دوازدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۲۱ تا ۲۳ تیرماه ۱۴۰۰
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی فولادی در مناطق لرزه‌خیز مختلف

محمدحسین طالب‌پور[۱]، امیرعلی عسگری[۲]

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی دارالفنون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

⋮

M.H.Talebpour@du.ac.ir

خلاصه

بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی به سبب هندسه خاص و نیز شرایط بهره‌برداری و استفاده پس از وقوع زلزله از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به بیان دیگر این سازه‌ها می‌بایست پس از وقوع زلزله قابل استفاده بوده و نیازهای مختلف آبرسانی در زمان آتش‌سوزی و تامین آب مصرفی را برآورده سازند. از سوی دیگر در برخی موارد متناسب با سیال ذخیره شده، ممکن است بروز آسیب در این سازه‌ها، خطرات جبران ناپذیری را نتیجه دهد. بنابراین درک صحیح از رفتار لرزه‌ای این نوع سازه‌ها از لحاظ ایمنی و نیز کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری ضروری می‌باشد. در این مقاله سعی شده است تا ضمن ارائه شیوه مدلسازی مخازن هوایی در نرم افزار ABAQUS رفتار لرزه‌ای سازه مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا نوع سیال و نیز نوع شتاب‌نگاشت به عنوان متغیر لحاظ شده است. بدین‌ترتیب تاثیر سه نوع سیال آب، جیوه و بنزین در رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی تحت اثر دو شتاب نگاشت Elcentro و Artificial مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقادیر برش پایه در حالات مختلف براساس متغیرهای مذکور به عنوان معیار ارزیابی لحاظ می شود. نتایج حاکی از شناسایی و معرفی نقاط بحرانی در مخازن هوایی تحت نیروی زلزله است.

کلمات کلیدی: مخازن هوایی فولادی، رفتار لرزه ای، نوع سیال، شتاب نگاشت، برش پایه

۱. مقدمه

مخازن هوایی از جمله سازه‌هایی هستند که به اشکال مختلف جهت ذخیره مایعات مختلف همچون آب، فرآورده‌های نفتی و مواد شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آسیب مخازن با توجه به سیال درون آن می‌تواند سبب وقوع مشکلات گسترده‌ای همچون آتش‌سوزی، نشت مواد سمی، آلودگی در محیط زیست و ... شود. همچنین با تخریب مخازن هوایی آب، تامین آب شرب، امدادرسانی و اطفاء حریق در هنگام وقوع بلایای طبیعی همچون زلزله با مشکل روبرو می‌شود. در این راستا مخازن هوایی از جمله اجزا اصلی تامین فشار آب در شبکه‌های آبرسانی شهرها به شمار می‌روند که با توجه به فرآیند توسعه و نیاز شهرها، تعداد این سازه‌ها روز به روز افزوده می‌شود. در این سازه‌ها قسمت وزن لرزه‌ای سازه، در ارتفاع قابل توجهی قرار می‌گیرد. این مهم سبب می‌شود که تاثیر نیروی زلزله بر این سازه قابل تامل باشد. بنابراین تحلیل لرزه‌ای این سازه‌ها به سبب کاربرد، تامین سرویس‌پذیری و حفظ کارآیی آن‌ها و نیز شرایط سازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

براین اساس تحقیقات بسیاری برای بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن مختلف بویژه مخازن هوایی صورت پذیرفته است. در این راستا برخی از محققین تاثیر نیروهای وارد از سوی سیال را بطور ویژه مورد بررسی قرار داده‌اند. وسترگارد از جمله نخستین محققینی است که در سال ۱۹۳۳ فشار ضربه‌ای بر سدهای صلب با دیواره قائم تحت نیروهای هارمونیک را مورد بررسی قرار داد [۱]. هاسکینز و ژاکوبسن نیز در سال ۱۹۳۴ در تحقیقی آزمایشگاهی اثر نیروی فشاری هیدرودینامیکی بصورت افقی را در مخزن مستطیلی با دیواره صلب ارزیابی نمودند [۲]. در سال ۱۹۴۹ ژاکوبسن با حل معادله لاپلاس و توزیع فشار هیدرودینامیکی سیال نتیجه گرفت که شتاب سیال در راستای عمود بر راستای شتاب اعمالی بصورت افقی، برابر صفر می‌باشد. وی در این تحقیق دیواره و کف مخزن را صلب فرض نموده و در نهایت سرعت ذرات سیال در نقاط مختلف را بدست آورد [۳]. هاوسنر با ارائه مدلی، سیال درون مخزن را به دو قسمت فوقانی که دارای نوسان و تلاطم بوده و قسمت تحتانی که به مخزن متصل فرض می‌شود، تبدیل نمود. در این مدلسازی از جرم متمرکز و فنر، برای شبیه‌سازی رفتار سیال درون مخزن استفاده شد. وی با فرض رفتار صلب جداره مخزن، مقادیر فرکانس تلاطم سیال و فشار هیدرودینامکی را برای مخازن مستطیلی و استوانه‌ای ارائه نمود [۴-۵]. بائر نحوه حرکت سطح آزاد سیال ایده‌آل و توزیع فشار را در مخازن

مستطیلی مورد بررسی قرار داد. وی دیواره مخزن را تحت اثر تابع حرکت دینامیکی مدلسازی نمود [۶]. در سال ۱۹۷۸ هانت و پریستلی در تحقیقی آزمایشگاهی و عددی، رفتار دینامیکی سیال را تحت اثر شتاب افقی با درنظرگیری اثر امواج سطحی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق با فرض تغییرمکان‌های کوچک، از عبارات غیرخطی مدل عددی صرفنظر شد. قیاس نتایج عددی و آزمایشگاهی در این تحقیق نشان داد که روش‌های مطرح شده برای طراحی مفید و کارآمد می‌باشند [۷]. ویلیتس و تانگ در سال ۱۹۸۶ پاسخ دینامیکی مخازن استوانه‌ای تحت حرکت پایه سازه با تکیه‌گاه صلب و انعطاف‌پذیر را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین با استفاده از یک روش تقریبی ساده تاثیر انعطاف‌پذیری تکیه‌گاه مخزن را ارزیابی نمودند [۸]. در سال ۱۹۹۲ هارون و ابوعزالدین رفتار لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای انعطاف‌پذیر تحت اثر تحریکات لرزه‌ای افقی را بررسی نمودند. آن‌ها با ایده‌ال‌سازی پارامترهای خاک در فرآیند ارزیابی، اثر اندرکنش خاک و سازه را در تحلیل لرزه‌ای سازه مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین در نهایت نمودارهایی برای توسعه روش‌های طراحی و درک رفتار لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای ارائه نمودند [۹]. چن و کیانوش در سال ۲۰۰۵ ایده جدیدی برای تاثیر انعطاف‌پذیری بدنه مخزن در تحلیل لرزه‌ای مخازن با درنظرگیری اندرکنش سیال و سازه ارائه نمودند. آن‌ها با استفاده از روش پیشنهادی، اثر مولفه‌های افقی و قائم زلزله را مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. گودرزی و صباغ یزدی در سال ۲۰۰۹ روش ساده شده جرم-فنر را برای مخازن استوانه‌ای با روش عددی اجزای محدود بر پایه تحلیل تاریخچه زمانی مقایسه نمودند. معیارهای مقایسه مقادیر برش پایه، لنگر واژگونی و حداکثر ارتفاع موج درنظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که روش ساده شده جرم-فنر در برخی از حالات اختلافی در حدود ۳۰ الی ۳۵ درصد برای مقادیر برش پایه و لنگر واژگونی در مقایسه با روش عددی اجزای محدود مبتنی بر نرم‌افزار دارد. اما در حالت کلی روش ساده شده جرم-فنر، راهکاری مناسب برای بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن می‌باشد [۱۱]. در سال ۲۰۱۵ ماری و همکاران به بررسی رفتار لرزه‌ای دو مخزن ذخیره آب بصورت مطالعه موردی پرداختند. این دو مخزن بین اواخر دهه ۱۹۲۰ و اوایل دهه ۱۹۳۰ به عنوان تامین کننده آب نیروگاه ذغال سنگ ایستگاه سانتا ماریا فلورانس ساخته شده و هنوز در حال بهره‌برداری می‌باشد. در این تحقیق رفتار دینامیکی سیال براساس مدلی پیشنهادی شبیه‌سازی و پیشنهاداتی برای مقاوم‌سازی مخازن مذکور ارائه گردید [۱۲]. اورمنو و همکاران در سال ۲۰۱۵ پاسخ لرزه‌ای مخازن را تحت حرکت مقیاس‌شده زمین، براساس سه آیین‌نامه Eurocode 8، ASCE/SEI 7-10 و NZS 1170.5 بررسی نمودند. در این بررسی مقادیر برش پایه، لنگر واژگونی و تنش دیواره مخزن مورد توجه قرار گرفت. نتایج بررسی نشان می‌دهد که آیین‌نامه Eurocode 8 منجر به مقادیر بیشتری برای پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن شده است. این در حالی است که ASCE/SEI 7-10 نتایج متوسط و کمتری را نسبت به Eurocode 8 برای پاسخ لرزه‌ای مخازن نتیجه می‌دهد. همچنین این تحقیق نشان می‌دهد که محدودیت‌های اعمالی توسط NZS 1170.5 در تحلیل لرزه‌ای مخازن، منجر به کاهش اثرات بارهای لرزه‌ای در مخازن شده است [۱۳]. البته بایستی توجه داشت که آیین‌نامه‌های مختلفی توصیه‌ها و راهکارهایی برای بررسی رفتار لرزه‌ای و طراحی مخازن ارائه داده‌اند. براین اساس آیین‌نامه‌های AWWA و API مدل‌های ساده شده مخازن را با استفاده از مدل‌های تک جرمی و دو جرمی ارائه داده‌اند [۱۴-۱۵]. به عنوان نمونه آیین‌نامه AWWA برای مخازن هوایی مدل تک جرمی را در محاسبه برش پایه و مدل دو جرمی را برای محاسبه لنگر پای ستون توصیه می‌نماید. آیین نامه API نیز فرآیندی مشابه AWWA برای مخازن هوایی پیشنهاد می‌نماید [۱۶]. در ایران نیز آیین نامه ۲۸۰۰ توصیه‌هایی برای بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن ارائه می‌دهد [۱۷]. براین اساس در نسخه اول آیین نامه ۲۸۰۰ با عدم درنظرگیری اثر امواج سطحی، مدل تک جرمی را برای مخازن هوایی توصیه می‌نماید. در نسخه دوم این آیین‌نامه مدل دو جرمی جایگزین شد. این در حالی است که با توجه به آسیب‌های مخازن در سالیان گذشته بواسطه زلزله‌های مختلف، ضرورت بازبینی آیین‌نامه در توصیه‌های دقیق‌تر برای طراحی و تحلیل لرزه‌ای مخازن احساس می‌شود [۱۶].

همان‌طور که مشاهده گردید، مخازن بویژه مخازن هوایی اهمیت ویژه‌ای برای شبکه‌های خدمات شهری و صنعتی دارد. بنابراین تحلیل و طراحی ایمن این سازه بسیار مهم و ضروری می‌باشد. در این راستا شناخت صحیح از رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی برای طراحی، اجرا و کاربری امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بر این اساس متغیرهای خصوصیات اصلی حرکت زمین (دامنه، مدت و محتوی فرکانسی)، خصوصیات دینامیکی سازه و اثر اندرکنش سیال و بدنه مخزن از عوامل اساسی در رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی می‌باشد. در این مقاله نیز بر پایه سه فاکتور مذکور، رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی با سیال‌های مختلفی همچون آب، جیوه و بنزین مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های حاضر تحت اثر زلزله‌های مختلفی با اعمال نیرو به پایه مخزن قرار گرفته است. بدین‌ترتیب سعی شده تا اثر سه متغیر ذکر شده دقیق‌تر ارزیابی شود. برای این منظور از شتاب نگاشت دو زلزله Artificial و Elcentro استفاده خواهد شد. بر این اساس شش مدل نرم‌افزاری جهت بررسی نوع سیال و نیز نوع زلزله آماده شده است. در تمامی مدل‌ها، مخازن بصورت پر از سیال مربوطه در نظر گرفته می‌شود. برای مدلسازی نیز از نرم‌افزار آباکوس بهره گرفته شده است. نتایج دلالت بر تاثیر متغیرهای مختلف ذکر شده در مقادیر برش پایه و تنش جداره مخزن دارد. بدین‌ترتیب که چگالی سیال و نیز شتاب حداکثر زلزله اثر مستقیم در مقدار برش پایه حداکثر دارد. همچنین متغیرهای مدت و محتوی فرکانسی نیز در مقادیر تنش جداره مخزن موثر می‌باشند.

۲. تحلیل لرزه‌ای مخازن

یکی از مهمترین مسائل در تحلیل لرزه‌ای مخازن بویژه مخازن هوایی رفتار سیال درون مخزن می‌باشد. به بیان دیگر بررسی و درنظرگیری اندرکنش سیال و سازه از جنبه‌های مهم در تحلیل لرزه‌ای مخازن است. بر این اساس یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای بررسی اثر سیال در تحلیل لرزه‌ای مخازن، روش جرم افزوده می‌باشد. در این روش جرم سیال در سطوح مشترک سیال و سازه به سازه افزوده شده و تحلیل لرزه‌ای انجام می‌شود. روش جرم افزوده علی رغم سادگی در مدلسازی، دارای درصدی خطا در نتایج می‌باشد [۱۸]. روش دیگر برای بررسی اندرکنش سیال وسازه در تحلیل لرزه‌ای مخازن روش لاگرانژی-لاگرانژی است. در این روش، سیال و سازه هر دو به صورت لاگرانژی مدلسازی می‌شوند. این شیوه سبب ایجاد روابط یکسان برای سیال و سازه شده اما از سوی دیگر باعث بروز مشکلاتی در اعمال شرایط مرزی بین سیال و سازه خواهد شد. روش دیگر برای بررسی اندرکنش سیال و سازه روش اویلری-لاگرانژی است. در این روش سیال به صورت اویلرین و بدنه مخزن به صورت لاگرانژی مدل می‌شود. بدین ترتیب مشکلات ناشی از تغییرشکل‌های بزرگ برای سیال برطرف می‌شود [۱۹]. در روش اویلری-لاگرانژی معادله حاکم بر رفتار دینامیکی سیال با فرض همگنی و صرفنظر از ویسکوزته سیال بشرح زیر می‌باشد.

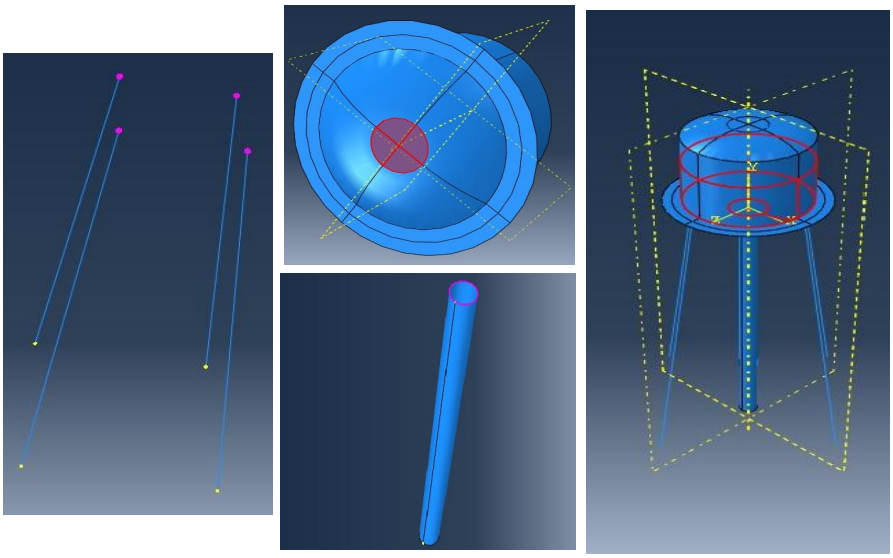
$$\nabla^2\phi = 1/C^2 \frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \tag{1}$$

در رابطه فوق ϕ تابع پتانسیل سرعت و C تابع سرعت امواج در سیال است. در این روش اگر از تراکم‌پذیری سیال صرفنظر شود، معادله حاکم به صورت معادله لاپلاس بشرح زیر بیان خواهد شد.

$$\nabla^2\varphi = 0 \tag{2}$$

با اعمال شرایط مرزی و حل معادله فوق، تابع پتانسیل سرعت حاصل می‌گردد.

در تحقیق حاضر نیز برای اعمال اثر اندرکنش سیال و سازه در تحلیل لرزه‌ای مخازن براساس نرم‌افزار Abaqus از روش اویلری –لاگرانژی استفاده شده است. بدین‌ترتیب برای مدلسازی مخزن و پایه اصلی مخزن از المان Shell و برای پایه‌های جانبی از المان beam استفاده می‌شود. در این مدلسازی شعاع مخزن برابر 2 m و ارتفاع آن برابر 2.5 m در نظر گرفته شده است. همچنین شعاع و ارتفاع پایه وسط مخزن نیز بترتیب برابر 0.15 m و 4.92 m لحاظ شده است. ارتفاع پایه‌های فرعی نیز برابر 5 m می‌باشد. مصالح بکار رفته در این مدلسازی فولاد درنظر گرفته شده که مقادیر جرم حجمی، مدول الاستیسته و نسبت پواسون آن بترتیب برابر $7800\ kg/m^3$، $200 \times 10^9\ Pa$ و 0.3 فرض می‌شود. لازم به ذکر است که جهت صحت سنجی مدل‌های نرم‌افزاری مخازن هوایی از اطلاعات و نتایج مدل آزمایشگاهی مرجع [۲۰] استفاده شده است. شکل (۱) مدل نرم‌افزاری مخزن هوایی و اجزای آن را نشان می‌دهد.



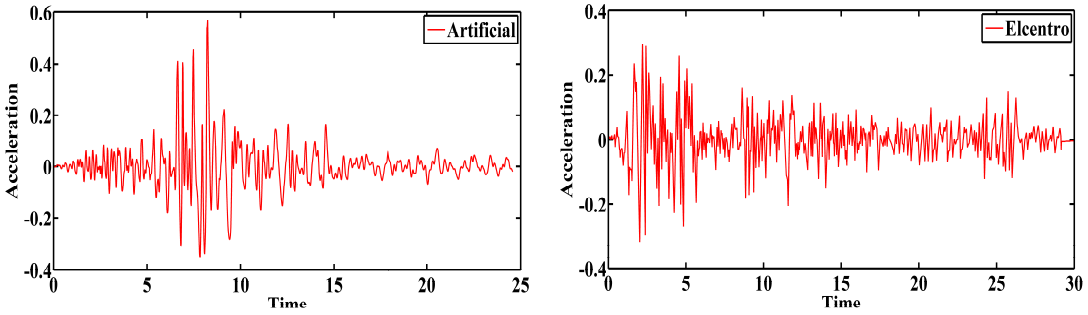
شکل ۱- اجزا و مدل نرم‌افزاری مخازن هوایی

همان‌طور که پیشتر بیان شد، در تحقیق به بررسی تاثیر نوع سیال و نیز نوع زلزله پرداخته شده است. بدین‌منظور از سه سیال آب، بنزین و جیوه بر اساس مشخصات جدول ۱ استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات انواع سیال

نوع سیال	جرم حجمی (kg/m^3)	لزجت دینامیکی (P)	سرعت امواج (m/s^2)
آب (Wa)	1000	0.01	1500
بنزین (Oc)	870	0.006	1172
جیوه (Hg)	13600	0.016	1450

برای بررسی نوع زلزله نیز از دو شتابنگاشت Artificial و Elcentro بشرح اشکال زیر استفاده می‌شود.

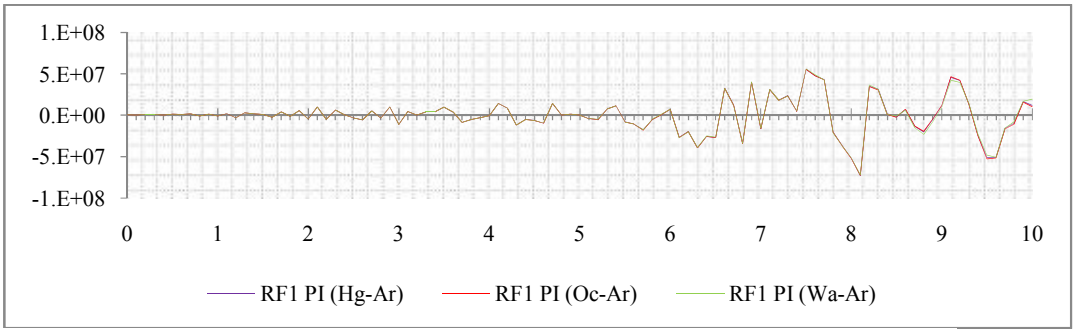


شکل ۲- نمودارهای شتاب – زمان زلزله

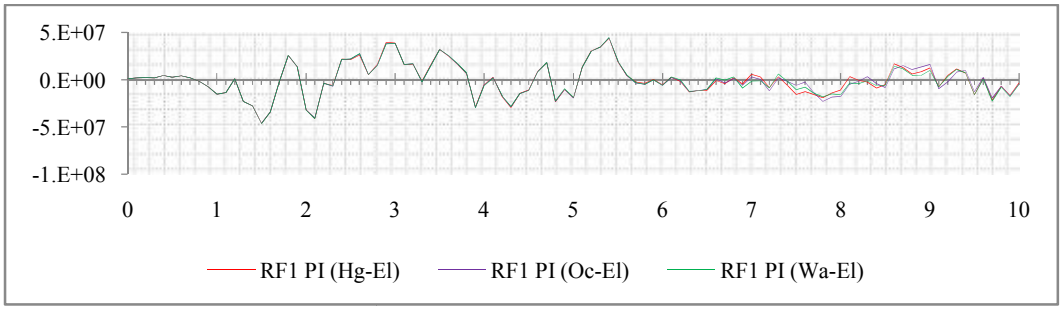
بدین ترتیب در پژوهش حاضر شش مدل نرم‌افزاری برای بررسی تاثیر نوع سیال و نوع زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس سعی شده است تا تمامی مدل‌ها دارای شرایط یکسانی از نظر مدلسازی بوده و فقط متغیرهای مذکور تغییر نمایند. با این وجود مقایسه نتایج قابل استناد و بررسی خواهد بود.

۳. بررسی نتایج تحلیل لرزه‌ای مخازن هوایی

با بررسی شش مدل نرم‌افزاری مخازن هوایی با انواع سیال تحت زلزله‌های یاد شده، مشاهده گردید که مقادیر برش پایه بشرح اشکال زیر می‌باشد.



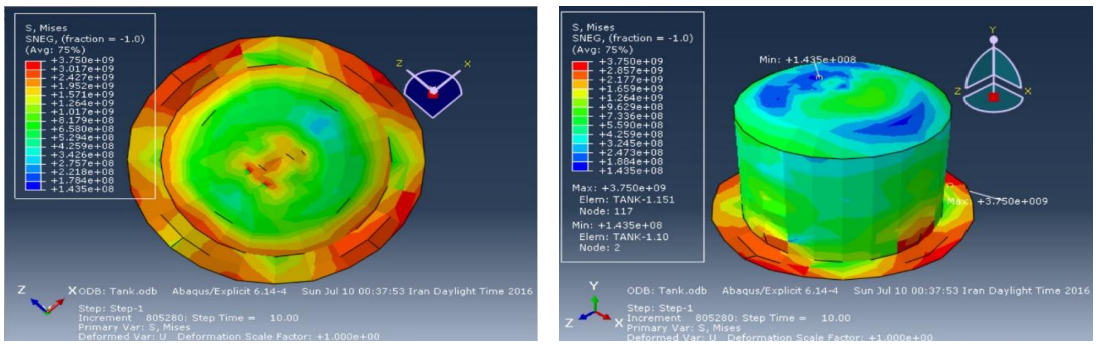
شکل ۳ - مقایسه برش پایه کل مخزن هوایی حاوی سه سیال تحت زلزله Artificial



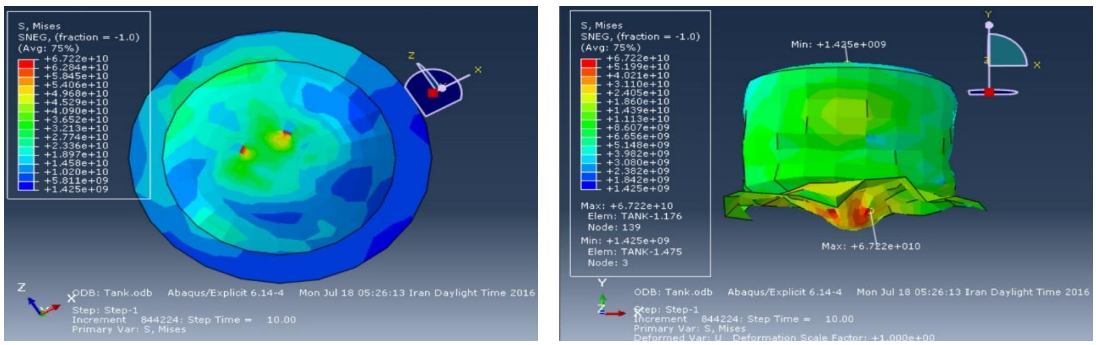
شکل ٤ – مقایسه برش پایه کل مخزن هوایی حاوی سه سیال تحت زلزله Elcentro

همان‌طور که در اشکال (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، در زمان‌های ابتدایی زلزله، مقادیر برش پایه تقریبا یکسان بوده و اختلاف اندکی به ازای انواع سیال دیده می‌شود. این در حالی است که با گذر زمان تاثیر نوع سیال در مقادیر برش پایه مشاهده خواهد شد. بر این اساس سیال جیوه دارای مقادیر برش پایه حداکثر بیشتری نسبت به بنزین و آب تحت اثر هر دو زلزله است. دلیل این امر را می‌توان چگالی بیشتر جیوه دانست. این مهم در بررسی رفتار سیال بنزین که دارای چگالی کمتری نسبت به دو سیال دیگر می‌باشد (اختلاف اندک با چگالی آب)، نشان می‌دهد که مقادیر برش پایه حداکثر کمتری نتیجه شده است. بنابراین می‌توان بیان نمود که چگالی سیال تاثیر مستقیم در مقدار برش پایه مخازن هوایی تحت اثر نیروی زلزله دارد.

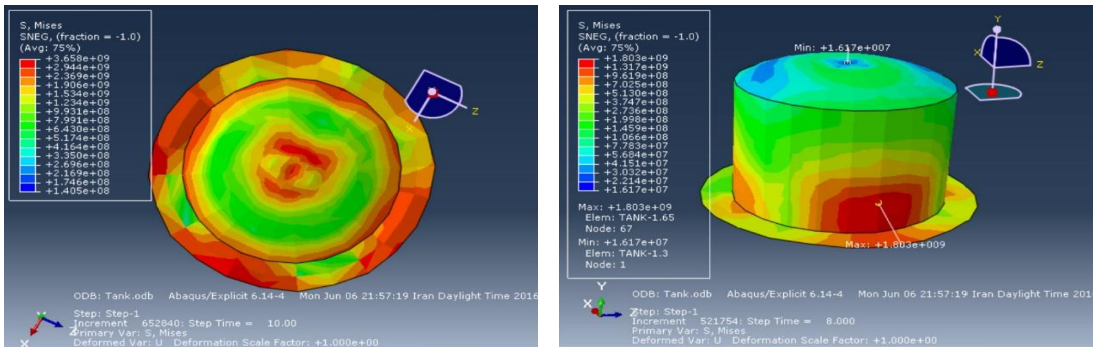
از سوی دیگر بررسی تاثیر نوع زلزله نیز نشان می‌دهد که پاسخ لرزه‌ای مخازن هوایی به نوع زلزله و نیروی اعمالی براساس عواملی همچون بزرگای زلزله و خصوصیات اصلی حرکت زمین یعنی دامنه، مدت و محتوی فرکانسی شتاب نگاشت اعمالی بستگی دارد. این مهم در اشکال (۳) و (۴) نیز قابل مشاهده است. بر این اساس مقادیر برش پایه بواسطه متغیر شتاب حداکثر برای مدل‌هایی که تحت زلزله Artificial قرار دارند بیشتر از مقادیر برش پایه مدل‌هایی است که تحت زلزله Elcentro قرار گرفته‌اند. این در حالی است که توزیع تنش در جداره مخزن حاوی سیال دارای شرایط متفاوتی می‌باشد. اشکال زیر کانتورهای تنش در جداره مخزن برای سیال‌های مختلف به ازای زلزله‌های گوناگون را نشان می‌دهد.



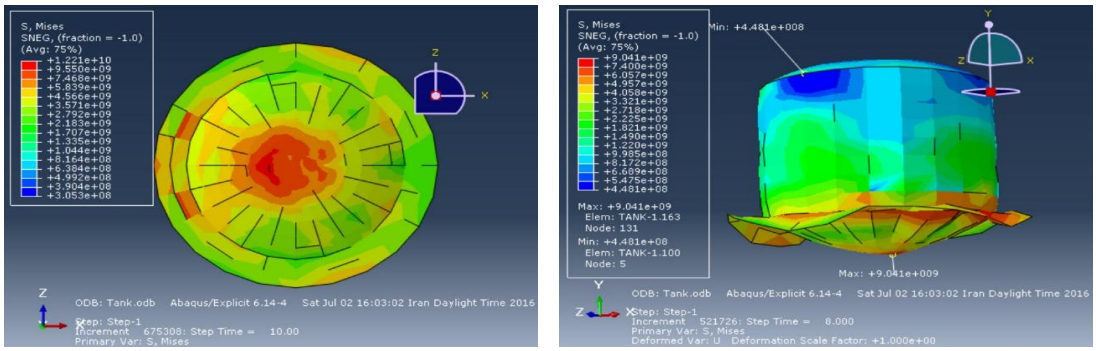
شکل ٥ – مخزن حاوی سیال جیوه و توزیع تنش تحت بار زلزله Artificial



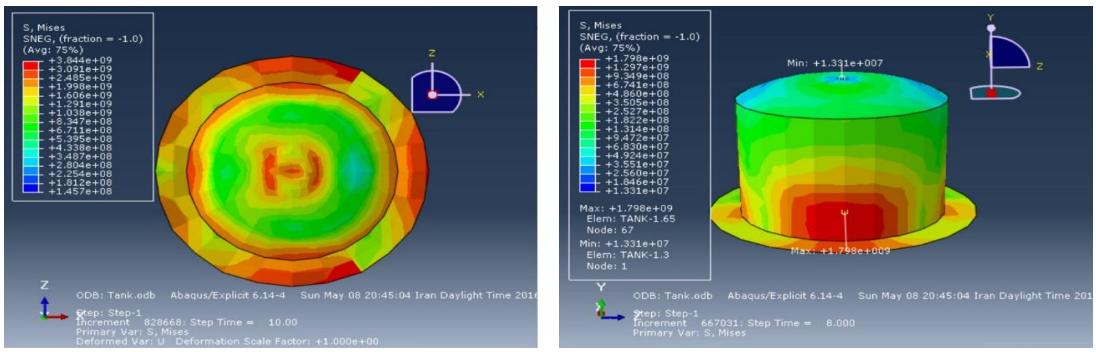
شکل ٦ – مخزن حاوی سیال جیوه و توزیع تنش تحت بار زلزله Elcentro



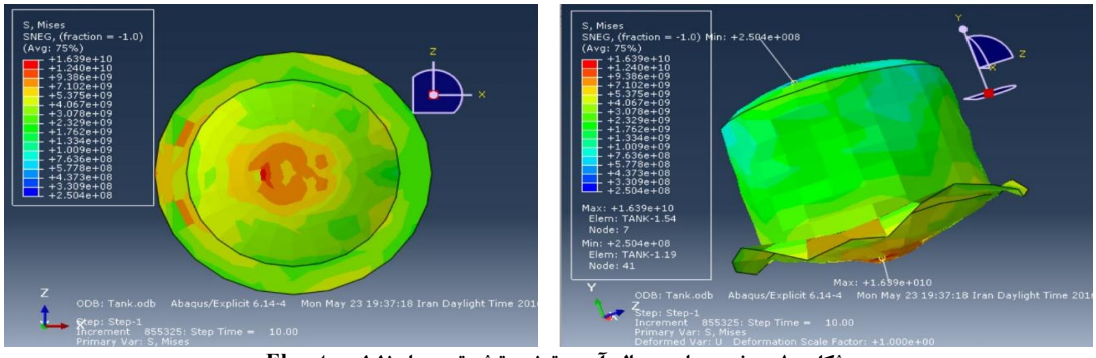
شکل ۷ – مخزن حاوی سیال بنزین و توزیع تنش تحت بار زلزله Artificial



شکل ۸ – مخزن حاوی سیال بنزین و توزیع تنش تحت بار زلزله Elcentro



شکل ۹ – مخزن حاوی سیال آب و توزیع تنش تحت بار زلزله Artificial



شکل ۱۰ – مخزن حاوی سیال آب و توزیع تنش تحت بار زلزله Elcentro

همان‌طور که در اشکال فوق مشاهده می‌شود، پارامتر مدت و محتوی فرکانسی از خصوصیات اصلی حرکت زمین سبب شده است تا کانتورهای تنش در حالت زلزله Elcentro برای مخزن، دارای مقادیر بیشتری نسبت به مدل‌های زلزله Artificial باشد. به بیان دیگر علی رغم اینکه مقدار برش پایه حداکثر به ازای زلزله Artificial در تمامی مدل‌های موجود بیشتر است اما فشارهای هیدرودینامیکی سیال (فشارهای ضربه‌ای و فشارهای انتقالی) متاثر از مدت و محتوی فرکانسی شتاب نگاشت اعمالی می‌باشد. این مهم سبب شده است تا مقادیر تنش در مدل‌هایی که تحت زلزله Elcentro قرار دارند بیشتر از مدل‌هایی باشد که تحت زلزله Artificial قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان اذعان داشت که حالت بحرانی در توزیع تنش مخزن متاثر از عواملی همچون مدت و محتوی فرکانسی شتاب نگاشت اعمالی است.

از سوی دیگر نتایج تحلیل لرزه‌ای مخازن هوایی نشان می‌دهد که محل اتصال مخزن و پایه اصلی از جمله نقاط بحرانی می‌باشد. در این محل عموما بیشترین مقدار تنش مشاهده می‌شود که نیازمند توجه ویژه‌ای در فرآیند تحلیل لرزه‌ای و نیز طراحی است. مقادیر تنش این نقطه برای هر مدل در اشکال مربوطه قابل مشاهده می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

- پاسخ لرزه‌ای مخازن هوایی علاوه بر مشخصات سازه به عواملی همچون نوع سیال و نیز نوع زلزله بستگی دارد.
- نوع سیال در تحلیل و پاسخ لرزه‌ای مخازن هوایی موثر بوده و توصیه می‌شود که اندرکنش سیال و سازه در فرآیند تحلیل لرزه‌ای لحاظ شود.
- شتاب حداکثر که برای تشریح دامنه حرکت زمین بکار گرفته می‌شود، تاثیر قابل توجهی در مقدار برش پایه حداکثر مخازن هوایی دارد.
- نیروهای انتقالی و ضربه‌ای سیال در مقادیر تنش جداره مخزن موثر می‌باشد. این نیروها متاثر از عوامل مختلف حرکت زمین همچون مدت و محتوی فرکانسی شتاب نگاشت زلزله می‌باشند.
- کانتورهای تنش حاکی از آن است که بیشترین تنش در محل اتصال پایه‌ها به مخزن اتفاق می‌افتد. بنابراین توجه به این نقطه در فرآیند طراحی امری مهم و ضروری است.

۵. مراجع

1. Westergard, H. M. (1933), “Water pressure on dams during earthquakes,” Transaction of the American Society of Civil Engineering, **98** (2), pp 418-433.
2. Hoskins, L. M., and Jacobson, L.S. (1934), “Water pressure in a tank caused by simulated earthquake,” Bulletin of the Seismological Society of America, **24** (1), pp 1-32.
3. Jacobson, L. S. (1949), “Impulsive hydrodynamics of fluid inside a cylindrical tank and a fluid surrounding a cylindrical pier,” Bulletin of Seismological Society of America, **39** (3), pp 189-204.
4. Housner, G. W. (2002), “Dynamic pressure on accelerated fluid containers,” Bulletin of Seismological Society of America, **47** (1), pp 15-35.
5. Housner, G. W. (1963), “The dynamic behavior of water tanks,” Bulletin of Seismological Society of America, **53** (2), pp 381-387.
6. Bauer, H. F. (1966), “Response of liquid in a rectangular container,” Journal of Engineering Mechanic Division, **92** (EM6), pp 1-23.
7. Hunt, B. and Priestly, N. (1978), “Seismic water waves in a storage tank,” Bulletin of Seismological Society of America, **68** (2), pp 487-499.
8. Veletsos, A. S. and Tang, Y. (1987), “Rocking Response of liquid storage tanks,” Journal of Engineering Mechanics, **113** (11), pp 1774-1792.
9. Haroun, M. A. and Abou-Izzeddine, W. (1992), “Parametric Study of Seismic Soil-Tank Interaction: Horizontal Excitation,” Journal of Structural Engineering, **118** (3), pp 783–797.

10. Chen J. Z, Kianoush M. R. (2005), "Seismic response of concrete rectangular tanks for liquid containing structures, " Canadian Journal of Civil Engineering, **32** (4), pp 739-752.

11. Goudarzi, M. A. and Sabbagh-Yazdi, S. R. (2009), "Numerical Investigation on Accuracy of Mass Spring Models for Cylindrical Tank under Seismic Excitation," International Journal of Civil Engineering, **7** (3), pp 190-202.

12. Mori, C., Sorace, S., Terenzi, G. (2015), "Seismic assessment and retrofit of two heritage-listed R/C elevated water storage tanks," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, **77** (October), pp 123–136.

13. Ormeño, M., Larkin, T., Chouw, N. (2015), "Evaluation of seismic ground motion scaling procedures for linear time-history analysis of liquid storage tanks," Engineering Structures, **102** (1), pp 266–277.

14. AWWA. (2005), "Welded Steel tanks for water storage," AWWA D-100, Denver, Colo.

15. API. (2005), "Welded Steel tanks for water storage," API 650, American Petroleum Institute Standard, Washington DC.

۱۶. احمدی، م. ت. و کلانتری، ا. (۱۳۸۲)، "مدلی برای مخازن هوای آب با درنظرگرفتن اندرکنش دینامیکی سازه و آب در هنگام زلزله،" فنی و مهندسی مدرس، شماره چهاردهم، ۳۸- ۲۹.

۱۷. آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۱۸. کلائی ساروکلایی، ل. و نورائی نیا، ب. (۱۳۸۷)، "مقایسه روشهای اویلری و لاگرانژی در تحلیل مخازن بتنی هوایی با احتساب اندرکنش آب و سازه،" مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۲۵-۲۳ مهر.

۱۹. کلاته، ف. و رافق، ف. (۱۳۹۵)، "مدلسازی رفتار دینامیک مخازن هوایی ذخیره سیال تحت بار انفجاری،" مجله علمی و پژوهشی موارد پرانرژی، سال یازدهم، شماره سه، ۸۰- ۶۷.

20. Lu, D., Liu, Y., Zeng, X. (2015), "Experimental and numerical study of dynamic response of elevated water tank of AP1000 PCCWST considering FSI effect," Annals of Nuclear Energy, **81** (July), pp 73-83.