

Evaluation of the Seismic Behavior of Steel Liquid Storage Tanks under Near and Far Fault Earthquakes

Reza Tarinejad^{1*}, Azizeh Hosseinjani²

1- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Graduate Student, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ABSTRACT

Design, construction and maintenance of liquid storage tanks, which have been extensively used to store liquid in industrial factories, oil refineries and petrochemical sites, are crucial. Vulnerability of liquid storage tanks have been recognized regarding to the experiences of major earthquakes occurred specifically in Japan, United states and Turkey. Therefore, evaluation of seismic responses of steel storage tanks is important. In this research, due to the complexity of ground motion behavior and the effects of different parameters such as frequency content of excitations on damage assessment of liquid storage tanks, more precise seismic analyses under near-fault and far-fault ground motions considering bi-directional horizontal components is carried out. For this purpose, the fixed base steel liquid storage tanks with height to diameter ratio equal to 0.4 is considered. The finite element analysis of the tank-liquid is carried out using ABAQUS software considering fluid-structure interaction based on added-mass method and nonlinear time history analysis. Significant difference between the seismic responses of the tank to uni-directional and bi-directional earthquake is obtained. More interestingly, the effect of frequency content of excitations on the dynamic response of steel liquid storage tanks are discussed.

ARTICLE INFO

Receive Date: 29 January 2019

Revise Date: 19 August 2019

Accept Date: 29 February 2020

Keywords:

*Finite element method;
Added mass;
Steel tank;
Dynamic analysis;
Near fault;
Far fault*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2020.170063.1772

*Corresponding author: Reza Tarinejad
Email address: r_tarinejad@tabrizu.ac.ir

ارزیابی رفتار دینامیکی مخازن استوانه ای فولادی تحت اثر زلزله های دور و نزدیک

گسل

رضا تاری نژاد^{۱*}، عزیزه حسین جانی^۲

۱- دانشیار، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران،

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

طراحی، ساخت و نگه داری مخازن نگه دارنده سیالات که بطور گسترده برای ذخیره انواع مایعات در کارخانه های صنعتی و مجتمع های نفتی از جمله انبارهای نفت و غیره بکار برده می شوند از اهمیت بسزایی برخوردار است. تجربه زلزله های گذشته در کشورهای ژاپن، ایالات متحده و ترکیه نشان می دهد، اینگونه مخازن در مقابل حرکات زمین لرزه ها بسیار آسیب پذیر بوده و مطالعات آسیب پذیری و مقاوم سازی آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل پیچیدگی اثرات زمین لرزه و تاثیر پارامترهای متعدد زلزله از جمله محتوای فرکانسی آن در آسیب پذیری مخازن نگه دارنده مایعات، سیستم مخازن نیازمند مطالعه و تحلیل های دقیق تر تحت زمین لرزه های دور و نزدیک می باشند. لذا در این تحقیق اثرات محتوای فرکانسی متفاوت زلزله های دور و نزدیک با در نظر گرفتن مولفه های افقی زلزله ها بر رفتار مخزن استوانه ای فولادی حاوی سیال با نسبت ارتفاع به قطر ۰/۴ ثابت در تکیه گاه مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، جهت تحلیل دینامیکی مخزن مورد نظر از تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شده است. مدل سازی مخزن و سیال با استفاده از روش المان محدود در نرم افزار آباکوس، با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سازه و سیال به روش جرم افزوده انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که تفاوت قابل ملاحظه ای در پاسخ سیستم مخزن-سیال با در نظر گرفتن اثرات همزمان مولفه های افقی زلزله وجود دارد. همچنین پاسخ سیستم مخزن-سیال در برابر زلزله ها با محتوای فرکانسی متفاوت دارای تفاوت قابل ملاحظه ای می باشد بنابراین در نظر گرفتن اثر همزمان مولفه های مختلف و نیز محتوای فرکانسی مختلف در تحلیل و طراحی این نوع مخازن قویا توصیه می شود.

کلمات کلیدی: روش المان محدود، روش جرم افزوده، مخازن فولادی، تحلیل لرزه ای، زلزله دور و نزدیک

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/JSCE.2020.170063.1772	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.170063.1772	۱۴۰۰/۰۶/۳۰	۱۳۹۸/۱۲/۱۰	۱۳۹۸/۱۲/۱۰	۱۳۹۸/۰۵/۲۸	۱۳۹۷/۱۱/۰۹
				نویسنده مسئول:		رضا تاری نژاد
				پست الکترونیکی:		r_tarinejad@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

مخازن از سازه های بسیار مهم، به خصوص در شبکه های آبرسانی، سایت های هسته ای، تجهیزات پالایشگاهی و پتروشیمی می باشند. با توجه به اینکه مخازن نگه دارنده مایعات به صورت استراتژیک و عمده در سایت های صنعتی مورد استفاده هستند، وجود گسل ها در فواصل دور و نزدیک اجتناب ناپذیر بوده و محتوای فرکانسی زلزله های دور و نزدیک از چند منظر دارای اهمیت است. مین لرزه های نزدیک گسل به سبب رفتار پالس گونه با پریود طولانی دارای زمان تأثیرگذاری بیشتری بوده و با توجه به تحقیقات موجود در هر دو محدوده فرکانسی کم و زیاد انرژی زیادی دارند. از این رو، توجه خاص به این موضوع در طراحی و مقاوم سازی مخازن به دلیل طبیعت اندرکنشی مولفه های گوناگون موجود از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف اصلی از طراحی لرزه ای سازه ها بر این مبناست که عملکرد آنها، در مقابل نیروهای ناشی از زلزله های کوچک بدون وقفه بوده و در مقابل زلزله های شدید ضمن حفظ پایداری، خسارت ها به حداقل ممکن برسد. از طرفی حضور فشار هیدرو دینامیکی علاوه بر فشار هیدرو استاتیکی و مشارکت مودهای حرکتی مختلف در اثر انعطاف پذیری دیواره در هنگام زلزله موجب تولید نیروهای بزرگ و آسیب در سیستم مخازن می گردد.

اطلاعات بدست آمده از زلزله های مشهور و بزرگ مانند نورث ریج^۱ (۱۹۹۴)، کوبه^۲ (۱۹۹۵)، دوزجه^۳ (۱۹۹۹)، چی-چی^۴ (۱۹۹۹) و از میت^۵ (۱۹۹۹) نشان داده است که زمین لرزه های حوزه نزدیک گسل می توانند نتایج مخربی بر روی سازه ها داشته باشند.

به جهت بهبود عملکرد دینامیکی و کاهش ریسک خرابی و گسیختگی در مخازن نگه دارنده مایعات، در دهه های اخیر مطالعات آزمایشگاهی و تئوریک فراوانی در این زمینه صورت پذیرفته است. مدل های مکانیکی برای اولین بار برای مخازن با دیواره صلب توسعه یافته اند. هاوسنر^۶ [۲۰،۱] با یک روش تقریبی، مدل دو جرمی را به صورت سیستم جرم و فنر برای تخمین اثرات دینامیکی سیال در یک مخزن صلب استوانه ای و مستطیلی شکل با کف گیردار تحت اثر زلزله برای مخازن زمینی با جداره صلب پیشنهاد نمود. جرم بالایی (مولفه ی نوسانی^۷) سیستم جرم و فنر برای نمایش رفتار اسلاشینگ^۸ به صورت محرک در نظر گرفته شده و جرم پایینی (مولفه ی ضربانی^۹) ثابت می باشد. با توجه به بررسی هاوسنر، مولفه های ضربانی و نوسانی برای توصیف پاسخ هیدرو دینامیکی سیستم مخزن-سیال تحت تحریک افقی باید بصورت جداگانه تعریف شوند. ولتسوس و یانگ^{۱۰} [۳] در ابتدا مطالعات خود را بر روی مخازن صلب انجام داده، سپس رفتار لرزه-لرزه ای مخازن را با در نظر گرفتن انعطاف پذیری جداره مخزن بررسی کردند. پس از آن، هارون و هاووزنر [۴] به تحلیل دینامیکی مخازن ذخیره مایعات پرداختند که با روش های تئوری و آزمایشگاهی رفتار دینامیکی یک مخزن زمینی استوانه ای انعطاف پذیر را مورد بررسی قرار داده اند. ولتسوس [۵] برای مود پایه تیر طره ای، انعطاف پذیری مخزن را با جایگزینی تابع شبه شتاب به جای شتاب زمین در معادلات پاسخ مربوطه در نظر گرفت.

فیشر^{۱۱} و همکاران [۶] با استفاده از روش های عددی به مطالعه پاسخ مخازن تحت مولفه های زلزله پرداختند. مطالعات بر روی مودهای کماتش و تغییر شکل در بخش بالایی مخزن توسط لیو و لم^{۱۲} [۷]، ناتسیاواس و بابکوک^{۱۳} [۸]، ناگاشیما^{۱۴} و همکاران [۹]، ردکوپ^{۱۵} و همکاران [۱۰] انجام شده است. ناتسیاواس و بابکاک [۸] به بررسی کماتش دینامیکی برای مخازن بلند بدون سقف تحت شتاب افقی هارمونیک با نسبت ارتفاع به قطر ۲/۱ پرداختند. مطالعات تجربی استاتیکی و دینامیکی مخازن با شتاب هارمونیک عمودی و افقی مخازن با نسبت هندسی ارتفاع به قطر ۲ توسط ناگاشیما^{۱۶} و همکاران [۹] انجام شده است. که طی این بررسی کماتش ناشی از زلزله ها در قسمت بالایی مخازن به مولفه ای اسلاشینگ ناشی از پاسخ هیدرو دینامیکی مخازن ذخیره سیال نسبت داده شده است. مطابق بررسی های

¹ Northridge

² Kobe

³ Duzce

⁴ Chi-Chi

⁵ ozmite

⁶ Housner

⁷ Convective

⁸ Sloshing

⁹ Impulsive

¹⁰ Veletsos & Yang

¹¹ Fisher

¹² Liu & Lam

¹³ Natsiavas & Babcock

¹⁴ Nagashima

¹⁵ Redekop

¹⁶ Nagashima

ردکوپ^{۱۷} و همکاران [۱۰] مودهای کمانش عمدتاً ناشی از نوسانات پاسخ هیدرودینامیکی سیال می‌باشد و بروز اسلاشینگ می‌تواند در بروز این کمانش کمک کند اما دلیل اصلی وقوع پیوستن آن نیست. ویرلا^{۱۸} و همکاران [۱۲، ۱۱] در مطالعه‌ی خود از مدل المان محدود برای سه مخزن با سقف مخروطی با نسبت هندسی ارتفاع به قطر (H/D) ۰/۴، ۰/۶۳ و ۰/۹۵ استفاده کرده‌اند. مدل مخزن تحت رکورد زلزله‌های مختلف قرار گرفته و بررسی کمانش دینامیکی (رفتار غیرخطی هندسی و مصالح) با استفاده از نرم افزار آباکوس^{۱۹} انجام شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که پاسخ هیدرودینامیکی ضربه‌ای مخزن-سیال، سبب بروز کمانش الاستیک در بالای پوسته استوانه‌ای شده است.

کیانوش و قائم‌مقامی^{۲۰} [۱۳] تحلیل رفتار لرزه‌ای مخزن‌های مستطیلی حاوی سیال تحت زلزله‌های مختلف را به صورت سه بعدی با لحاظ کردن اندرکنش^{۲۱} خاک-مخزن-سیال را با استفاده از روش المان محدود انجام دادند. در این مقاله، اثر محتوای فرکانسی زلزله بر رفتار لرزه‌ای سیستم مخزن مستطیلی سیال برای ۴ حالت حرکت زمین بررسی شد. نتایج نشان داد که رفتار لرزه‌ای خاک-مخزن-سیال به شدت به مشخصات فرکانسی زلزله وابسته می‌باشد. بوراتی و تاوانو^{۲۲} [۱۴] در مقاله خود روی یک مخزن استوانه‌ای به بررسی کمانش لرزه‌ای پرداخته‌اند. برای مدل‌سازی سیال درون مخزن از روش جرم افزوده استفاده شده است. تاثیر پیش‌تیدگی ناشی از فشار هیدرواستاتیک و وزن خود مخزن در پریودهای طبیعی سازه در بررسی اولیه نشان می‌دهد که مودهای ارتعاشی تغییر می‌کنند. اثرات شدت حرکات زمین با استفاده از ۴۰ شتاب نگاشت ثبت شده و مورد تحلیل قرار گرفته است.

دجیرمانه و همکاران^{۲۳} [۱۵] در مقاله خود با استفاده از مدل‌های عددی و المان‌های پوسته‌ای پایدار به ارزیابی مخازن تحت تحریکات لرزه‌ای مختلف و پارامترهای هندسی گوناگون پرداختند و نتایج را با آئین‌نامه‌های استاندارد مقایسه کردند. ماندال و مایتی^{۲۴} [۱۶] در مقاله خود به تحلیل غیرخطی المان محدود مخازن الاستیک ذخیره آب پرداخته‌اند. مخزن و سیال با المان دو بعدی ۸ گرهی مدل‌سازی شده‌اند. در معادلات حاکم، جابجایی دیوارهای مخزن و فشار سیال به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده‌اند. اثرات غیر خطی مایع با توجه به تحریک هارمونیک فرکانس‌های مختلف و تصادفی مورد بررسی قرار گرفته است. فشار هیدرودینامیکی روی دیواره مخزن بصورت خطی و غیر خطی برای مقایسه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد وقتی فرکانس تحریک به فرکانس اصلی اسلاشینگ نزدیک می‌شود، اسلاشینگ غیرخطی موجب افزایش قابل توجه فشار هیدرودینامیکی می‌گردد. زمانی که فاصله بین دو دیوار عمودی نسبتاً نزدیک است مقدار فشار هیدرودینامیک در تحلیل غیر خطی نسبت به تحلیل خطی کاملاً بزرگ است. نتایج تحلیل لرزه‌ای نشان می‌دهد که توزیع فشار هیدرودینامیک غیرخطی با توجه به تحریکات زمین، تقریباً شبیه به فشار هیدرودینامیک خطی است.

لذا در این تحقیق اثرات محتوای فرکانسی متفاوت زلزله‌های دور و نزدیک با در نظر گرفتن مولفه‌های افقی زلزله‌ها بر رفتار مخزن استوانه‌ای فولادی حاوی سیال با نسبت ارتفاع به قطر ۰/۴ ثابت در تکیه‌گاه مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، جهت تحلیل دینامیکی مخزن مورد نظر از تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شده است. مدل‌سازی مخزن و سیال با استفاده از روش المان محدود در نرم افزار آباکوس، با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سازه و سیال به روش جرم‌افزوده انجام شده است.

۲- بررسی زمین لرزه‌های دور و نزدیک گسل

دو زمین‌لرزه معروف پارک فیلد ۱۹۶۶ و زلزله سن فرناندو ۱۹۷۱ از زمین‌لرزه‌های بزرگ شناخته شده ایالت کالیفرنیا، سرچشمه و بنیان پژوهش در زمینه شناسایی ماهیت حرکات و ارتعاشات نیرومند زمین در نزدیکی مرکز زمین لرزه می‌باشند. همچنین زلزله‌های نزدیک گسل از جمله نورث‌ریج ۱۹۹۴، کوبه ۱۹۹۵، چی چی ۱۹۹۹ به سبب بوجود آوردن خسارات زیاد، متفاوت بودن پارامترهای زمین در زلزله‌های نزدیک گسل و نیز متفاوت بودن رفتار سازه‌ها در نزدیکی گسل را نشان دادند و سبب شدند بررسی زلزله‌های نزدیک گسل از اهمیت زیادی برخوردار شود.

¹⁷ Redekop

¹⁸ Virella

¹⁹ ABAQUS

²⁰ Kianoush & Ghaemmaghami

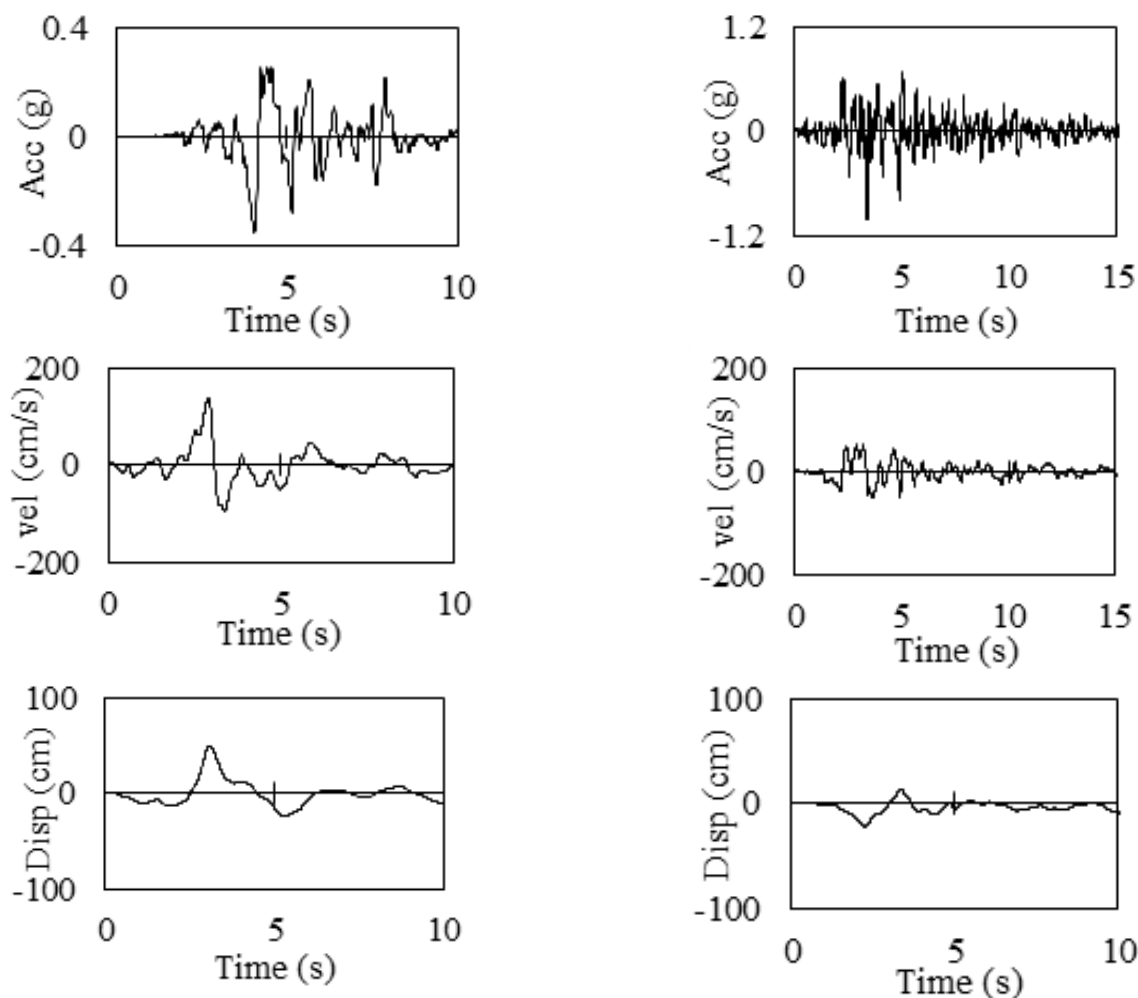
²¹ interaction

²² Buratti & Tavano

²³ Djermane

²⁴ Mandal & Maity

عوامل زیادی خصوصیات و مشخصات زمین لرزه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند اما تاثیر بعضی از این عوامل بر زلزله‌های نزدیک گسل بسیار مهم‌تر می‌باشد. جنبش‌های ثبت شده در گسل‌های نزدیک، به علت اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده و تغییر مکان ماندگار دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به جنبش‌های ثبت شده در فاصله دور از گسل می‌باشند. از جمله مهم‌ترین خصوصیات متمایز این زلزله‌ها می‌توان به وجود پالس‌های پرپود بلند در تاریخچه زمانی شتاب، سرعت، جابجایی، نسبت کوچک حداکثر شتاب به حداکثر سرعت در تاریخچه زمانی اشاره کرد. این موضوع را می‌توان به این صورت بیان کرد که در مناطق نزدیک گسل، امواج زلزله به علت اینکه مسافت کمتری را برای رسیدن به محل طی می‌کنند، نسبت به مناطق دور از گسل قدرت بیشتری دارند و در برخی موارد شتاب نداشت‌ها و رکوردهای سرعت و تغییر مکان ناشی از حرکات زمین در زلزله‌های نزدیک گسل دارای حرکات پالس‌گون هستند. اثر این حرکات پالس‌گونه در طراحی سازه‌ها در مناطق نزدیک گسل لرزه‌زا اهمیت زیادی دارد. اما اثرات مختلفی می‌تواند سبب ایجاد رفتار پالس‌گونه با پرپود طولانی زلزله‌ها باشد. از جمله این اثرات: مکانیزم کانونی گسل و تفاوت محل ساختگاه نسبت به محل گسل و اثراتی همچون: جهت‌پذیری پیش‌رونده، جهت‌پذیری پس‌رونده، جهت‌پذیری خنثی، تغییر مکان ثابت (گام جهشی)، اثر فرادایواره، اثرات امواج سطحی می‌باشند. در شکل ۱ رکوردهای ثبت شده برای دو زلزله دور و نزدیک قابل ملاحظه است که مشاهده می‌شود تفاوت مشخصی بین پالس سرعت حرکت زمین در نزدیکی گسل و دور از گسل وجود دارد. حرکت زمین نزدیک گسل، پالس با پرپود طولانی قابل توجهی را در تاریخچه زمان-شتاب اختیار می‌کند که این سازگار با تاریخچه سرعت و تغییر مکان است، پاسخ با دوره تناوب طولانی حرکت زمین نزدیک گسل خیلی بیشتر از حرکت زمین دور از گسل است.



شکل ۱: نمونه‌ای از تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی، (راست) رکوردهای زمین لرزه گسل دور Chi-Chi از ایستگاه CHY019، (چپ) رکوردهای زمین لرزه گسل نزدیک Loma prieta از ایستگاه Los Gatos-Lexington Dam.

با وجود مطالعات قابل توجه در مورد اثرات زلزله های نزدیک گسل و دور از گسل بر روی انواع سازه ها، مطالعات انجام شده در رابطه با اثرات حوزه نزدیک بر روی مخازن ذخیره سیال بسیار اندک می باشد و با توجه به تعداد زیاد این نوع سازه ها در مناطق کشور لرزه خیز ایران، ارزیابی رفتار آنها در برابر این زلزله ها و مقایسه با نتایج حاصل از زلزله های حوزه دور می تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

۳- جزئیات مدل سازی

جزئیات مدل سازی، ابعاد و دیگر ویژگی های هندسی مخزن و صحت سنجی مدل در زیر شرح داده شده است.

۳-۱- مدل مخزن

۳-۱-۱- هندسه، مواد و شرایط مرزی

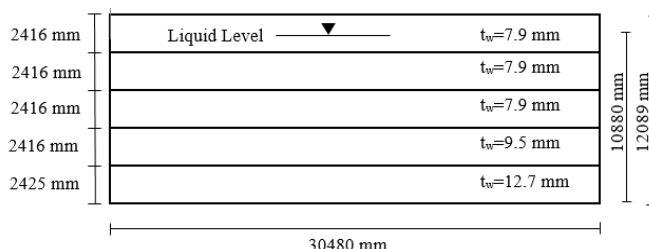
به منظور بررسی رفتار لرزه ای غیرخطی مخازن فولادی مهار شده مدل المان محدود در نرم افزار آباکوس ایجاد شده است. با توجه به تجربه حاصل از زلزله های گذشته می توان نتیجه گرفت، مخازنی که به طور کامل با مایع پر شده اند بیشتر مستعد آسیب پذیری هستند [۱۱]، بنابراین در این مطالعه ۹۰ درصد از ارتفاع مخزن با آب پر شده و ۱۰ درصد از ارتفاع مخزن خالی در نظر گرفته شده است.

مدل سازی عددی سه بعدی مخزن مطابق با مدل ارائه شده توسط ویرلا و همکاران [۱۱] انجام شده است که جزئیات این مدل در شکل ۲ نشان داده شده است. مخزن مورد بررسی با نسبت ارتفاع به قطر ۰/۴ با ارتفاع ۱۲/۰۸۹ متر و قطر ۳۰/۴۸۰ متر می باشد مخزن مورد نظر بدون سازه سقف بوده و تکیه گاه به طور کامل متصل به پایه در نظر گرفته شده و از مدل سازی کف مخزن به دلیل بررسی پوسته مخزن صرف نظر شده است. در این مطالعه اندرکنش خاک و سازه در نظر گرفته نشده است.

مصالح دیواره مخزن فولاد S۲۷۵ با مشخصات مکانیکی به شرح زیر می باشد:

چگالی فولاد $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$ ، تنش تسلیم $f_y=275 \text{ MPa}$ ، مقاومت نهایی $f_u=430 \text{ MPa}$ ، مدول الاستیسیته $E=210000 \text{ MPa}$ ،

ضریب پواسون $\mu=0/3$ و مدول سخت شوندگی $E_n=3888 \text{ MPa}$



شکل ۲: جزئیات مخزن [۱۱].

۳-۱-۲- حساسیت به مش بندی

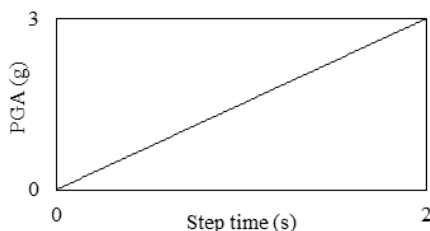
به منظور انتخاب یک مش المان محدود مناسب، برای مدل سازی رفتار سازه بویژه در زمینه غیرخطی، تحلیل ها با استفاده از المان پوسته ای S4R و S8R انجام شده است [۱۴]. S4R المان پوسته ای چهار گره ای انتگرال گیری کاهش یافته، کنترل hourglass و دارای فرمولاسیون کرنش محوری می باشد. و S8R المان پوسته ای دو قوسی هشت گره ای انتگرال گیری کاهش یافته که دارای توابع شکل درجه دوم است، می باشند. اندازه المان به حدی کوچک انتخاب شده است تا دقت کافی را داشته باشد.

برای انتخاب مناسب المان ها وزن مخزن و فشار هیدرواستاتیکی در نظر گرفته شده است، همچنین فشار ضربانی با توجه به رابطه ۱ که توسط ولتسوس و شیواکومار [۱۷] ارائه شده است، با افزایش خطی حداکثر شتاب PGA^{25} مطابق شکل ۳، به مخزن وارد می شود.

²⁵ Peak Ground Acceleration

$$P_i(\zeta, \vartheta, t) = C_i(\zeta) \ddot{x}_g(t) \rho R \cos \vartheta \quad (1)$$

در رابطه ۱، ζ مختصات در طول محور استوانه، ϑ موقعیت محیطی، t زمان، \ddot{x}_g شتاب تاریخچه‌ای زمین، $C_i(\zeta)$ تابع توزیع تغییرات فشار ضربانی در ارتفاع مخزن می‌باشد.

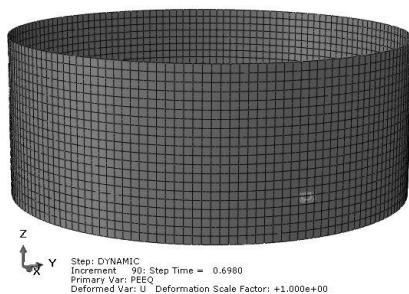


شکل ۳: تغییرات خطی شتاب در طول تحلیل برای محاسبه فشار ضربانی ($PGA=1.5 \times \text{step time}$).

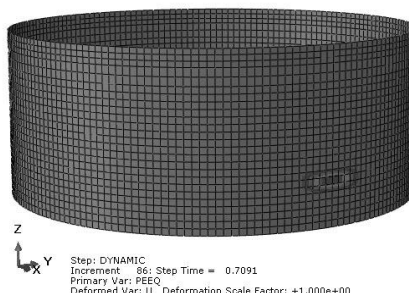
در ابتدا تحلیل‌ها با استفاده از المان SR8 با اندازه المان ۶۰۰ mm انجام شده (شکل ۴)، سپس با حفظ اندازه المان تحلیل دوم با المان SR4 انجام شده است. نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که محل اولین کمناش پلاستیک در استفاده از المان SR4 متفاوت با المان SR8 می‌باشد. بنابراین تحلیل سوم با اصلاح اندازه مش بندی و استفاده از ابعاد ۵۰۰ mm مجدداً برای مدل با المان SR4 انجام شد (شکل ۵). مقایسه نتایج حاصل از تحلیل‌ها که در جدول ۱ ارائه شده است، نشان می‌دهد تحلیل با المان SR4 با اندازه المان ۵۰۰ mm هم‌خوانی مناسبی با نتایج تحلیل با المان SR8 داشته و همچنین از لحاظ زمان تحلیل این مدل زمان کمتری نسبت به تحلیل با المان SR8 نیاز دارد. بنابراین با در نظر گرفتن زمان و دقت تحلیل، از المان SR4 استفاده شده است.

جدول ۱: نتایج حاصل از تحلیل با استفاده از المان‌های SR8 و SR4.

نوع المان	اندازه مش (mm)	تعداد المان	گام زمانی	PGA (g)	ارتفاع اولین کرنش پلاستیک (mm)
SR8	۶۰۰	۳۲۰۰	۰/۶۹	۱/۰۳۵	۳۰۲۰
SR4	۶۰۰	۳۲۰۰	۰/۶۴	۰/۹۶	۱۲۱۲
SR4	۵۰۰	۴۷۰۰	۰/۷	۱/۰۵	۳۱۵۲



شکل ۴: تحلیل برای المان SR8-۶۰۰ mm که اولین حالت پلاستیک در ارتفاع ۳۰۲۷ mm از کف مخزن و در گام زمانی ۰/۶۹ s برای $PGA=1/0.35$ اتفاق افتاده است.



شکل ۵: تحلیل برای المان SR4-۵۰۰ mm که اولین حالت پلاستیک در ارتفاع ۳۱۵۲ mm از کف مخزن و در گام زمانی ۰/۷ s برای $PGA=1/0.5$ اتفاق افتاده است.

۳-۱-۳- تاثیر فشار هیدرواستاتیکی و وزن مخزن بر مودهای ارتعاشی مخزن

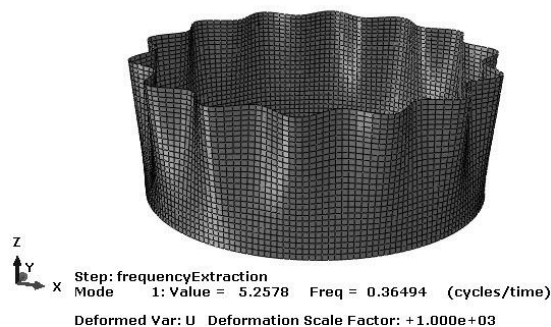
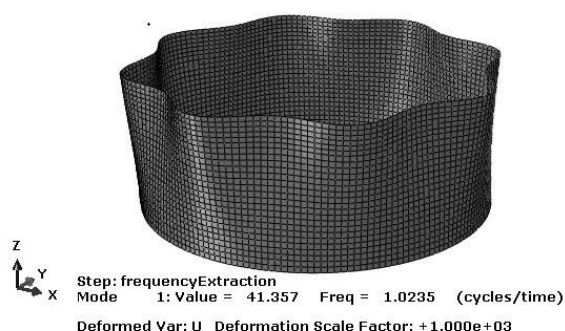
قبل از تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی، خواص دینامیکی سازه با استفاده از تحلیل مودال مورد بررسی قرار گرفته است.

در این قسمت به استخراج سی پرپود اول اشکال مودی سیستم مخزن-سیال، با در نظر گرفتن و صرف نظر از اثرات تنش‌های ناشی از فشار هیدرواستاتیکی و وزن خود مخزن پرداخته شده است. با توجه به تقارن سازه مقادیر تنها برای مودهای فرد ارائه می‌شود. نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است. به منظور صحت سنجی نتایج بدست آمده از تحلیل مودال مخزن با نتایج ارائه شده توسط محققین در رفرنس شماره ۱۴ مقایسه و در شکل شماره ۷ ارائه شده است. مقایسه بین نتایج بدست آمده از تحلیل‌های حاضر با نتایج کارهای قبلی نشان می‌دهد تطابق خوبی بین پاسخهای بدست آمده وجود دارد و بیان کننده صحت مدل بکار رفته می‌باشد. مطابق بررسی‌های انجام شده توسط ویرلا و بوراتی و تاوانو [۱۴،۱۱] و همچنین بررسی در این تحقیق نشان می‌دهد تنش‌های ناشی از فشار هیدرواستاتیکی و وزن مخزن تاثیر زیادی در پرپود طبیعی و اشکال مودی مخازن مهارشده دارد. مطابق شکل ۶ و شکل ۷ این تنش‌ها سبب کاهش پرپود طبیعی مخزن شده است.

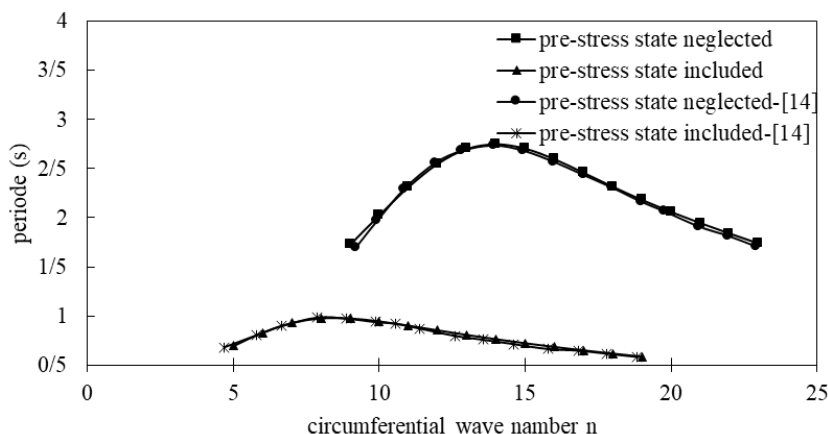
جدول ۲: پرپود طبیعی مخزن با در نظر گرفتن و صرف نظر از اثرات تنش‌های ناشی از وزن مخزن و فشار هیدرواستاتیکی، n تعداد موج‌های محیطی، m

تعداد موج‌های محوری.

با در نظر گرفتن اثرات تنش‌های اولیه			صرف نظر از اثرات تنش‌های اولیه			مود ارتعاشی
T[S]	n	m	T[S]	n	m	
۰/۹۷۷	۸	۱	۲/۷۴۱	۱۴	۱	۱
۰/۹۷۶	۹	۱	۲/۷۰۱	۱۵	۱	۳
۰/۹۴۶	۱۰	۱	۲/۶۹۸	۱۳	۱	۵
۰/۹۳۰	۷	۱	۲/۵۹۴	۱۶	۱	۷
۰/۹۰۳	۱۱	۱	۲/۵۴۷	۱۲	۱	۹
۰/۸۵۵	۱۲	۱	۲/۴۵۶	۱۷	۱	۱۱
۰/۸۳۲	۶	۱	۲/۳۱۴	۱۸	۱	۱۳
۰/۸۰۸	۱۳	۱	۲/۳۱۱	۱۱	۱	۱۵
۰/۷۶۵	۱۴	۱	۲/۱۸۰	۱۹	۱	۱۷
۰/۷۲۴	۱۵	۱	۲/۰۵۷	۲۰	۱	۱۹
۰/۶۹۵	۵	۱	۲/۰۲۵	۱۰	۱	۲۱
۰/۶۸۶	۱۶	۱	۱/۹۴۵	۲۱	۱	۲۳
۰/۶۲۵	۱۷	۱	۱/۸۳۹	۲۲	۱	۲۵
۰/۶۱۹	۱۸	۱	۱/۷۳۷	۲۳	۱	۲۷
۰/۵۸۸	۱۹	۱	۱/۷۲۵	۹	۱	۲۹

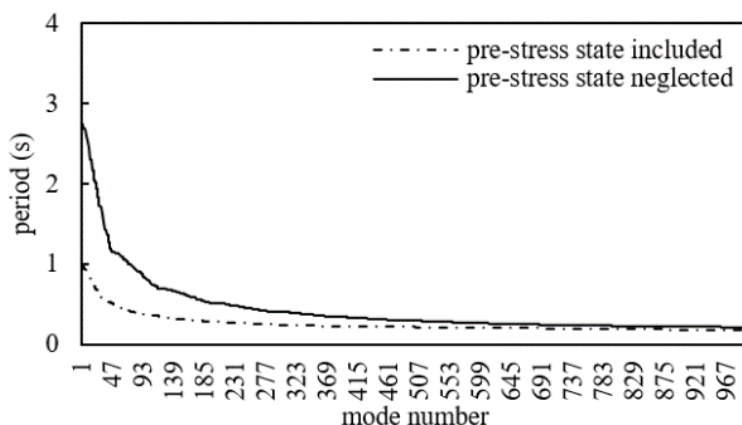


شکل ۶: مود ارتعاشی اول مخزن: بدون در نظر گرفتن اثرات تنش‌های ناشی از فشار هیدرواستاتیکی و وزن مخزن (راست)، با در نظر گرفتن اثرات تنش‌های ناشی از فشار هیدرواستاتیکی و وزن مخزن (چپ).



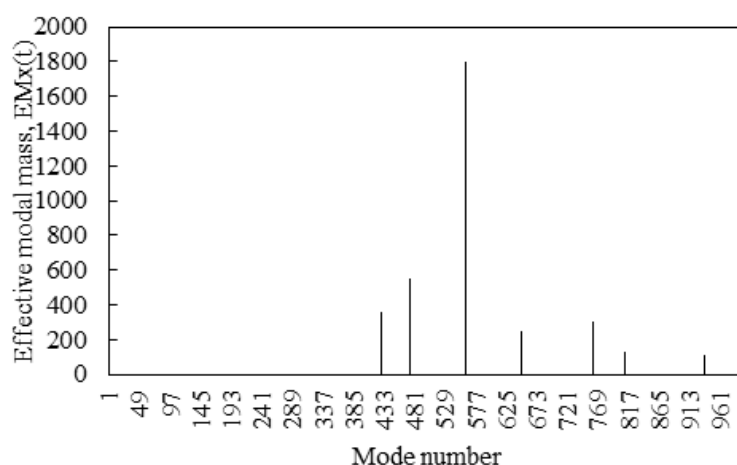
شکل ۷: مقایسه بین پریود های طبیعی و تعداد موج های محیطی در هر مود ارتعاشی حاصل از این تحقیق و حاصل از بررسی بوراتی و تاوانو [۱۴].

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود اختلاف بین پریود طبیعی مخزن زمانی که فشار هیدرواستاتیکی و وزن مخزن در نظر گرفته می شود و زمانی که این اثرات در نظر گرفته نمی شود برای مودهای اول که دارای موج های محیطی بیشتری هستند، بیشتر می باشد. اما برای مودهای بالاتر که دارای موج های محیطی کم هستند، تاثیر این تنش ها کمتر می باشد. به طور معمول مهم ترین مودها، مودهایی با بالاترین عامل مشارکت می باشند، که فقط دارای یک موج محیطی ($n=1$) هستند. بنابراین برای مودهای بالاتر مخزن، که دارای یک موج محیطی می باشند، اثرات تنش های اولیه بر روی پریود مخزن کمتر می باشد.



شکل ۸: پریود ۱۰۰۰ مود ارتعاشی مخزن.

اگرچه سی مود اول مخزن مهم ترین مودها برای توصیف رفتار موضعی مخزن می باشند اما این مودها دارای جرم موثر اندک در راستای x می باشند و برای توصیف پاسخ کلی سیستم مناسب نمی باشند، در نتیجه مطابق شکل ۹ تحلیل مودال برای ۱۰۰۰ مود اول مخزن جهت تعیین مودهایی با جرم موثر بیشتر انجام شده است. برای تولید مقادیر ویژه روش های مختلفی در آباکوس وجود دارد که روش لانکزوس هنگامی که تعداد زیادی از مودهای ویژه برای سیستم با درجات آزادی بالا لازم است سریع می باشد. بنابراین با این روش می توان به استخراج تعداد زیاد اشکال مودی و پریودها پرداخت. برای اطمینان از استخراج تعداد مود کافی در تحلیل مودال لازم است مجموع جرم موثر مودی در هر جهت نسبت به جرم کل مدل، مقدار قابل توجهی (بیشتر از ۸۵ درصد) باشد.



شکل ۹: جرم موثر ۱۰۰۰ مود ارتعاشی مخزن.

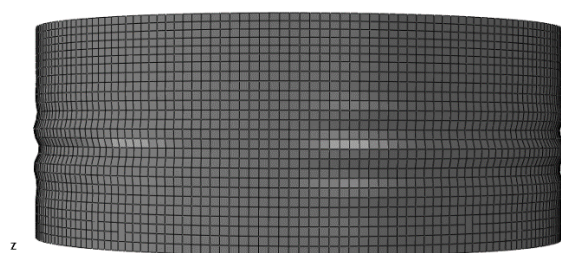
در جدول ۳ جزئیات مودهای اصلی استخراج شده از تحلیل مودال برای ۱۰۰۰ مود اول مخزن ارائه شده است. در شکل ۱۰ اشکال مودی که دارای بیشترین و کمترین فرکانس جهت استخراج ضرایب میرایی می‌باشند، نشان داده شده است.

$$a_x = \frac{EM_x}{M} = \frac{3219}{3353} = 0.95 \geq 0.85 \quad (2)$$

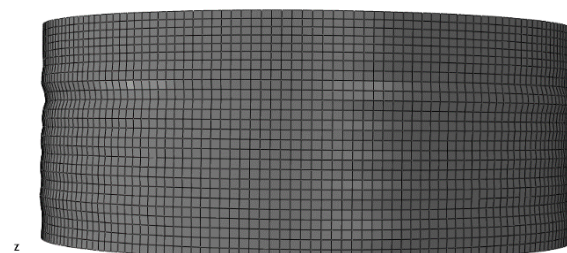
در رابطه ۲، EM_x مجموع جرم موثر مودی در جهت x و M جرم کل مدل می‌باشد.

جدول ۳: جزئیات مودهای اصلی مخزن، n تعداد موج‌های محیطی، m تعداد موج‌های محوری.

مود ارتعاشی	F	ω	T	a_x	n	m	مود ارتعاشی		
							$[S]$	$[rad/sec]$	$[Hz]$
>۱	۴۲۷	۲۷/۵۷۵	۰/۲۲۷	۰/۱۱	۱	>۱			
>۱	۴۷۲	۲۸/۰۰۹	۰/۲۲۴	۰/۱۷	۱	>۱			
	۵۵۹	۲۸/۹۸۵	۰/۲۱۶	۰/۵۳	۱	۱			
>۱	۶۴۸	۲۹/۸۸۳	۰/۲۱۰	۰/۰۵	۱	>۱			
>۱	۷۶۰	۳۱/۲۲۶	۰/۲۰۱	۰/۰۵	۱	>۱			
>۱	۸۱۱	۳۱/۸۳۷	۰/۱۹۷	۰/۰۲	۱	>۱			
>۱	۹۳۴	۳۳/۴۰۷	۰/۱۸۸	۰/۰۲	۱	>۱			



Step: frequencyExtraction
Mode 427: Value = 760.36 Freq = 4.3886 (cycles/time)
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.000e+02



Step: frequencyExtraction
Mode 934: Value = 1116.1 Freq = 5.3169 (cycles/time)
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.000e+02

شکل ۱۰: اشکال مودی پایه؛ مود ۹۳۴ دارای بیشترین فرکانس (راست)، مود ۴۲۷ دارای کمترین فرکانس (چپ).

مقادیر کمترین و بیشترین فرکانس از بین فرکانس‌های مستخرج به عنوان فرکانس i و j جهت استخراج ضرایب میرایی استفاده شده‌اند. ξ در مخازن فولادی، ۲ درصد در نظر گرفته می‌شود. ضرایب α و β برای سیستم مخزن-سیال بصورت زیر خواهد بود.

$$\alpha = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} = 0.02 \frac{2 \times 27.575 \times 33.407}{27.575 + 33.407} = 0.6 \quad (3)$$

$$\beta = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} = 0.02 \frac{2}{27.575 + 33.407} = 0.00065 \quad (4)$$

ضرایب استخراج شده از روابط ۳ و ۴ به عنوان ضرایب میرایی به مشخصات پوسته مخزن اضافه شده است.

۳-۲- مدل سیال

۳-۲-۱- مدل سازی سیال به روش جرم افزوده

در مقاله حاضر اندرکنش دینامیکی سیال و مخزن با استفاده از روش جرم افزوده مدل شده است. در روش جرم افزوده، جرم‌ها از توزیع فشار مولفه‌ی ضربانی سیستم مخزن-سیال که توسط ولتسوس و شیواکومار توسعه داده شده است بدست می‌آید [۱۷]. این توزیع فشار ضربه‌ای ناشی از تحریک افقی، مطابق با رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$P_i(\eta, \vartheta, t) = C_i(\eta) \ddot{x}_g(t) \rho R \cos \vartheta \quad (5)$$

که در آن η مختصات در طول محور استوانه، ϑ موقعیت محیطی، t زمان، \ddot{x}_g شتاب تاریخچه‌ای زمین، $C_i(\eta)$ تابع توزیع تغییرات فشار ضربانی در ارتفاع مخزن می‌باشد که از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$C_i(\eta) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} C_{cn}(\eta) \quad (6)$$

در رابطه ۶، $C_{cn}(\eta)$ تابع توزیع فشار نوسانی در ارتفاع مخزن می‌باشد که از رابطه ۷ بدست می‌آید.

$$C_{cn}(\eta) = \frac{2}{\lambda_n^2 - 1} \frac{\cosh(\lambda_n H/R \eta)}{\cosh(\lambda_n H/R)} \quad (7)$$

در رابطه ۷، λ_n ریشه n ام از مشتق اول تابع بسل نوع و مرتبه اول است. سه مقدار اول این ریشه $\lambda_1 = 1/841$ ، $\lambda_2 = 5/311$ ، $\lambda_3 = 8/536$ و برای مخزن تحت بررسی ارتفاع برابر است با $H=10/88m$ و شعاع مخزن برابر است با $R=15/24m$ می‌باشد.

جرم متمرکز برای اعمال این فشار به گره‌های میانی جداره از رابطه ۸ حاصل می‌شود:

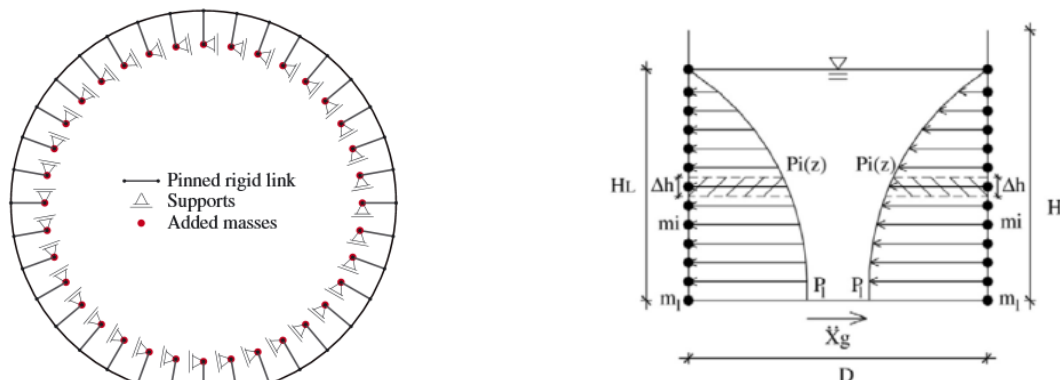
$$m_i = \frac{P_i E size^2}{a_n} = C_i(\eta) \rho R E size^2 \quad (8)$$

در رابطه ۸، P_i فشار ضربانی حاصل از رابطه ۵ و a_n شتاب نرمال وارد بر پوسته مخزن می‌باشد. در گره‌های سطحی و کف مخزن جرم‌های متمرکز بصورت رابطه ۹ تعریف می‌شود:

$$m_i = \frac{P_i E size^2}{2} = \frac{1}{2} C_i(\eta) \rho R E size^2 \quad (9)$$

$Esize$ طول ضلع هر المان در جداره مخزن می باشد که در اینجا مقدار آن برابر ۵۰۰ میلیمتر می باشد.

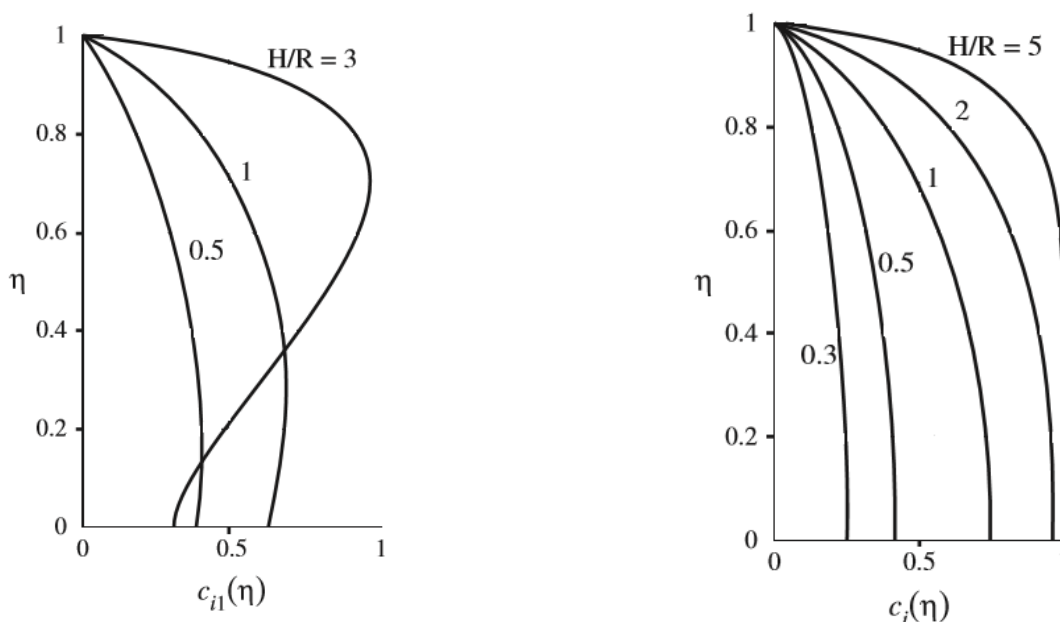
باید به این نکته توجه نمود که فشار ضربه ای اعمال شده به جداره ها در ارتفاع مخزن متغیر و در راستای محیطی فشار بصورت یکنواخت به جداره ها اعمال می شود، که در شکل ۱۱ نحوه ی توزیع جرم ها در راستای ارتفاعی و محیطی مخزن نمایش داده شده است.



شکل ۱۱: مدل جرم افزوده؛ در محیط مخزن (راست)، در راستای ارتفاعی مخزن (چپ) [۲۰].

اندرکنش مخزن و سیال به ترتیبی است که سیال از دیواره مخزن جدا نشود، اما در جهت شعاعی انتقال دهنده فشار به دیواره مخزن باشد. این فرض نیز در تدوین مدل مکانیکی ساده هاوژنر [۱] هم استفاده شده است. این تقریب خطی سیال مدل سازی اندرکنش سیال و سازه را ساده تر می کند.

در سیستم مخزن و سیال که توسط ولتسوس [۱۸] و هارون و هاوژنر [۱۹] مطالعه شده، نشان داده شده است که توزیع فشار ناشی از مولفه ی ضربانی مایع در مخازن صلب و انعطاف پذیر مشابه هم است، بویژه برای مخازن پهن $H/R < 1$ که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. بنابراین با توجه به تحقیقات انجام شده می توان روش جرم افزوده را که جرم در هر زمان ثابت در نظر گرفته می شود، به مخزن پهن وارد شود.



شکل ۱۲: توزیع فشار در ارتفاع مخزن؛ مخازن انعطاف پذیر (راست)، مخازن صلب (چپ) [۱۷].

از آنجا که فشار هیدرودینامیکی حاصل باید به صورت عمود بر سطح پوسته مخزن وارد شود، بنابراین باید جرم‌های تعریف شده در راستای عمود بر پوسته مخزن اعمال شوند. به همین منظور از المان‌های محوری (MPC LINKS) که بصورت صلب هستند برای حرکت جرم‌ها در آن راستا استفاده می‌شود. در نتیجه جرم‌ها تنها در راستای شعاعی قابلیت جابجایی خواهند داشت و برای راستاهای دیگر حرکت جرم‌ها محدود خواهد شد. مدل جرم‌افزوده از توزیع فشار ضربانی بدست آمده است، بنابراین مولفه‌ی نوسانی در نظر گرفته نمی‌شود.

۴- انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها

در این تحقیق، تحلیل تاریخچه زمانی براساس رکوردهای انتخاب شده انجام شده است. رکوردهای شتاب انتخابی در دو بخش دور و نزدیک از دیتابیس PEER^{۲۶} تحت عنوان پروژه NGAWEST2 [۲۱] انتخاب و در جدول ۴ و جدول ۵ ارائه شده است که شامل ۹ رکورد بدون حرکات پالس‌گونه^{۲۷} دور از گسل و ۹ رکورد پالس‌گونه نزدیک گسل می‌باشد. خصوصیات پالس‌گونه رکوردها براساس روش توسعه داده شده توسط بکر^{۲۸} [۲۲] و شاهی^{۲۹} [۲۳] شناسایی شده است. در رکوردهای انتخابی برای حوزه نزدیک تاثیرات جهت‌دار در نظر گرفته شده و از اثرات گام جهشی صرف نظر شده است. معیارهای مورد استفاده:

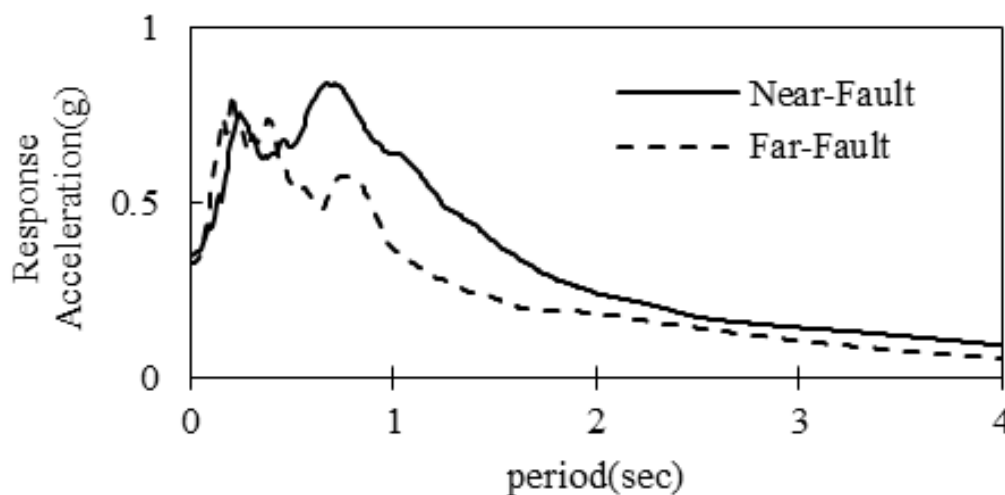
$$Mw > 5-$$

- نزدیک‌ترین فاصله از محل گسلش برای رکوردهای دور بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و برای رکوردهای نزدیک کمتر از ۱۰ کیلومتر می‌باشد.

- نوع خاک B, C براساس آیین نامه ASCE7-10 [۲۴] (معیار سرعت موج برشی (VS ۳۰ (m/s)

- PGV > ۵۰ (cm/s) برای رکوردهای نزدیک می‌باشد.

جهت انجام تحلیل‌ها و مقایسه مناسب پاسخ‌ها برای رکوردهای انتخابی روش‌های مختلف مقیاس‌سازی وجود دارد، از جمله این روش‌ها می‌توان به مقیاس‌سازی در حوزه زمان براساس بیشترین شتاب (PGA) اشاره نمود، که در این تحقیق از این روش استفاده شده و تمامی مولفه‌های اصلی رکوردها (مولفه با شتاب بیشتر) به ۰/۳۵g مقیاس شده و سپس مولفه‌های دیگر به این نسبت ضرب گردیده‌اند. طیف پاسخ شتاب میانگین برای هر دو گروه رکوردهای دور و نزدیک در شکل ۱۳ ارائه شده است.



شکل ۱۳: طیف پاسخ شتاب میانگین برای رکوردهای دور و نزدیک گسل.

^{۲۶} Pacific Earthquake Engineering Research center (PEER)

^{۲۷} Pulse-Like

^{۲۸} Baker

^{۲۹} shahi

جدول ۴: مشخصات زلزله‌های دور و نزدیک گسل مورد استفاده در تحلیل دینامیکی.

Event	Year	R (Km)	V30 (m/s)	مولفه‌ی قوی			مولفه‌ی ضعیف		
				com (deg)	PGA (g)	T _g (s)	com (deg)	PGA (g)	T _g (s)
Cape Mendocino	۱۹۹۲	۲۰	۴۵۷/۰۶	۹۰	-۰/۱۱۳	۳/۲	۰	-۰/۱۳۶	۲/۴
Loma Prieta	۱۹۸۹	۷۷/۴۳	۵۹۴/۴۷	۹۰	-۰/۲	-۰/۷۲	۰	-۰/۱	۱/۲۸
Chi-Chi-05	۱۹۹۹	۱۵۲/۱۳	۱۰۲۲/۷۷	N	-۰/۰۰۸۹	۲/۳۳	W	-۰/۰۰۶۵	۱/۵۵
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	۵۰/۱	۳۳۶/۵	۱۳۵	-۰/۱۳۴	-۰/۵۸	۴۵	-۰/۱۱۸	-۰/۵۹
Landers	۱۹۹۲	۸۹/۹۶	۲۹۱	۰	-۰/۱۱۸	-۰/۷۹	۹۰	-۰/۰۹	-۰/۹۳
Northridge-01	۱۹۹۴	۲۰/۲۹	۱۲۲۲/۵۲	۱۸۵	-۰/۱۵۸۹	-۰/۸۵	۹۵	-۰/۱۰۳	۱/۱۶
Chi-Chi, Taiwan-05	۱۹۹۹	۸۸/۲۵	۴۹۷/۵۳	W	-۰/۰۷	-۰/۷۳	N	-۰/۰۵۴	-۰/۹۵
Morgan Hill	۱۹۸۴	۴۵/۴۷	۷۱۳/۶	۳۲۰	-۰/۰۷۸	-۰/۳۸	۵۰	-۰/۰۴	-۰/۳۹
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	۲۴/۶۱	۳۶۲/۳۸	۱۳۵	-۰/۱۹۷	-۰/۱۶	۴۵	-۰/۱۰۹	-۰/۱۵

جدول ۵: مشخصات زلزله‌های نزدیک گسل مورد استفاده در تحلیل دینامیکی.

Event	Year	R (Km)	V30 (m/s)	مولفه‌ی قوی زلزله			مولفه‌ی ضعیف زلزله				
				com (deg)	PGA (g)	T _p (s)	T _g (s)	com (deg)	PGA (g)	T _p (s)	T _g (s)
Denali, Alaska	۲۰۰۲	۲/۷۴	۳۲۹/۴	۴۷	-۰/۳۳۲	۳/۱۵۷	۲/۳۵	۳۱۷	-۰/۲۹۷	-	۳/۱۸
Loma Prieta	۱۹۸۹	۵	۱۰۷۰	۹۰	-۰/۴۱۱	۱/۵۷	۱/۰۵	.	-۰/۴۴۲۷	۱/۵۷	۱/۰۵
Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	۴/۸	۲۹۷	۱۵۰	-۰/۳۲۲	۳/۵	۳/۵۲	۶۰	-۰/۲۲۶۷	۴/۹۵	۴/۵
Northridge	۱۹۹۴	۵/۹۲	۲۶۹/۱۴	۳۶۰	-۰/۵۹	۱/۳۷۲	۰/۷	۹۰	-۰/۵۸	۱/۳۷	۱/۲۸
Parkfield-02, CA	۲۰۰۴	۲/۹۹	۶۴۸/۰۹	۳۶۰	-۰/۳۵	-۰/۸۵۴	۰/۷۱	۹۰	-۰/۲۱	-	-۰/۷۱
Morgan Hill	۱۹۸۴	۹/۸۷	۶۶۳/۳۱	۹۰	-۰/۲۹۳۳	۱/۲۲	۱/۱۶	۰	-۰/۲۲۲	۱/۱	-۰/۷۴
Coyote Lake	۱۹۷۹	۳/۱۱	۶۶۳/۳۱	۲۳۰	-۰/۴۲۲	۱/۲۳۲	۰/۸۴	۳۲۰	-۰/۳۱۹	-	-۰/۳۶
Kobe	۱۹۹۵	۰/۳۷	۳۱۲	۰	-۰/۷	۱/۸	۱/۶۹	۹۰	-۰/۶۱۴	۱/۵	-۰/۴۸
Morgan Hill	۱۹۸۴	۰/۵۳	۵۶۱/۴۳	۲۸۵	۱/۳۰۳	۱/۰۷۱	۰/۸۳	۱۹۵	-۰/۷۱۳۴	۱/۰۷۱	-۰/۶۳

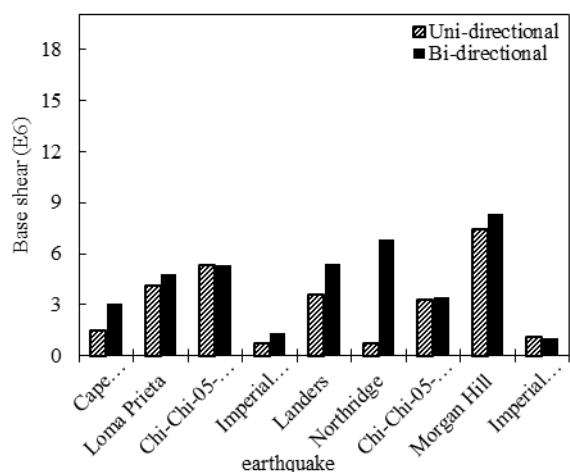
۵- نتایج و بحث

جهت بررسی رفتار مخزن در برابر زلزله‌های گسل دور و نزدیک با اعمال زلزله‌های یک جهته و دو جهته، نتایج بصورت نمودارهای مقایسه‌ای برای برش پایه و لنگر پایه مخزن ارائه شده است.

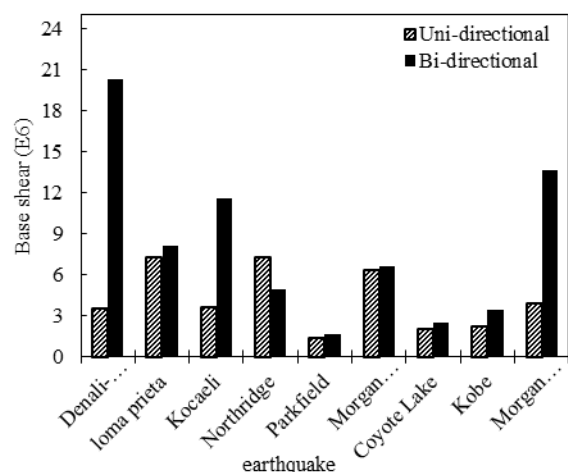
مقایسه نتایج حاصل از برش پایه مخزن که در شکل ۱۴ و شکل ۱۵ برای زلزله‌های گسل دور و نزدیک با اعمال زلزله دو جهته و یک جهته ارائه شده است، نشان می‌دهد که اعمال زلزله دو جهته موجب افزایش برش پایه می‌شود، که این افزایش برای زلزله‌های نزدیک دارای مقدار قابل توجهی نسبت به زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. در برخی از زلزله‌های گسل نزدیک از جمله زلزله‌های denali و kokaeli به ترتیب افزایش ۴ و ۶ برابری در صورت اعمال زلزله دوجته قابل مشاهده است.

زلزله‌های denali و kokaeli دارای پریود پالس و پریود مشخصه بزرگتری نسبت به سایر زلزله‌های گسل نزدیک می‌باشند.

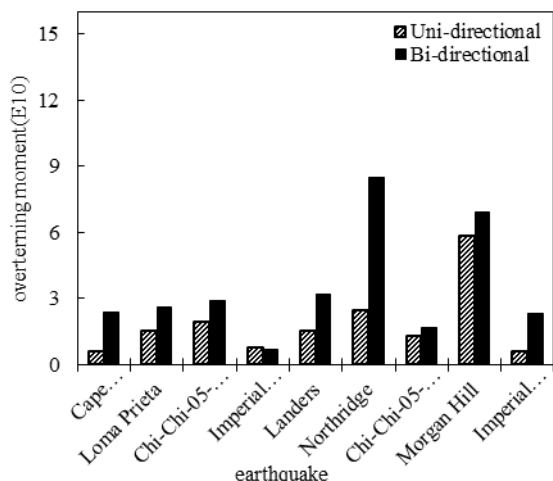
در شکل ۱۶ و شکل ۱۷ پاسخ ممان خمشی پایه به ترتیب برای رکوردهای نزدیک و دور از گسل برای زلزله‌های یک جهته و دو جهته ارائه شده است. مقایسه نتایج حاصل از اعمال زلزله دو جهته و یک جهته نشان می‌دهد که اعمال زلزله دو جهته موجب افزایش شدید ممان خمشی پایه می‌شود. این افزایش برای زلزله‌های گسل نزدیک تا ۷ برابر نیز مشاهده شده است. با مقایسه رکوردهای دور و نزدیک مشاهده می‌شود که تشدید پاسخ با اعمال رکورد دو جهته در رکوردهای پالس دار نزدیک گسل بیشتر است. در رکوردهای نزدیک گسل از جمله زلزله‌های denali و kokaeli با پریود پالس و پریود مشخصه بزرگتر نسبت به سایر زلزله‌ها دارای تشدید بیشتری تحت زلزله‌های دوجته می‌باشند.



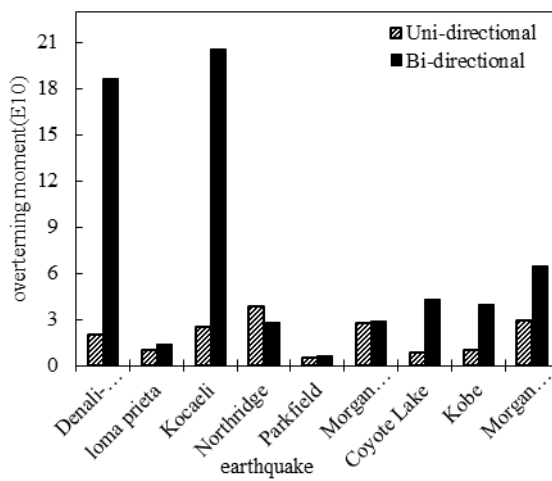
شکل ۱۵: مقایسه برش پایه مخزن با اعمال زلزله یک جهته و دو جهته زمین لرزه های گسل دور.



شکل ۱۴: مقایسه برش پایه مخزن با اعمال زلزله یک جهته و دو جهته زمین لرزه های گسل نزدیک.



شکل ۱۷: مقایسه لنگر واژگونی مخزن با اعمال زلزله یک جهته و دو جهته زمین لرزه های گسل دور.



شکل ۱۶: مقایسه لنگر واژگونی مخزن با اعمال زلزله یک جهته و دو جهته زمین لرزه های گسل نزدیک.

میانگین برش پایه و لنگر پایه برای زلزله های دور و نزدیک گسل در جدول ۶ ارائه شده است که نشان می دهد در مجموع پاسخ ممان پایه و برش پایه مخازن در زلزله های نزدیک گسل برای زلزله های یک جهته و دو جهته بیشتر از زلزله های دور از گسل است. در زلزله های نزدیک گسل بطور میانگین مقادیر لنگر پایه با اعمال زلزله دوجته به مخزن افزایش ۲ برابری و مقادیر لنگر پایه افزایش ۴ برابری را در پی داشته است.

جدول ۶: میانگین برش پایه و لنگر پایه زلزله های گسل دور و نزدیک با اعمال زلزله های یک جهته و دو جهته.

میانگین لنگر پایه		میانگین برش پایه		
زلزله دو جهته	زلزله یک جهته	زلزله دو جهته	زلزله یک جهته	
۶/۸۴	۱/۹۲	۴/۲۰	۸/۰۸	زلزله نزدیک گسل
۳/۵۸	۱/۸۳	۳/۱۰	۴/۴۰	زلزله دور از گسل

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

مخزن مورد بررسی در این تحقیق از نوع مخزن پهن با نسبت ارتفاع به قطر $0/4$ و با در نظر گرفتن اثرات انعطاف پذیری دیواره در نرم افزار آباکوس مدل سازی شده است.

- (۱) نتایج حاصل از بررسی مودهای ارتعاشی مخزن در تحلیل مودال نشان داده است تنش های ناشی از فشار هیدرواستاتیک و وزن مخزن تاثیر زیادی در پریود طبیعی و اشکال مودی مخازن مهار شده دارد. این تنش ها سبب کاهش پریود طبیعی مخزن شده است.
- (۲) نتایج حاصل نشان می دهد که پاسخ لنگر و برش پایه مخازن در زلزله های نزدیک گسل برای زلزله های یک جهته و دو جهته بیشتر از زلزله های دور از گسل است. اختلاف بین سطح نمودارها در زلزله های گسل نزدیک بدلیل محتوای فرکانسی بالای این زمین لرزه ها بیشتر می باشد.
- (۳) نتایج حاصل از مقایسه لنگر پایه در مخزن پهن با اعمال زلزله های نزدیک گسل نشان داده است که با در نظر گرفتن زلزله دو جهته لنگر پایه بطور میانگین افزایش ۴ برابری در مقایسه با اعمال زلزله بصورت یک جهته را داشته است. در زلزله های دور از گسل نیز لنگر پایه در صورت اعمال زلزله دو جهته بطور میانگین افزایش ۲ برابری را در پی داشته است. بنابراین در نظر گرفتن مولفه های دو جهته زلزله برای تحلیل و بررسی مخازن فولادی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و باید در آنالیزها و طراحی ها مدنظر قرار گیرند.
- (۴) با مقایسه رکوردهای دور و نزدیک مشاهده می شود که تشدید پاسخ با اعمال رکورد دو جهته در رکوردهای پالس دار نزدیک گسل بیشتر است. در زلزله های نزدیک گسل رکوردهایی که دارای پریود پالس بزرگتری هستند، از جمله زلزله های Koca eli و Denali به ترتیب با پریود پالس $3/5$ و $3/157$ ، دارای تشدید بیشتری نسبت به رکوردهای دیگر تحت زلزله های دو جهته می باشند. از این رو رفتار مخازن در صورت اعمال رکوردهای دو جهته بشدت تحت تاثیر قرار می گیرد، در نتیجه مخازن تحت زلزله های پالس دار باید با هر دو مولفه زلزله تحلیل و آنالیز شوند.
- (۵) نتایج حاصل از مقایسه برش پایه در مخزن پهن با اعمال رکوردهای دو جهته زلزله های نزدیک گسل بطور میانگین افزایش ۲ برابری در مقایسه با اعمال زلزله یک جهته به مخزن را در پی داشته است. در نتیجه جهت کاهش نیروی برش پایه و حفاظت از مخازن، که از جمله سازه های با اهمیت بالا می باشند، باید از روش ها و راهکارهای مناسب از جمله جداسازهای لرزه ای استفاده گردد.

مراجع

- [1] Housner, G. W. (1957). Dynamic pressures on accelerated fluid containers, Bulletin of the Seismological Society of America, Volume(4), page(15-35).
- [2] Housner, G. W. (1963). The dynamic behavior of water tanks, Bulletin of the Seismological Society of America, Volume(53), page(381-387).
- [3] Veletsos, A. S. and Yang, J. Y. (1977). Earthquake response of liquid storage tanks, Proceedings of the Second Engineering Mechanics Specialty Conference, ASCE, Raleigh, page(1-24).
- [4] Haroun, M. A. and Housner, G. W. (1981). Seismic design of liquid storage tanks, ASCE J Tech Council, volume(107), page(191-207).
- [5] Veletsos, A. S. (1990). Seismic response of anchored steel tanks, Proceedings of the Third Symposium on Current Issues Related to Nuclear Power Plant Structures, Equipment and Piping (Gupta, A. K. Ed.), North Carolina State University, page(2-15).
- [6] Fischer, F. D. and Rammerstorfer, F. G. and Scharf, K. (1991). Earthquake Resistant Design of Anchored and Unanchored Liquid Storage Tanks under Three-Dimensional Earthquake Excitation, G.I. Schuëller (Ed.), Springer Verlag, Berlin.

- [7] Liu, W. K. and Lam, D. (1983). Nonlinear analysis of liquid filled tank, ASCE Journal of Engineering Mechanics, volume(109), page(1344-57).
- [8] Natsiavas, S. Babcock, C. D. (1987). Buckling at the top of a fluid-filled tank during base excitation, ASME Journal of Pressure Vessel Technology, volume(109), page(374-80).
- [9] Nagashima, H. Kokubo, K. Takayanagi, M. Saitoh, K. Imaoka, T. (1987). Experimental study on the dynamic buckling of cylindrical tanks [Comparison between static buckling and dynamic buckling], JSME International Journal, volume(30), page(737-46).
- [10] Redekop, D. Mirfakhraei, P. Muhammad, T. (2002). Nonlinear analysis of anchored tanks subject to equivalent seismic loading, In: Proceedings of the ASME pressure vessels and piping conference, volume(442), page(157-63).
- [11] Virella, J. C. Godoy, L. A. Su´arez, L. E. (2006). Dynamic buckling of anchored steel tanks subjected to horizontal earthquake excitation, . Journal of Constructional Steel Research, volume(62), page(521–531).
- [12] Virella, J. C. Godoy, L. A. Su´arez, L. E. (2006). Fundamental modes of tank–liquid systems under horizontal motions, Engineering Structures, volume(28), page(1450-61).
- [13] Kianoush, M. R. Ghaemmaghami, A. R. (2011). The effect of earthquake frequency content on the seismic behavior of concrete rectangular liquid tanks using the finite element method incorporating soil– structure interaction, Engineering Structures, volume(3), page(186-200).
- [14] Buratti, N. Tavano, M. (2013). Dynammic bukling and seismic fragility of anchored steel tanks by the added mass method, Journal of the international association for earthquake engineering.
- [15] Djermane, M. (2014). Dynamic buckling of steel tanks under seismic excitation: Numerical evaluation of code provisions, Engineering Structures, volume(70), page(181-96).
- [16] Mandal, K. K. Maity, D. (2015). Nonlinear finite element analysis of elastic water storage tanks, Engineering Structures, volume(99), page(666-76).
- [17] Veletsos, A. S. Shivakumar, P. (1997). Dynamic response of tanks containing liquids or solids. Department of Civil Engineering, Rice University, Houston, Texas,.
- [18] Veletsos, A. S.(1984). Seismic response and design of liquid storage tanks. Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, ASCE, New York, page(255-370).
- [19] Hudson, D. E. Housner, G. W. (1958). An analysis of strong motion accelerometer data from the San Francisco earthquake of March 22, 1957, Bull. Seism. Soc. Am, volume(48), page(253-68).
- [20] Virella, J. C. Godoy, L. A. Su´arez, L. E. (2005). Effect of pre-stress states on the impulsive modes of vibration of cylindrical tank-liquid systems under horizontal motions, Journal of Vibration and Control.
- [21] PEER. Pacific Earthquake Engineering Research Center. Ground motion database, NGAWEST2 project. Accessed on 4 July 2015 <http://ngawest2.berkeley.edu>.
- [22] Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, volume(97), page(1486–1501).
- [23] Shahi, S. K. (2013). A probabilistic framework to include the effects of near-fault directivity in seismic hazard assessment. Ph.D. Dissertation. Stanford University, Stanford, CA.
- [24] American Society of Civil Engineers (ASCE)., (2010). Minimum design loads for buildings and other structures, ASCE 7-10. Reston, VA