

Seismic analysis of steel cylindrical tanks with variable height to diameter ratio under the effects of far and near-field earthquakes taking into account the interaction of water and structure

Ehsan Teymouri¹, Saeed Abbasi^{2*}, AmirJavad Moradloo³

1- PHD Student, School of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Assistant Professor, School of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Associate Professor, School of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ABSTRACT

Liquid storage tanks are very important structures for storing various types of fluids in urban and industrial areas. Therefore, designing, manufacturing, and evaluating their performance for different conditions is very important. In this study, the behavior of steel tanks with changes in the ratio of height to diameter of the structure under the effects of far and near field earthquakes has been analyzed and studied. For this purpose and for better analysis of these structures, 4 models of steel tanks with different height to diameter ratios and in empty and 90% full states have been subjected to seismic analysis using modeled ANSYS finite element software. To better investigate the trend of seismic effects on steel tanks, selected far and near-field earthquakes have been scaled to the same amount of 0.5g. The results showed that in empty tank conditions, by increasing the ratio of height to diameter to more than 1, the maximum values of displacement in the far and near-field earthquake are close to each other. The results also show the extraordinary importance of adding water to the response of steel tanks due to far-field earthquakes for a height to diameter ratio of more than 1. In most cases, by increasing the ratio of height to diameter of the structure and adding the fluid to the analysis, the values of the first main stress and the maximum reaction of the horizontal abutment in the two modes of analysis under the effects of the far and near-field earthquakes get closer to each other. The results show that in order to analyze and investigate steel tanks affected by earthquakes, in addition to near field earthquakes, far-field earthquakes should be studied and analyzed.

ARTICLE INFO

Receive Date: 07 May 2021

Revise Date: 20 August 2021

Accept Date: 30 September 2021

Keywords: Steel tank
Far-field earthquake
Near-field earthquake
Finite Element Method
Water-Structure interaction
Seismic analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2021.285130.2447

*Corresponding author: Saeed abbasi

Email address: abbasi.saeed@znu.ac.ir

تحلیل دینامیکی مخازن استوانه‌ای فولادی با نسبت ارتفاع به قطر متغیر تحت اثر زلزله های میدان دور و نزدیک با در نظر گرفتن اندرکنش آب و سازه

احسان تیموری^۱ سعید عباسی^{۲*} امیرجواد مرادلو^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استادیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

تانک‌های ذخیره سیالات سازه‌های بسیار مهمی برای ذخیره‌ی انواع سیالات در حوزه‌های شهری و صنعتی می‌باشند. از این رو طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد آن‌ها برای شرایط مختلف بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این مطالعه رفتار تانک‌های فولادی با تغییر در نسبت ارتفاع به قطر سازه تحت اثر زلزله‌های میدان دور و نزدیک مورد آنالیز و مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور و جهت آنالیز بهتر این سازه‌ها ۴ مدل تانک فولادی با نسبت ارتفاع به قطر متفاوت و در حالات خالی و ۹۰٪ پر با استفاده از نرم‌افزار المان محدود ANSYS مدل‌سازی شده تحت آنالیز لرزه‌ای قرار گرفته‌اند. برای بررسی بهتر روند تأثیرات لرزه‌ای بر تانک‌های فولادی، زلزله‌های میدان دور و نزدیک انتخاب شده به بیشینه شتاب یکسان ۰/۵g مقیاس شده‌اند. نتایج نشان داد که در حالات خالی تانک با افزایش نسبت ارتفاع به قطر تانک‌های فولادی به بیش از مقدار ۱، مقادیر ماکزیمم تغییر مکان‌ها در زلزله‌های میدان دور و نزدیک به یکدیگر نزدیک می‌گردند. همچنین نتایج نشان از اهمیت فوق‌العاده افزوده شدن آب بر پاسخ تانک‌های فولادی تحت اثر زلزله‌های میدان دور برای نسبت ارتفاع به قطر بیش از ۱ دارد. در اکثر موارد با افزوده شدن نسبت ارتفاع به قطر سازه و نیز سیال به آنالیز مقادیر تنش اصلی اول و ماکزیمم عکس-العمل تکیه‌گاهی افقی در دو حالت تحلیل تحت اثرات زلزله‌ی میدان دور و نزدیک به هم نزدیک می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که برای آنالیز و بررسی تانک‌های فولادی تحت اثر زمین‌لرزه بایستی زلزله‌های میدان دور علاوه بر زلزله‌ی میدان نزدیک مورد مطالعه و تحلیل قرار گیرند.

کلمات کلیدی: مخازن فولادی، آنالیز دینامیکی، اندرکنش آب و سازه، زلزله‌ی میدان دور و نزدیک، روش المان محدود

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
https://doi.org/10.22065/JSCE.2021.285130.2447	۱۴۰۱/۰۲/۳۱	۱۴۰۰/۷/۰۸	۱۴۰۰/۷/۰۸	۱۴۰۰/۵/۲۹	۱۴۰۰/۰۲/۱۷
10.22065/JSCE.2021.285130.2447					
دکتر سعید عباسی abbasi.saeed@znu.ac.ir				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

تانک ذخیره سیالات برای ذخیره آب و بهره‌برداری از آن در شرایط مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو سالم ماندن و قابلیت بهره‌برداری از آن‌ها برای شرایط مدنظر بسیار حائز اهمیت می‌باشد. انواع مختلفی از این تانک‌ها اعم از هوایی، زمینی، مدفون و نیمه مدفون و نیز با اشکال مختلف مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گرفته است. تانک‌های استوانه‌ای جدارنازک فولادی به دلیل ساخت آسان، مقرون به صرفه بودن و نیز کارایی آن‌ها در حفظ فشار هیدرواستاتیک و هیدرودینامیکی، بیش‌تر مورد استفاده و توجه قرار گرفته‌اند [۱]. طراحی نامناسب این سازه‌ها سبب خرابی یا وارد شدن خسارت قابل توجهی به این سازه‌ها گردیده است. نمونه معمول چنین فاجعه‌ای خسارات شدید ناشی از زلزله‌ی نیگاتا در سال ۱۹۶۴ است که باعث رخ دادن آتش سوزی گسترده و کنترل نشده در مخازن نفتی شد که سبب سوختن ۲۸۶ خانه در منطقه مجاور گردید [۲]. رایج‌ترین مورد استفاده از مدل تحلیلی مدلی است که توسط هاوسنر تهیه شده است [۳]. فشار هیدرودینامیکی در مدل هاوسنر به دو جزء همرفتی و تکانه‌ای برای مخزن صلب تقسیم می‌شود. نتایج مدل پیشنهادی با تغییراتی در اکثر کدها و استانداردهای موجود پذیرفته شده است. برای اولین بار، استفاده از روش المان محدود به عنوان ابزاری برای تخمین پاسخ لرزه-ای مخزن ذخیره مایع استوانه‌ای توسط ادواردز (۱۹۶۹) پیشنهاد شد [۴]. جهت بررسی رفتار و پاسخ تانک‌های فولادی تحت اثر تحریکات لرزه‌ای مطالعات زیادی توسط محققان مختلف انجام گرفته است [۵،۶،۷،۸،۹،۱۰]. ویرولا و همکاران در سال ۲۰۰۶ پیوندهای طبیعی، اشکال مودی و پاسخ دینامیکی مخازن استوانه‌ای تقریباً پر را تحت تحریک زمین مورد مطالعه قرار دادند. مایع موجود با استفاده از روش جرم افزوده و نیز تئوری المان‌های آکوستیک بدون در نظر گرفتن اسلاشینگ امواج مدل شد [۱۱]. رویز و همکاران یک روش محاسباتی کارآمد برای تجزیه و تحلیل لرزه‌ای مخازن ذخیره مایع ارائه داده‌اند. مدل پیشنهادی بر اساس نظریه جریان پتانسیل است که در آن معادله تداوم از طریق روش اجزای محدود حل می‌شود [۱۲]. باقری و فرجیان اثر مشخصه‌ی زلزله را بر پاسخ‌های لرزه‌ای مخازن ذخیره مایع بررسی کردند [۱۳]. روئیزا و همکاران مدل محاسباتی کارایی برای مطالعه ارزیابی رفتار لرزه‌ای مخازن ذخیره‌ی مایعات ارائه کردند. نتایج این مدل با مدل‌های تحلیلی دیگر همچون مدل هاوسنر و نتایج مدل اجزا محدود مقایسه شده است [۱۴]. سوخوارش و همکاران سه هندسه‌ی مختلف تانک با نسبت قطر به ارتفاع و قطر به ضخامت مختلف را تحت زلزله‌ی السنترو برای حالات مخزن خالی و پر مورد بررسی قرار دادند [۱۵]. کلانی و همکاران مخازن استوانه‌ای بتنی با شفت مرکزی را با در نظر گرفتن اندرکنش آب و سازه مورد بررسی قرار دادند [۱۶]. شاکری و همکاران پاسخ لرزه‌ای مخازن ذخیره عایق لرزه‌ای شده تحت جنبش‌های پی‌وود بلند زمین را برای احتساب اثرات اسلاشینگ مخزن بررسی کردند [۱۷]. تیموری و همکاران در سال ۱۳۹۷ مخازن فولادی را با نسبت ارتفاع به قطر متفاوت با در نظر گرفتن اثرات مولفه‌های دورانی و بدون آن‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان از اهمیت مولفه‌های دورانی زلزله بر عملکرد لرزه‌ای مخازن فولادی دارد [۱۸]. تاجداران و مصداق در سال ۱۳۹۸ تاثیر پارامترهای هندسی بر کمناش الاستوپلاستیک مخازن فولادی استوانه‌ای را با در نظر گرفتن اندرکنش آب و سازه مورد مطالعه و بررسی قرار دادند نتایج کار آن‌ها نشان داد که افزایش نسبت ارتفاع به قطر سبب کاهش خطر کمناش الاستوپلاستیک می‌گردد [۱۹]. اثرات زمین‌لرزه اعم از ویژگی‌های اثر مستقیم، حرکت رو به جلو و پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در زلزله‌ی میدان نزدیک یک غسل بصورت قابل ملاحظه‌ای متفاوت از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد. از این رو ویژگی‌های منحصر به فرد حرکات زمین نزدیک به غسل می‌تواند در هنگام وقوع زلزله خسارات قابل توجهی ایجاد کند [۲۱]. اثرات زلزله‌ی میدان نزدیک بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های مختلف مهندسی در بسیاری از مطالعات محققان مورد توجه و بررسی قرار گرفته است [۲۲،۲۳،۲۴،۲۵]. مانیاتاکیس و همکاران معیارهای تعیین زلزله‌ی میدان نزدیک را برای رکوردهای ثبت شده بین سال‌های ۱۹۷۵ الی ۱۹۹۹ در کشور یونان به کار بردند [۲۶]. آکوسه و شیمشک یک سد بتنی وزنی را تحت بارگذاری لرزه‌ی میدان دور و نزدیک و با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سد-آب-رسوبات و فونداسیون مورد بررسی قرار دادند نتایج کار آن‌ها نشان داد که تغییرشکل‌ها تحت اثر زلزله‌ی میدان نزدیک از زلزله‌ی میدان دور بیشتر می‌باشد [۲۷]. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ اثرات زلزله‌ی میدان دور و نزدیک را بر پاسخ لرزه‌ای سد بتنی قوسی با در نظر گرفتن اندرکنش مخزن، سازه و فونداسیون مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که مقادیر تغییرمکان برای زلزله‌ی میدان نزدیک به مراتب بیش‌تر از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد. همچنین زلزله‌های میدان نزدیک پتانسیل تاثیر بیش‌تری بر روی رفتار سد به دلیل اثرات ضربه‌ای (impulsive) دارند. همچنین آن‌ها نشان دادند که برای بررسی رفتار دقیق‌تر سد تحت اثر زمین‌لرزه بایستی اثرات زلزله‌ی

میدان دور بر روی پاسخ سازه مورد مطالعه قرار گیرد [۲۸]. جاده‌ها و همکاران رفتار لرزه‌ای مخازن عایق ارتعاشی شده تحت بارگذاری میدان نزدیک زمین‌لرزه را مورد بررسی قرار داده‌اند در مطالعه‌ی مزبور مخزن به صورت جرم‌های متمرکز و نوسانی مدل شده و نیز مولفه‌های نرمال و موازی گسل در تحلیل‌ها در نظر گرفته شده بود، نتایج نشان می‌دهد که رفتار مخزن عایق ارتعاشی شده بیشتر متأثر از مولفه‌ی نرمال زمین‌لرزه می‌باشد [۲۹]. گورای و مایتی در سال ۲۰۱۹ پاسخ لرزه‌ای سد بتنی وزنی را با در نظر گرفتن سیستم کوپل سازه-مخزن - فونداسیون تحت اثر زلزله‌ی میدان دور و نزدیک را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که زلزله‌های میدان دور و نزدیک اثرات متفاوتی بر پاسخ سازه دارند. آن‌ها پیشنهاد کردند که بهتر است هر دو مورد زلزله‌ی میدان دور و نزدیک برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. همچنین نتایج کار آن‌ها بر اهمیت انتخاب رکوردهای میدان دور تاکید کرد [۳۰].

در مطالعه حاضر تانک‌های استوانه‌ای فولادی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند بدین منظور و جهت بررسی بهتر رفتار آن‌ها، تانک‌های مزبور در ۴ مدل مختلف با نسبت ارتفاع به قطر متفاوت و نیز حالات خالی و پر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور ارزیابی بهتر رفتار سازه‌های مزبور همچنین از سه زلزله‌ی میدان دور و سه زلزله‌ی میدان نزدیک که به مقدار یکسان $0.5g$ مقیاس شده‌اند استفاده شده است.

۲- پارامترهای زلزله‌ی میدان دور و نزدیک

اثرات زلزله بر پاسخ سازه بستگی به محتوای فرکانسی، شکل رکورد و فاصله مرکز زلزله از سازه دارد. بطور کلی در زلزله‌های میدان نزدیک شتاب وارده به سازه بسته به فاصله سازه از مرکز زلزله، جهت قرارگیری و گسترش مولد زلزله نسبت به ساختگاه سازه متغیر است از این رو فاصله سازه از محل وقوع زلزله به تنهایی نمی‌تواند پارامتر مناسبی جهت تعیین نوع رکورد زلزله باشد و برای تعیین آن معیارهای دیگری نیز لازم است [۳۱]. زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل توسط یک حرکت ضربه‌ای با مدت زمان کوتاه و پریود بلند مشخص می‌شوند که سازه در ابتدای رکورد در معرض انرژی ورودی بزرگی قرار می‌گیرد. به عبارت بهتر تجمع انرژی در بازه‌های زمانی کوتاه موجب زمین‌لرزه‌های ضربه‌ای می‌گردد که منجر به دامنه‌ی زیاد، شکل موج پالس مجزا و مدت زمان کوتاه در تاریخچه‌های زمانی زمین‌لرزه می‌شود. در مجموع به جهت این ویژگی‌ها علی‌الخصوص پالس‌های بلند سرعت و نیز تجمع انرژی در بازه‌ی زمانی کوتاه سازه‌های مختلف در معرض تغییر شکل‌های بزرگتری قرار می‌گیرند.

مانیاتاکیس و همکاران معیارهایی را برای تعیین زلزله‌های میدان دور و نزدیک برای زلزله‌های رخ داده در یونان بین سال‌های ۱۹۷۵ الی ۱۹۹۹ به کار بردند که عبارتند از [۲۶]:

۱- حداکثر شتاب افقی زمین (PGA)^۱

۲- سرعت مطلق تجمعی (CAV) گه بصورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد:

$$CAV = \int_0^{t_r} |a_g(t)| dt \quad (1)$$

در رابطه فوق t_r زمان کل شتابنگاشت می‌باشد.

۳- شدت Arias که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_r} |a_g^2(t)| dt \quad (2)$$

در رابطه بالا $a_g(t)$ شتاب زمین است.

¹ Peak horizontal ground acceleration

² Cumulative absolute velocity

شدت آریاس به عنوان معیاری برای سنجش بزرگی حرکت زمین به کار می‌رود. در اصل این پارامتر نشان دهنده میزان انرژی وارده به سازه هست و به وسیله اندازه‌گیری شتاب گذرا (ناپایدار) امواج زلزله جهت تعیین بزرگی لرزش زمین محقق می‌شود. بعد از تحقیقات کیفر و ویلسون، این کمیت به عنوان اثر تکانه‌ای برای شکست زمین به کار می‌رود [۲۰]. شتاب آریاس، در برگیرنده دامنه شتاب حرکات زمین، فرکانس مورد نظر و مدت زمان حرکت زمین هست. ویژگی منحصر به فردی که در شتاب آریاس هست و آن را با سایر پارامترهای جنبش نیرومند زمین متفاوت می‌سازد، این است که این پارامتر هر سه خصوصیت اصلی حرکت زمین را در بر می‌گیرد و متفاوت از سایر پارامترهای که فقط از روی بیشینه مقدار در نمودار قابل اندازه‌گیری هستند می‌باشد. (مانند بیشینه شتاب، بیشینه سرعت).

۱- پارامتر پتانسیل خرابی که مطابق رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$I_p = PGA.t_D \quad (3)$$

در رابطه بالا t_D مدت زمان حرکت قوی زمین است.

۲- ریشه مربعات a_{rms} که از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{t}{t_D} \int_{t_D} a_g^2(t)} \quad (4)$$

این شاخص تاثیر شدت و محتوای فرکانسی رکوردهای قوی زمین را محاسبه می‌کند و با مربع ریشه گرادیان شاخص شدت arias به صورت مستقیم متناسب می‌باشد. علاوه بر ۵ مورد ذکر شده در رابطه بالا که مقادیر حداقل آن‌ها برای تعیین رکوردهایی که مشابه شدت لرزش بیش از VIII (هشت) درجه مرکالی است ارائه می‌نماید، محققان برای تعیین زلزله‌ی میدان نزدیک از روش دیگری که مبتنی بر ماکزیمم سرعت و شتاب زلزله می‌باشد بهره می‌گیرند. در این روش دوام پالس سرعت در حرکات زمین و در زلزله‌ی میدان نزدیک از ۱ ثانیه بیشتر می‌باشد و همچنین نسبت سرعت ماکزیمم زمین به شتاب ماکزیمم زمین بزرگ تر از ۰/۱ ثانیه می‌باشد. مواردی از زلزله‌هایی که شامل این پارامتر نمی‌باشند به عنوان زلزله‌ی میدان دور لحاظ می‌گردند [۲۱]. در ادامه در جدول شماره ۱ پارامترهایی که تعیین کننده زلزله‌ی میدان دور و نزدیک می‌باشند ارائه شده است.

جدول ۱. حداقل پارامترهای لازم جهت تعیین زلزله میدان نزدیک

Low limit	Earth motion characteristics			Earth motion parameters
	Amplitude	Frequency content	Continuity	Energy
0.2 (g)	*			PGA
0.3(g sec)	*			CAV
20(cm/sec)	*			PGV
۰.4 (m/sec)	*		*	I _A
30(cm sec ^{-0.75})	*		*	I
0.5(m/sec)	*	*	*	a _{rms}
0.1(sec)				PGV/PGA

جدول ۲. بررسی معیارهای انتخاب زلزله میدان دور و نزدیک

Earthquake classification criteria based on Table 1							Station distance (km)	Earthquake Type	Event	Row
PGV/PGA	a _{rms}	I	IA	PGV	CAV	PGA				
0.1 (sec)	0.5 (m/s ²)	30 (cm.s ^{-0.75})	0.4 (m/s)	20 (cm/s)	0.3 (g sec)	0.2 (g)	1	Near	KOBE	1
0.06656	0.22167	9.488	0.09096	5.157	0.2743	0.079	86.94	Far	KOBE	2
0.184	2.4905	168.8124	5.0200	111.47	1.23105	0.617	5.43	Near	NORTHRIDGE	3
0.0501	0.15055	6.1688	0.07326	3.294	0.2550	0.067	69	Far	NORTHRIDGE	4
0.2977	1.1498	131.58	0.7870	92.61	0.43317	0.317	0.07	Near	IMPERIAL VALLEY	5
0.0537	1.2342	8.9803	0.08033	8.84	0.09318	0.168	31.92	Far	IMPERIAL VALLEY	6

۳- مدل اجزا محدود سیستم تانک و مخزن

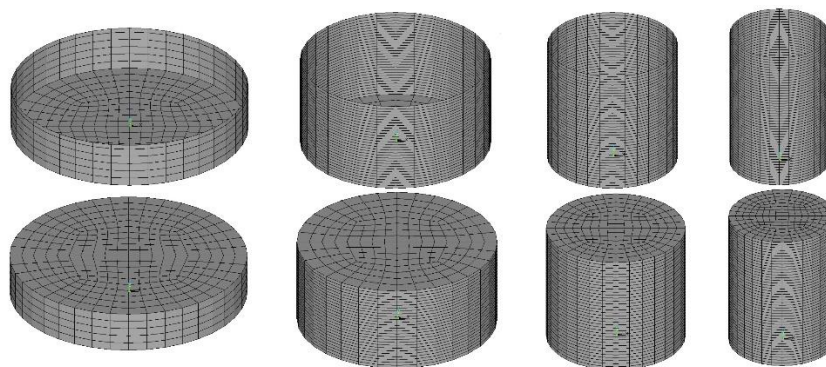
در این مطالعه تانک‌های استوانه‌ای فولادی در چهار مدل با نسبت ارتفاع به قطر مختلف که نشان دهنده‌ی تانک‌های بلند و کوتاه می‌باشد در نرم افزار ANSYS مدل‌سازی و تحلیل شدند. در تحلیل‌ها برای مدل‌سازی سازه تانک از المان پوسته SHELL181 و برای مدل‌سازی آب از المان اکوستیک FLUID30 استفاده شده است. در شکل ۱ مدل المان محدود ۴ تانک و مخزن مورد مطالعه ارائه شده است و نیز در جدول ۳ و ۴ به ترتیب مدل‌های مورد بررسی و مشخصات مادی تانک ارائه شده است. در این مطالعه از روش تحلیل دینامیکی خطی به روش تاریخچه‌ی زمانی و روش نیومارک استفاده شده است و پاسخ سازه با استفاده از روابط دینامیکی در گام‌های زمانی کوتاه محاسبه می‌گردد. رابطه اساسی حرکت که در آنالیز دینامیکی حل می‌شود در رابطه ۵ ارائه شده است. در رابطه ۵، M ، C و K به ترتیب ماتریس‌های جرم، میرایی و سختی سیستم، \ddot{u} ، \dot{u} و u بردارهای شتاب و سرعت و تغییر مکان و $F(t)$ بردار بارهای خارجی وارده بر سیستم می‌باشند. در مطالعه حاضر میرایی سازه برابر با ۲ درصد در نظر گرفته شده است و با استفاده از روش رایلی ضرایب آلفا و بتا بدست آمده و در روش تاریخچه‌ی زمانی مورد استفاده قرار گرفته است. روابط تعیین آلفا و بتای رایلی در روابط (۶) الی (۸) ارائه شده است:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F(t) \quad (5)$$

$$[C_s] = \alpha_1 [M_s] + \beta_1 [K_s] \quad (6)$$

$$\alpha_1 = 2\omega_1 \xi_1 - (\omega_1^2 \beta_1) \quad (7)$$

$$\beta_1 = 2 \frac{(\xi_1 \omega_1 - \xi_2 \omega_2)}{(\omega_1^2 - \omega_2^2)} \quad (8)$$



شکل ۱. مدل اجزا محدود مخزن و تانک برای ۴ مدل مورد مطالعه

جدول ۳. مشخصات هندسی مدل‌های مورد مطالعه

Model	Diameter (m)	Height (m)	Thickness (mm)	Ratio of height to diameter
A	6.1	1.2	9.53	0.197
B	6.1	3.05	9.53	0.5
C	6.1	6.1	9.53	1
D	6.1	9.15	9.53	1.5

جدول ۴. مشخصات مادی سیال و مخزن

Water		
Viscosity	Bulk Module	Density
1.13×10^{-3} (N.s/m ²)	2068.5 (kg/m ³)	1000 (kg/m ³)
Steel		
Poisson Ratio	Density	Module of Elasticity
0.3	7857 (kg/m ³)	200(GPa)

۴- صحت سنجی

برای صحت سنجی مدل ساخته شده نتایج حاصل از آنالیز مودال مدل مربوطه با نتایج آنالیز مودال تانک اشاره شده در مرجع [۱۵] مورد مقایسه قرار گرفته که نشان از صحت مدل ساخته شده مربوطه دارد. در ادامه در این تحقیق علاوه بر مدل صحت سنجی شده، ۳ مدل دیگر برای بررسی اثرات مخزن و نیز نسبت ارتفاع به قطر بر روی پاسخ سازه تحت اثرات زلزله‌ی میدان دور و نزدیک و توسط مولفین ساخته شدند. در جدول (۵) نتایج آنالیز مقادیر ویژه تحلیل حاضر با نتایج مقاله فوق در حالات مخزن پر و خالی ارائه شده است.

جدول ۵. مقایسه نتایج آنالیز مقادیر ویژه تحلیل با نتایج مرجع [۱۵]

Empty Tank		Full Tank	
Reference [15]	Present study	Reference [15]	Present study
10.353	10.67	3.27	3.34

۵- اندرکنش سازه وسیال

معادله‌ی حاکم بر توزیع فشار هیدرودینامیکی در محیط سیال، معادله‌ی هلمهولتز می‌باشد:

$$\nabla^2 P = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (9)$$

این رابطه با ساده‌سازی معادله‌ی ناویه-استوکس با فرض جابجایی‌های کوچک سیال، غیرلزج بودن آن، استفاده از قوانین تجربی هوک و صرفنظر از تغییرات زمانی و مکانی دانسیته جرمی آب، حاصل شده است. در این رابطه: ρ دانسیته سیال، P فشار سیال، C سرعت صوت در سیال می‌باشد. در حل معادله‌ی فوق از شرایط مرزی زیر استفاده شده است:

$$P=0 \quad \text{در سطح آزاد}$$

$$\rho \bar{a}_{ns} = -\frac{\partial P}{\partial n} \quad \text{در مرزهای جامد}$$

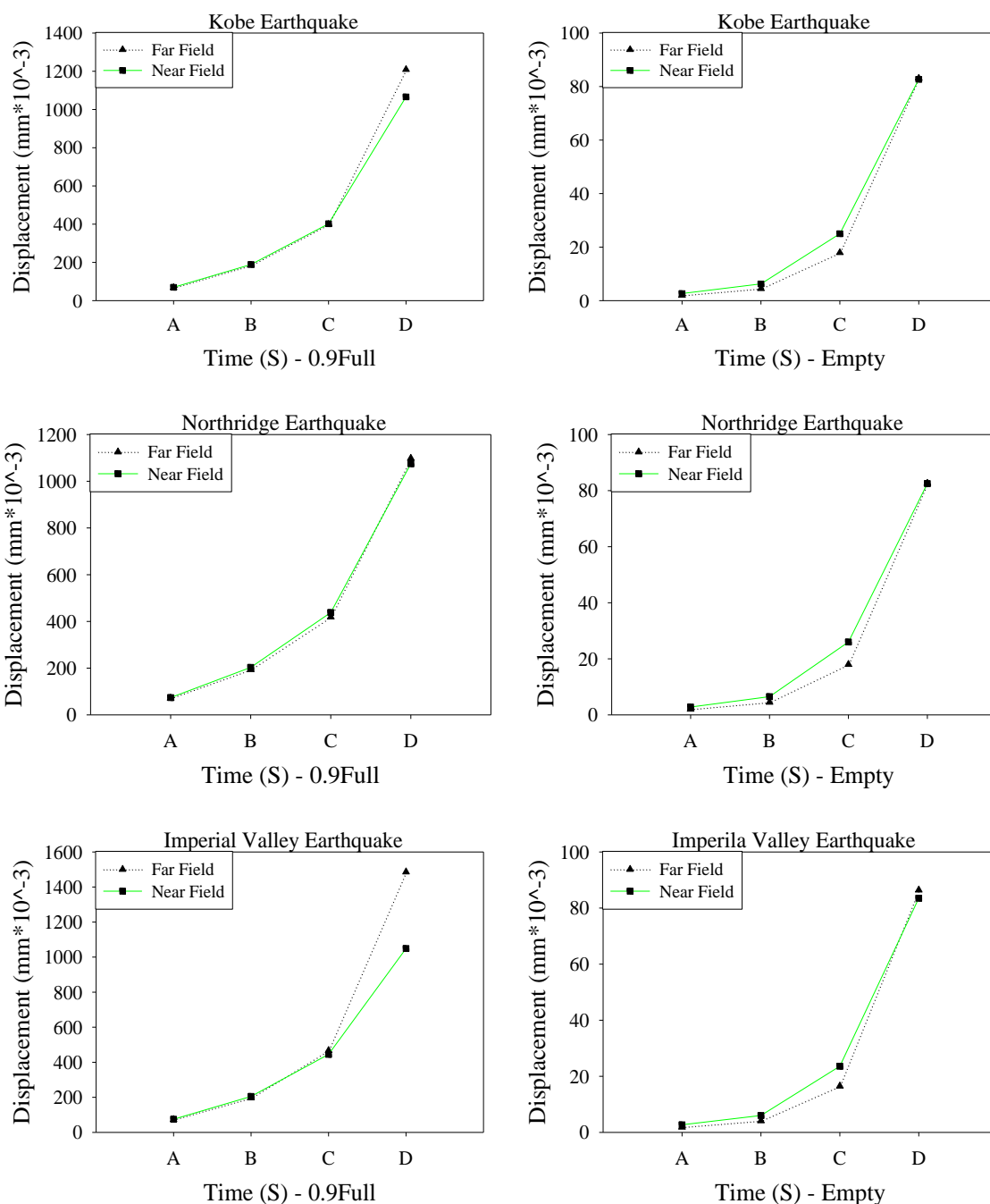
n و \bar{a}_{ns} شتاب سازه نرمال بر مرز و بردار نرمال مرز می‌باشند.

۶- نتایج عددی

در این قسمت نتایج آنالیز عددی برای هر چهار تانک مورد مطالعه در حالات تانک خالی و تانک ۹۰ درصد پر تحت اثر ۳ زلزله‌ی میدان نزدیک و ۳ زلزله‌ی میدان دور که به بیشینه شتاب ۰/۵g مقیاس شده‌اند ارائه شده است. در جداول ۶، ۷ و ۸ به ترتیب مقادیر ماکزیمم تغییرمکان‌ها و تنش‌ها و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی ارائه شده است. با توجه به جدول ۶ و شکل شماره ۲ مشخص می‌شود که در حالات تانک خالی با افزایش نسبت ارتفاع به قطر تانک مقادیر نسبت ماکزیمم تغییرمکان‌های افقی زلزله‌ی میدان دور به زلزله‌ی میدان نزدیک تغییر می‌کند به ترتیبی که تا نسبت ارتفاع به قطر ۱ مقدار ماکزیمم تغییرمکان در زلزله‌ی میدان نزدیک بیش‌تر از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد اما با افزایش این نسبت و برای مدل D با نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵ مقدار تغییرمکان زلزله‌ی میدان دور به ماکزیمم تغییرمکان افقی زلزله‌ی میدان نزدیک می‌رسد و حتی کمی بیش‌تر از آن می‌گردد که نشانگر اهمیت نوع زلزله و محتوای فرکانسی زلزله علاوه بر بیشینه شتاب زلزله می‌باشد. مقادیر نسبت ماکزیمم تغییرمکان افقی در زلزله‌ی میدان نزدیک نسبت به زلزله‌ی میدان دور برای مدل‌های A تا D و زلزله‌ی کوبه ترتیب برابر با ۱/۳۴، ۱/۴، ۱/۴ و ۰/۹۹، برای زلزله‌ی نورث‌ریج به ترتیب برابر با ۱/۳۷، ۱/۴۵، ۱/۴۵ و ۱/۴۵ و برای زلزله‌ی امپریال والی به ترتیب برابر با ۱/۴۴، ۱/۴۶، ۱/۴۳ و ۰/۹۷ می‌باشد. برای حالاتی که تانک پر می‌باشد مطابق حالات خالی مخزن با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه مقادیر ماکزیمم تغییرمکان افقی در حالت تحلیل با زلزله‌ی میدان دور به مقادیر ماکزیمم تغییرمکان زلزله‌ی میدان نزدیک، نزدیک می‌گردد و برای نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵ مقدار این تغییرمکان برای زلزله‌ی میدان دور بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌گردد. مقادیر نسبت تغییرمکان ماکزیمم زلزله‌ی میدان نزدیک به زلزله‌ی میدان دور برای مدل‌های A تا D و حالات پر برای زلزله‌ی کوبه به ترتیب برابر با ۱/۰۲، ۱/۰۲، ۱/۰۱ و ۰/۸۸، زلزله‌ی نورث‌ریج به ترتیب برابر با ۱/۰۳، ۱/۰۴، ۱/۰۴ و ۱/۰۴ و برای زلزله‌ی امپریال والی به ترتیب برابر با ۱/۰۲، ۱/۰۴، ۱/۰۴ و ۰/۹۵ و ۰/۷۱ می‌باشد. نتایج تغییرمکان‌های ارائه شده نشان از تاثیرات قابل توجه آب داخل تانک و نیز نسبت ارتفاع به قطر سازه دارد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که در تمامی حالات مورد مطالعه با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه به میزان ۱/۵ مقادیر ماکزیمم تغییرمکان برای زلزله‌ی میدان دور بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌گردد که اهمیت در نظر گرفتن زلزله‌های میدان دور علاوه بر زلزله‌های میدان نزدیک در آنالیز این سازه‌ها را نشان می‌دهد.

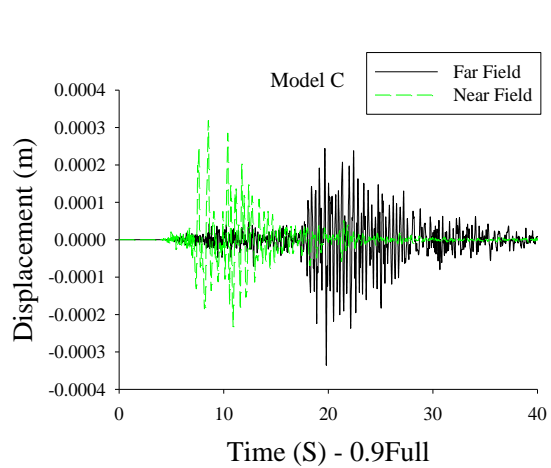
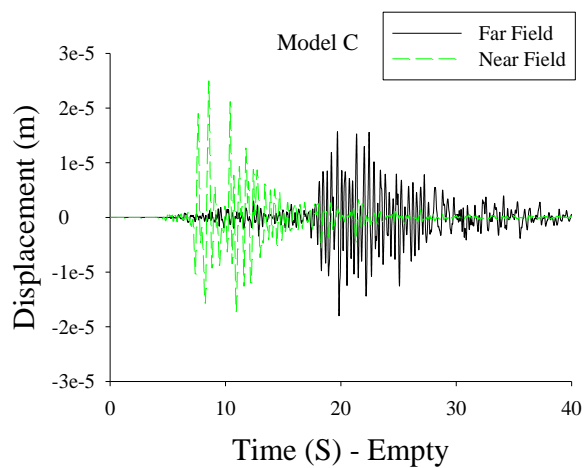
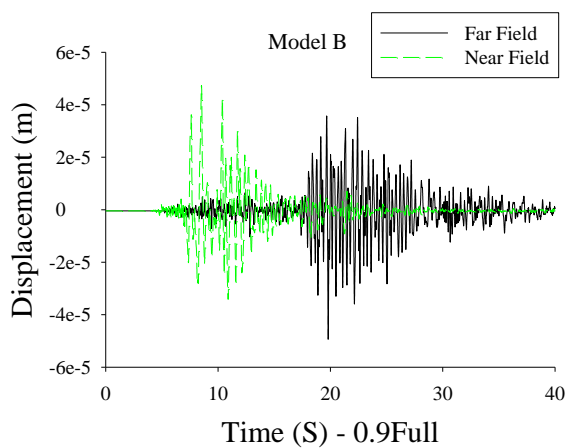
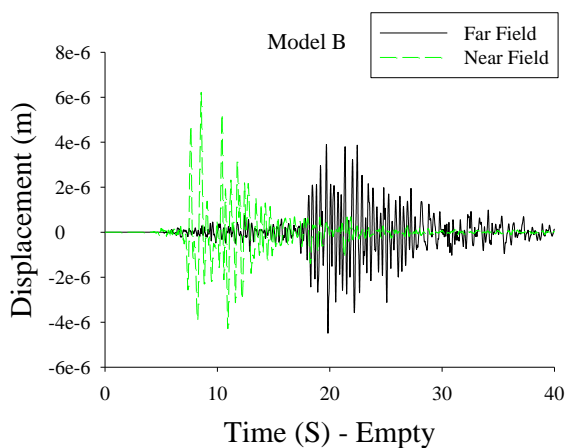
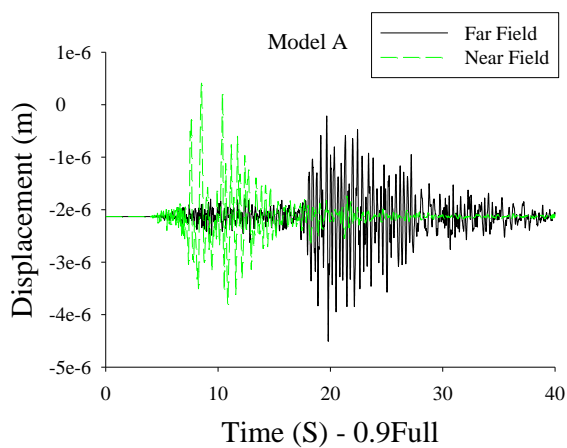
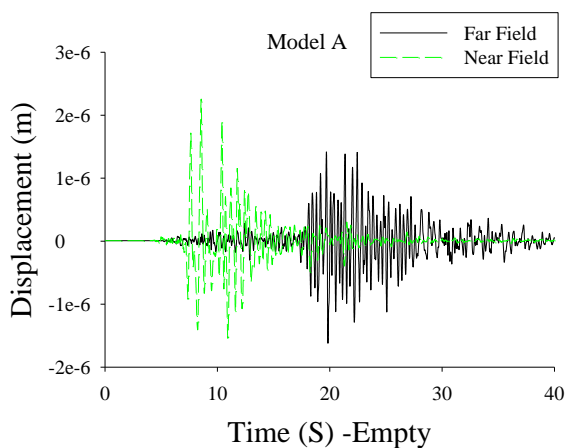
جدول ۶. ماکزیمم تغییر مکان تانک در حالات خالی و پر برای زلزله‌های مورد مطالعه ($mm \cdot 10^{-3}$)

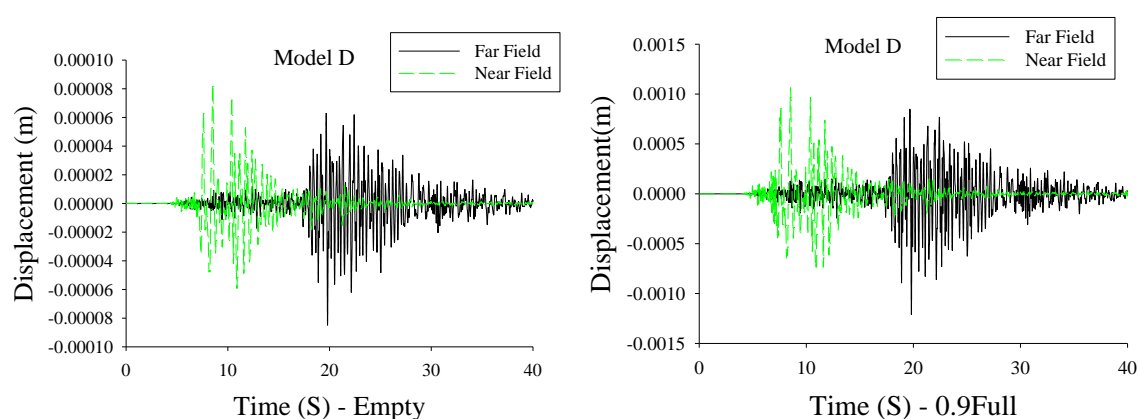
Model	Earthquake	Empty Tank			Full Tank		
		Ux	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz
A	Kobeh(FAR)	1.97	1.83	0.411	67.9	65.2	3.82
	Kobeh(Near)	2.64	2.32	0.463	69.4	65.3	4.00
	Northridge (FAR)	2.02	1.35	0.413	71.6	59.3	4.04
	Northridge(NEAR)	1.87	2.78	0.494	63.0	73.9	4.23
	Imperial Valley(Far)	1.41	1.87	0.405	63.0	73.1	4.11
	Imperial Valley(Near)	2.45	2.69	0.489	74.6	70.8	4.28
B	Kobeh(FAR)	4.47	3.98	2.49	185	178	30.2
	Kobeh(Near)	6.24	5.07	2.73	189	181	31.4
	Northridge (FAR)	4.50	2.69	2.47	194	162	31.6
	Northridge(NEAR)	4.10	6.51	2.89	174	203	33.2
	Imperial Valley(Far)	2.89	4.13	2.44	173	197	32.5
	Imperial Valley(Near)	5.60	6.01	2.83	205	194	33.6
C	Kobeh(FAR)	17.9	15.8	10.8	399	384	145
	Kobeh(Near)	2.05	25	6.43	402	397	146
	Northridge (FAR)	18	10.4	10.8	419	352	152
	Northridge(NEAR)	16.4	26	12.9	379	438	155
	Imperial Valley(Far)	12.2	16.5	10.6	393	467	170
	Imperial Valley(Near)	22.5	23.6	12.8	445	428	160
D	Kobeh(FAR)	83.1	63.6	33	1209	928	419
	Kobeh(Near)	3.96	82.7	20	1066	835	407
	Northridge (FAR)	82.6	4.61	34.6	1098	753	441
	Northridge(NEAR)	55.1	82.5	35.2	719	1075	404
	Imperial Valley(Far)	59.7	86.4	35.6	1187	1486	531
	Imperial Valley(Near)	83.5	7.8	37.2	1049	1006	430



شکل ۲. روند تغییرات ماکزیمم تغییرمکان افقی برای تانک‌های مورد مطالعه و زلزله‌های مدنظر

در ادامه در شکل ۳ تاریخچه‌ی زمانی تغییرمکان بالای تانک در حالات خالی و پر و مدل‌های A تا D و برای زلزله کوبه ارائه شده است که به خوبی نشانگر افزایش ماکزیمم تغییرمکان زلزله‌ی میدان دور با افزایش نسبت ارتفاع به قطر و نیز افزوده شدن آب دارد. نمودارهای ارائه شده در شکل ۳ مقادیر تغییرمکان افقی بالای تانک در راستای X منطبق بر راستای X برای حالات تانک پر و خالی بوده و جهت مقایسه تاریخچه زمانی تغییرمکان بالای مخازن فولادی ارائه شده است. با توجه به جدول ۶ و نمودارهای مربوطه مشخص می‌گردد که در اکثر موارد مقادیر ماکزیمم تغییرمکان برای زلزله‌ی میدان نزدیک بیشتر از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد و با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه و نیز افزوده شدن آب به مخزن در برخی از مدل‌ها شاهد افزایش مقدار ماکزیمم تغییرمکان زلزله‌ی میدان دور نسبت به زلزله‌ی میدان نزدیک می‌باشیم که نشان از اهمیت نوع زلزله و محتوای فرکانس زلزله در پاسخ سازه می‌باشد.





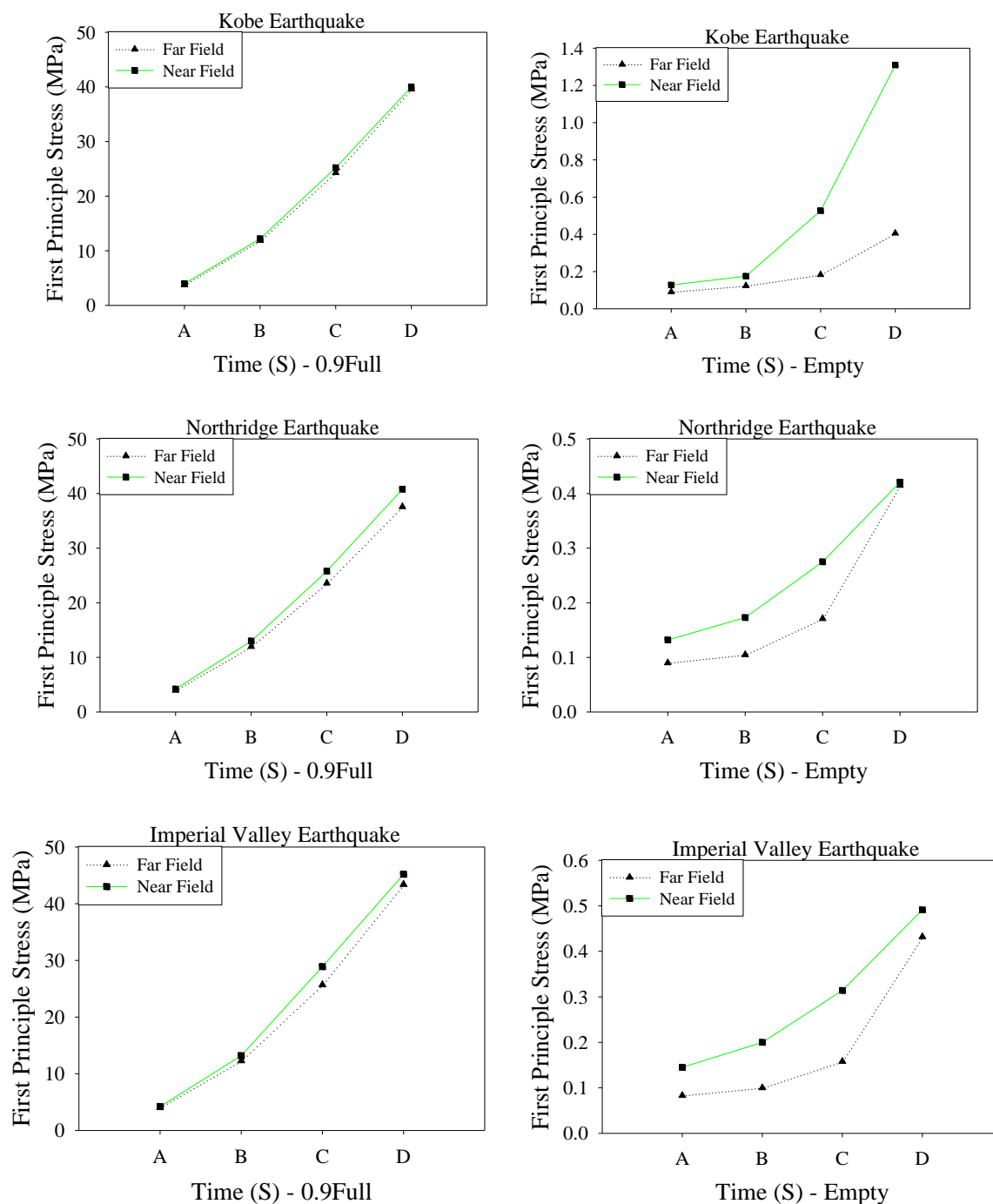
شکل ۳. تاریخچه زمانی تغییر مکان بالای تانک در حالات خالی و پر و برای زلزله کوبه

همانطوریکه که در بالا ذکر شد در جدول ۷ نتایج ماکزیمم تنش‌های اصلی برای تانک‌های مورد مطالعه و زلزله‌های اعمالی ارائه شده است. با توجه به جدول مزبور و نیز شکل ۴ مشخص می‌شود که برای حالات خالی تانک در تمامی موارد مقدار ماکزیمم تنش اصلی اول برای زلزله‌ی میدان نزدیک بیش‌تر از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد. در حالت تحلیل تانک خالی به جز زلزله‌ی کوبه که با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه مقادیر نسبت ماکزیمم تنش اصلی اول در زلزله‌ی میدان نزدیک نسبت به زلزله میدان دور بیش‌تر می‌شود در بقیه موارد با افزایش نسبت ارتفاع به قطر بیش از یک، مقدار اختلاف این دو پارامتر بصورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به جدول ۷ مشخص می‌شود که مقادیر نسبت ماکزیمم تنش اصلی اول زلزله‌ی میدان نزدیک نسبت به زلزله‌ی میدان دور و مدل‌های A تا D برای زلزله‌ی کوبه به ترتیب برابر با ۱/۴۰، ۱/۴۱، ۲/۸۸ و ۳/۲۲، برای زلزله‌ی نورتریج به ترتیب برابر با ۱/۴۷، ۱/۶۵، ۱/۶۱ و ۱/۰۱ و برای زلزله‌ی امپریال والی به ترتیب برابر با ۱/۷۵، ۲، ۱/۹۹ و ۱/۰۹ می‌باشد. همچنین با توجه به جدول ۷ و شکل ۴ مشخص می‌شود که با افزوده شدن آب به مدل‌های مورد بررسی میزان اثرات زلزله‌ی میدان دور بر پاسخ تنش اصلی اول سازه به میزان قابل ملاحظه‌ای به ماکزیمم تنش اصلی اول در زلزله‌ی میدان نزدیک، نزدیک می‌گردد. مقادیر نسبت ماکزیمم تنش اصلی اول برای زلزله‌ی میدان نزدیک نسبت به زلزله‌ی میدان دور برای تانک با ۹۰ درصد آب و مدل‌های A تا D در زلزله‌ی کوبه به ترتیب برابر با ۱/۰۴، ۱/۰۲، ۱/۰۴ و ۱/۰۱، در زلزله نورتریج به ترتیب برابر با ۱/۰۶، ۱/۰۸، ۱/۰۹ و ۱/۰۸ و در زلزله‌ی امپریال والی به ترتیب برابر با ۱/۰۳، ۱/۰۷، ۱/۱۲ و ۱/۰۴ می‌باشد که نشان از تاثیرات قابل ملاحظه حضور آب بر روند اثرات زلزله‌ی میدان دور بر پاسخ‌ها دارد. در شکل ۵ و ۶ مقادیر پوش تنش اصلی اول به ترتیب برای حالات خالی و پر تانک و زلزله‌ی کوبه ارائه شده است.

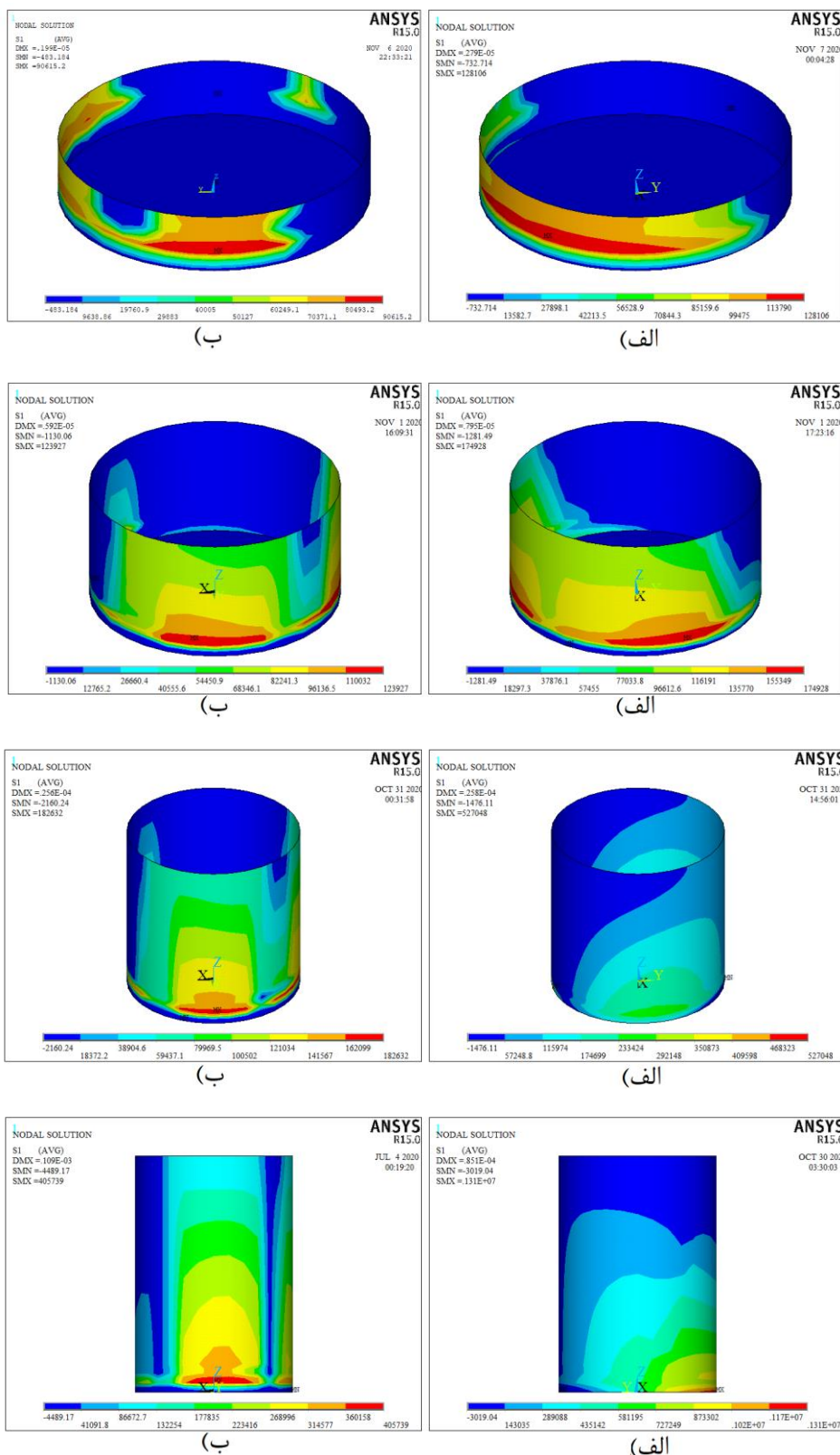
جدول ۷ ماکزیمم مقدار تنش‌های اصلی برای حالات خالی و پر تانک

Model	Earthquake	Empty Tank		Full Tank	
		S1(MPa)	S3(MPa)	S1(MPa)	S3(MPa)
A	Kobeh(FAR)	0.091	0.163	3.78	1.99
	Kobeh(Near)	0.128	0.182	3.96	2.08
	Northridge (FAR)	0.090	0.153	3.99	2.08
	Northridge(NEAR)	0.132	0.190	4.21	2.20
	Imperial Valley(Far)	0.083	0.152	4.07	2.13
	Imperial Valley(Near)	0.145	0.201	4.21	2.20
B	Kobeh(FAR)	0.124	0.50	11.90	11.60
	Kobeh(Near)	0.175	0.563	12.20	12.00
	Northridge (FAR)	0.105	0.476	12.00	11.90
	Northridge(NEAR)	0.173	0.591	13.00	12.70
	Imperial Valley(Far)	0.100	0.471	12.30	12.30
	Imperial Valley(Near)	0.200	0.615	13.20	12.90
C	Kobeh(FAR)	0.183	1.03	24.30	21.80
	Kobeh(Near)	0.527	0.715	25.20	21.70
	Northridge (FAR)	0.171	1.01	23.60	22.10

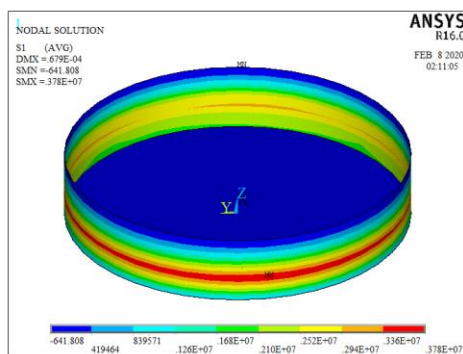
D	Northridge(NEAR)	0.275	1.27	25.80	22.80
	Imperial Valley(Far)	0.158	0.985	25.70	24.70
	Imperial Valley(Near)	0.314	1.31	28.90	23.80
	Kobeh(FAR)	0.406	2.25	39.60	37.80
	Kobeh(Near)	1.31	1.43	40.00	36.50
	Northridge (FAR)	0.415	2.25	37.60	38.60
	Northridge(NEAR)	0.421	2.30	40.80	35.80
	Imperial Valley(Far)	0.432	2.36	43.40	46.00
	Imperial Valley(Near)	0.491	2.57	45.2	38.8



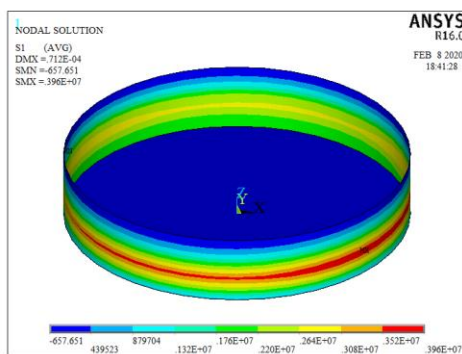
شکل ۴. روند تغییرات ماکزیمم تنش اصلی اول برای تانک‌های مورد مطالعه و زلزله‌های مدنظر



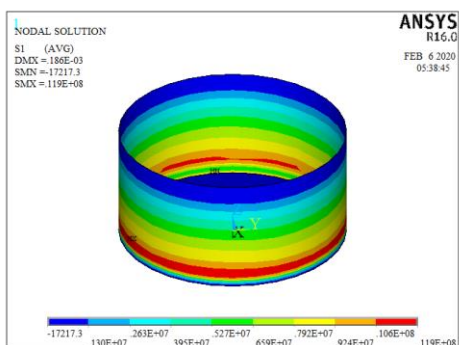
شکل ۵. پوش تنش اصلی اول برای زلزله کوبه در حالات تانک خالی. (الف) میدان نزدیک، (ب) میدان دور



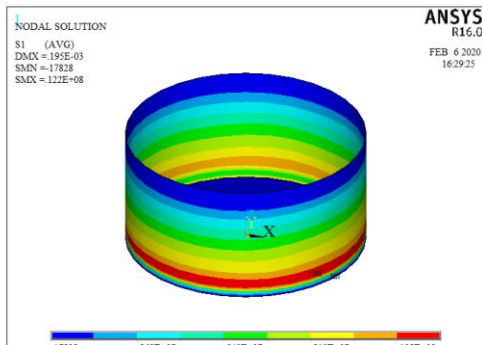
(ب)



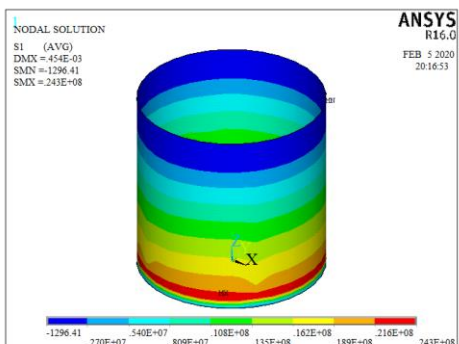
(ف)



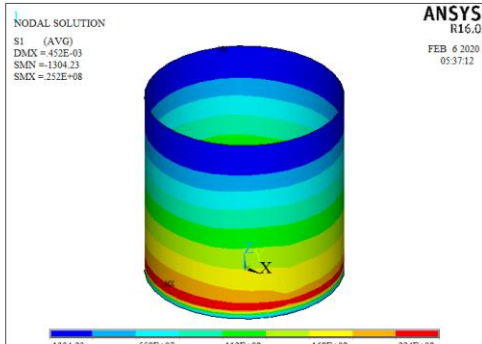
(ب)



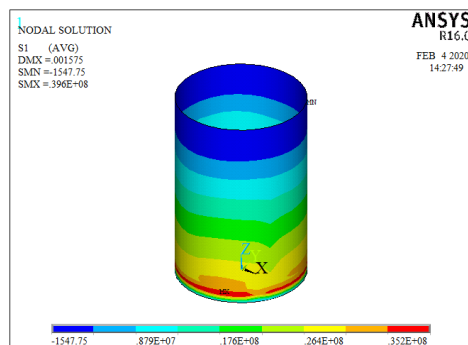
(ف)



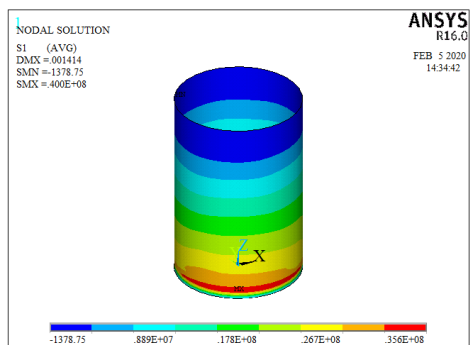
(ب)



(ف)



(ب)



(ف)

شکل ۶. پوش تنش اصلی اول برای زلزله کوبه در حالات تانک پر. الف) میدان نزدیک، ب) میدان دور

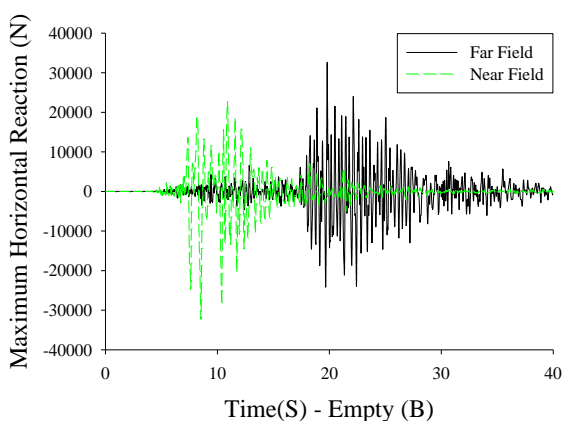
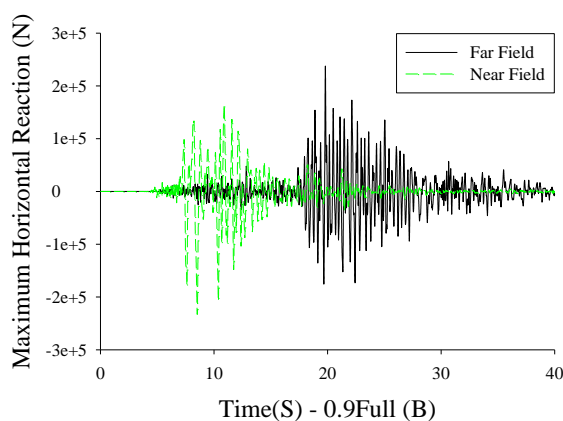
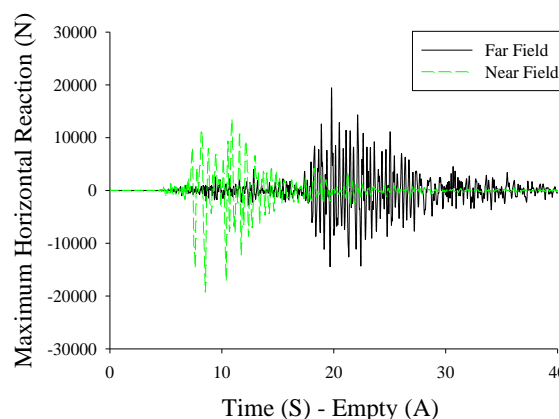
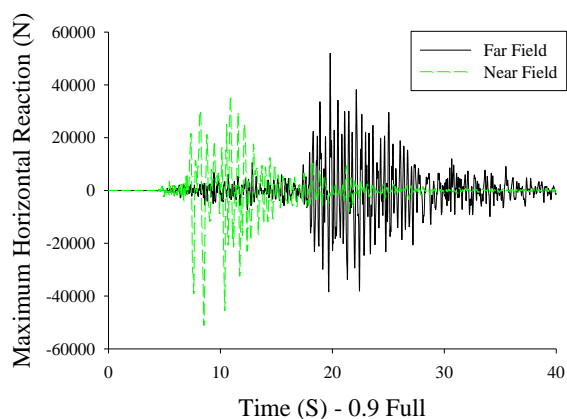
در جدول ۸ مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی ارائه شده است، با توجه به جدول مزبور مشخص می‌شود که برای حالت تانک خالی مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در راستای افقی برای زلزله‌های میدان دور و نزدیک و مدل‌های A تا C تقریباً برابر بوده اما برای مدل D و زلزله‌های کوبه و امپریال والی برای حالت زلزله‌ی میدان دور کمی بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌باشد. همچنین برای تمامی حالات به غیر از زلزله‌ی کوبه در مدل C و D، مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی قائم زلزله‌ی میدان نزدیک بیش از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد. در حالت تانک با ۹۰ درصد پر برای مدل A تقریباً تمامی مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در هر ۶ زلزله‌ی مورد بررسی برابر می‌باشد اما با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در حالت تحلیل با زلزله‌ی میدان دور بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌باشد. همچنین مقدار ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در راستای قائم و در حالت تانک با ۹۰ درصد برای زلزله‌های میدان نزدیک بیش‌تر از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد. موارد بالا حاکی از تأثیرات حضور آب در پاسخ سازه دارد و نشان‌دهنده این است که علاوه بر دور با نزدیک بودن زلزله پارامتر مهم دیگر تعیین‌کننده پاسخ سازه حضور و یا عدم حضور سیال می‌باشد.

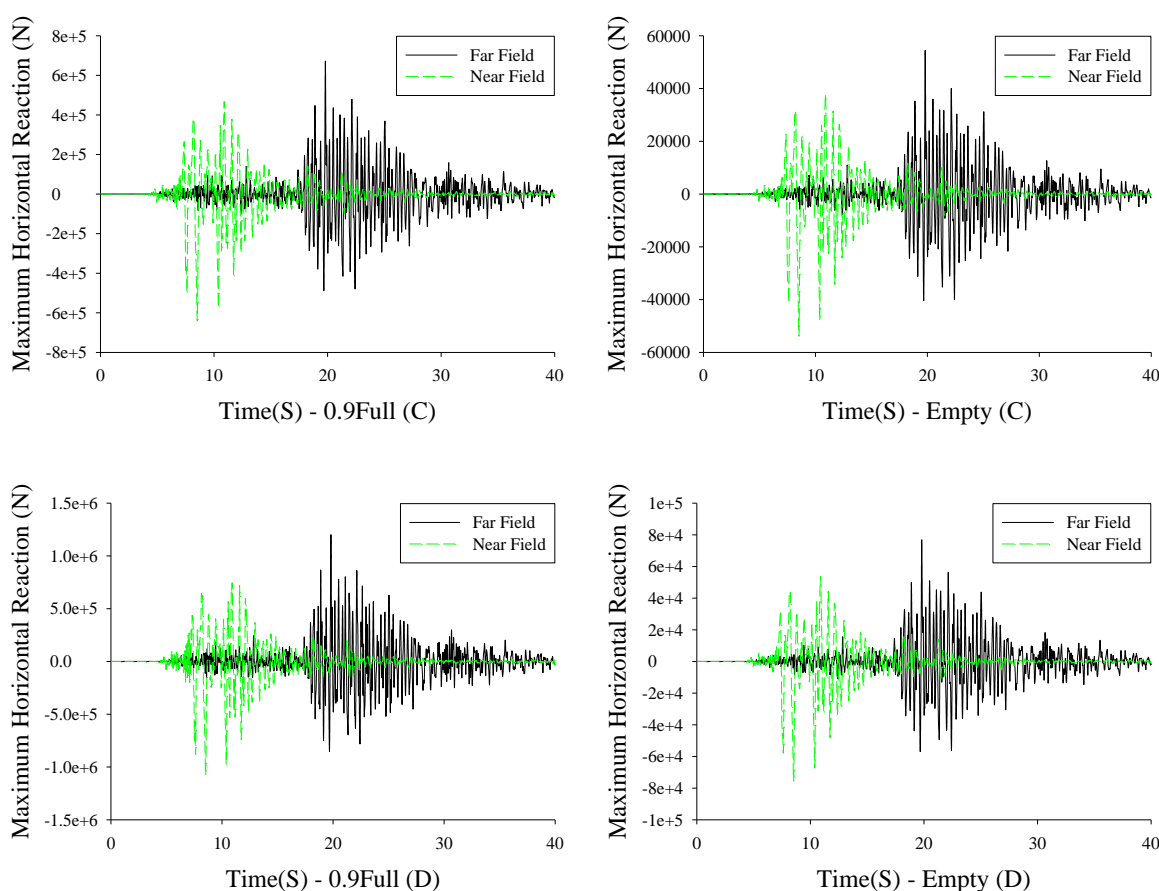
جدول ۸. مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در راستای افقی و قائم

Model	Earthquake	Empty Tank			Full Tank		
		Rx(KN)	Ry(KN)	Rz(KN)	Rx(KN)	Ry(KN)	Rz(KN)
A	Kobeh(FAR)	19.13	14.53	43.60	51.08	38.62	394/80
	Kobeh(Near)	19.13	14.45	46.00	50.84	38.40	417.01
	Northridge (FAR)	19.13	10.56	42.00	50.65	27.93	380.00
	Northridge(NEAR)	12.74	19.13	48.60	33.94	50.88	441.00
	Imperial Valley(Far)	13.77	19.13	44.86	37.20	50.70	407.00
	Imperial Valley(Near)	19.13	17.98	53.27	50.86	47.92	484.24
B	Kobeh(FAR)	32.10	18.29	73.13	233.33	179.12	966.15
	Kobeh(Near)	32.09	24.25	77.24	231.80	174.70	1018.93
	Northridge (FAR)	32.10	16.28	70.42	231.38	128.11	929.75
	Northridge(NEAR)	21.38	32.10	81.60	154.35	230.76	1081.54
	Imperial Valley(Far)	23.12	32.11	75.28	166.08	242.14	1004.77
	Imperial Valley(Near)	32.10	30.17	89.40	233.80	217.31	1202.16
C	Kobeh(FAR)	53.55	40.70	121.97	654.47	498.14	1915.26
	Kobeh(Near)	53.53	40.15	107.06	634.16	474.94	2009.37
	Northridge (FAR)	53.56	29.55	117.44	655.00	381.87	1832.56
	Northridge(NEAR)	35.67	53.54	136.04	426.49	643.68	2216.29
	Imperial Valley(Far)	38.59	53.57	125.55	537.90	756.55	1986.77
	Imperial Valley(Near)	53.54	50.34	149.11	637.38	607.10	2455.60
D	Kobeh(FAR)	756.50	575.84	170.79	1178.37	905.09	2859.63
	Kobeh(Near)	752.17	564.13	149.92	1071.30	829.23	3019.53

Northridge (FAR)	748.63	414.26	164.42	1235.23	724.01	2772.14
Northridge(NEAR)	500.49	749.90	190.78	724.55	1082.62	3329.63
Imperial Valley(Far)	538.85	772.52	176.01	1371.85	1071.25	3110.35
Imperial Valley(Near)	754.83	706.50	209.25	1050.79	1009.40	3513.49

در شکل ۷ تاریخچه زمانی ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی برای زلزله‌ی میدان دور و نزدیک کوبه ارائه شده است. با توجه به نمودارهای شکل ۷ و جدول ۸ مشخص می‌شود که برای نسبت‌های کم تر از ۱ و بدون حضور آب مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی برای زلزله-های میدان دور و نزدیک یکسان می‌باشد اما با افزایش این نسبت به بیش از ۱ و نیز افزوده شدن آب به مخازن شاهد رفتاری هستیم که تاثیرات زلزله‌ی میدان دور بر روی ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی بیش از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌گردد که نشانگر اهمیت پارامترهای فرکانس زلزله حضور آب و نیز نسبت ارتفاع به قطر سازه می‌باشد.





شکل ۷. تاریخچه زمانی ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی افقی برای زلزله کوبه

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه جهت بررسی بهتر رفتار لرزه‌ای تانک‌های استوانه‌ای فولادی، تانک‌های مزبور با نسبت ارتفاع به قطر متغیر تحت اثر زلزله‌های میدان دور و نزدیک که به بیشینه شتاب $0.5g$ مقیاس شده اند مورد بررسی قرار گرفتند.

✓ نتایج نشان داد که در حالات خالی تانک تا نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۱ مقدار ماکزیمم تغییرمکان افقی در زلزله‌ی میدان نزدیک بیش از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد اما با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه به بیش از ۱، مقادیر ماکزیمم تغییرمکان افقی در زلزله‌ی میدان دور به زلزله‌ی میدان نزدیک، نزدیک‌تر می‌گردد. با افزوده شدن آب به تانک مقادیر ماکزیمم تغییرمکان افقی تا نسبت ارتفاع به قطر ۱ برای زلزله‌ی میدان دور و نزدیک تفاوت چندانی با هم ندارند اما با افزایش این نسبت به بیش از ۱ مقدار تغییرمکان در زلزله‌ی میدان دور بیش از زلزله‌ی میدان نزدیک شده است که نشان از اهمیت نسبت ارتفاع به قطر سازه و نیز افزوده شدن آب دارد.

✓ مقادیر تنش اصلی اول برای دو زلزله‌ی نورث‌ریچ و امپریال والی در حالات تانک خالی برای نسبت ارتفاع به قطر سازه کمتر از ۱ برای زلزله‌ی میدان نزدیک بیش از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد اما با افزایش این نسبت به بیش از ۱ این مقادیر خیلی به هم نزدیک می‌گردد. اما برای زلزله‌ی کوبه مقدار نسبت تنش اصلی اول در زلزله‌ی میدان دور نسبت به زلزله‌ی میدان نزدیک با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه کاهش می‌یابد. در حالات تانک پر مقادیر تنش اصلی اول در هر سه زلزله‌ی مورد بررسی و تمامی مدل‌ها هرچند برای زلزله‌ی میدان نزدیک بیش از زلزله‌ی میدان دور می‌باشد ولی اختلاف آن‌ها با یکدیگر کم بوده و می‌توان گفت که با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه مقدار این اختلاف کم‌تر می‌گردد.

✓ برای حالت تانک خالی مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در راستای افقی برای مدل‌های مورد بررسی تا نسبت ارتفاع به قطر ۱ تقریباً برابر بوده اما برای مدل با نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵ و زلزله‌های کوبه و امپریال والی در حالت زلزله‌ی میدان دور مقدار کمی بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌باشد. در حالت تانک با ۹۰ رفته رفته و با افزایش نسبت ارتفاع به قطر سازه مقادیر ماکزیمم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در حالت تحلیل با زلزله‌ی میدان دور بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌گردد که نشان از تاثیرات نسبت ارتفاع به قطر سازه و نیز حضور یا عدم حضور سیال دارد.

✓ در نهایت فارغ از نوع زلزله حضور آب در مخزن سبب تاثیرات قابل توجهی بر رفتار و پاسخ سازه می‌گردد. برای زلزله میدان دور با حضور آب علاوه بر این که مقادیر پاسخ‌ها نسبت به حالات خالی مخزن افزایش می‌یابد همچنین در برخی موارد هر چند که زلزله‌های دور و نزدیک به مقدار یکسان $g/0.5$ اسکیل شده اند مقدار تغییرمکان برای زلزله‌ی میدان دور بیش‌تر از زلزله‌ی میدان نزدیک می‌گردد که اهمیت محتوای فرکانسی زلزله و بررسی مخازن تحت اثر زلزله‌ی میدان دور و نزدیک را بطور همزمان نشان می‌دهد.

✓ نتایج نشان از تاثیرات قابل توجه فرکانس زلزله‌ها، مشخصات هندسی تانک‌های فولادی و حضور آب در عملکرد لرزه‌ای تانک‌های فولادی دارد. همچنین نتایج نشان داد که برای بررسی بهتر این سازه‌ها، انتخاب نوع رکوردهای مدنظر برای آنالیز لرزه‌ای بسیار حائز اهمیت بوده و در آنالیزها علاوه بر زلزله‌های میدان نزدیک بایستی زلزله‌های میدان دور نیز مورد توجه و بررسی قرار گیرند.

مراجع

- [1] A. Rawat, V. Matsagar and A. K. Nagpal. (2020). "Seismic Analysis of Steel Cylindrical Liquid Storage Tank Using Coupled Acoustic-Structural Finite Element Method For Fluid-Structure Interaction" International Journal of Acoustics and Vibration. 25(1). 27-40.
- [2] H. Akatsuka, H. Kobayashi. (2008). "Fire of petroleum tank, etc. by Niigata earthquake, in, Failure Knowledge Database", Japan Science and Technology Agency.
- [3] G.W. Housner. (1963). "The dynamic behavior of water tanks", Bulletin of the seismological society of America. 53(2).381-387.
- [4] N.W. Edwards. (1969). "A procedure for the dynamic analysis of thin walled cylindrical liquid storage tanks subjected to lateral ground motions", in, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- [5] N.M. Newmark, E. (1971). "Rosenblueth, Fundamentals of earthquake engineering", Prentice-Hall Civil engineering and engineering mechanics series, 12.
- [6] J.Y. Yang. (1976). "Dynamic behavior of fluid-tank systems", in: Civil and Environmental Engineering Rice University, Houston, Texas, USA.
- [7] A.S. Veletsos, J. Auyang.(1977). "Earthquake response of liquid storage tanks, in: Advances in Civil Engineering through Engineering Mechanics", ASCE.1-24.
- [8] A.S. Veletsos, A. Kumar. (1984). "Dynamic response of vertically excited liquid storage tanks, in: Proceedings of the eighth world conference on earthquake engineering", San Francisco, California, USA. 453-459.
- [9] F.H. Hamdan.(2000). "Seismic behaviour of cylindrical steel liquid storage tanks", Journal of Constructional Steel Research. 53. 307-333.
- [10] E.C.f. Standardization.(2006). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, in: Part 4: Silos, tanks and pipelines EN 1998.
- [11] J.C. Virella, L.A. Godoy, L.E. Suárez, (2006). "Fundamental modes of tank-liquid systems under horizontal motions", Engineering Structures. 28(10). 1450-1461.
- [12] R.O. Ruiz, D. Lopez-Garcia, A.A. Taflanidis, (2015). "An efficient computational procedure for the dynamic analysis of liquid storage tanks", Engineering Structures. 85. 206-218.
- [13] Bagheri, S. and M. Farajian(2016). "The effects of input earthquake characteristics on the nonlinear dynamic behavior of FPS isolated liquid storage tanks", Journal of Vibration and Control. 24(7). 1-19.
- [14] Ruiza,R.O, Lopez-Garciaa, b, D , Taflanidisb, A.A.(2015). "An efficient computational procedure for the dynamic analysis of liquid storage tanks", Engineering Structures. 85. 206-218
- [15] Sukhvarsh Jerath and Mark Lee(2015)." Stability Analysis of Cylindrical Tanks under Static and Earthquake Loading". Journal of Civil Engineering and Architecture.9. 72-79.

- [16] L. Kalani Sarokolayi¹, B. Navayineya², M. Hosainlibegi², J. Vaseghi Amiri³. (2008). "Dynamic analysis of water tanks with interaction between fluid and structure". The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China
- [17] Shekari, M.R., Khaji, N., Ahmadi M.T. (2010). "On the seismic behavior of cylindrical base-isolated liquid storage tanks excited by long-period ground motions", Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 30(10). 968-980
- [18] Teymoori, E., Abbasi, S., Moradloo, J. (2018). "Seismic Analysis of Cylindrical Ground Liquid Storage Tanks Incorporating the Effects of Rotational Components of Earthquake" Modares Civil Engineering Journal. 18(4). 251-264. (in Persian)
- [19] Tajdaran, A., Sadag, M.H. (2018). "Effect of Geometric Parameters on Elastoplastic Buckling of Ground Cylindrical Steel Tanks with Regard to the Fluid and Structure Interaction" Journal of Structural and Construction Engineering. 6(4). 143-161.
- [20] Wilson, R.C., Keefer, D.K. (1985). "Predicting areal limits of earthquake-induced landsliding in Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region" *Earth Science Perspective*, J.I. Ziony (Editor): U.S. Geological Survey Professional Paper 1360. 317-345.
- [21] Zhang, S.H., Wang, G. (2013). "Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams", Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 53. 217-229.
- [22] Copra, A. K., Chintanapakdee, C. (2001). "Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 30(12). 1769-89.
- [23] Mavroeidis, G. P., Papageorgiou, A. S. (2003). "A mathematical representation of near-fault ground motions". Bulletin of the Seismological Society of America. 93(3). 1099-1131.
- [24] Wang, G. Q., Zhou, X. Y., Zhang, P. Z., and Igel, H. (2002). "Characteristics of amplitude and duration for near-fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake" Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 22(1). 73-96.
- [25] Somerville, P. G. (2003). "Magnitude scaling of the near-fault rupture directivity pulse," Physics of the Earth and Planetary Interiors. 137(1). 201-2012.
- [26] Maniatakis, CH. A., Taflampas, I. M., and Spyrakos, C. C. (2008). "Identification of Near-Fault Earthquake Record Characteristics", 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12-17 October.
- [27] Akköse, M., Şimşek, E. (2010). "Non-linear seismic response of concrete gravity dams to near-fault ground motions including dam-water-sediment-foundation interaction", Applied Mathematical Modelling. 34(11). 3685-3700.
- [28] Wang, G., Zhang, S.H., Wang, CH., Yu, M. (2014). "Seismic performance evaluation of dam-reservoir-foundation systems to near-fault ground motions". Natural Hazard. 72. 651-674.
- [29] Jadhav, M.B.; Jangid, R.S. (2006). "Response of base-isolated liquid storage tanks to near-fault motions". Structural Engineering and Mechanics. 23(6). 615-634
- [30] Gorai, S., Maity, D. (2019). "Seismic response of concrete gravity dams under near field and far field ground motions", Engineering Structures. 196. 1-16.
- [31] Naeim, F. (2001). "The Seismic Design Handbook". 2th ed, Kluwer Academic Publishers.