

## Dynamic behavior of elevated and ground-supported, base-isolated, flexible, concrete cylindrical fluid containers

Atefeh Ehteshami<sup>1</sup>, Shamsedin Hashemi<sup>2\*</sup>, Behrooz Rahmani<sup>3</sup>

1- MSc of Structural Engineering, Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

2 -Assistant Professor, Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

3- Associate Professor, Department of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

### ABSTRACT

Liquid storage tanks are vital and have great importance in industrial facilities. One of the best ways to protect the fluid storage tanks against earthquake forces is the use of seismic isolation systems. These systems protect such structures against possible damage during an earthquake by allowing acceptable displacements at the base of the superstructures while preventing the superstructure from entering the nonlinear phases. One of the common methods for computer modeling of these structures is the use of equivalent mechanical models. It should be noted that, the mentioned equivalent mechanical models, are suggested for design of tanks by Standards and Codes. However, they are appropriate for rigid-wall tanks. On the other hand, the recent studies show that the seismic response of a rigid tank may be considerably less than that of a similar flexible tank. In this study, by using a state-of-the-art equivalent mechanical model of cylindrical concrete containers, that considers the issue of wall flexibility, the seismic responses of ground-supported and elevated concrete containers affected by the bi-directional horizontal motion of the earthquake is investigated. The results show that, by selecting the best mechanical properties of seismic base isolation systems, the seismic responses of these tanks can be greatly improved.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 22 September 2019

**Revise Date:** 06 March 2020

**Accept Date:** 06 April 2020

### Keywords:

Concrete Liquid Storage Tank  
Flexible Cylindrical Tank  
Base-isolation System  
Equivalent Mechanical Model

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.202489.1954>

\*Corresponding author: Shamsedin Hashemi

Email address: s.hashemi@yu.ac.ir

## مطالعه رفتار دینامیکی مخازن انعطاف پذیر بتنی استوانه‌ای هوایی و زمینی با پایه جداسازی شده

عاطفه احتشامی<sup>۱</sup>، شمس‌الدین هاشمی<sup>۲\*</sup>، بهروز رحمانی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-گرایش سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۳- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

### چکیده

مخازن ذخیره مایعات یکی از سازه‌های بسیار مهم در سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب و صنایع ذخیره مایعات سمی محسوب می‌شوند. یکی از بهترین روش‌های مراقبت از مخازن ذخیره‌سازی مایعات در برابر نیروهای زلزله، استفاده از سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای می‌باشد. این سیستم‌ها با ایجاد تغییر مکان‌های قابل قبول در پایه‌ی روسازه ضمن جلوگیری از ورود روسازه به فازهای غیرخطی، از اعمال خسارت‌های احتمالی به این سازه‌ها محافظت می‌کند. از جمله روش‌های متداول به منظور مدلسازی مخازن، استفاده از مدل‌های مکانیکی معادل این سازه‌ها می‌باشد. آیین‌نامه‌های طراحی مخازن نیز با بهره‌گیری از این مدل‌ها، به ارائه‌ی معادلات و روابط حاکم به رفتار آن‌ها پرداخته‌اند. اما مدل‌های مکانیکی استفاده شده توسط آیین‌نامه‌ها و محققان قبلی، برای مخازن با دیواره‌ی صلب ارائه شده‌اند. تمامی مطالعات پیشین بر پایه‌ی همین مدل‌ها صورت گرفته است. در این تحقیق، با استفاده از یک مدل مکانیکی معادل مخازن بتنی استوانه‌ای که موضوع انعطاف پذیری دیواره را به صورت کاملاً پیشرفته در نظر گرفته است، به بررسی پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن بتنی زمینی و هوایی که تحت تأثیر حرکت افقی دو جهته‌ی زمین قرار گرفته است، پرداخته خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد با انتخاب بهترین خصوصیات مکانیکی جداساز این سیستم‌ها، می‌توان پاسخ‌های لرزه‌ای این مخازن را تا حد زیادی بهبود بخشید. همچنین بررسی پاسخ‌ها نشان می‌دهد که به طور کلی کاهش پاسخ برش پایه در حالت جداسازی شده برای مخازن کوتاه و بلند زمینی به ترتیب معادل ۳۹ و ۵۵ درصد و برای مخازن کوتاه و بلند هوایی به ترتیب معادل ۷۱ و ۸۵ درصد نسبت به حالت با پایه ثابت بوده که نشان دهنده‌ی اثر جداساز در کاهش برش پایه می‌باشد. در بررسی فشار هیدرودینامیکی نیز زمانی که از جداساز در مخازن کوتاه و بلند زمینی استفاده می‌شود به ترتیب کاهش معادل ۳۷ و ۵۳ درصد نسبت به حالت با پایه ثابت داشته است که نشان می‌دهد جداساز اثری کاهش بر پاسخ‌های فشار هیدرودینامیکی وارد بر دیواره مخازن دارد.

کلمات کلیدی: مخازن ذخیره‌سازی مایع بتنی، مخازن زمینی و هوایی، مخزن استوانه‌ای انعطاف پذیر، جداسازی لرزه‌ای، مدل مکانیکی معادل.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	<a href="https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.202489.1954">https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.202489.1954</a>	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.202489.1954	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	۱۳۹۹/۰۱/۱۸	۱۳۹۹/۰۱/۱۸	۱۳۹۸/۱۲/۱۶	۱۳۹۸/۰۶/۳۱
			شمس‌الدین هاشمی		*نویسنده مسئول:	
			s.hashemi@yu.ac.ir		پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

مخازن ذخیره مایعات یکی از سازه‌های بسیار مهم در سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب و صنایع ذخیره مایعات سمی محسوب می‌شوند. زمین لرزه‌های بزرگ در سال‌های اخیر خسارات شدیدی را به مخازن ذخیره پالایشگاه‌ها وارد کرده‌اند. از آن جایی که این مخازن برای ذخیره‌ی انواع مایعات همچون گاز مایع، سایر سوخت‌ها، آب و ... در مکان‌های مختلفی به کار می‌رود و با توجه به لرزه‌خیزی بالای کشور ایران و این که اینگونه سازه‌ها باید کاربری خود را بعد از وقوع یک زلزله شدید حفظ نمایند، دارای اهمیت حیاتی می‌باشند. آسیب دیدگی چنین سازه‌هایی در اثر زلزله، باعث ایجاد مشکلات مختلفی از جمله عدم دسترسی به آب شرب و عدم امکان اطفای حریق خواهد شد. علاوه بر این، مخازن آسیب دیده حاوی نفت یا سایر مواد شیمیایی خطرناک می‌باشند که می‌توانند باعث آلودگی‌های جبران‌ناپذیر محیط زیست شوند.

پژوهش‌های نظری و آزمایشگاهی متعددی راجع به رفتار دینامیکی مخازن مایع انجام شده است. مطالعات اولیه شامل تحلیلی از پاسخ‌های دینامیکی مخازن ذخیره‌سازی مایع با دیواره‌ی صلب و واقع بر یک فونداسیون صلب است. هوسکین و جاکبسن در سال ۱۹۳۴ [۱] اولین گزارش را در مورد مشاهدات آزمایشگاهی و تحلیلی مخازن مستطیلی تحت تحریک ناشی از یک زلزله افقی شبیه سازی شده، ارائه کردند و سپس جاکبسن و ایره [۲] رفتار دینامیکی مخزن استوانه‌ای فولادی صلب را مورد بررسی قرار دادند. هاوسنر در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ [۳] و اوایل ۱۹۶۰ [۴]، مدلی مکانیکی را بر اساس یک روش تحلیلی ساده برای ارزیابی رفتارهای هیدرو دینامیکی مخزن استوانه‌ای صلب توسعه داد. این مدل شامل دو جرم، یکی برای ضربه و دیگری برای نوسان بود. مدل ذکر شده اولین مبنا برای طراحی مخازن استوانه‌ای با فرض دیواره‌ی صلب را به وجود آورد. همان‌طور که قبلاً گفته شد پس از خرابی شدید زلزله بزرگ آلاسکا در سال ۱۹۶۴، اهمیت انعطاف‌پذیری دیواره مخزن توسط بسیاری از محققان تأیید شد.

گراهام و رودریگز [۵] با افزایش تعداد جرم‌های نوسانی اضافه شده، روش‌هایی شامل مودهای بالاتر برای مخازن صلب ارائه داده‌اند. اپستین [۶] با استفاده از مدل هاوسنر، منحنی‌های طراحی را برای محاسبه‌ی لنگر واژگونی ناشی از فشارهای هیدرو دینامیکی برای هر دو مخزن مستطیلی و استوانه‌ای تهیه کرد. ولتسوس [۷] و یانگ [۸] نشان دادند که انعطاف‌پذیری بدنه‌ی مخزن می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر نیروهای دینامیکی ناشی از حرکت افقی زمین در مخازن استوانه‌ای پر از مایع داشته باشد.

کلاف و کلاف [۹] و کلاف و همکاران [۱۰] برای اولین بار یک سری آزمایش تجربی بر روی مخازن ذخیره‌سازی مایع جدار نازک را در ابعاد بزرگ انجام دادند. فشار هیدرو دینامیکی به دست آمده بسیار بزرگ‌تر از روش تحلیلی ارائه شده توسط هاوسنر بود. آن‌ها بر این باور بودند که تفاوت فشار موجود در اثر انعطاف‌پذیری دیواره مخزن بوده است. هارون [۱۱] نیز یک سری آزمایش تجربی از جمله آزمایش ارتعاش اجباری و محیطی بر روی مخازن استوانه‌ای زمینی با دیوار انعطاف‌پذیر انجام داد. این پژوهش منجر به درکی بهتر از رفتار دینامیکی مخازن ذخیره‌سازی مایع شد.

طبق آن‌چه از مطالعات گذشته ارائه شد، نتایج حاکی از آن است که پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای با دیواره انعطاف‌پذیر نسبت به مخازن با دیواره‌ی صلب بزرگ‌تر بوده و این موضوع به سبب افزایش اندرکنش بین دیواره مخزن و سیال ذخیره شده در حین زلزله افزایش می‌یابد. از طرفی در هیچ یک از مطالعات گذشته مدل ساده شده‌ای از این سازه‌ها که موضوع انعطاف‌پذیری را نیز در نظر گرفته باشد، وجود ندارد. در سال ۲۰۱۸ مرادی و همکاران [۱۲] با ارائه‌ی مدل مکانیکی معادل مخازن سیلندری بتنی یک مدل مکانیکی برای محاسبه‌ی پاسخ لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای بتنی انعطاف‌پذیر تحت تحریک‌های لرزه‌ای افقی را توسعه دادند.

طبق آنچه بیان شد، حفاظت از این سازه‌ها در برابر نیروهای زلزله اهمیت پیدا می‌کند. لذا دو راه‌حل برای دستیابی به این هدف وجود دارد. راه‌حل اول این است که ساختار مخزن و اتصال آن به پایه به گونه‌ای باشد که نیروهای مختلف زلزله را تحمل کند که این راه‌حل به دلیل هزینه‌ی زیاد، توصیه نمی‌شود. راه دوم، استفاده از سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای می‌باشد که به سبب کارایی مناسب و هزینه‌ی کم‌تر نسبت به حالت اول و همچنین ارائه‌ی رضایت‌مندی در برابر رفتاری که در مقابل نیروهای زلزله دارند، ارائه می‌شود.

چالهبوب و کلی [۱۳] با آنالیز لرزه‌ای مخازن جداسازی شده به کاهش چشم‌گیر بیشینه پاسخ سیستم دست یافتند. هم‌چنین از جمله نقاط ضعف این‌گونه مخازن را افزایش قابل توجه ارتفاع موج سطحی به خصوص در مخازن بلند ارزیابی نمودند. بو و جیاشیانگ [۱۴] تحقیقاتی در مورد اثر جداسازهای با هسته سربی بر پاسخ لرزه‌ای مخازن مایع انعطاف‌پذیر انجام داده‌اند. کیم و لی [۱۵] مطالعاتی تجربی برای ارزیابی عملکرد دو نوع از مخازن ذخیره مایعات شامل مخازن کوتاه و مخازن بلند با سیستم جداسازی الاستومری با هسته سربی تحت بارگذاری لرزه‌ای انجام دادند. شنتون و همپتون در سال ۱۹۹۹ [۱۶] براساس یک بررسی عددی نتیجه گرفتند که روش جداسازی لرزه‌ای می‌تواند به طور مؤثری پاسخ زلزله مخزن هوایی به خصوص مخازنی که ظرفیت ذخیره‌سازی کم و نسبت ارتفاع به قطر قابل توجهی دارند را کاهش دهد. شریمالی و جنگید در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۰۲ [۱۷] به بررسی پاسخ لرزه‌ای مخازن ذخیره‌سازی مایع توسط جداسازهای الاستومری با هسته سربی برای تحریک زلزله دو جهته (دو مؤلفه افقی) پرداختند. در سال ۲۰۰۴ کیم و لیپ [۱۸] نیز با استفاده از روش‌های عددی به مطالعه رفتار مخازن جداسازی شده تحت شرایط مختلف سیستم جداساز پرداختند که در تحلیل‌های آن‌ها اثر اندرکنش خاک و سازه نیز لحاظ شده است. مسلمی در سال ۲۰۱۱ [۱۹] در مطالعه‌ی خود به بررسی عملکرد لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای بتنی زمینی و هم‌چنین مخازن ذخیره‌سازی هوایی فولادی بر پایه‌ی یک شفت بتنی و به کارگیری دو مدل جداساز الاستومری با هسته سربی و الاستومری ساده با استفاده از روش المان محدود پرداخته است. در مطالعه‌ی واگمر و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۲۰] پاسخ لرزه‌ای مخازن آب جداسازی شده استوانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. مخازن با استفاده از جداسازهای الاستومری جداسازی شده بودند. روش جداسازی در کاهش واکنش لرزه‌ای بسیار مؤثر واقع شد.

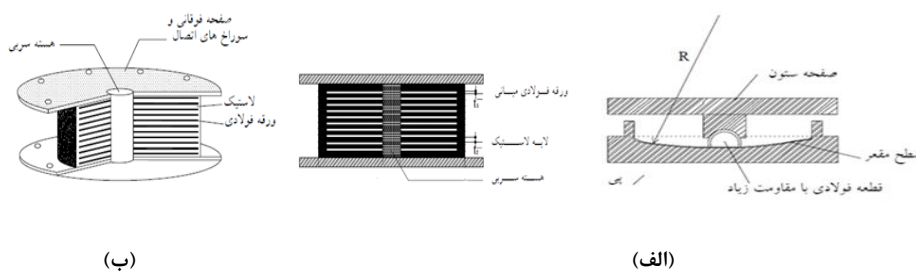
اما نکته قابل توجه در این تحقیقات این است که این موارد عمدتاً بر رفتار مخازن استوانه‌ای فولادی متمرکز می‌باشند و تحقیقات محدودی بر روی مخازن استوانه‌ای بتنی صورت گرفته است. تفاوت بین ضخامت دیوارهای مخازن فولادی و بتنی منجر به تغییر وزن دیوارها، صلبیت مخزن و فرکانس‌های اصلی سیستم شده و پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن جداسازی شده در مقایسه با مخازن با پایه ثابت را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. بنابراین در این پژوهش به بررسی پاسخ‌های لرزه‌ای این سازه‌ها در حالت‌های مخزن زمینی و هوایی جداسازی شده با جداسازهای LRB و FPS با در نظر گرفتن اثر انعطاف‌پذیری دیواره مخزن و همچنین اثر اندرکنش دو جهته‌ی زمین خواهیم پرداخت که تحقیقاتی در این زمینه تاکنون ارائه نشده است. به منظور مشاهده‌ی تأثیرات جداساز لرزه‌ای پاسخ مخازن در حالت با پایه ثابت و جداسازی شده را مقایسه می‌کنیم.

## ۲- جداسازی لرزه‌ای

در سال‌های اخیر، مبحث جداسازی لرزه‌ای به طور خاص در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. جداسازی لرزه‌ای، یک روش طراحی لرزه‌ای مقاوم است که به جای افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه، بر مبنای نیاز کاهش لرزه‌ای قرار دارد. استفاده از این فناوری علاوه بر این که سبب بهبود رفتار سازه‌ها می‌شود، رفتار سازه را در حین زلزله‌های بزرگ، عمدتاً در محدوده ارتجاعی باقی می‌گذارد [۲۱]. آن‌چه در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته، دو نمونه از پرکاربردترین سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای؛ جداساز الاستومری با هسته سربی (LRB<sup>۱</sup>) و جداساز پاندولی اصطکاکی (FPS<sup>۲</sup>) برای جداسازی مخازن استوانه‌ای انعطاف‌پذیر مایعات است که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

<sup>۱</sup> Lead Rubber Bearing

<sup>۲</sup> Friction Pendulum System



شکل ۱: سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای (الف) جداساز الاستومری با هسته سربی (ب) جداساز پاندولی اصطکاکی [۲۱].

برای طراحی بهینه جداساز در زیر مخازن استوانه‌ای، باید جداسازهایی با یک حد مشخص از خصوصیات مکانیکی، به دقت انتخاب شوند. رعایت این موضوع باعث می‌شود که علاوه بر دفع نیروهای اعمالی از سوی زلزله به سازه، به پاسخ‌های بهینه و مناسب لرزه‌ای که از مهم‌ترین آن‌ها کاهش برش پایه و کاهش فشار هیدرودینامیکی اعمالی از سوی مایع به دیواره است دست پیدا کنیم.

یکی از پژوهش‌های مهم در این زمینه پژوهش شریمالی و جنگید [۲۲] است که به بررسی پاسخ لرزه‌ای مخازن ذخیره‌سازی مایع توسط جداسازهای الاستومری با هسته سربی برای تحریک زلزله دو جهته پرداختند و پارامترهای مربوط به جداساز LRB مورد استفاده در این مقاله با استفاده از معادلات ارائه شده توسط شریمالی و جنگید [۲۲] محاسبه شده‌اند.

### ۳- مدل مکانیکی معادل با مخازن بتنی استوانه‌ای زمینی و هوایی

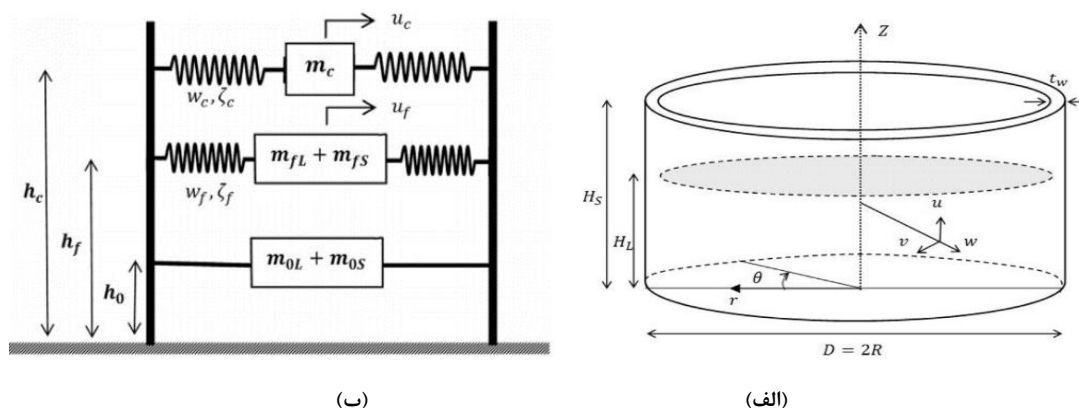
در شکل ۲-الف پارامترهای هندسی مورد نیاز برای تعیین پارامترهای مدل مکانیکی معادل با مخزن ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این شکل  $R$ ،  $D$ ،  $H_L$ ،  $H_s$  و  $t_w$  به ترتیب به عنوان ارتفاع دیوار مخزن، عمق آب ذخیره سازی شده، قطر سطح مقطع مخزن، شعاع سطح مقطع مخزن و ضخامت دیواره مخزن معرفی شده‌اند.

مدل مکانیکی پیشنهادی در این مقاله برگرفته از مدل ارائه شده توسط مرادی و همکاران [۱۲] می‌باشد. در این مدل توجه ویژه‌ای به بحث انعطاف‌پذیری دیواره مخزن و اندرکنش سازه-سیال معطوف شده است. در حالت کلی برای در نظر گرفتن اثر سیال و دیواره مخزن و همچنین انعطاف‌پذیری دیواره مخزن می‌توان مدل مکانیکی را به صورت شکل ۲-ب ارائه نمود. این مدل دارای سه جرم متمرکز می‌باشد. این اجرام در ارتفاع‌های مشخص از تراز پایه مخزن تعبیه شده‌اند. که به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شوند:

(۱)  $m_c$  پاسخ حاصل از تلاطم سطح آزاد مایع بوده که به عنوان جرم نوسانی بیان می‌شود.

(۲)  $m_f$  اختلاف جرم ضربه‌ای در مخزن انعطاف‌پذیر و مخزن صلب مشابه و یا به عبارت دیگر جرمی که با در نظر گرفتن آن اثر انعطاف‌پذیری روی پاسخ ضربه‌ای لحاظ شده است.

(۳)  $m_0$  جرمی از مایع که به عنوان جرم صلب همراه با مخزن حرکت می‌کند.

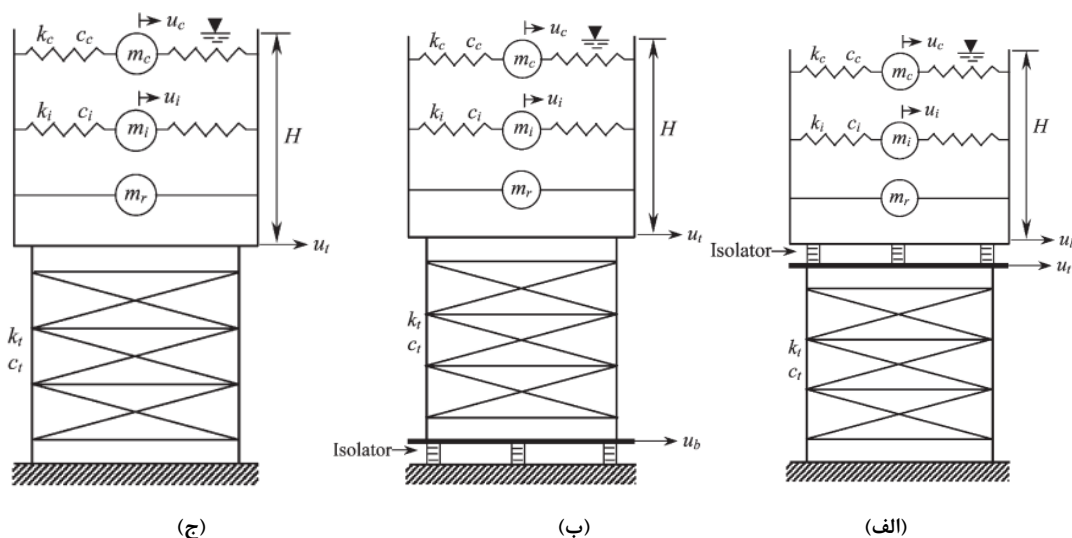


شکل ۲: مدل پیشنهادی مخزن استوانه‌ای انعطاف پذیر مرادی و همکاران (الف) مدل سه بعدی مخزن استوانه‌ای (ب) مدل مکانیکی معادل [۱۲].

اجرام نوسانی و ضربه‌ای توسط فنرهایی که به ترتیب دارای سختی طبیعی  $\omega_c$  و  $\omega_f$  و ضرایب میرایی  $\xi_c$  و  $\xi_f$  می‌باشند به دیواره مخزن متصل شده‌اند. به عبارتی این فنرها رابط بین جرم مربوطه و دیواره مخزن هستند. هم‌چنین این اجرام همان‌طور که در شکل ۲-ب نشان داده شده است به فاصله‌های  $h_c$  و  $h_f$  و  $h_o$  از کف مخزن قرار گرفته‌اند.

مایع ریخته شده در این مخزن به عنوان مایع تراکم‌ناپذیر، غیر ویسکوز و بدون جریان چرخشی فرض شده است. برای تعیین هر یک از مقادیر، اجرام متمرکز و فاصله آن‌ها از تراز پایه مخزن، فرمول‌ها و نمودارهای معادلی ارائه شده است که به راحتی می‌توان هر یک از پارامترهای مذکور را برای مخازن استوانه‌ای انعطاف‌پذیر استخراج کرد.

شریمالی و جنگید در سال ۲۰۰۳ [۲۳] پاسخ زلزله را برای مخازن هوایی جداسازی شده توسط جداسازهای الاستومری با هسته سربی تحت تحریک زمین تحت زلزله واقعی بررسی کردند. مدل‌های مکانیکی معادل مخازن جداسازی شده طوری در نظر گرفته شدند که جداسازها در پایین (شکل ۳-ب) و بالای (شکل ۳-ج) سازه‌ی برج تکیه‌گاهی که حالت بدون جداساز آن مطابق شکل ۳-الف است، قرار گیرند.



شکل ۳: مدل مخازن ذخیره‌سازی مایع مخازن هوایی: (الف) بدون جداساز (ب) جداسازی شده مدل ۱ (ج) جداسازی شده مدل ۲ [۲۳].

مقادیر مربوط به سختی ( $k_b$ ) و میرایی ( $c_b$ ) جداساز برای مخازن هوایی بر اساس معادلات ارائه شده توسط شریمالی و جنگید طبق روابط ۳-۱۷ و ۳-۱۸ به دست می‌آیند.

$$k_b = \left(\frac{2\pi}{T_b}\right)^2 (M + 0.15m)$$

$$c_b = 2\xi_b (M + 0.15m)\omega_b$$

همانطور که گفته شد جرم‌های معادل مدل مکانیکی از معادلات و نمودارهای مدل مرادی و همکاران محاسبه شده و سپس خصوصیات برج تکیه‌گاهی مخزن هوایی شامل سختی و میرایی که به ترتیب با  $k_s$  و  $c_s$  نشان داده می‌شوند، بر اساس معادلات ارائه شده توسط شریمالی و جنگید [۲۳] به دست خواهند آمد.

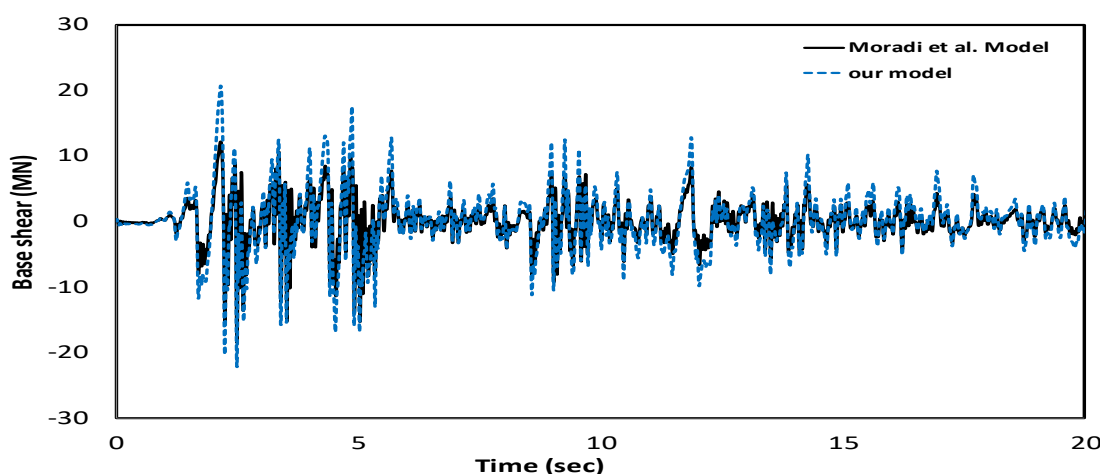
برای محاسبه‌ی لنگر واژگونی طبق مدل مرادی و همکاران [۱۲] می‌توان از معادله‌ی زیر استفاده کرد:

$$M_L = m_0 h_0 \ddot{u}_0 + m_f h_f \ddot{u}_f + m_c h_c \ddot{u}_c$$

همچنین مقادیر ارتفاع پایه در مخازن هوایی به ارتفاع مربوط به هر یک از جرم‌ها نیز اضافه می‌شود.

#### ۴- صحت سنجی

به منظور صحت سنجی، نتایج حاصل از مدل مکانیکی معادل رسم شده و نتایج حاصل از مدل مرادی و همکاران [۱۲] برای مخازن زمینی در شکل ۴ مقایسه شده‌اند و برای مخازن هوایی نیز پاسخ مدل مکانیکی معادل با پاسخ مسعودی و همکاران [۲۴] که برای مخزن واقعی هوایی رشت حاصل شده است مقایسه شده‌اند. مقادیر حداکثر برش پایه مدل مکانیکی معادل و پاسخ مسعودی و همکاران به ترتیب معادل ۱۰۲۱ و ۹۵۹۹ کیلو نیوتن تحت شتاب نگاشت ذکر شده به دست آمده‌اند و اختلاف موجود ناچیز نیز به این دلیل است که مسعودی و همکاران از مدل قدیمی هاوسنر که انعطاف پذیری دیواره را در نظر نگرفته است استفاده کرده‌اند ولی در مدل مکانیکی معادل مورد استفاده این اثر منظور شده است که انطباق نسبتاً خوب نتایج، به عنوان دلیلی بر صحت مدلسازی مخازن زمینی و هوایی در نظر گرفته شده است.



شکل ۴: نمودار تاریخچه زمانی مقایسه برش پایه مدل مکانیکی معادل رسم شده و مدل مکانیکی معادل مرادی و همکاران.

#### ۵- مثال‌های عددی

در این بخش با ارائه‌ی ابعاد و خصوصیات مکانیکی این مخازن و جداسازها به بررسی نتایج به دست آمده پرداخته خواهد شد. با توجه به شکل ۲-الف که مخزن استوانه‌ای در حالت سه بعدی را نشان می‌دهد، مقادیر پارامترهای هندسی نشان داده شده در شکل، برای دو مخزن زمینی کوتاه و بلند طبق جدول ۱ مطابق مثال‌های ارائه شده در پژوهش مرادی و همکاران [۱۲] و همچنین دو مخزن هوایی کوتاه و بلند مطابق مخازن واقعی در شهر بم انتخاب شده‌اند.

جدول ۱: ابعاد مخازن زمینی و هوایی انتخاب شده

ارتفاع پایه (متر)	$t_f$ (m)	$t_w$ (m)	R (m)	$H_L$ (m)	$H_s$ (m)	نوع مخزن	
-	۰,۷	۰,۷	۲۵	۶	۷	مخزن کوتاه	زمینی
-	۰,۸	۰,۸	۱۶,۵	۱۰	۱۱	مخزن بلند	
۳۵	۰,۶	۰,۴	۱۰	۸	۱۰	مخزن کوتاه	هوایی
۳۵	۰,۴	۰,۲	۵,۵	۷	۹	مخزن بلند	

هم چنین خصوصیات ماده برای مخزن بتنی، چگالی  $\rho_s = 2400 \text{ kg/m}^3$ ، مدول الاستیسیته،  $E = 2.1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  و ضریب پواسون،  $\nu = 0.17$  می باشد. برای تعیین هر یک از مقادیر اجرام متمرکز و فاصله آن ها از تراز پایه مخزن، با استفاده از فرمول ها و نمودارهای معادلی ارائه شده توسط مرادی و همکاران [۱۲] به دست آمده اند.

با توجه به آن چه برای مخازن مورد بررسی در این مطالعه ارائه شد و با استفاده از روابط و نمودارهای مربوط به تعیین مقادیر مربوط به مدل مکانیکی، مقادیر مربوط به اجرام، سختی فنرها و میرایی های معادل در جدول ۲ برای مخازن زمینی و هوایی مورد بررسی، ارائه شده اند.

جدول ۲: مقادیر مربوط به مدل مکانیکی معادل با مخازن استوانه ای زمینی و هوایی

جرم (کیلوگرم)		سختی (کیلوگرم/میلی متر)		میرایی		خصوصیات	
مخزن کوتاه	مخزن بلند	مخزن کوتاه	مخزن بلند	مخزن کوتاه	مخزن بلند	جرم	
4.7736e6	2.8053e6	.....	.....	.....	.....	M0	مخزن زمینی
2.0121e6	4.1225e6	2.33e10	4.18e10	2.16e7	4.1e7	Mf	
9.2886e6	5.9132e6	2.77e6	4.48e6	5.08e4	4.8e4	Mc	
0.4363e6	0.118e6	.....	.....	.....	.....	M0	مخزن هوایی
1.3573e6	0.445e6	1.81e10	0.706e10	1.567e7	0.561e7	Mf	
1.2892e6	0.234e6	2.095e6	0.749e6	1.643e4	0.418e4	Mc	

پارامترهای سیستم جداسازی شده با جداساز LRB برای مخازن زمینی به صورت  $T_b=2.5s$  (دوره تناوب جداساز) و  $F_0=0.05$  (مقاومت تسلیم نرمال شده با وزن جداساز) و  $\xi_b=0.1$  (ضریب میرایی جداساز) و برای مخازن هوایی به صورت  $F_0=0.05$ ،  $\xi_b=0.05$ ،  $T_b=2s$ ،  $\xi_s=0.05$  (ضریب میرایی پایه جداساز) و  $T_s=0.5s$  (دوره تناوب پایه جداساز) لحاظ شده و سایر پارامترهای جداساز نیز بر اساس معادلات پژوهش شریمالی و جنگید [۲۲] محاسبه و برای مخازن زمینی و هوایی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده اند.

جدول ۳: خصوصیات مربوط به جداساز LRB مورد استفاده در مخازن زمینی

$\alpha$	$F_y$ (N)	$k_2$ (N/m)	$k_b$ (N/m)	$c_b$ (N.s/m)	نوع مخزن
۰,۳۲۱۶	۸۳۰۲۶۴۵	۱۰۶۸۱۱۱۸۱	۳۳۲۱۰۵۷۹۳	۸۵۰۴۰۷۵	مخزن کوتاه
۰,۳۲۱۶	۶۰۷۴۷۰۷	۷۸۱۴۹۳۹۰	۲۴۲۹۸۸۲۷۹	۶۲۲۲۰۸۵	مخزن بلند

جدول ۴: خصوصیات مربوط به جداساز LRB مورد استفاده در مخازن هوایی

$\alpha$	$F_y$ (N)	$k_2$ (N/m)	$k_b$ (N/m)	$c_b$ (N.s/m)	نوع مخزن	
۰,۵۰۲۵	۱۹۱۹۰۱۰	۳۸۶۱۳۳۸۷	۷۶۷۶۰۳۸۷	۱۲۲۹۱۰۲	مدل ۱	مخزن کوتاه
۰,۵۰۲۵	۱۷۳۴۰۹۵	۳۴۸۹۲۶۳۴	۶۹۳۶۳۸۲۱	۱۱۱۰۶۶۷	مدل ۲	
۰,۵۰۲۵	۴۸۴۶۱۹	۹۷۴۱۳۷۹	۱۹۳۸۴۷۴۸	۳۱۰۲۳۵	مدل ۱	مخزن بلند
۰,۵۰۲۵	۴۶۸۳۰۴	۹۴۱۳۴۲۳	۱۸۷۳۲۱۵۵	۲۹۹۷۹۱	مدل ۲	

جداسازهای LRB مورد استفاده با خصوصیات مطابق جداول ۳ و ۴ در نرم افزار SAP2000 در پایه ی مخازن قرار داده شده و اثر استفاده از آن بر پاسخها مورد بررسی قرار گرفت.



همچنین در بررسی و مدل سازی جداسازهای پاندولی اصطکاکی یکی از ویژگی های حائز اهمیت، ایجاد نیروی مقاوم اولیه در تراز جداساز است که مقاومت لازم را در برابر نیروهای جانبی ناشی از زلزله های کوچک و همچنین نیروهای جانبی که در طول عمر سازه به کرات بر سازه اعمال می شود، فراهم می نماید. نیروی مقاوم اولیه با انتخاب ضریب اصطکاک مناسب برای سطح لغزشی در جداساز کنترل می شود. مقدار نیروی مقاوم اولیه تأمین شده توسط سیستم به صورت زیر بیان می شود.

$$Q = N \cdot \mu$$

در رابطه فوق  $Q$  نیروی مقاوم اولیه،  $\mu$  ضریب اصطکاک سطح لغزنده و  $N$  نیروی ثقلی اعمالی بر جداساز، ناشی از وزن سازه هستند. به منظور تعیین پارامترهای حاکم بر جداساز شامل سختی اولیه، سختی ثانویه و نیروی آستانه ی حرکت به صورت زیر عمل خواهد شد.

سختی ثانویه و نیروی آستانه ی حرکت به ترتیب از روابط ۵ و ۶ تعیین می شوند.

$$k_p = W/R$$

$$Q = \mu \cdot W$$

$R$  شعاع انحنای که از رابطه  $\gamma$  به دست می آید و در آن  $T$  به عنوان دوره تناوب جداسازی شناخته می شود.  $\mu$  نیز ضریب اصطکاک سطح لغزنده می باشد که در این مقاله معادل ۰,۰۶ لحاظ شده و مخازن با پایه ی جداسازی شده با جداساز FPS در OPENSEES کد نویسی شده است.

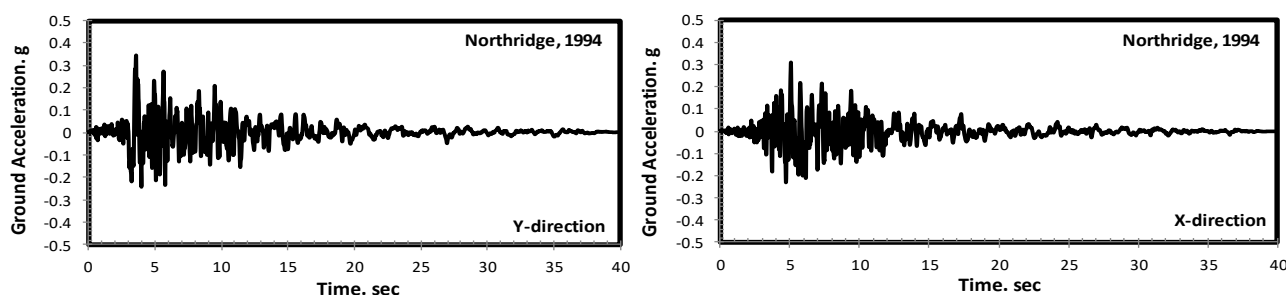
$$T = 2\pi \sqrt{R/g}$$

مخازن مورد بررسی (مخازن زمینی و هوایی) تحت سه شتاب نگاشت زلزله El Centro 1940، Duzce 1999 و Northridge 1994، در دو جهت قرار داده شده است. خصوصیات مربوط به این شتاب نگاشت ها در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵: زلزله ها و خصوصیات مربوط به آن ها

زلزله	ایستگاه	جهت	
		X PGA (g)	Y PGA (g)
Imperial Vally, 1940	El Centro (United States)	0.281	0.211
Duzce, 1999	Duzce (Turkey)	0.404	0.515
Northridge, 1994	ARLETA (United States)	0.308	0.344

در شکل ۵ گراف های تاریخچه زمانی یکی از این زلزله ها در دو جهت X و Y نشان داده شده است.



(ب)

(الف)

شکل ۵: شتاب نگاشت زلزله Northridge 1994 در جهت های الف (X) و ب (Y).

## ۶- پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن زمینی

در این بخش به ارائه‌ی جداول و نمودارهای نتایج حاصل از مطالعه و بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای زمینی انعطاف‌پذیر تحت شتاب در دو جهت که از پایه با جداساز الاستومری با هسته سربی و جداساز پاندولی اصطکاکی جداسازی شده‌اند، پرداخته خواهد شد. مخازن ذخیره‌سازی مایع جداسازی شده همان‌طور که قبلاً گفته شد، تحت سه زلزله El Centro 1940، Duzce 1999 و Northridge 1994، در دو جهت X و Y قرار داده شده و نمودارهای برش پایه، جابه‌جایی پایه، لنگر پایه، جابه‌جایی نوسانات سطح آزاد مایع، جابه‌جایی بالاترین نقطه دیواره و فشار هیدرودینامیکی در هر دو جهت X و Y مطابق شکل‌های ۶ و ۷ تحت زلزله Northridge 1994 برای مخزن زمینی کوتاه ترسیم شده‌اند.

یکی از آثار مهمی که در این پژوهش اعمال شده و مورد بررسی قرار گرفته است بررسی اثر همزمان نیروی زلزله (اندرکنش دوجهته) می‌باشد. از آن جایی که زلزله‌های واقعی معمولاً به صورت همزمان در دو جهت X و Y رخ می‌دهند به منظور نزدیک‌تر شدن پاسخ‌ها به واقعیت، اثر این اندرکنش در نظر گرفته شده است و پاسخ‌ها برای حالات با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش دو جهته ارائه شده‌اند.

یکی از اساسی‌ترین پاسخ‌های مربوط به مخازن، برش پایه می‌باشد که کاهش آن می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش خرابی‌های وارد بر مخازن داشته باشد. با توجه به مطالعات گذشته، جداسازی لرزه‌ای می‌تواند اثر زیادی در کاهش این پاسخ داشته باشد. حداکثر پاسخ‌های برش پایه در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. بررسی پاسخ‌ها نشان می‌دهد که به طور کلی پاسخ برش پایه در حالت جداسازی شده برای مخزن کوتاه زمینی ۳۹ درصد و مخزن بلند ۵۵ درصد نسبت به حالت با پایه ثابت کاهش داشته است که نشان دهنده تأثیر بیشتر جداساز در مخازن بلند نسبت به مخازن کوتاه می‌باشد. همین‌طور میزان این کاهش زمانی که از جداساز LRB استفاده می‌شود ۳۸ درصد و زمانی که از جداساز FPS استفاده می‌شود ۵۶ درصدی بوده است که حاکی از آن است که استفاده از جداساز FPS نسبت به جداساز LRB می‌تواند مؤثرتر واقع شود. شکل‌های ۵ و ۶ نیز به طور واضح نشان دهنده تأثیر مثبت استفاده از جداساز در کاهش برش پایه در مخازن زمینی می‌باشد.

یکی دیگر از پاسخ‌های مؤثر مورد بررسی در این پژوهش، لنگر پایه بوده که با استفاده از فرمول ۳ به دست آمده است. نتایج حاصل از جداول ۶ و ۷ و همچنین شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که استفاده از جداساز در مخازن باعث کاهش پاسخ لنگر پایه در حالت جداسازی شده است. البته در مواردی نیز لنگر پایه در حالت جداسازی شده رفتار مناسبی نداشته است که این موارد شامل حالاتی است که از جداساز FPS در مخزن کوتاه زمینی تحت زلزله‌های El Centro و Northridge در جهت X و El Centro در جهت Y استفاده شده است که در توضیح این مورد می‌توان به افزایش جابه‌جایی نوسانات سطح آزاد مایع در این موارد اشاره کرد که این افزایش، باعث واژگونی بیشتر شده و در نتیجه لنگر پایه افزایش یافته است.

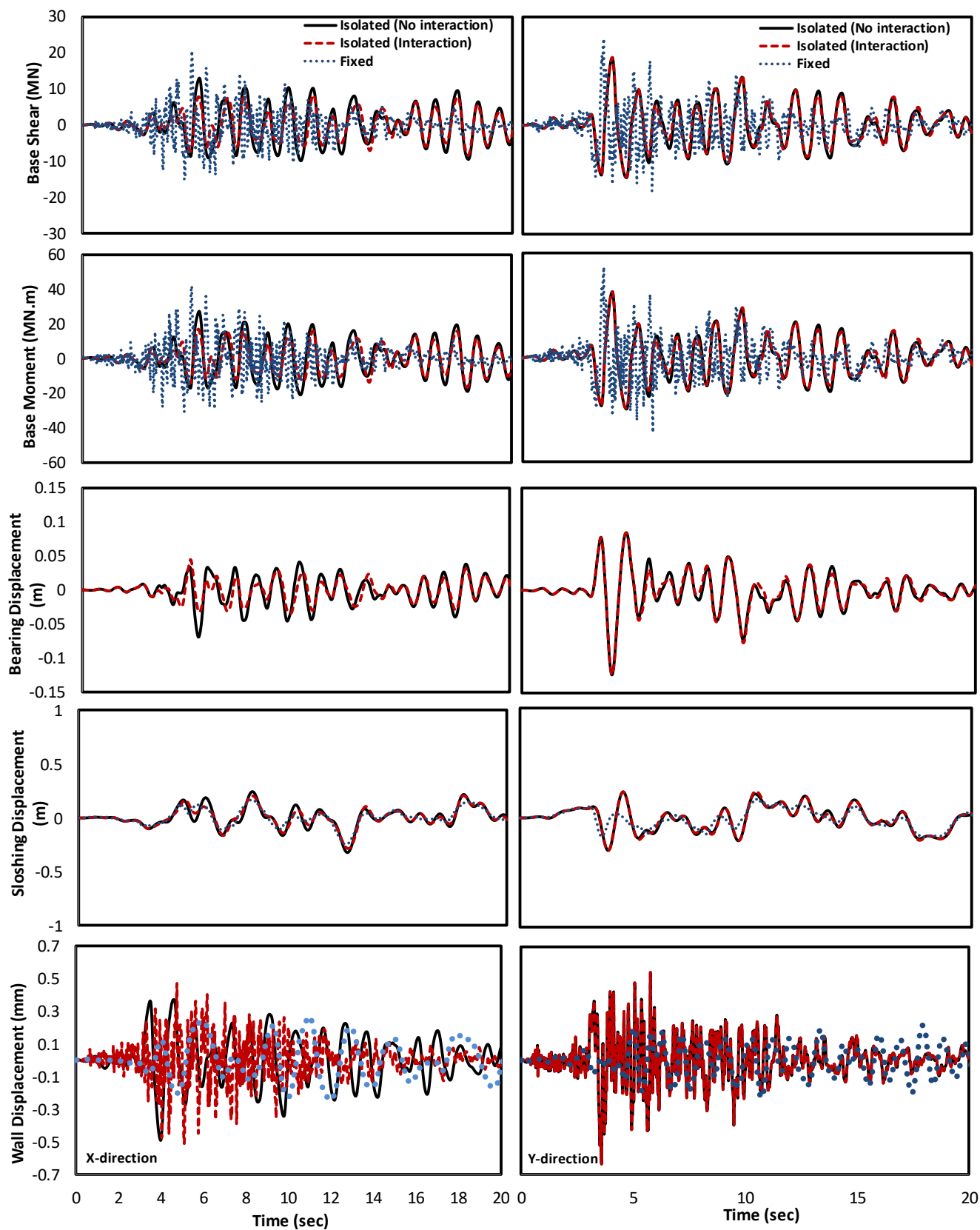
از آن جایی که مکانیزم رفتاری سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای بر پایه‌ی ایجاد جابه‌جایی در پایه‌ی روسازه است، بنابراین با توجه به حساسیت اتصالات و سیستم لوله‌کشی موجود در کف مخازن ذخیره‌سازی، می‌بایست حداکثر پاسخ‌های جابه‌جایی جداساز نیز مدنظر قرار گیرد. این نکته سبب می‌شود که در طراحی اتصالات مذکور به موضوع قابلیت کشسانی و انعطاف‌پذیری اتصالات و لوله‌کشی در محدوده‌های الزام‌آوری که سیستم جداساز به سبب جابه‌جایی ایجاد می‌کند، دقت کرد. همان‌طور که از مقادیر جداول ۶ و ۷ مشخص است، در اکثر موارد، جابه‌جایی جداساز FPS بسیار کمتر از جابه‌جایی جداساز LRB می‌باشد همچنین در بررسی این پاسخ یکی از آثار مورد بررسی، اثر اندرکنش دوجهته بوده که همان‌طور که ملاحظه می‌شود پاسخ‌ها در اکثر موارد به هم نزدیک بوده و تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارند و این بیان‌گر تأثیر ناچیز در نظر گرفتن اندرکنش دوجهته در این پاسخ‌ها می‌باشد.

سطح آزاد مایع در نزدیکی دیواره مخزن یا همان حداکثر جابه‌جایی نوسانات سطح آزاد مایع در جداول ۶ و ۷ برای مخازن زمینی کوتاه و بلند تحت هر سه زلزله و شکل‌های ۶ و ۷ تحت زلزله Northridge 1994 برای مخزن زمینی کوتاه ارائه شده‌اند. زمانی که از جداساز LRB استفاده شده است آنچه مشاهده می‌شود این است که تلاطم مایع در سازه جداسازی شده در اثر حرکت روسازه به صورت صلب، در

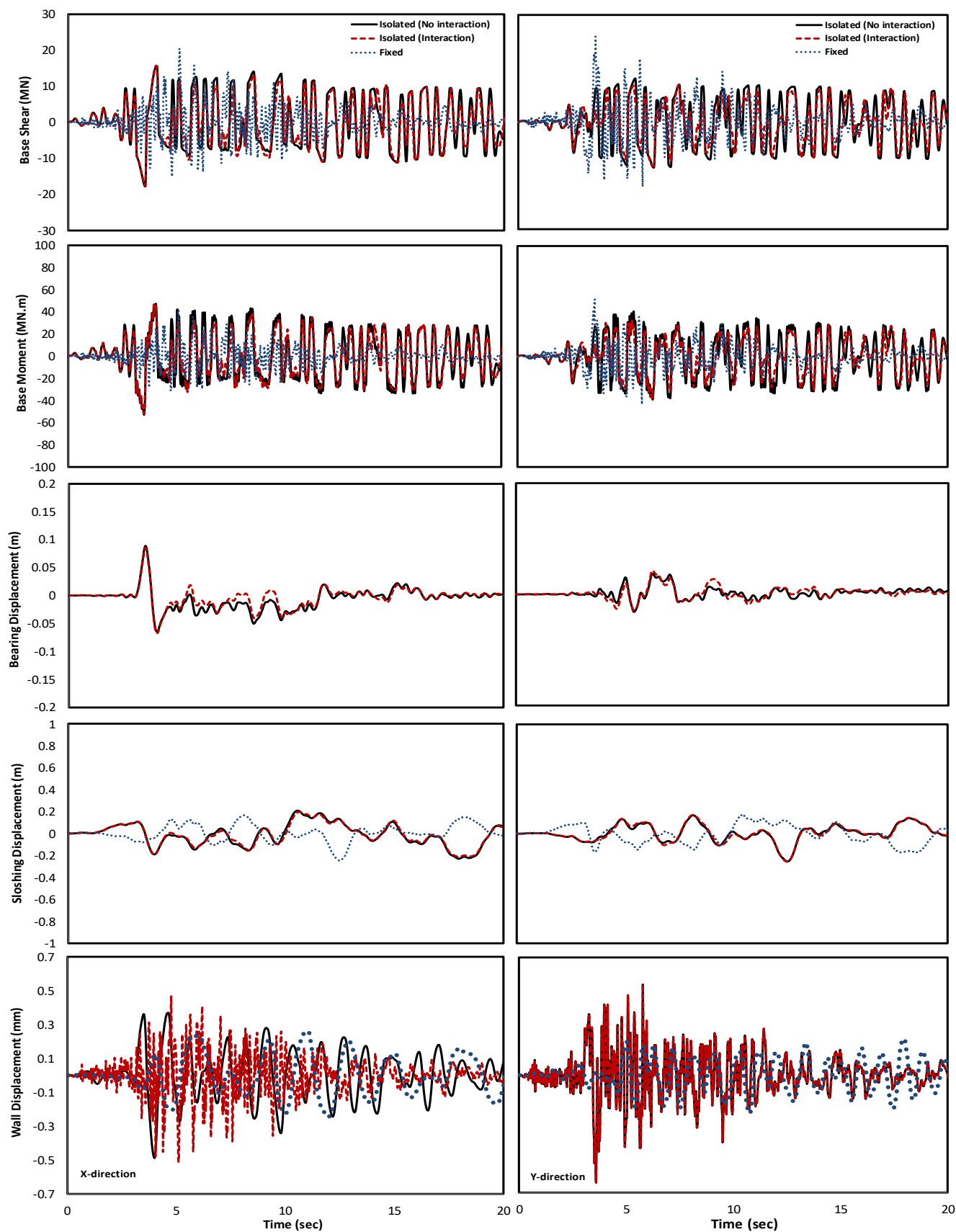
مقایسه با سازه با پایه گیردار بیشتر است. زیرا با نزدیک شدن فرکانس مؤثر جداساز به فرکانس اصلی امواج سطحی، ارتفاع امواج به سرعت افزایش می‌یابد. و اما وقتی که از جداساز FPS استفاده می‌شود مشاهده شده است که در اکثر موارد جابه‌جایی‌ها کم شده است.

در بین پاسخ‌های مختلف لرزه‌ای مخازن ذخیره‌سازی مایعات، می‌توان جابه‌جایی بالاترین نقطه‌ی دیواره مخزن و فشار هیدرودینامیکی اعمال شده از طرف مایع به دیواره مخزن را به سبب نمایش تأثیرات مستقیم نیروی زلزله بر دیواره مخزن، در یک بخش مورد بررسی قرار داد. در ابتدا ذکر این موضوع ضروری است که در مطالعات پیشین که بر روی تأثیرات نیروی زلزله بر پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن صورت گرفته است مانند مطالعات قائم‌مقامی و کیانوش [۲۵] و هاشمی و همکاران [۲۶] به صراحت توضیح داده شده است که پاسخ فشار هیدرودینامیکی در مخازنی که موضوع انعطاف‌پذیری دیواره بررسی شده است، در مقایسه با مخازن معادلی که تنها دیواره صلب در نظر قرار گرفته شده، دارای مقادیر بزرگتری بوده است. به همین منظور از آن جایی که در مقاله‌ی حاضر، از مدل مکانیکی معادل با مخازن استوانه‌ای که موضوع انعطاف‌پذیری دیواره در آن‌ها مد نظر قرار گرفته، استفاده شده است می‌توان کارآیی سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای را در مواردی که مدل‌های استفاده شده دارای شرایط نزدیک‌تر به حالت واقعی هستند، بررسی کرد. نکته بعد در مورد اهمیت بررسی پاسخ جابه‌جایی بالاترین نقطه دیواره مخزن است. در واقع این پاسخ در مخازنی که دارای پایه‌های گیردار هستند به طور مستقیم به ارتفاع و ضخامت دیواره بستگی دارد. هرچه مقادیر مربوط به ارتفاع بیشتر و ضخامت کمتر باشد، قاعدتا انعطاف‌پذیری بیشتری را شاهد خواهیم بود. از سوی دیگر اهمیت مقادیر مربوط به جابه‌جایی دیواره است، به عبارتی هرچه میزان جابه‌جایی دیوار در بالاترین نقطه‌ی دیواره کمتر باشد، میزان ترک‌های ایجاد شده در دیواره مخزن نیز کمتر خواهد بود. در واقع این موضوع در طراحی دیواره مخزن به منظور کاهش میلگردهای مصرفی می‌تواند کارگشا باشد. هم‌چنین عمر مفید سازه مخزن را ارتقا می‌دهد.

با توجه به مقادیر جداول ۶ و ۷ و هم‌چنین شکل‌های ۶ و ۷ که نمودارهای مربوط به جابه‌جایی بالاترین نقطه‌ی دیواره مخزن مخازن زمینی را نشان می‌دهند می‌توان دریافت که در نیمی از موارد جابه‌جایی بالاترین نقطه دیواره کم شده است که این موضوع می‌تواند در طراحی بسیار حائز اهمیت و مفید باشد و در مواردی که این پاسخ افزایش یافته است نکته‌ای است که در مطالعات پیشین نیز به آن اشاره شده است و یکی از آثار استفاده از جداساز در مخازن محسوب می‌شود. در بررسی فشار هیدرودینامیکی نیز زمانی که از جداساز استفاده می‌شود در مخازن کوتاه و بلند کاهشی به ترتیب معادل ۳۷ و ۵۳ درصد نسبت به حالت با پایه ثابت داشته است که نشان می‌دهد جداساز اثری کاهشی بر پاسخ‌های فشار هیدرودینامیکی وارد بر دیواره مخزن دارد و هم‌چنین از این مقادیر می‌توان دریافت که جداساز در مخازن بلند بهتر عمل کرده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده جداسازهای LRB و FPS به ترتیب کاهشی ۳۶ و ۵۴ درصدی رخ داده است که برتری جداساز FPS بر جداساز LRB را در کاهش پاسخ‌های فشار هیدرودینامیکی نشان می‌دهد.



شکل ۶: پاسخ‌های تاریخیچه زمانی مختلف مخزن زمینی کوتاه تحت زلزله Northridge 1994 در جهت‌های X و Y (جداسازی شده با جداساز LRB).



شکل ۷: پاسخ‌های تاریخیچه زمانی مختلف مخزن زمینی کوتاه تحت زلزله Northridge 1994 در جهت‌های X و Y (جداسازی شده با جداساز FPS).

جدول ۶: حداکثر پاسخ‌های لرزه‌ای مخزن زمینی کوتاه در جهت‌های X و Y

زلزله	وضعیت پایه	برش پایه (MN)		لنگر پایه (MN.m)		جابه‌جایی جداساز (mm)		جابه‌جایی نوسانات (mm)		جابه‌جایی (mm)		فشار هیدرودینامیکی (Kpa)
		Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	
El Centro	پایه ثابت	۱۲.۷۳	۱۸.۷۶	۲۷.۷۹	۳۸.۸۷	-	-	۲۵۲.۷۲	۱۸۸.۳۲	۰.۵۰	۰.۳۶	۹.۹۷
	جداسازی شده با اندرکنش	۱۰.۵۳	۱۳.۲۴	۲۲.۳۵	۲۶.۳۷	۶۰.۱۰	۸۲.۲۰	۲۸۶.۷۰	۲۹۶.۸۵	۰.۵۰	۰.۳۶	۸.۰۲
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۰.۷۹	۱۰.۵۸	۷۳.۴۲	۸۶.۰۹	۳۹.۲۰	۳۹.۲۰	۱۷۴۴.۳۰	۷۷۴.۶۱	۰.۵۰	۰.۳۶	۹.۱۳
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۲.۹۶	۱۴.۴۷	۲۵.۱۳	۲۸.۹۶	۶۸.۷۰	۸۲.۷۰	۲۸۶.۵۸	۲۸۸.۵۳	۰.۳۵	۰.۲۹	۹.۸۰
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۳.۳۴	۱۰.۹۸	۸۷.۷۷	۷۵.۸۲	۵۸.۹۰	۱۳۳.۷۰	۱۷۳۳.۶۲	۷۳۴.۷۸۲	۰.۳۵	۰.۲۹	۹.۸۱
	پایه ثابت	۳۳.۴۶	۲۷.۷۶	۶۷.۸۴	۵۸.۸۹	-	-	۹۳۸.۹۹	۸۱۳.۴۱	۰.۴۹	۰.۷۴	۲۵.۴۵
	جداسازی شده با اندرکنش	۲۵.۸۸	۱۱.۳۵	۳۲.۹۹	۳۲.۹۹	۹۲.۰۰	۱۹۸.۰۰	۱۰۰۸.۰۸	۸۳۷.۸۸	۱.۰۰	۰.۳۵	۱۹.۸۷
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۹.۹۴	۹.۹۰	۲۲.۲۸	۲۰.۷۷	۶.۲۶	۱۰.۱۴	۲۶۸.۶۵	۵۴۵.۴۶	۱.۰۰	۰.۳۵	۷.۳۰
Duzce	جداسازی شده بدون اندرکنش	۲۵.۹۵	۱۶.۶۲	۳۹.۸۷	۳۹.۰۲	۱۰۲.۹۰	۱۹۰.۲۰	۱۰۰۷.۱۳	۷۹۲.۹۳	۰.۷۱	۰.۳۸	۱۹.۸۳
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۹.۹۴	۹.۹۴	۲۳.۱۸	۲۱.۲۹	۶.۲۱	۹.۳۱	۲۷۰.۵۲	۵۴۶.۴۸	۰.۷۱	۰.۳۸	۷.۳۴
	پایه ثابت	۲۳.۱۹	۲۰.۴۴	۴۱.۷۶	۴۱.۷۶	-	-	۲۵۴.۳۶	۲۴۸.۱۲	۰.۳۵	۰.۲۳	۱۶.۶۱
	جداسازی شده با اندرکنش	۱۸.۸۱	۸.۳۶	۱۶.۹۲	۱۶.۹۲	۴۴.۳۰	۱۲۳.۴۰	۲۹۸.۸۵	۲۸۳.۸۷	۰.۵۱	۰.۶۳	۱۳.۶۳
	جداسازی شده با اندرکنش	۱۰.۲۶	۱۲.۱۱	۵۲.۳۲	۴۸.۲۸	۸۳.۵۰	۳۴.۱۰	۲۵۵.۶۳	۲۸۵.۶۳	۰.۵۱	۰.۶۳	۶.۲۴
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۸.۸۶	۱۳.۰۳	۲۷.۳۳	۳۸.۰۴	۶۹.۴۰	۱۲۳.۹۰	۲۹۹.۵۱	۳۲۰.۷۵	۰.۴۹	۰.۳۲	۱۳.۶۶
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۰.۱۶	۱۱.۹۲	۵۲.۹۹	۴۰.۹۶	۸۴.۳۰	۳۶.۷۰	۲۵۳.۹۳	۳۰۳.۳۱	۰.۴۹	۰.۳۲	۷.۷۴
	پایه ثابت	۲۳.۱۹	۲۰.۴۴	۴۱.۷۶	۴۱.۷۶	-	-	۲۵۴.۳۶	۲۴۸.۱۲	۰.۳۵	۰.۲۳	۱۶.۶۱
Northridge	جداسازی شده با اندرکنش	۱۰.۲۶	۱۲.۱۱	۵۲.۳۲	۴۸.۲۸	۸۳.۵۰	۳۴.۱۰	۲۵۵.۶۳	۲۸۵.۶۳	۰.۵۱	۰.۶۳	۶.۲۴
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۸.۸۶	۱۳.۰۳	۲۷.۳۳	۳۸.۰۴	۶۹.۴۰	۱۲۳.۹۰	۲۹۹.۵۱	۳۲۰.۷۵	۰.۴۹	۰.۳۲	۱۳.۶۶
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۰.۱۶	۱۱.۹۲	۵۲.۹۹	۴۰.۹۶	۸۴.۳۰	۳۶.۷۰	۲۵۳.۹۳	۳۰۳.۳۱	۰.۴۹	۰.۳۲	۷.۷۴
	پایه ثابت	۲۳.۱۹	۲۰.۴۴	۴۱.۷۶	۴۱.۷۶	-	-	۲۵۴.۳۶	۲۴۸.۱۲	۰.۳۵	۰.۲۳	۱۶.۶۱
	جداسازی شده با اندرکنش	۱۸.۸۱	۸.۳۶	۱۶.۹۲	۱۶.۹۲	۴۴.۳۰	۱۲۳.۴۰	۲۹۸.۸۵	۲۸۳.۸۷	۰.۵۱	۰.۶۳	۱۳.۶۳
	جداسازی شده با اندرکنش	۱۰.۲۶	۱۲.۱۱	۵۲.۳۲	۴۸.۲۸	۸۳.۵۰	۳۴.۱۰	۲۵۵.۶۳	۲۸۵.۶۳	۰.۵۱	۰.۶۳	۶.۲۴
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۸.۸۶	۱۳.۰۳	۲۷.۳۳	۳۸.۰۴	۶۹.۴۰	۱۲۳.۹۰	۲۹۹.۵۱	۳۲۰.۷۵	۰.۴۹	۰.۳۲	۱۳.۶۶
	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱۰.۱۶	۱۱.۹۲	۵۲.۹۹	۴۰.۹۶	۸۴.۳۰	۳۶.۷۰	۲۵۳.۹۳	۳۰۳.۳۱	۰.۴۹	۰.۳۲	۷.۷۴

## ۶- پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن هوایی

پس از بررسی مخازن زمینی به بررسی مخازن هوایی با پایه‌ی گیردار و جداسازی شده با جداسازهای مورد استفاده در مخازن زمینی برای نوع بلند و کوتاه این مخازن پرداخته خواهد شد، با این تفاوت که جداساز در این مخازن دارای دو نوع جانمایی ۱ و ۲ بوده است. در جداول ۸ و ۹ و همچنین شکل‌های ۸ و ۹ حداکثر پاسخ‌های برش پایه در جهت‌های X و Y برای مخازن کوتاه و بلند هوایی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی استفاده از جداسازهای LRB و FPS به ترتیب هرکدام کاهش معادل ۷۲ و ۸۵ درصد در برش پایه نسبت به حالت با پایه ثابت آن داشته است که این موضوع نشان می‌دهد استفاده از جداساز در مخازن هوایی نیز تأثیر بسزایی در کاهش برش پایه داشته است. همین‌طور این اعداد نشان دهنده‌ی مؤثرتر بودن عملکرد جداساز FPS نسبت به LRB می‌باشد. پس از بررسی مخازن کوتاه و بلند هوایی مشاهده شد که مخازن کوتاه کاهش ۷۱ درصدی و مخازن بلند کاهش ۸۵ درصدی داشته‌اند که نشان می‌دهد میزان تأثیر استفاده از جداساز در مخازن بلند بیشتر از مخازن کوتاه بوده است. همان‌طور که گفته شد در مبحث مخازن هوایی از دو مدل جانمایی جداساز استفاده شده است که اعداد حاصل از جداول نشان می‌دهد در مدل اول که جداساز در پایین برج تکیه‌گاهی قرار دارد کاهش برش پایه ۷۷ درصد و در مدل دوم که جداساز در بالای برج تکیه‌گاهی قرار دارد میزان کاهش ۸۰ درصد بوده است که می‌توان گفت این اختلاف ۳ درصدی چندان مؤثر نبوده ولی به طور کلی مدل ۲ می‌تواند تأثیرگذارتر از مدل ۱ واقع شود.

حداکثر پاسخ‌های لنگر پایه مطابق جداول ۸ و ۹ و شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از جداساز در مخازن باعث کاهش پاسخ لنگر پایه در حالت جداسازی شده است. ولی در نمودارهای مربوط به زلزله‌ی Northridge مشاهده شد استفاده از جداساز FPS در مدل ۱ و ۲ در جهت Y موجب افزایش اندکی در پاسخ‌ها شده است اما در طول زمان روند کاهشی دارد که این مورد می‌تواند یکی از آثار مثبت استفاده از جداساز در مخازن هوایی محسوب شود.

حداکثر مقادیر جابه‌جایی جداساز برای مخازن جداسازی شده توسط جداسازهای LRB و FPS در جداول ۸ و ۹ ارائه شده است. همانطور که از مقادیر جداول مشخص است، در اکثر موارد جابه‌جایی جداساز FPS بسیار کمتر از جابه‌جایی جداساز LRB می‌باشد. همچنین در بررسی این پاسخ، یکی از آثار مورد بررسی اثر اندرکنش دوجته بوده که همانطور که ملاحظه می‌شود پاسخ‌ها در اکثر موارد به هم نزدیک بوده و تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارند و این بیان‌گر تأثیر ناچیز در نظر گرفتن اندرکنش دوجته در این پاسخ‌ها می‌باشد.

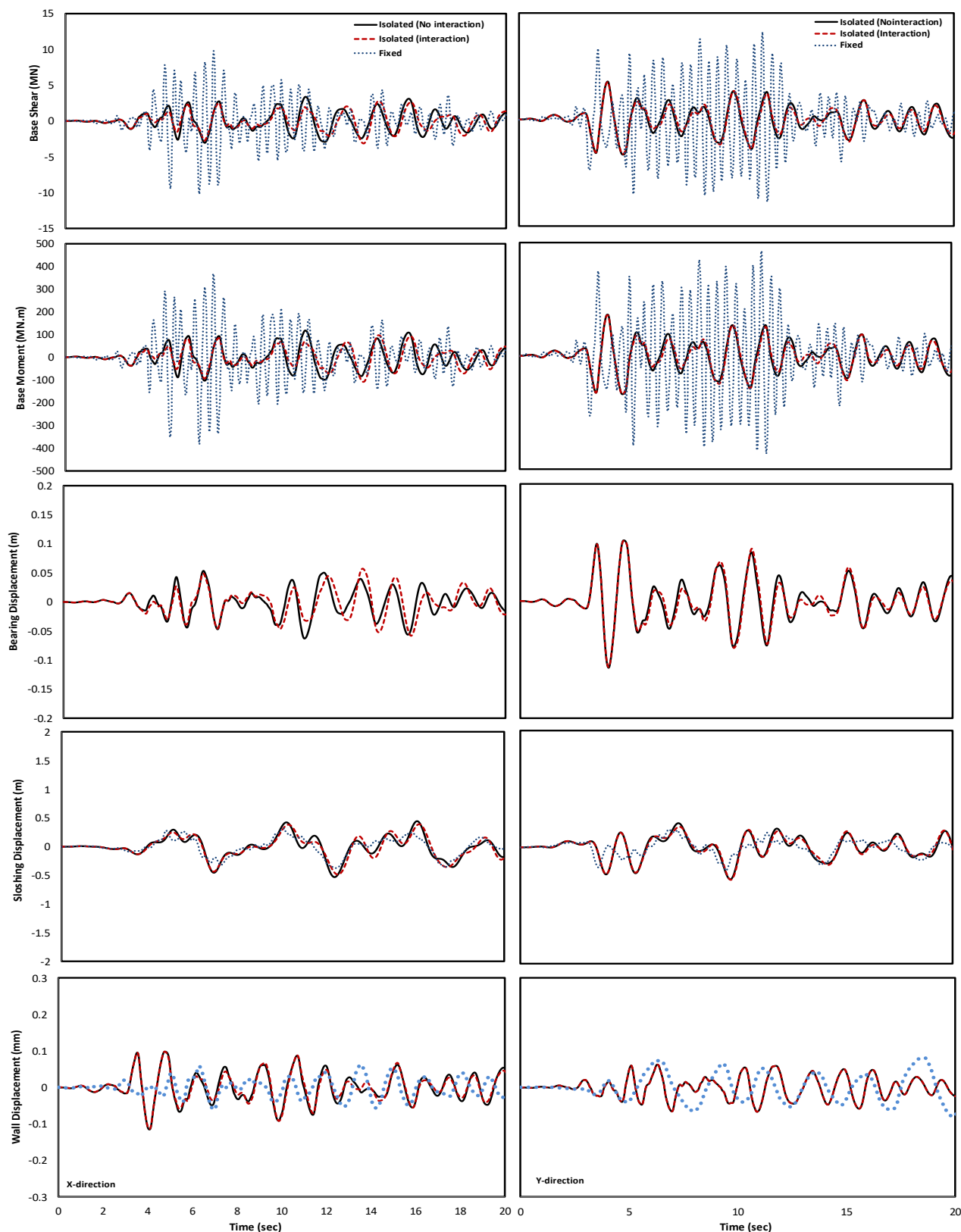
نتایج حداکثر جابه‌جایی نوسانات سطح آزاد مایع مخازن هوایی نشان می‌دهد زمانی که از جداساز LRB استفاده می‌شود، جابه‌جایی نوسانات سطح آزاد مایع در نزدیکی دیواره مخزن افزایش می‌یابد و اما وقتی که از جداساز FPS استفاده می‌شود، مشاهده شده است که در اکثر موارد نوسانات سطح آزاد مایع کم شده است.

مقادیر مربوط به جابه‌جایی بالاترین نقطه دیواره مخزن نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد کاهش یافته است که می‌تواند اثر مفیدی در طراحی مخازن داشته باشد. همچنین حداکثر پاسخ‌های فشار هیدرودینامیکی نیز نشان می‌دهند که استفاده از جداساز، فشار هیدرودینامیکی را کاهش می‌دهد، به جز در چند مورد که مربوط به مخازن جداسازی شده با جداساز FPS است. در سایر موارد، مقادیر جداول ۸ و ۹ نشان می‌دهد که جداساز LRB در کاهش پاسخ فشار هیدرودینامیکی بهتر از جداساز FPS عمل کرده است. همچنین این کاهش‌ها در مخازن بلند بیشتر از مخازن کوتاه بوده است. پاسخ‌های مربوط به مدل ۱ نیز کاهش بیشتری نسبت به مدل ۲ داشته است که نشان می‌دهد جانمایی مدل ۱ می‌تواند در کاهش پاسخ‌های فشار هیدرودینامیکی مؤثرتر واقع شود.

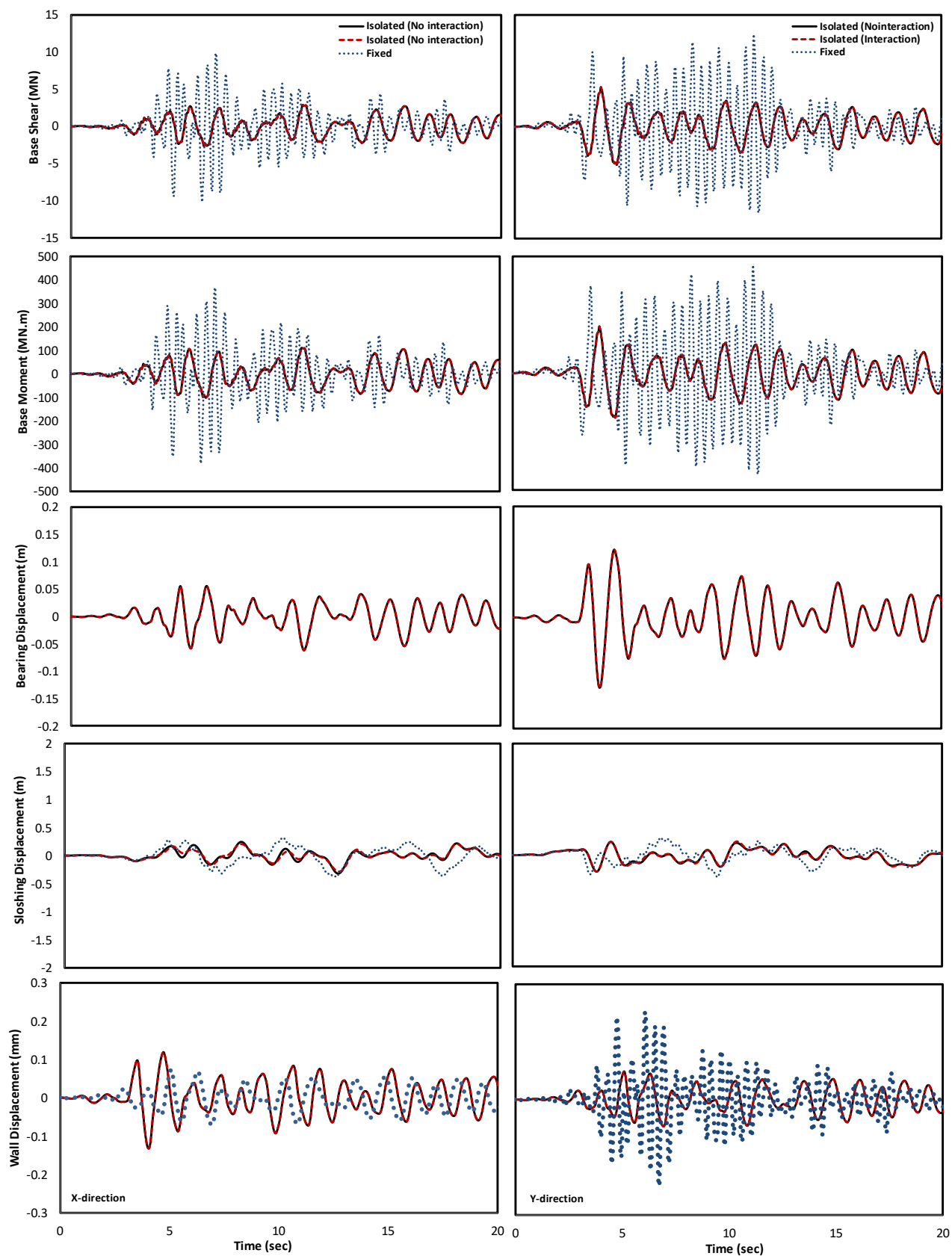
جدول ۷: حداکثر پاسخ‌های لرزه‌ای مخزن زمینی بلند در جهت‌های X و Y

فشار هیدرودینامیکی (Kpa)	جابه‌جایی (mm)		جابه‌جایی نوسانات (mm)		جابه‌جایی جداساز (mm)		لنگر پایه (MN.m)		برش پایه (MN)		وضعیت پایه	زلزله	
	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X			
۱۷،۱۹	۲۳،۳۶	۰،۱۳	۰،۲۰	۷۶۴،۹۹	۲۷۵،۰۳	-	-	۷۳،۸۲	۸۸،۱۶	۱۶،۴۶	۱۹،۳۸	پایه ثابت	El Centro
۱۳،۲۸	۱۱،۸۴	۰،۱۵	۰،۱۵	۷۹۴،۸۸	۳۴۴،۱۴	۸۴،۰۰	۸۶،۲۰	۴۸،۱۷	۳۹،۳۲	۱۰،۵۴	۹،۵۱	LRB جداسازی شده با	
۱۰،۱۲	۸،۱۳	۰،۱۰	۰،۲۰	۸۵۶،۳۷	۳۳۴،۲۱	۱۱۱،۳۰	۷۱،۱۰	۶۴،۳۸	۶۱،۹۴	۹،۱۹	۷،۸۷	FPS اندرکنش	
۱۳،۰۹	۱۳،۲۸	۰،۱۸	۰،۱۵	۷۹۴،۸۸	۳۶۵،۵۹	۸۳،۶۰	۸۴،۹۰	۴۸،۵۹	۴۴،۶۹	۱۰،۶۵	۱۰،۷۶	LRB جداسازی شده بدون	
۱۲،۷۶	۱۱،۰۵	۰،۱۵	۰،۱۲	۷۸۹،۴۵	۳۶۰،۰۳	۱۳۱،۵۰	۷۸،۰۰	۵۹،۸۰	۶۴،۵۲	۱۰،۳۱	۸،۸۱	FPS اندرکنش	
۴۴،۵۹	۳۲،۷۴	۰،۱۷	۰،۲۹	۱۷۵۷،۵۶	۲۱۱۵،۶۱	-	-	۱۵۴،۱۴	۱۲۸،۷۵	۳۵،۸۵	۲۸،۹۶	پایه ثابت	Duzce
۲۸،۷۴	۱۵،۴۹	۰،۵۳	۰،۳۸	۱۹۷۶،۵۱	۲۱۱۶،۷۹	۲۵۰،۲۰	۱۷۲،۳۰	۹۷،۲۰	۸۳،۵۰	۲۳،۳۶	۱۷،۴۲	LRB جداسازی شده با	
۱۰،۰۳	۹،۰۸	۰،۱۰	۰،۳۱	۱۶۱،۸۲	۳۵۲،۶۴	۷،۶۸	۹،۵۲	۳۵،۷۱	۳۲،۰۲	۷،۴۴	۷،۵۷	FPS اندرکنش	
۲۷،۹۱	۱۵،۶۸	۰،۱۸	۰،۵۳	۲۰۰۸،۴۷	۲۰۳۱،۰۷۹	۲۳۷،۲۰	۱۰۹،۳۰	۹۴،۳۳	۶۱،۳۹	۲۲،۶۷	۱۲،۶۱	LRB جداسازی شده بدون	
۱۰،۲۱	۹،۱۵	۰،۱۱	۰،۱۲	۱۶۳،۶۴	۳۵۳،۳۷	۶،۸۶	۱۰،۱۶	۳۷،۲۹	۳۲،۷۲	۷،۳۹	۷،۶۱	FPS اندرکنش	
۳۰،۷۱	۳۰،۷۱	۰،۰۹	۰،۳۷	۴۰۴،۲۸	۴۰۴،۲۸	-	-	۹۸،۴۳	۱۱۹،۷۶	۲۲،۶۸	۲۳،۵۸	پایه ثابت	Northridge
۱۶،۳۵	۸،۰۳	۰،۱۳	۰،۳۷	۴۲۳،۶۴	۳۹۱،۰۷	۱۱۵،۳۰	۴۰،۹۰	۵۳،۸۷	۳۰،۳۰	۱۳،۰۷	۶،۸۴	LRB جداسازی شده با	
۸،۲۵	۹،۸۰	۰،۱۳	۰،۱۲	۷۷،۲۶	۱۲۳،۱۷	۱۷،۶۰	۲۳،۱۰	۴۰،۱۵	۲۸،۷۷	۶،۸۴	۷،۲۶	FPS اندرکنش	
۲۵،۱۶	۱۱،۶۱	۰،۳۷	۰،۲۸	۳۴۶،۶۶	۴۴۸،۱۱	۱۱۶،۲۰	۶۳،۹۰	۵۴،۴۴	۳۷،۰۷	۱۳،۲۱	۹،۰۹	LRB جداسازی شده بدون	
۱۵،۲۵	۱۱،۴۱	۰،۱۵	۰،۱۱	۶۹،۷۰	۱۱۷،۷۱	۱۳،۹۰	۲۱،۷۰	۴۸،۶۵	۳۳،۲۰	۷،۰۲	۷،۲۳	FPS اندرکنش	





شکل ۸: پاسخ‌های تاریخیچه زمانی مختلف مخزن هوایی کوتاه (مدل ۱) تحت زلزله Northridge در جهت‌های X و Y (جداسازی شده با جداساز LRB).



شکل ۹: پاسخ‌های تاریخیچه زمانی مختلف مخزن هوایی کوتاه (مدل ۲) تحت زلزله Northridge در جهت‌های X و Y (جداسازی شده با جداساز LRB).

جدول ۸: حداکثر پاسخ‌های لرزه‌ای مخزن هوایی کوتاه در جهت‌های X و Y

زلزله	وضعیت پایه	برش پایه (MN)		لنگر پایه (MN.m)		جابه‌جایی جداساز (mm)		جابه‌جایی نوسانات (mm)		جابه‌جایی (mm)		فشار هیدرودینامیکی (Kpa)			
		Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X		
El Centro	پایه ثابت	۱۲.۸۸	۱۱.۷۶	۴۳۹.۱۸	۴۸۱.۶۳	-	-	۷۷۲.۳۶	۳۷۷.۸۶	۰.۰۹	۰.۲۹	۳۵.۱۹	۳۲.۶۹		
	مدل ۱	جداسازی شده با اندرکنش	۴.۰۴	۴.۶۷	۱۳۸.۹۱۹	۱۶۳.۴۸	۸۶.۰۰	۱۰۲.۷۰	۱۱۶۵.۳۸	۶۳۰.۹۷	۰.۲۷	۰.۰۸	۱۰.۱۷	۱۰.۱۰	
		جداسازی شده بدون اندرکنش	۲.۹۸	۲.۸۵	۱۰۳.۲۶	۵۰۷.۸۷	۵۷.۱۳	۶۵.۳۸	۳۲۸.۸۴	۶۵۳.۰۵	۰.۰۶	۰.۱۴	۱۵.۵۷	۲۹.۳۳	
	مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۳.۰۳۵	۳.۰۵	۱۳۹.۲۶	۱۷۱.۳۳	۴۷.۴۷	۱۰۲.۴۰	۶۴۸.۳۲	۴۸۱.۹	۰.۰۸	۰.۰۹	۱۰.۵۸	۱۰.۶۹	
		جداسازی شده با اندرکنش	۴.۰۴	۵.۵۰	۱۵۳.۰۹	۲۰۹.۸۵	۸۹.۱۹	۱۳۲.۹۰	۵۳۳.۶۷	۳۷۸.۴۲	۰.۲۹	۰.۱۰	۱۱.۶۹	۱۴.۲۶	
	Duzce	پایه ثابت	۴۰.۹۴	۲۱.۹۷	۱۵۳۴.۹۳	۸۲۲.۳۴	-	-	۳۲۷۵.۲۰	۲۰۷۰.۰۱	۰.۸۸	۰.۴۹	۱۰۶.۷۷	۵۹.۲۵	
		مدل ۱	جداسازی شده با اندرکنش	۲.۲۲۸	۲.۲۹	۸۱.۵۳	۸۵.۱۳	۹.۲۳	۱۵.۷۹	۲۶۶.۹۶	۲۳۳.۰۵	۰.۰۵	۰.۴۹	۵.۹۴	۶.۲۳
			جداسازی شده بدون اندرکنش	۲.۲۸۸	۲.۵۹	۸۷.۰۵	۹۱.۸۵	۹.۵۰	۲۴.۲۵	۱۳۱.۶۱	۲۲۵.۷۹	۰.۰۵	۰.۱۱	۶.۳۴	۶.۸۱
		مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۲.۶۸۹	۳.۲۰	۸۲.۵۳	۹۶.۲۹	۸.۴۵	۲۵.۶۴	۲۶۶.۹۶	۲۲۴.۸۵	۰.۰۶	۰.۴۹	۶.۲۹	۷.۴۲
			جداسازی شده با اندرکنش	۵.۳۵	۱۰.۳۳	۲۰۴.۶۲	۳۹۴.۸۳	۱۳۲.۴	۲۷۰.۰۰	۳۴۴۶.۸۰	۲۲۴۸.۵۰	۰.۲۳	۰.۱۰	۱۲.۴۵	۲۸.۲۶
Northridge		پایه ثابت	۱۰.۲۱	۱۰.۲۱	۳۸۱.۸۵	۴۶۳.۶۸	-	-	۴۰۲.۶۸	۳۷۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۱۲	۲۷.۷۶	۳۲.۳۵	
		مدل ۱	جداسازی شده با اندرکنش	۲.۴۲۸	۲.۲۴	۱۱۷.۶۰	۶۸۳.۰۱	۲۲.۲۸	۱۵.۳۸	۹۵.۰۱	۵۷۵.۴۲	۰.۱۵	۰.۱۱	۱۶.۶۹	۳۴.۵۷
			جداسازی شده بدون اندرکنش	۲.۴۷۸	۲.۳۰	۱۲۰.۸۸	۶۷۶.۹۹	۲۱.۹۰	۱۳.۷۶	۱۱۳.۵۲	۸۶.۴۷	۰.۳۲	۰.۱۱	۱۸.۷۳	۴۰.۱۴
		مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۲.۹۰	۵.۲۹	۱۰۹.۷۹	۲۰۰.۵۳	۶۱.۷۵	۱۲۶.۹۰	۲۸۳.۸۷	۲۹۸.۸۵	۰.۱۳	۰.۰۷	۸.۹۵	۱۶.۲۰
			جداسازی شده با اندرکنش	۳.۲۲۳	۲.۶۵	۲۴۶.۸۱	۶۷۵.۹۲	۲۵.۶۰	۱۸.۳۷	۸۸.۹۴	۹۰.۹۷	۰.۳۵	۰.۴۰	۴۵.۹۲	۴۵.۸۹
	مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۲.۹۰	۵.۲۹	۱۰۹.۷۹	۲۰۰.۵۳	۶۱.۷۵	۱۲۶.۹۰	۲۲۰.۷۵	۲۹۹.۵۱	۰.۱۳	۰.۲۷	۸.۹۵	۱۶.۲۰	
		جداسازی شده با اندرکنش	۳.۲۸۲	۲.۶۹	۲۵۱.۸۱	۷۱۶.۳۹	۲۵.۳۰	۱۸.۱۹	۹۱.۸۴	۸۸.۹۸	۰.۴۰	۰.۴۰	۴۶.۲۱	۴۶.۱۲	

جدول ۹: حداکثر پاسخ‌های لرزه‌ای مخزن هوایی بلند در جهت‌های X و Y

زلزله	وضعیت پایه	برش پایه (MN)		لنگر پایه (MN.m)		جابه‌جایی جداساز (mm)		جابه‌جایی نوسانات (mm)		جابه‌جایی (mm)		فشار هیدرودینامیکی (Kpa)			
		Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X		
El Centro	پایه ثابت	۷,۳۱	۸,۰۷	۱۳۶,۹۷	۱۵۲,۸۸	-	-	۴۹۳,۵۴	۶۴۴,۳۵	۰,۲۲	۰,۲۶	۲۴,۷۷	۲۷,۱۲		
	مدل ۱	جداسازی شده با اندرکنش	۱,۸۶	۱,۶۸	۲۸,۰۱	۳۰,۶۵	۱۶۷,۸۰	۱۴۸,۴۰	۵۷۷,۲۹	۹۴۷,۰۱	۰,۲۹	۰,۰۷	۶,۹۲	۵,۴۴	
		جداسازی شده بدون اندرکنش	۱,۴۴	۱,۳۱	۳۲,۵۷	۱۲۵,۶۲	۶۲,۳۵	۶۷,۶۹	۳۳۹,۰۴	۵۱۶,۰۳	۰,۳۱	۰,۲۶	۲۱,۶۵	۳۰,۴۱	
	مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱,۶۷	۱,۹۲	۲۵,۴۴	۲۴,۴۸	۱۴۷,۳۰	۱۷۲,۴۰	۶۸۰,۰۳	۱۰۰۴,۵۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۶,۲۲	۶,۲۷	
		جداسازی شده با اندرکنش	۱,۰۵	۱,۱۵	۳۸,۳۶	۴۳,۱۹	۸۹,۸۹	۱۰۲,۴۰	۵۶۹,۲۸	۶۴۰,۵۱	۰,۰۷	۰,۰۸	۷,۷۸	۷,۶۹	
	Duzce	پایه ثابت	۱۰,۹۹	۱۴,۴۴	۲۱۰,۳۱	۲۶۶,۷۱	-	-	۱۹۱۰,۸۹	۱۴۵۲,۵۲	۰,۳۹	۰,۳۹	۳۶,۵۷	۴۹,۵۷	
		مدل ۱	جداسازی شده با اندرکنش	۳,۰۷	۵,۱۹	۷۴,۴۸	۱۰۰,۴۹	۲۹۴,۱۰	۵۱۴,۱۰	۲۷۴۵,۸۷	۲۵۰۸,۹۲	۰,۵۲	۰,۰۸	۷,۹۴	۱۶,۰۶
			جداسازی شده بدون اندرکنش	۰,۹۸	۰,۹۹	۱۹,۲۵	۱۷,۷۳	۱۸,۴۶	۲۰,۰۵	۱۴۸۰,۰۸	۶۳۸,۸۹	۰,۰۵	۰,۰۳	۳,۵۳	۳,۳۳
		مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۲,۸۷	۵,۱۶	۷۱,۱۳	۱۰۰,۷۲	۲۶۹,۶۰	۵۰۴,۹۰	۲۵۷۲,۸۷	۲۵۳۲,۲۵	۰,۱۷	۰,۰۷	۷,۴۱	۱۵,۸۴
			جداسازی شده با اندرکنش	۱,۰۲	۱,۱۰	۱۹,۹۷	۱۹,۳۵	۱۴,۶۹	۲۰,۶۴	۱۷۲,۲۷	۱۱۱,۴۰	۰,۰۳	۰,۰۴	۳,۶۷	۳,۶۸
Northridge		پایه ثابت	۹,۵۴	۸,۶۵	۱۸۰,۲۹	۱۶۲,۷۴	-	-	۵۷۲,۶۸	۴۷۸,۵۲	۰,۰۸	۰,۳۴	۳۲,۰۴	۲۹,۲۰	
		مدل ۱	جداسازی شده با اندرکنش	۱,۰۴	۱,۲۲	۲۱,۰۵	۲۳,۰۷	۸۲,۹۰	۱۰۱,۵۰	۶۸۸,۸۰	۷۳۴,۸۸	۰,۳۱	۰,۰۴	۴,۲۳	۳,۸۷
			جداسازی شده بدون اندرکنش	۱,۰۶	۱,۵۰	۲۲,۴۵	۲۷,۸۶	۸۳,۷۰	۱۲۸,۹۰	۶۸۴,۷۸	۹۱۵,۷۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۴,۰۲	۴,۰۶
		مدل ۲	جداسازی شده بدون اندرکنش	۱,۰۶	۱,۰۲	۳۶,۸۷	۱۵۶,۷۲	۱۹,۹۰	۱۵,۷۴	۱۳۶,۸۲	۷۶۰,۴	۰,۲۹	۰,۲۱	۱۸,۴۶	۲۵,۷۹
جداسازی شده با اندرکنش			۰,۸۷	۱,۲۷	۳۱,۹۱	۴۴,۹۹	۷۰,۵۹	۱۱۲,۰۰	۶۳۶,۰۶	۷۳۴,۸۸	۰,۰۵	۰,۰۶	۵,۴۵	۹,۷۲	

## ۷- نتیجه گیری

در این مقاله که به بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن استوانه‌ای بتنی انعطاف‌پذیر زمینی و هوایی که با جداسازهای LRB و FPS تحت شتاب دو جهته حرکت زمین از پایه جداسازی شده‌اند، پرداخته شده و نتایج به صورت موردی در ادامه توضیح داده شده است.

۱- استفاده از مدل مکانیکی معادل با مخزن استوانه‌ای در حالات پایه‌ی گیردار و جداسازی شده بسیار کاربردی بوده است. توانایی تحلیل سریع، مشاهده نتایج و رفع نقایص موجود در مخازن ذخیره‌سازی به کمک مدل مکانیکی، قابلیت بالای این سیستم را نشان می‌دهد. از این نوع مدل به منظور طراحی اولیه‌ی مخازن استوانه‌ای انعطاف‌پذیر می‌توان کمک گرفت.

۲- همان‌گونه که از نمودارهای مربوط به پاسخ‌های لرزه‌ای مشاهده می‌شود، سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای مورد استفاده در این مقاله، دارای تأثیر مثبت بر پاسخ‌های برش پایه و فشار هیدرودینامیکی وارده شده به دیواره مخزن بوده است.

۳- نتایج نشان می‌دهد که تأثیر استفاده از هر دو مدل جداساز در مخازن هوایی در کاهش برش پایه نسبت به مخازن زمینی بسیار بیشتر است.

۴- با ایجاد انعطاف‌پذیری به وسیله‌ی سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای می‌توان برش پایه لرزه‌ای مخزن را به میزان قابل توجهی کاهش داد. این موضوع به سبب ایجاد مکانیزم جابه‌جایی در سیستم جداساز است و از آن جایی که مقادیر برش پایه‌ی لرزه‌ای سازه با شتاب اعمال شده به سازه در ارتباط مستقیم است، جابه‌جایی جداساز از انتقال شتاب زمین به سازه جلوگیری می‌کند.

۵- جداسازی مخزن باعث کاهش قابل ملاحظه‌ی فشار اعمال شده از طرف مایع به دیوارهای مخزن شده است. به عبارت دیگر سیستم جداسازی لرزه‌ای در کاهش فشار هیدرودینامیکی بسیار مؤثر می‌باشد. بنابراین می‌تواند محدودکننده پاسخ روسازه در محدوده الاستیک خطی و در نتیجه تضمین کننده بسته بودن منافذ و جلوگیری از نشت مایع به بیرون باشد.

۶- نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که در هر دو مورد مخازن زمینی و هوایی، استفاده از جداساز FPS در کاهش برش پایه مخازن مؤثرتر از جداساز LRB بوده است و همین‌طور جداسازهای LRB و FPS در مخازن بلند نسبت به مخازن کوتاه، مؤثرتر واقع شده است.

۷- نتایج حاکی از آن است که در مخازن زمینی در اکثر موارد، جابه‌جایی جداساز FPS بسیار کمتر از جابه‌جایی جداساز LRB می‌باشد.

۸- زمانی که از جداساز LRB استفاده شده است آنچه مشاهده می‌شود این است که تلاطم مایع در سازه جداسازی شده در اثر حرکت روسازه به صورت صلب، در مقایسه با سازه با پایه گیردار بیشتر است. زیرا با نزدیک شدن فرکانس مؤثر جداساز به فرکانس اصلی امواج سطحی، ارتفاع امواج به سرعت افزایش می‌یابد. و اما وقتی که از جداساز FPS استفاده می‌شود مشاهده شده است که در اکثر موارد جابه‌جایی‌ها کم شده است.

۹- اعداد و نتایج به دست آمده از مخازن هوایی با دو مدل جانمایی متفاوت نشان می‌دهد در مدل اول که جداساز در پایین برج تکیه‌گاهی قرار دارد کاهش برش پایه ۷۷ درصد و در مدل دوم که جداساز در بالای برج تکیه‌گاهی قرار دارد میزان کاهش ۸۰ درصد بوده است که می‌توان گفت این اختلاف ۳ درصدی چندان مؤثر نبوده ولی به طور کلی مدل ۲ می‌تواند تأثیرگذارتر از مدل ۱ واقع شود.

## مراجع

- [1] Hoskins, L.M. and Jacobsen, L.S. (1934). Water pressure in a tank caused by simulated earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.24, pp.1-32.
- [2] Jacobsen, L.S. and Ayre, R.S. (1951). Hydrodynamic Experiments with Rigid Cylindrical Tanks Subjected to Transient Motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.41, pp. 313-340.
- [3] Housner, G.W. (1957). Dynamic pressure on accelerated fluid containers. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 47, 5-35.
- [4] Housner G.W. (1963). The dynamic behavior of water tanks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 381-387.
- [5] Graham, E.W. and Rodriguez, A.M. (1963). Characteristics of fuel motion Which affect airplane dynamics. *J Appl Mech*, Vol. 19, pp. 381-387.
- [6] Epstein, H.I. (1976). Seismic design of liquid storage tanks. *Journal of the Structural Division*, 102 (9): 1659-1673.
- [7] Veletsos, A.S. (1974). Seismic effects in flexible liquid storage tanks. *Proc. 5th World Conf. Earthquake Eng., Rome, Italy*, 1, 630-639.
- [8] Yang, J.Y. (1976). *Dynamic behavior of fluid tank system*. Ph.D. Thesis, Civil Engineering, Rice University, Houston, Tex.
- [9] Clough, R.W. and Clough, D.P. (1977). Seismic response of flexible cylindrical tanks. *Paper K 5/1 Trans. 4th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*, San Francisco, CA.
- [10] Clough, R.W. and Niwa, A. and Clough, D.P. (1979). Experimental seismic study of cylindrical tanks. *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 105, No. 12, pp. 2565-2590.
- [11] Haroun, M.A. (1983). Vibration studies and tests of liquid storage tanks. *Earthquake Engng. Struct. Dyn*, 11, 190-206.
- [12] Moradi, R. and Behnamfar, F. and Hashemi, S. (2017). Mechanical model for cylindrical flexible concrete tanks undergoing lateral excitation. *Soil Dynamicc and Earthquake Engineering*, 106,148-162.
- [13] Chalhoub, M.S. and Kelly, J.M. (1990). Shake table test of cylindrical water tanks in base-isolated structures. *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 116, 1451-1472.
- [14] Bo, L. and Jia-xiang, T. (1994). Vibration studies of base-isolated liquid storage tanks. *Comp. and Struct*, 52(5), 1051-1059.
- [15] Kim, N.S. and Lee, D.G. (1995). Pseudo-dynamic test for evaluation of seismic performance of base-isolated liquid storage tanks. *Engineering Structures*, 17(3), 198-208.
- [16] Shenton, H.W. and Hampton, F.P. (1999). Seismic response of isolated elevated water tanks. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 125, No. 9, pp. 965-976.
- [17] Shrimali, M.K. and Jangid, R.S. (2002). Earthquake response of liquid storage tanks with sliding systems. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, Vol. 4, Nos. 23, pp. 51-61.
- [18] Kim, M.K. and Lim, Y.M. and Cho, S.Y. and Cho, K.H. and Lee, K.W. (2002). Seismic analysis of base-isolated liquid storage tanks using the BEFE- BE coupling technique. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 22, Nos. 9-12, pp. 1151-1158.
- [19] Moslemi, M. (2011). *Seismic response of Ground cylindrical and elevated conical reinforced concrete tanks* (Doctoral dissertation). Retrieved from <http://digitalcommons.ryerson.ca/>
- [20] Waghmare P.B. and Pajgade, P.S. and Kanhe, N.M. (2013). Seismic response of isolated liquid storage tanks with elastomeric bearing. *Int J Appl Innovation Eng Manage.* 2(2).February.
- [21] Naeim, F. and Kelly, J.M. (1999). Design of seismic isolated structures from theory to practice. *New York, INC: John Wiley & Sons*.
- [22] Shrimali, M.K. and Jangid, R.S. (2002). Non-linear seismic response of base-isolated liquid storage tanks to bi-directional excitation. *Nuclear Engineering and Design*, 217, 1-20.
- [23] Shrimali, M.K. and Jangid, R.S. (2003). The seismic response of elevated liquid storage tanks isolated by lead-rubber bearings. *Bulletin of the New Zealand Society of Earthquake Engineering*, pp. 141-164.
- [24] Masoudi M, Eshghi S, Ghafory-Ashtiany M. (2012). Evaluation of response modification factor (R) of elevated concrete tanks. *Engineering Structures*, 39, 199-209.
- [25] Ghaemmaghami, A.R. and Kianoush, M.R. (2010). Effect of wall flexibility on dynamic response of concrete rectangular liquid storage tanks under horizontal and vertical ground motions. *J Struct Eng*, 136(4):441-51.
- [26] Hashemi, S. and Saadatpour, M.M. and Kianoush, M.R. (2013). Dynamic behavior of flexible rectangular fluid containers. *Thin-Walled Structures*, 66, 23-38.