بررسی تأثیر ضخامت جداره مخازن روزمینی فولادی استوانه‌ای بر رفتار لرزه‌ای در دو حالت مهار شده و مهار نشده

سید مهدی هاشمی سهی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران
Mahdi.hashemi.sohi@gmail.com

سید صادق ناصر علوی
استادیار، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، کرمان، ایران
ss.naseralavi@vru.ac.ir

کلید واژه‌ها: *آنالیز لرزه ای، مخازن فولادی، اندرکنش سیال و سازه، مرزهای جاذب، مدل دراگر پراگر*

چکیده

اطمینان از عملکرد رضایت بخش مخازن نگهداری سیالات به عنوان سازه های ویژه از نظر رفتار دینامیکی به‌دلیل اندرکنش بین سیال و سیستم سازه ضروری به نظر می‌رسد. مخازن فولادی استوانه‌ای روزمینی از جمله سازه‌ها و تجهیزات صنعتی هستند که نقش حساسی در ذخیره مواد نفتی و پالایشگاهی، تامین آب آشامیدنی و سیستمهای اطفاء حریق دارند. این سازه‌ها جزو تاسیسات حساس و استراتژیک بوده و به علت کاربرد گسترده آنها در صنایع مختلف خصوصا نفت و پتروشیمی‌اطمینان از پابداری نسبی آنها در برابر بارگذاریهای لرزه ای امری بدیهی می‌باشد. هدف این تحقیق بررسی تاثیرات تغییر ضخامت فولاد به کاررفته در جداره این مخازن فلزی بر رفتار دینامیکی آنها تحت فرضیات ساخت مانند مهار شدگی و مهار نشدگی کف مخزن و با توجه ویژه به نسبت ابعاد مخزن و تراز های مختلف سیال ذخیره می‌باشد. سیستم مخازن از دو قسمت عمده روسازه با در نظر گرفتن اندرکنش سیال، سازه و خاک و زیر سازه با در نظر گرفتن مدل خاک بستر و مرزهای نیمه بی نهایت اطراف آن تشکیل می‌شود. به منظور مدل سازی سیستم مخزن از نرم افزار المان محدود Abaqus استفاده شده است. سیستم مدل سازی انجام شده به منظور کنترل صحت رفتار، تحت تحریک شتابنگاشت مناسب و منتخب قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهند که رفتار و پاسخ های مخازن در حالت های مهار شده و مهار نشده و همچنین در نسبت‌های مختلف ابعادی با یکدیگر یکسان نبوده و در روند طراحی مخازن استفاده از معیار های مختلفی جهت طراحی مخازن در شرایط تکیه گاهی و ابعادی مختلف مخازن لازم به نظر می‌رسد.

مقدمه

مخازن ذخیره مایعات از جمله سازه های حیاتی و پر اهمیت در جوامع امروزی می‌باشند که بر حسب وضعیت استقرار به سه دسته کلی زمینی، هوایی و مدفون و از نظر جنس عموما به دو گروه مخازن فلزی و مخازن بتنی طبقه بندی می‌شوند.در این میان مخازن زمینی معمولا با گنجایش زیاد ساخته شده و برای ذخیره سیالات متنوعی همانند آب برای مصارف شرب و خاموش کردن آتش، فراورده های نفتی ، شیمیایی و غیره بکار گرفته می‌شوند. آسیب دیدگی مخازن ذخیره سیال پس از وقوع حوادثی همانند زلزله علاوه بر زیان اقتصادی ممکن است قطع آب، آتش سوزی های کنترل نشده ، اتلاف و نشت مواد شیمیایی آلوده کننده و سمی‌را به همراه داشته باشد.

در طی دهه های اخیر بحث فشار هیدرودینامیکی آب و اثراتی که بر سازه در هنگام وقوع زلزله دارد نظر بسیاری از محققان را بخود معطوف داشته و پاسخ مخازن عمودی ذخیره مایعات نسبت به زلزله به عنوان سر فصلی برای تحقیقات گوناگون در زمینه اندرکنش سیال و سازه مطرح شده است.

بطور کلی مخازن حاوی مایع در هنگام وقوع پدیده زلزله رفتار صلبی از خود نشان نداده و به علت وقوع تحریکاتی که صورت می‌گیرد ضمن همراهی با کل سازه یک ارتعاش داخلی نیز خواهند داشت. در این شرایط سازه و آب بطور متقابل روی یکدیگر تاثیر گذاشته و پاسخ هریک در برابر دیگری باعث تاثیر در رفتار ارتعاشی سازه خواهد شد. با ظهور روشهای عددی قابلیت محاسبه هریک از پارامترهای تاثیر گذار بر پاسخ مخازن با ابعاد هندسی دلخواه آسان شده است. این روشها یا بر اساس بسط توابع در تعداد محدودی از نقاط یا تقسیم ناحیه به تعدادی زیر ناحیه برای پیدا کردن جوابها استوار هستند.

یکی از پارامترهایی که نیاز به بررسی آن ضروری به نظر می‌رسد بررسی تأثیر فولاد مصرفی در ساخت جداره مخزن فلزی، بر پاسخ های مخازن و اینکه آیا تاثیر این پارامتر بر پاسخ مخازن با نسبت های ابعادی مختلف و یا در شرایط تکیه گاهی مختلف یکسان بوده و یا نیازمند ارایه روابط ساده کننده مجزایی برای طراحی مخازن مختلف حیاتی می‌باشد.

مدل سازی مخزن

مخازن مورد استفاده در این تحقیق به علت انتخاب بحرانی ترین حالت از نوع مخازن بدون سقف می‌باشند. این مخازن با دو نوع مصالح متفاوت فولادی ST52 و ST37 مدل شده اند. نکته مهم دیگری که در مدل سازی مورد توجه قرار گرفت ضخامت مخازن بوده که در حالت مقطع متغییر و نیز مقطع ثابت مورد بررسی واقع شد. مشخصات این مخازن در جدول زیر آورده شده است .

جدول۱: مخازن مدل شده

مخزن	وضعیت	D (m)	h_s (m)	h_w (m)	$\frac{h_s}{D}$	$\frac{h_w}{D}$
عریض	پر	۳۵	۱۲	۱۰	۰.۳۴۲۸	۰.۲۸۵۷
	نیمه پر	۳۵	۱۲	۵	۰.۳۴۲۸	۰.۱۴۲۸
	خالی	۳۵	۱۲	۰	۰.۳۴۲۸	۰
بلند	پر	۱۵	۲۳	۲۰	۱.۵۳	۱.۳۳
	نیمه پر	۱۵	۲۳	۱۰	۱.۵۳	۰.۶۶۵
	خالی	۱۵	۲۳	۰	۱.۵۳	۰

ابعاد مخازن و ضخامت‌های بخش‌های مختلف آن از مقاله بخشی و جهانگیری برداشت شد و با آیین‌نامه API650 ضمیمه E (طرح لرزه‌ای مخازن) و آیین نامه ۰۳۸ صنایع پتروشیمی‌ایران کنترل گردید. نیز صحت تبعیت این مخازن از مخازن استاندارد API پس از بررسی مورد تایید قرار گرفت. شرایط دیگر مدلسازی این مخازن شرایط مربوط به ضخامت جداره بوده که ضخامت جداره مخزن ثابت برابر با ۲۰ میلیمتر در مخزن عریض و ۱۶ میلی متر در مخزن بلند می‌باشد. در المان بندی پوسته و کف مخازن از المان‌های ۴ گره ای غشایی(S4R) با انتگرال گیری کاهش یافته استفاده شده است. جنس کف و دیواره مخزن از فولاد با مشخصات زیر انتخاب گردید.

جدول۲: مشخصات فولاد مورد استفاده

Steel	E(GP)	υ	Yield Stress(MP)	Stress(MP) Ultimate
ST37	210	0.3	240	360

مدل‌سازی سیال

در مسائل هیدرودینامیک سیالات، دو مولفه موثر مجزا یکی مولفه انتقالی سیال و دیگری مولفه ضربه ای آن وجود دارد. لذا برای مدل سازی صحیح رفتار سیال حتما باید پدیده امواج سطحی را لحاظ نمود. برای این منظور از نوعی مصالح خاص با نام(EOS) که در برنامه المان محدود ABAQUS برای مدل سازی پدیده امواج سطحی کاربرد دارد، استفاده کرده ایم. سرعت صوت در حجم سیال برابر ۱۴۵۰.۶ متر بر ثانیه برای مدل سازی سیال که در این تحقیق آب انتخاب گردیده ، در نظر گرفته شد.

مدل‌سازی خاک

یکی از مدل هایی که می‌توان از آن برای مدل سازی ماتریال های اصطکاکی استفاده نمود مدل دراگر-پراگر می‌باشد. این مدل عموما برای ماتریال‌های دانه‌ای مانند خاک استفاده می‌شود که رفتار آن‌ها به میزان تنش فشاری معادل مربوط و ممکن است تغییر شکل غیر الاستیک آنها با مکانیزم‌های اصطکاکی مانند لغزش مواد بر روی هم همراه باشد. معیار تسلیم دراگر پراگر بر اساس شکل تسلیم در صفحه تنش و کرنش می‌تواند خطی، هایپربولیک و یا نمایی باشد، که از این بین مدل دراگر پراگر خطی برای این تحقیق در نظر گرفته شده است.

جدول۳: مشخصات توده خاک

d	β	$V_s\left(\frac{m}{s}\right)$	υ	$E\left(\frac{MN}{m^2}\right)$	$\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
۰	۳۸	۴۰۰	۰.۲۹	۸۲۵.۶	۲۰۰۰

در جدول فوق υ ضریب پواسان و V_s سرعت موج برشی در توده خاک می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\upsilon)}} = \sqrt{\frac{825600000}{2\times2000\times1.29}} = 400\ \frac{m}{sec} \qquad (۱)$$

در این تحقیق برای مدل سازی میرایی مصالح از مدل میرایی رایلی استفاده شده است.

بعد از معرفی ماتریال و مدل میرایی نوبت به مدل نمودن خاک و بررسی صحت رفتار آن می‌رسد. به منظور مدل سازی خاک از المان های ۸ گره ای استفاده می‌شود و برای تعیین ابعاد محدوده توده خاک چند مدل با ابعاد مختلف ایجاد و تحلیل گردیده تا به اندازه ای در ابعاد برسیم که دیگر افزایش ابعاد تأثیری بر دقت نتایج نداشته و نهایتا از فرضیه مرزهای جاذب استفاده گردید. برای این منظور میزان تأثیر ابعاد بر بلند شدگی مخزن در مدل مخزنی عریض بررسی شد و محدوده خاکی به شکل مکعب مستطیل با ابعاد ۴۰×۱۵۰×۱۵۰ متر بدست آمد. به این ترتیب میزان عرض محدوده توده خاک برابر با ۴.۲۸ برابر قطر بزرگترین مخزن و عمق خاک ۱.۱۴ برابر قطر و ۳.۳۳ برابر ارتفاع بزرگترین مخزن محاسبه گردید.

بررسی اندر کنش های موجود

مدل های رفتاری متفاوت اندر کنشی در این تحقیق استفاده گردید که هر یک به اختصار توضیح داده می‌شوند:

مدل اندرکنش نرمال : این مدل رفتاری در مرز بین قسمت های داخل مخزن با دیواره کناری و همچنین کف سیال استفاده شده است.

مدل اندرکنشی اصطکاکی : این مدل در مرز بین قسمت خارجی کف مخزن و سطح فوقانی پی در مخازن مهار نشده استفاده گردید.

مدل اندرکنشی گره : از این مدل اصطکاکی در مرز بین کف پی و سطح خاک و همچنین مرز بین دیواره پی و خاک که با هم تماس دارند استفاده شده است.

صحت سنجی کلی سیستم سیال–مخزن– پی

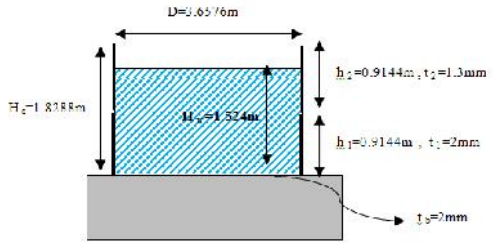
صحت سنجی سیستم مخزن و سیال در وضعیت های مشخص زیر صورت گرفت:

- اعمال وزن سیال و بررسی صحت توزیع فشار هیدرواستاتیکی سیال
- اعمال شتاب افقی ثابت و بررسی شیب سطح سیال
- اعمال شتاب هارمونیک برای محاسبه پریود نوسانی سطح سیال
- بررسی میزان تنش های محیطی ایجاد شده در پوسته مخزن

سپس صحت سنجی کلی سیستم با کنترل اطلاعات خروجی نرم افزاری با نتایج یک تحقیق آزمایشگاهی صورت پذیرفت. محدودیت عمده در این زمینه اندازه بسیار بزرگ مخازن و تأثیر این اندازه بر رفتار مخزن است لذا با کوچکتر ساختن مدل مخزن به حدی که بتواند بر روی میز لرزان قرار گیرد مدل رفتاری مخزن تغییر می‌کند و نمی‌توان از آن به عنوان نماینده یک مخزن بزرگتر نام برد. نبودن سیالی با چگالی بسیار بالا است که بتواند رفتاری مشابه رفتار سیالات معمول مخزن مانند آب و سیالات نفتی داشته باشد دیگر مشکل پیش روی تحقیقات آزمایشگاهی است.

در سال ۱۹۸۳ آقای کمبرا و همکارانش در مرکز تحقیقات لرزه ای دانشگاه برکلی آمریکا بر روی میز لرزان این آزمایشگاه به بررسی تأثیر انعطاف پذیری پی بر میزان بلند شدگی کف مخزن تحت تحریک بار لرزه ای پرداختند. ایشان دو حالت مختلف برای پی در نظر گرفتند یک حالت تقریبا صلب و دیگری حالت تقریبا منعطف و مدل آزمایشگاهی خود را تحت شتابنگاشت زلزله El Centro که به شتاب 0.5g مقیاس شده، قرار دادند و نهایتا نتایج بلند شدگی حداکثر کف مخزن را ثبت نمودند. در این تحقیق سعی گردید تا با مدل سازی المان محدود این تحقیق آزمایشگاهی نتایج را با نتایج موجود مقایسه نماییم.

مشخصات مخزن و تحریک در تحقیق آزمایشگاهی کمبرا



شکل۱: نمای مخزن کمبرا

مصالح دیواره و کف مخزن از آلومینیوم با مدول الاستیک ۶۰۰۰MPa بوده و مایع درون مخزن آب با جرم واحد حجم ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد در این مدل از دو نوع مصالح خاکی مختلف برای مدل سازی پی صلب و منعطف استفاده شده است. پریود تکان های نوسانی برای پی منعطف۰.۲۹ ثانیه و برای پی صلب ۰.۲۴ ثانیه در نظر گرفته شده بود.

مدل سازی مدل آزمایشگاهی در برنامه المان محدود ABAQUS

مدل مخزن و سیال دقیقا مطابق با آزمایش ایجاد گشت و برای محاسبه مدول الاستیک مصالح خاکی از روابط زیر استفاده شد.

$$T = \frac{4d}{V_S} \quad (۲)$$

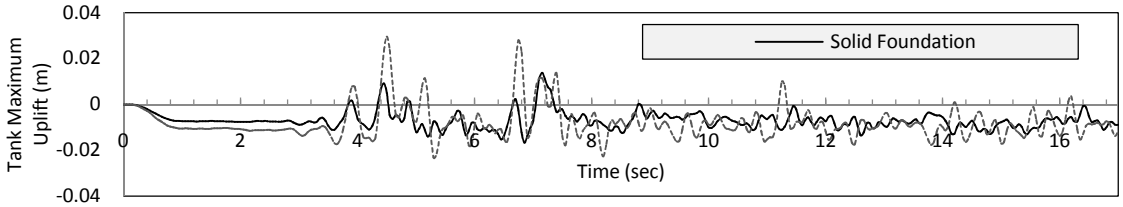
$$V_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\upsilon)}} \quad (۳)$$

الف – پی منعطف

ب – پی صلب

نتایج بلند شدگی پی در مدل المان محدود

نتایج به دست آمده مشخص نمود مقدار بلند شدگی کف مخزن در حالت پی منعطف مقدار بیشتری را نسبت به پی صلب نشان می‌دهد.



شکل۳: نتایج بلند شدگی پی در مدل المان محدود از تحقیق آزمایشگاهی کمبرا

جدول۴: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل المان محدود

	Flexible Foundation	Solid Foundation
Experimental investigation by Cambra	3.2766 cm	1.1938 cm
FEM Model by ABAQUS	3 cm	1.11 cm

اختلاف کوچک موجود می‌تواند به دلیل موجود نبودن اطلاعات کامل آزمایش خصوصا اطلاعات کامل مصالح باشد اما در کل این اختلاف ۷ درصدی می‌تواند قابل قبول باشد.

رکوردهای انتخابی

رکورد ها ی مورد نیاز با استفاده از راهنمایی های آیین نامه ۲۸۰۰زلزله ایران و همچنین آیین نامه ۰۳۸صنایع پتروشیمی‌با شرایط زیر انتخاب گردید (حداقل مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت ها برابر ۱۰ ثانیه انتخاب شد).

جدول۵: شتاب نگاشت انتخابی

Records	Name	Station	Magnitude	Site Conditions	PGA(g)
1	Kobe (270)1995/01/16	KJMA	6.9	Geomatrix or CWB(B) USGS (B)	0.599

روش تحلیل در نرم افزار ABAQUS

در این تحقیق از روش تحلیل دینامیکی صریح استفاده شده است. این روش برای مدل های بزرگ با بازه های محاسباتی کوچک و همچنین مدل هایی که در آن ها ناپیوستگی و اندرکنش های زیادی وجود دارد و تحلیل آنها با روش های دیگر محاسباتی مشکل می‌باشد مناسب است.

پارامترهای هدف در تحلیل

در تحریک یک جهته بیشترین مقدار بلند شدگی کف مخزن و همچنین بیشترین مقدار ارتفاع امواج سطحی در امتداد جهت اعمال شتاب رخ می‌دهند لذا برای ثبت بیشترین مقدار این پارامتر ها نقاط سمت چپ و سمت راست کف مخزن و سطح سیال را در نظر گرفتیم.

پارامتر های دیگر تنش های حلقوی و محوری در دیواره مخزن بودند. به منظور ثبت بیشترین مقدار تنش در هر لحظه و مستقل از مکان آن تمام المان های دیواره مخزن در یک دسته قرار گرفته و تنش های ایجاد شده در تمامی‌آنها ثبت گردید ، در هر لحظه بیشترین تنش به دست آمده از بین تمام تنش های ثبت شده به عنوان تنش حداکثر در آن لحظه در نظر گرفته شد.

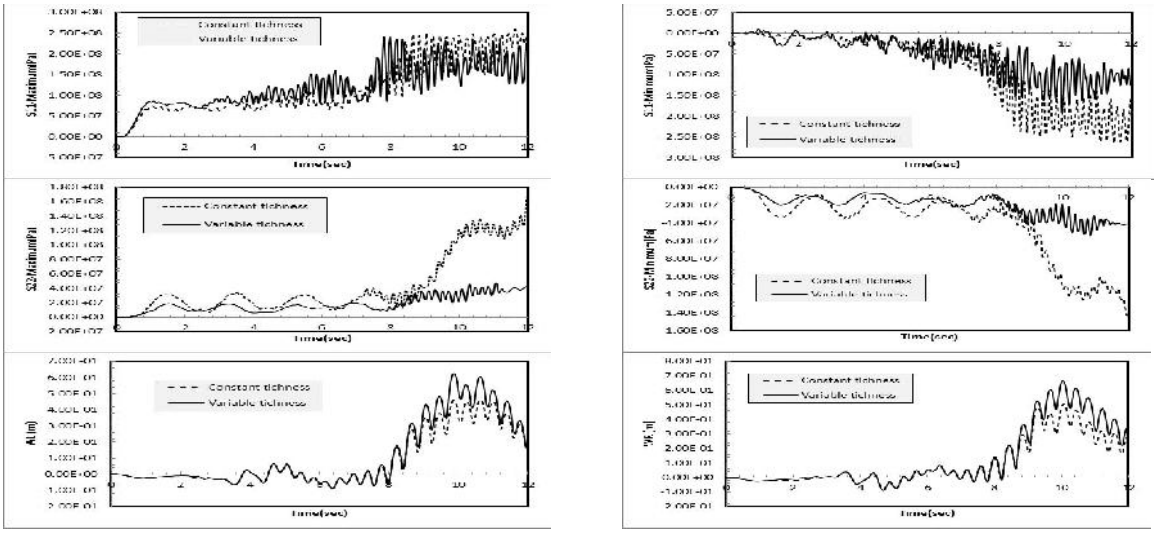
جدول ۰-۱- پارامتر های ثبت شده در تحریک یک جهته

۱	TLP And TRP Uplift - Unanchored	بیشترین مقدار بلند شدگی کف مخزن در نقاط سمت چپ و سمت راست- مخازن مهار نشده
۲	S11-Maximum And Minimum Stress Unanchored/ Anchored	بیشترین و کمترین مقادیر تنش های حلقوی دیواره مخزن مستقل از محل وقوع آن- مخازن مهار نشده/ مهار شده
۴	S22-Maximum And Minimum Stress Unanchored/ Anchored	بیشترین و کمترین مقادیر تنش های محوری دیواره مخزن مستقل از محل وقوع آن- مخازن مهار نشده/ مهار شده
۶	WLP And WRP Displacement Unanchored/ Anchored	بیشترین مقادیر ارتفاع امواج در نقاط سمت چپ و سمت راست- مخازن مهار نشده/ مخازن مهار شده

تحلیل و ارائه نتایج

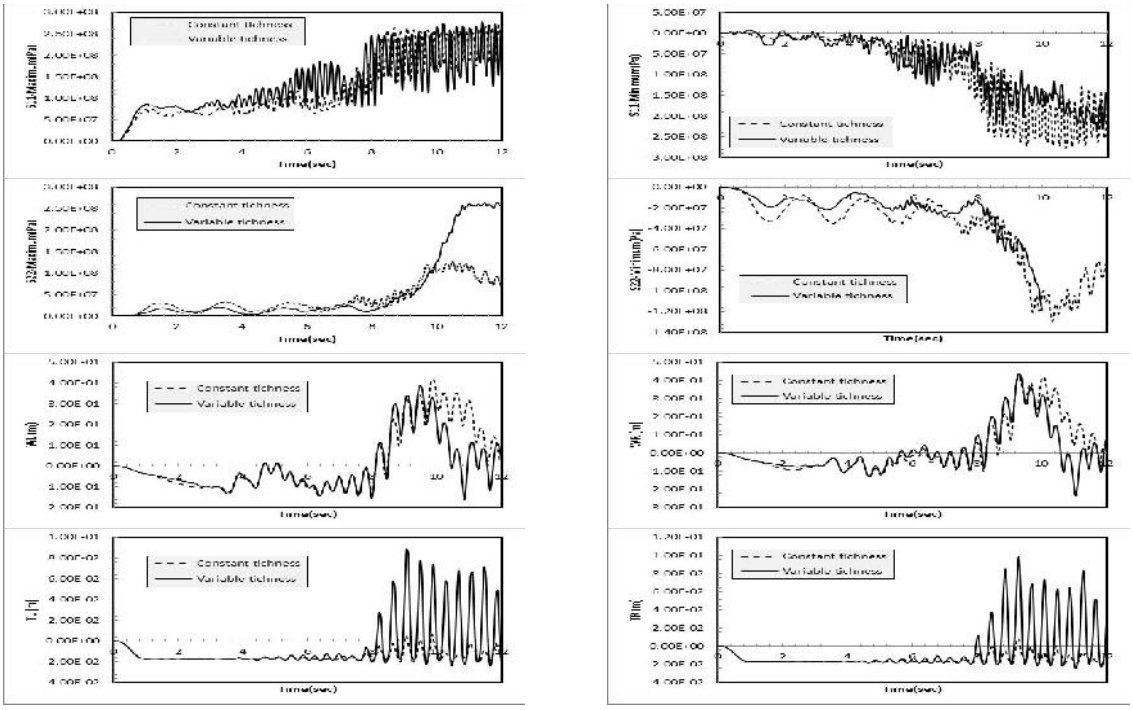
برای بررسی اثر ضخامت جداره بر رفتار لرزه ای مخازن، دو مخزن عریض و بلند در دو حالت مهار شده و مهار نشده در دو وضعیت ضخامت دیواره متغییر(ضخامت دیواره استاندارد) و ضخامت دیواره ثابت با مصالح فولادی St37 شبیه سازی گردیدند. جهت تحلیل سیستم ابتدا وزن کل سیستم طی یک ثانیه به صورت خطی به آن اعمال می‌گردد و سپس جهت حذف ارتعاشات اضافی برای یک ثانیه به غیر از وزن هیچ نیرویی به سیستم اعمال نمی‌شود. در ادامه نتایج حاصله و تفسیر آنها ارائه می‌گردد.

بررسی اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار شده عریض تحت زلزله Kobe



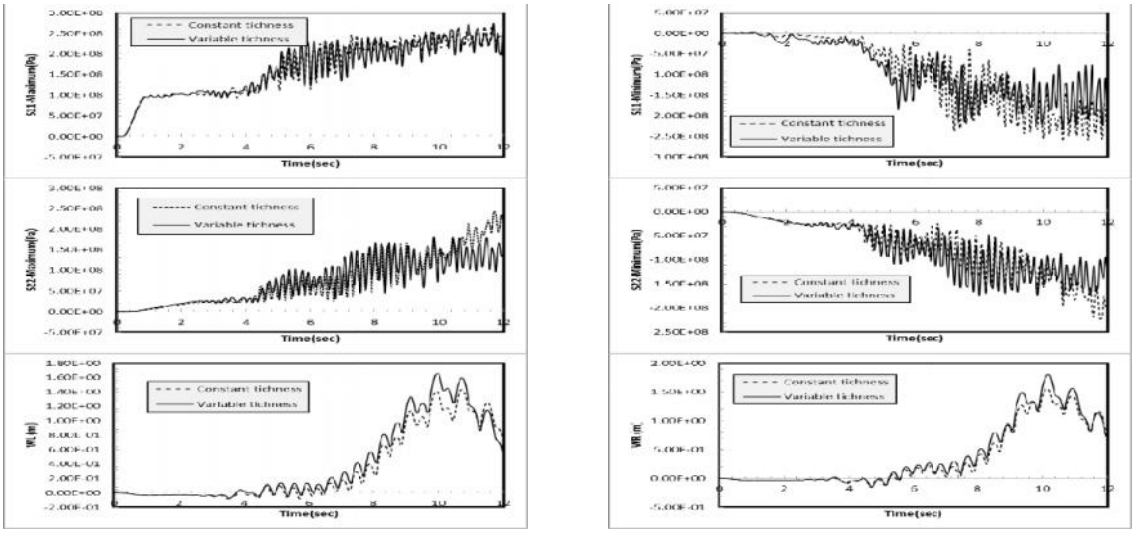
شکل۴: اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار شده عریض تحت زلزله Kobe

بررسی اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار نشده عریض تحت زلزله Kobe



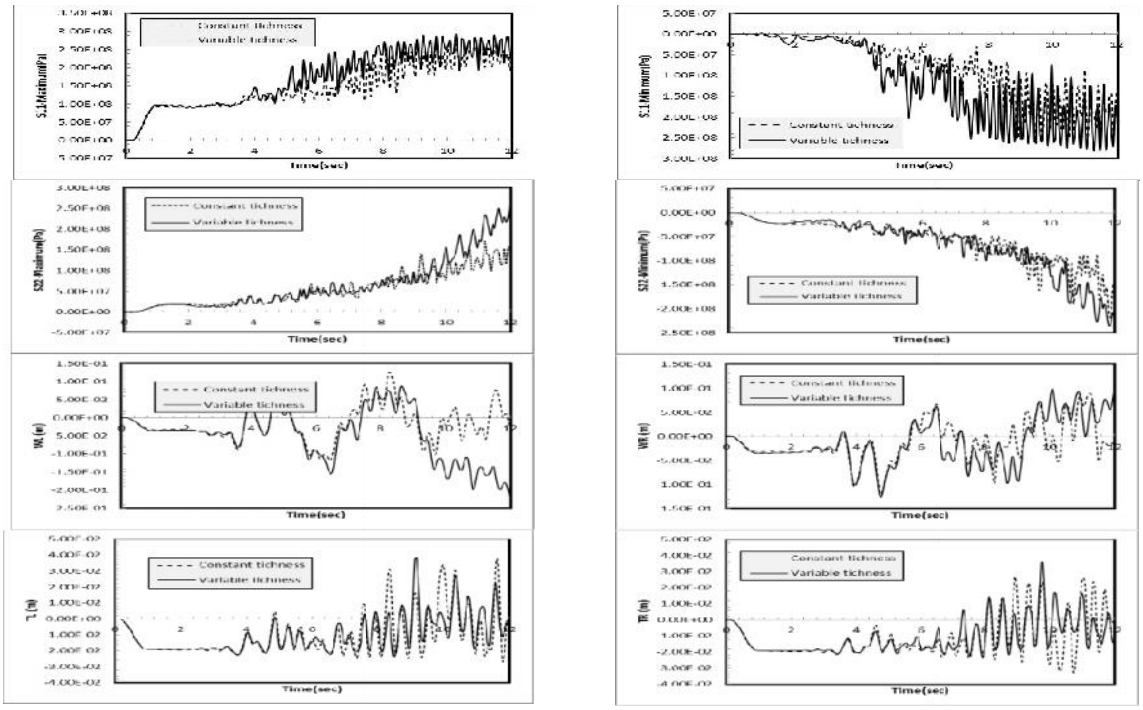
شکل۵: اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار نشده عریض تحت زلزله Kobe

بررسی اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار شده بلند تحت زلزله Kobe



شکل ۶: اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار شده بلند تحت زلزله Kobe

بررسی اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار نشده بلند تحت زلزله Kobe



شکل ۷: اثر ضخامت دیواره بر رفتار لرزه ای مخازن مهار نشده بلند تحت زلزله Kobe

نتیجه‌گیری

نمودار های شکل ۴ مشخص می‌نمایند مقدار تنش های محوری و حلقوی در هر دو حالات بیشینه و کمینه در شرایط استفاده از ضخامت متغییر نسبت به وضعیت استفاده از ضخامت ثابت به مراتب کمتر بوده ولی در مقابل ارتفاع سطح سیال رفتار دیگری نشان داده و در حالت استفاده از ضخامت ثابت مقادیر کمتری را تجربه می‌کند.

با توجه به نتایج حاصله در نمودار های شکل ۵ مشخص می‌شود که مقدار تنش های حلقوی (S11) در حالات بیشینه چندان تحت تأثیر ضخامت مخزن نبوده ولی در حالت کمینه در وضعیت ضخامت ثابت به شکل محسوسی بیشتر می‌شود. در مورد تنش های محوری مقدار بیشینه تنش ها، در حالت استفاده از ضخامت ثابت نسبت به وضعیت ضخامت استاندارد متغییر دچار کاهش شده و بلعکس در مورد تنش های کمینه دچار افزایش می‌گردد. ارتفاع امواج سطحی ایجاد شده در حالت استفاده از جداره مخزن با ضخامت متغییر و یا ضخامت ثابت در دیواره مخازن چندان متفاوت نبوده لذا به نظر می‌رسد ارتفاع امواج در مخازن عریض مهار نشده چندان تحت تاثیر ضخامت جداره مخزن نخواهد بود. بلند شدگی کف مخزن در حالت استفاده از ضخامت متغیر به مقدار قابل توجه بیشتر از مقدار آن درحالت استفاده از ضخامت ثابت در بدنه مخزن می‌باشد.

مقادیر تنش های محوری و حلقوی با توجه به نمودارهای شکل ۶ در حالات استفاده از ضخامت های متغییر و ثابت تفاوت چندانی ندارند. در مخازن عریض مهار شده در حالت استفاده از ضخامت متغیر ارتفاع امواج ایجاد شده در سطح سیال تقریبا مشابه با حالت استفاده از ضخامت ثابت می‌باشد.در این مورد نیز مشخص شد که مخازن در وضعیت مهار شده کمتر تحت تأثیر شرایط می‌باشند.

نتایج حاصله از نمودار های شکل ۷ مشخص می‌کنند مقدار تنش های حلقوی (S11) در حالات بیشینه و کمینه در وضعیت استفاده از ضخامت ثابت نسبت به وضعیت استفاده از ضخامت متغیر به شکل محسوسی کمتر بوده اما مقدار تنش های محوری (S22)حاصله در دو وضعیت تفاوت چندانی ندارند. ارتفاع امواج سطحی ایجاد شده در سطح سیال در حالت استفاده از ضخامت متغییر یا ضخامت ثابت در دیواره مخازن چندان متفاوت نمی‌باشد.

در مورد میزان بلند شدگی کف مخزن با توجه به نتایج حاصله مشخص می‌شود که میزان بلند شدگی کف مخزن در حالت استفاده از ضخامت ثابت تا حدودی بیشتر از حالت استفاده از ضخامت متغییر در بدنه مخزن خواهد بود.

فهرست مراجع

A. Bakhshi, M.Jahangiri (2012) Evaluation of foundation flexibility on seismic performance of anchored and unanchored above ground cylindrical tanks, 15th world conference of earthquake engineering, Portugal

B.D.DiGrado and G.A.Thorp, (2004) The Aboveground Steel Storage Tank Handbook. 11th Ed, John Wiley & Sons

Cambra F.J. (1983) Study of liquid storage tank seismic uplift behavior, proceeding of the pressure vessels and Piping Technology Conference ASME, PVP, Vol. 77, Oregon

Edwards N.W. (1969) A Procedure for Dynamic Analysis of a Cylindrical Liquid Storage Tanks Subjected to Lateral Ground Motion. PhD thesis University of Michigan Ann Arbor

Housner, G.W. (1957) Dynamic Pressure on Accelerated Fluid Containers, Bulletin of the seismological society of America, Vol.47: 15-35

Licai Yang, Zhiping Chen (2013) An analytical formula for elastic-plastic instability of large oil storage tanks, International journal of Pressure vessels and piping, Vol. 101: 72-80

Malhotra, P.K., Wenk, T., Wieland, M., (2000) Simple procedure for seismic analysis of liquid storage tanks. Structural Engineering International, 10: 197-201.

آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ (۱۳۸۶) مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ویرایش سوم

نشریه شماره ۰۳۸ (۱۳۸۹) آئین نامه طراحی لرزه ای تأسیسات و سازه های صنعت نفت- ویرایش دوم