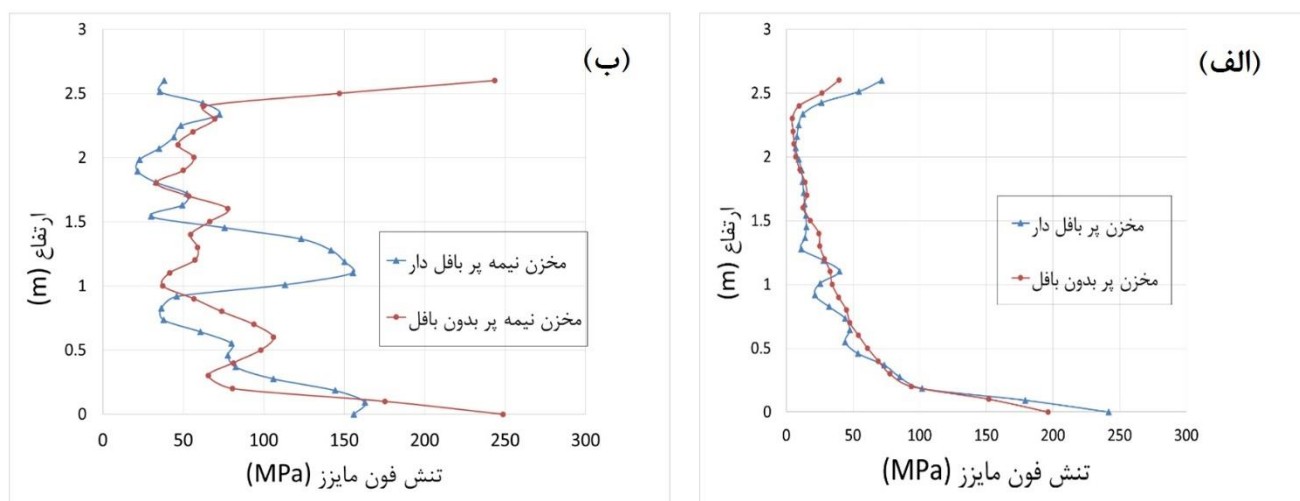


شکل ۱۲- مقایسه تنش‌های حلقوی به وجود آمده در جداره مخزن در دو حالت مخزن بافل دار و بدون بافل. الف) مخزن پر. ب) مخزن نیمه پر

شکل (۱۴-الف) و شکل (۱۴-ب) به ترتیب نشان‌دهنده‌ی تنش فون مایز به وجود آمده در روی مسیر A-B برای مخزن با نسبت ارتفاع به شعاع ۲ در دو حالت مخزن پر و نیمه پر برای مخازن بافل دار و بدون بافل تحت بار انفجاری ثابت در یک زمان معین می‌باشد. در مخزن پر مشاهده می‌کنیم که در نزدیکی محل قرارگیری بافل تغییرات ناگهانی در تنش نسبت به مخزن بدون بافل ایجاد شده است، اما در حالت کلی تغییرات تنش در طول مسیر تقریباً یکسان است و در گره‌های ابتدایی مسیر تنش‌های بیشتری ایجاد شده است. تنش بیشینه نیز در حالت بافل دار اندکی بیش‌تر از مخزن بدون بافل می‌باشد. در مخزن نیمه پر بیشینه تنش‌ها در مخزن بدون بافل به وجود می‌آید. در حالت نیمه پر نیز در نزدیکی قرارگیری بافل تغییرات ناگهانی در تنش نسبت به مخزن بدون بافل ایجاد شده است.

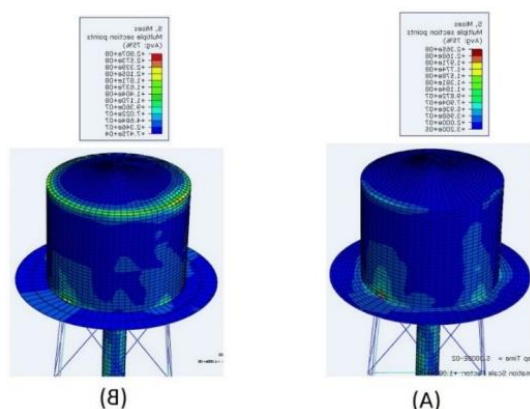


شکل ۱۳- مقایسه تنش‌های برشی به وجود آمده در جداره مخزن در دو حالت مخزن بافل دار و بدون بافل. الف) مخزن پر. ب) مخزن نیمه پر

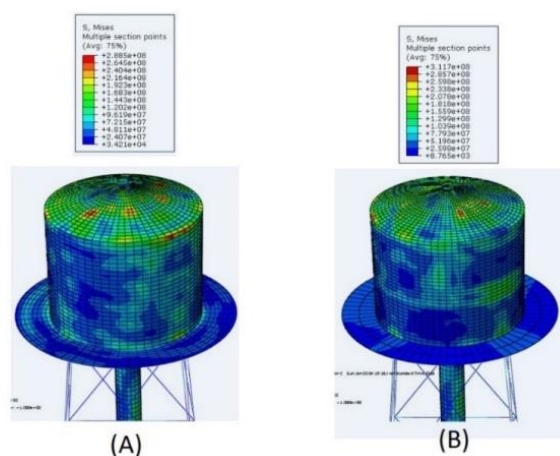


شکل ۱۴- مقایسه تنش‌های فون مایز به وجود آمده در جداره مخزن در دو حالت مخزن بافل دار و بدون بافل. الف) مخزن پر. ب) مخزن نیمه پر

در شکل (۱۵) نمونه‌ای از کانتورهای تنش فون مایز برای حالت مخزن بافل دار و مخزن بدون بافل در حالت پر در یک زمان معین آورده شده است. با بررسی کانتور تنش فون مایز مشاهده شد که در حالت مخزن بدون بافل، بیشینه تنش در اکثر گام‌ها در پای سازه و همچنین در محل اتصال ستون به کف مخزن به وجود می‌آید. شکل (۱۶) نیز نمونه‌ای از کانتورهای تنش فون مایز برای مخزن نیمه پر در حالت بافل دار و بدون بافل را در یک زمان معین نشان می‌دهد. در حالت بافل دار مخزن نیمه پر تنش‌های ماکزیمم در گام‌های زمانی اکثراً یا در سقف مخزن مشاهده می‌شوند و یا در محل اتصال ستون به کف مخزن. در حالت بافل دار هم تنش‌های ماکزیمم اکثراً در محل اتصال بافل به دیواره تشکیل می‌شود. در جدول (۲) بیشینه مقادیر تنش‌های به وجود آمده در مخزن پر در دو حالت بافل دار و بدون بافل در طول زمان تحلیل آورده شده است. جدول (۳) نیز بیشینه مقادیر تنش‌های به وجود آمده در مخزن نیمه پر در دو حالت بافل دار و بدون بافل در طول زمان تحلیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- کانتورهای تنش فون مایز برای مخزن پر (A): مخزن بدون بافل، (B): مخزن بافل دار



شکل ۱۶- کانتورهای تنش فون مایز برای مخزن نیمه پر (A): مخزن بدون بافل، (B): مخزن بافل دار

۳-۶- بررسی تلاطم سطحی در حضور تیغهی میراگر

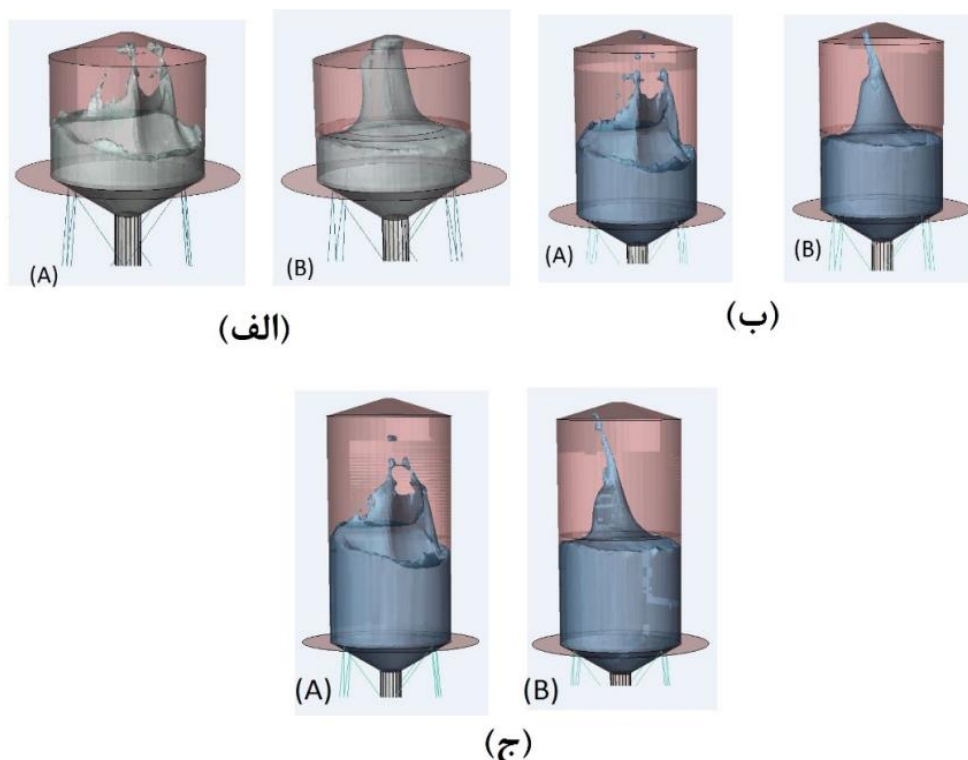
شکل (۱۷- الف)، شکل (۱۷- ب) و شکل (۱۷- ج) که به ترتیب برای مخازن با نسبت ارتفاع به مخزن ۲، ۳ و ۴ در میزان آب نیمه پر می باشد، نشان دهنده تلاطم سطحی آب داخل مخزن در دو حالت بافل دار و بدون بافل تحت بار انفجاری آزاد می باشد. همان طور که در شکل ها مشاهده می شود تیغهی میراگر باعث هدایت امواج به سمت مرکز مخزن گردیده و موجب کاهش از تلاطم سطحی می شود.

جدول ۲- بیشینه مقادیر تنش های به وجود آمده در مخزن پر در دو حالت بافل دار و بدون بافل

| | مخزن پر | |
|----------------------------------|-----------|----------|
| | بدون بافل | بافل دار |
| بیشینه تنش حلقوی (MPa) | ۲۱۳/۷ | ۲۸۷/۵ |
| بیشینه تنش برشی (MPa) | ۱۱۴/۶ | ۱۵۸/۸ |
| بیشینه تنش فون مایز (MPa) | ۲۳۷ | ۲۹۵/۷ |
| بیشینه فشار هیدرو دینامیکی (MPa) | ۱۵/۱۳ | ۲۴/۳۳ |

جدول ۳- بیشینه مقادیر تنش‌های به وجود آمده در مخزن نیمه پر در دو حالت بافل دار و بدون بافل

| | مخزن نیمه پر | |
|---------------------------------|--------------|----------|
| | بدون بافل | بافل دار |
| بیشینه تنش حلقوی (MPa) | ۲۷۱/۸ | ۳۳۷/۵ |
| بیشینه تنش برشی (MPa) | ۱۲۱/۲ | ۱۷۰/۵ |
| بیشینه تنشون مایز (MPa) | ۳۱۳/۶ | ۳۲۷/۵ |
| بیشینه فشار هیدرودینامیکی (MPa) | ۹۳/۷ | ۲۴/۴۰ |



شکل ۱۷- تلاطم سطحی (اسلاشینگ): (A) مخزن بدون بافل، (B) مخزن با بافل. (الف) $H/R=2$ ، (ب) $H/R=3$ ، (ج) $H/R=4$

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر تیغه میراگر حلقوی تعبیه شده بر روی رفتار و پاسخ دینامیکی یک مخزن فولادی هوایی نگهداری سیال تحت بار انفجاری مورد مطالعه گرفت. سازه مخزن تحت بار انفجار آزاد در هوا به میزان ۸۰ کیلوگرم تی.ان.تی در یک فاصله ثابت ۵ متری از جداره‌ی مخزن مدل گردید و تحلیل حساسیت پاسخ مخزن در حضور تیغه میراگر حلقوی صورت گرفت. از جمله نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

-
-
- تعبیه بافل موجب کاهش حداکثر میزان لنگر واژگونی به میزان ۱۲ درصد برای مخزن بانسبت $H/R=2$ و ۶ درصد برای مخزن بانسبت $H/R=3$ و $H/R=4$ گردیده است.

- تعبیه تیغه میراگر حلقوی (بافل) لنگر واژگونی را در هر دو حالت مخزن پر و نیمه پر کاهش می دهد اما برش پایه و جابجایی رأس مخزن را به میزان کمی افزایش می دهد.
- با اضافه کردن تیغه میراگر حلقوی (بافل) رفتار بدنه مخزن نیز تا حدی تحت تأثیر قرار می گیرد. کرنش پلاستیک در حالت مخزن پر و نیمه پر در حضور بافل اندکی بیش تر از حالت بدون بافل می باشد (هرچند که این مقدار بسیار اندک می باشد). تنش حلقوی در مخزن پر با بافل در مقایسه با مخزن پر بدون بافل کمتر می باشد و در حالت نیمه پر بیشینه مقادیر تنش ها در مخزن بافل دار در حدود ۴ درصد بیش تر از مخزن بدون بافل می باشد. در مورد بیشینه مقدار تنش برشی نیز مخزن بافل دار در حالت پر ۳۸ درصد و در حالت نیمه پر در حدود ۴۰ درصد بیش تر از بیشینه مقدار تنش برشی در مخزن بدون بافل می باشد.

۸- مراجع

- [1] Chang J. I., Lin C. C., (2006), A study of storage tank accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19: 51-59.
- [2] Stein L. R., Gentry R. A., Hirt C. W., (1977), Computational simulation of transient blast loading on three-dimensional structures. *Comput Methods Appl Mech Eng.*, 11:57-74.
- [3] Koko T. S., Olson M. D., (1991), Non-linear transient response of stiffened plates to air blast loading by a super element approach. *Comput Methods Appl Mech Eng.*, 90:737-60.
- [4] Guruprasad S, Mukherjee A. (2000), Layered sacrificial claddings under blast loading Part -I analytical studies. *Int J Impact Eng.*, 24(9):957-73.
- [5] Guruprasad S., Mukherjee A., (2000), Layered sacrificial claddings under blast loading Part-II experimental studies. *Int J Impact Eng* 24(9):975-84.
- [6] Goel M. D., Matsagar V. A., Gupta A. K., (2011), Dynamic response of stiffened plates under air blast. *Int J Prot Struct* 2(1):139-55.
- [7] Kowal-Michalska K., Kubiak T., Swiniarski J., (2011), Influence of blast pressure modeling on the dynamic response of conical and hemispherical shells. *Thin-Walled Struct* 49(5):604-10 .
- [8] Goel M. D., Matsagar V. A., Marburg S., Gupta A. K., (2012), Comparative Performance of Stiffened Sandwich Foam Panels under Impulsive Loading. *J Perform Constr Facil ASCE*, 27(5):540-9.
- [9] Tiwari R., Jain S., Chakraborty T., Matsagar V., (2012), Dynamic response of reinforced concrete sacrificial wall under blast loading. In: *Proceedings of the 10th World Congress on Computational Mechanics (WCCM 2012)*, São Paulo, Brazil.
- [10] Higgins W, Chakraborty T, Basu D. (2012), A high strain-rate constitutive model for sand and its application I finite-element analysis of tunnels subjected to blast. *Int J Numer Anal Methods Geomech* 37(15):2590-610.
- [11] Bambach M. R., (2013), Design of metal hollow section tubular columns subjected to transverse blast loads. *Thin-Walled Struct* 68:92-105.
- [12] Mittal V., Chakraborty T., Matsagar V., (2014), Dynamic analysis of liquid storage tank under blast using coupled Euler-Lagrange formulation. *Thin-Walled Structures* 84:91-111.
- [13] Biswal, K., Bhattacharyya, S. and Sinha, P., (2003), "Free-vibration analysis of liquid-filled tank with baffles," *Journal of Sound and Vibration*, 259, pp 177-192.
- [14] Miles, J. W., (1958), "Ring damping of free surface oscillations in cylindrical tank," *Journal of Applied Mechanics*, 25, pp 274-276.
- [15] Silveria, M. A., Stephens, D. G. and Leonard, H. W., (1961), "An experimental investigation of damping of liquid oscillations in cylindrical tanks with various baffles," *NASA Report TN-715*.

- [16] Welt, F. and Modi, V.J., (1992), "Vibration damping through liquid sloshing, Part I: a nonlinear analysis," *Journal of Vibration and Acoustics*, 114, pp 10–16.
- [17] Maleki, A. and Ziyaifar, M., (2008), "Sloshing damping in cylindrical liquid storage tank with baffles," *Journal of Sound and Vibration*, 311, pp 372–385.
- [18] Gedikli, A. and Erguven, M.E., (1999), "Seismic analysis of liquid storage tank with baffle," *Journal of Sound and Vibration*, 223, pp 141–155.
- [19] Cho, J.R., Lee, H.W. and Kim, K.W., (2002). "Free vibration analysis of baffled liquid-storage tanks by structural al-acoustic finite element formulation," *Journal of Sound and Vibration*, 258, pp 847–866.
- [20] Cho, J.R. and Lee, H.W., (2004). "Numerical study on liquid sloshing in baffled tank by nonlinear finite element method," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 193, pp 2581–2598.
- [21] Cho, J.R., Lee, H.W. and Ha, S.Y., (2005), "Finite element analysis of resonant sloshing response in 2-D baffled tank," *Journal of Sound and Vibration*, 288, pp 829–845.
- [22] Firouz-Abadi, R.D., Haddadpour, H., Noorian, M.A. and Ghasemi, M., (2008), "A 3D BEM model for liquid sloshing in baffled tanks," *International Journal for Numerical methods in Engineering*, 76, 1419–1433.
- [23] Arab, M. Khaji N., (2012) "Seismic analysis of fluid reservoir tank with annular baffle using boundary element method", *Omran Modars*, 12(2), 11-22. (In persian)
- [24] Johnson G. R., Cook W. H., (1985), *Fracture Characteristics of Three Metals Subjected to Various Strains, Strain Rates, Temperatures and Pressures*. *Engineering Fracture Mechanics*, 21(1), 31-48.
- [25] Kinney, G.F. and K.J. Graham, (1985), *Explosive shocks in air.*, Berlin and New York, Springer-Verlag, 282, 1985-1999.
- [26] Baker, Wilfrid E., (1973), *Explosions in the Air*, University of Texas Pr., Austin.
- [27] *Abaqus Analysis User Manual* (6.14), 2015.
- [28] Guzas, E.L. and Earls, C. J., (2010), *Air blast load generation for simulating structural response*. *Steel Composit. Struct.*, 10, 429-455.