بسم الله الرحمن الرحیم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب زهرا بهمنی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه دانشکده‌ی فنی-مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۴۴۴۰۳۱۰۵ که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۶ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان "اثر مولفه های دورانی زلزله بر مخازن فلزی هوایی" دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام ونام خانوادگی دانشجو: زهرا بهمنی

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی فنی - مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان:

اثر مولفه های دورانی زلزله بر مخازن فلزی هوایی

استاد راهنما:
دکتر هوشیار ایمانی کله‌سر

استاد مشاور:
دکتر لیلا کلانی ساروکلائی

پژوهشگر:
زهرا بهمنی

زمستان ۱۳۹۲

دانشکده‌ی فنی - مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان:

اثر مولفه های دورانی زلزله بر مخازن فلزی هوایی

پژوهشگر:

زهرا بهمنی

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی مخوب

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر هوشیار ایمانی کله سر	استادیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
دکتر لیلا کلانی ساروکلائی	استادیار	استاد مشاور	
دکتر مجید پاسبانی	استادیار	داور	
دکتر اتابک فیضی	استادیار	داور	

اسفند - ۱۳۹۲

تقدیم:

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم ودانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چراکه این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

و تقدیم به دو خواهرزاده عزیز و دوست داشتنی ام فاطیما و مهتا.

سپاسگزاری:

بر خود واجب می دانم خداوند منان را سپاسگزار باشم که توفیق انجام این پژوهش را به من ارزانی داشت. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم نمی توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استادان خویش آشکار نمایم، که هر چه گویم و سرایم، کم گفته ام. از استاد گرامیم جناب آقای دکتر ایمانی بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنمایی های ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل مینمود، همچنین از استاد گرامی سرکار خانم دکتر کلانی به دلیل یاریها و راهنمایی های بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختیها را برایم آسانتر نمودند و وقت ارزشمند خود را جهت مشاوره در انجام این پژوهش صرف نمودند قدردانی می نمایم.

نام خانوادگي دانشجو: **بهمنی** نام: **زهرا**

عنوان پایان‌نامه: **اثر مولفه های دورانی زلزله بر مخازن فلزی هوایی**

استاد راهنما: **دکتر هوشیار ایمانی کله سر**
استاد مشاور: **دکتر لیلا کلانی ساروکلائی**

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: **مهندسی عمران**
گرایش: **سازه** دانشگاه: **محقق اردبیلي**
دانشکده: **فنی - مهندسی** تاریخ دفاع: **۱۳۹۲/۱۲/٦** تعداد صفحات: **۱۱۵**

چکیده:

مخازن سازه هایی هستند که جهت ذخیره کردن مایعات مختلفی مانند آب، فرآورده های نفتی و مواد شیمیایی از آنها استفاده می شود. با تخریب مخازن آب، امدادرسانی و اطفاء حریق با مشکل روبرو می شود. آسیب دیدن مخازن نفتی و مواد شیمیایی سبب ایجاد آتش سوزی های گسترده و نشت مواد سمی و آلودگی در محیط زیست خواهد شد.
از نظر وضعیت استقرار، مخازن به دو گروه کلی هوایی و زمینی تقسیم می شوند. در صورتی که زمین مرتفع در منطقه مورد نظر وجود داشته باشد، از مخزن زمینی استفاده می شود،که می توان به صورت مدفون و یا نیمه مدفون ساخته شوند. در حالی که اگر زمین مرتفع برای ساخت مخازن زمینی مقدور نباشد و یا فاصله شبکه مصرف تا نقاط مرتفع زیاد باشد، استفاده از مخازن زمینی مقدور نبوده و بنابر توپولوژی منطقه نیاز به احداث مخازن هوایی وجود دارد.
در این سازه ها به دلیل قرار گرفتن قسمت اعظم جرم در فاصله قابل ملاحظه ای از فونداسیون و همچنین اثر اندرکنش بین آب و مخزن و فشار های هیدرودینامیکی موجود باعث گردیده تا این سازه ها جزء سازه های با اهمیت زیاد تلقی شوند. و از طرفی به دلیل اثر مولفه های انتقالی و دورانی زلزله بطور همزمان بر این سازه ها و قرار گرفتن کشور در خطر زلزله خیزی بالا، بررسی نیروهای هیدرودینامیک به وجود آمده در مخازن امری ضروری به شمار می رود.
در این تحقیق مخازن فلزی هوایی با پایه های مهاربندی شده با در نظر گرفتن اثر اندرکنش آب و مخزن به روش اجزای محدود و به کمک نرم افزار Ansys مدلسازی شده است. و به بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن تحت تحریک شش مولفه زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های مختلف زلزله و برای تراز های مختلف آب داخل مخزن پرداخته شده است.
در نهایت نتایج حاکی از این است که اثر مولفه‌های دورانی زلزله بر سازه‌های مهم از جمله مخازن، غیر قابل چشم-پوشی است و نیاز به بازنگری در آئین‌نامه ۲۸۰۰ را نتیجه می‌دهد.

کلید واژه‌ها: اندرکنش سازه و سیال، رفتار لرزه‌ای، مخزن آب هوایی، مولفه‌های دورانی زلزله

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه..... ۲
۱-۲- ضرورت و اهمیت پژوهش..... ۳
۱-۳- اهداف پژوهش..... ۳
۱-۴- تعریف مساله..... ۳
۱-۵- ساختار کلی تحقیق..... ۵

فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی

۲-۱- مقدمه..... ۶
۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در زمینه پاسخ دینامیکی مخازن ذخیره سیال..... ۶
۲-۳- مروری بر کارهای انجام شده در زمینه مولفه‌های دورانی زلزله..... ۱۳

فصل سوم: معرفی روابط پایه

۳-۱- تئوری مربوط به سازه و سیال..... ۲۲
۳-۱-۱- مقدمه..... ۲۲
۳-۱-۲- فرضیات اولیه در مورد حرکت مایع..... ۲۲
۳-۱-۲-۱- قانون بقای جرم..... ۲۳
۳-۱-۲-۲- قانون اندازه حرکت..... ۲۴
۳-۱-۳- شرایط مرزی و اولیه حاکم بر محیط مخازن استوانه‌ای..... ۲۶
۳-۱-۴- حل معادلات حاکم بر محیط مخزن و سیال با استفاده از روش‌های عددی..... ۲۷
۳-۱-۵- فرمولاسیون روش لاگرانژی- لاگرانژی برای سیال..... ۲۹
۳-۱-۶- فرمولاسیون روش‌های تحلیل..... ۳۱
۳-۱-۶-۱- مقدمه..... ۳۱
۳-۱-۶-۲- مدلسازی زلزله..... ۳۲
۳-۱-۶-۳- روش آنالیز دینامیکی..... ۳۳
۳-۱-۶-۳-۱- روش آنالیز در حوزه زمان..... ۳۴
۳-۱-۷- دلایل انتخاب نرم‌افزار Ansys جهت مدلسازی و تحلیل در این پژوهش..... ۳۴
۳-۱-۸- مدلسازی سیستم سازه وسیال به روش اجزای محدود مبتنی بر نرم‌افزار Ansys..... ۳۵
۳-۱-۸-۱- مقدمه..... ۳۵
۳-۱-۸-۲- مشخصات و پارامترهای ورودی و خروجی المان Fluid80 در . نرم‌افزار Ansys..... ۳۶
۳-۱-۸-۳- مدلسازی اجزای محدود مخزن..... ۳۸
۳-۱-۸-۳-۱- مشخصات و پارامترهای ورودی و خروجی المان Shell63 در نرم‌افزار Ansys..... ۳۸
۳-۱-۸-۳-۲- مشخصات و پارامترهای ورودی و خروجی المان Beam189 در نرم‌افزار Ansys..... ۳۹
۳-۱-۸-۳-۳- مشخصات و پارامترهای ورودی و خروجی المان Link8 در نرم‌افزار Ansys..... ۳۹
۳-۱-۸-۴- مدلسازی اندرکنش مخزن و سیال به روش اجزای‌محدود..... ۴۰

۳-۱-۸-۴-۱- اندرکنش مخزن و سیال در المان سیال متکی بر تغییرمکان..... ۴۰
۳-۱-۸-۵- مدلسازی زلزله جهت انجام تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار Ansys..... ۴۱
۳-۲- تئوری مولفه‌های گهواره‌ای و پیچشی..... ۴۱
۳-۲-۱- مقدمه..... ۴۱
۳-۲-۲- تعریف زلزله‌های حوزه نزدیک و دور..... ۴۲
۳-۲-۳- تولید مؤلفه‌های گهواره‌ای..... ۴۲
۳-۲-۴- تولید مولفه‌های پیچشی..... ۴۷

فصل چهارم: تحلیل و بررسی نتایج عددی

۴-۱- مقدمه..... ۵۱
۴-۲- روش مدلسازی مخزن..... ۵۱
۴-۳- بررسی صحت مدلسازی..... ۵۲
۴-۳-۱- آنالیز حساسیت و تعیین تعداد المان‌های مورد نیاز..... ۵۲
۴-۳-۲- نتایج آنالیز استاتیکی و بررسی صحت مدلسازی..... ۵۵
۴-۳-۲-۱- تغییرمکان هیدرواستاتیک در مخزن..... ۵۵
۴-۳-۲-۲- فشار هیدرواستاتیک در مخزن..... ۵۶
۴-۳-۲-۳- کنترل شرایط مرزی نیرویی..... ۵۸
۴-۳-۲-۴- کنترل شرایط مرزی تغییرمکانی..... ۵۸
۴-۴- خصوصیات دینامیکی مخزن..... ۵۹
۴-۴-۱- نتایج حاصل از آنالیز مودال..... ۵۹
۴-۵- روش مدلسازی زلزله..... ۶۲
۴-۵-۱- معرفی مشخصات زلزله‌های مورد استفاده..... ۶۲
۴-۵-۲- تولید مولفه‌های گهواره‌ای و پیچشی..... ۶۶
۴-۶- نتایج آنالیز دینامیکی..... ۷۰
۴-۶-۱- نتایج آنالیز دینامیکی در وضعیت‌های مختلف مخزن با استفاده از شتابنگاشت زلزله تفت..... ۷۱
۴-۶-۲- نتایج آنالیز دینامیکی در وضعیت‌های مختلف مخزن با استفاده از شتابنگاشت زلزله طبس..... ۸۰
۴-۶-۳- نتایج آنالیز دینامیکی در وضعیت‌های مختلف مخزن با استفاده از شتاب‌نگاشت زلزله چی‌چی‌تایوان..... ۸۹
۴-۶-۴- خلاصه نتایج مربوط به آنالیزهای دینامیکی در وضعیت‌های مختلف مخزن ۹۸
۴-۶-۵- پاسخ نرمال شده ماکزیمم نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی..... ۱۰۲
۴-۶-۶- اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی بر پاسخ مخزن..... ۱۰۴
۴-۶-۷- بررسی گسیختگی مخزن بعد از اعمال مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله..... ۱۰۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۰۹
۵-۲- پیشنهادات..... ۱۱۱
منابع و مآخذ..... ۱۱۲

فهرست اشکال

عنوان فهرست

شکل ۲-۱: مدل مکانیکی معادل هاوسنر ۷
شکل ۲-۲: اثرات مختلف مؤلفه دورانی زلزله بر روی سنگ قبر ۱۵
شکل ۲-۳: خسارت‌های سازه‌ای ایجاد شده بعد از زلزله شدید به علت حرکت دورانی ۱۶
شکل ۳-۱: حجم کنترل به ابعاد dx، dy و dz ۲۳
شکل ۳-۲: مخزن استوانه‌ای در ارتفاع ۲۶
شکل ۳-۳: شکل موج سطحی ۲۹
شکل۳-۴: رابطه فشار و کرنش حجمی در آب ۳۰
شکل ۳-۵: مشخصات هندسی المان Fluid80 ۳۷
شکل ۳-۶: مشخصات هندسی المان Shell63 ۳۸
شکل ۳-۷: مشخصات هندسی المان Beam189 ۳۹
شکل ۳-۸: مشخصات هندسی المان Link8 ۴۰
شکل ۳-۹: نحوه انتشار موج SV و امواج بازتابی ناشی از آن در سطح زمین ۴۳
شکل ۳-۱۰: فلوچارت استخراج مولفه گهواره‌ای با استفاده از مولفه‌های انتقالی ۴۶
شکل ۳-۱۱: نحوه انتشار موج SH و امواج بازتابی ناشی از آن در سطح زمین ۴۷
شکل ۳-۱۲: فلوچارت استخراج مولفه پیچشی با استفاده از مولفه‌های انتقالی ۴۹
شکل ۴-۱: مدل اجزای محدود مخزن هوایی ۵۱
شکل ۴-۲: مدل هندسی مخزن هوایی ۵۲
شکل ۴-۳: آنالیز حساسیت مخزن خالی برای U_{xa} ۵۴
شکل ۴-۴: آنالیز حساسیت مخزن پر برای U_{ya} سیال ۵۴
شکل ۴-۵: منبع محتوی مایع ۵۵
شکل ۴-۶: تغییرات تغییرمکان برحسب ارتفاع از سطح آزاد سیال در منبع آب به ارتفاع ۵/۶۳ متر تحت اثر وزن سیال ۵۶
شکل ۴-۷: تغییرات فشار هیدرواستاتیکی بر حسب ارتفاع از سطح سیال ۵۷
شکل ۴-۸: شکل مودهای ارتعاشی مخزن ۶۰
شکل ۴-۹: تاریخچه زمانی مولفه‌های انتقالی زلزله تفت، الف) مولفه S69E، ب) مولفه قائم ۶۳
شکل ۴-۱۰: تاریخچه زمانی مولفه‌های انتقالی زلزله طبس، الف) مولفه طولی، ب) مولفه قائم ۶۴
شکل ۴-۱۱: تاریخچه زمانی مولفه‌های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مولفه N-S، ب) مولفه قائم ۶۴
شکل ۴-۱۲: طیف دامنه فرکانسی مولفه‌های انتقالی زلزله تفت، الف) مولفه S69E، ب) مولفه قائم ۶۵
شکل ۴-۱۳: طیف دامنه فرکانسی مولفه‌های انتقالی زلزله طبس، الف) مولفه طولی، ب) مولفه قائم ۶۵
شکل ۴-۱۴: طیف دامنه فرکانسی مولفه‌های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مولفه N-S، ب) مولفه قائم ۶۶
شکل ۴-۱۵: تاریخچه زمانی مولفه‌های گهواره‌ای، الف) زلزله تفت، ب) زلزله طبس، ج) زلزله چی‌چی‌تایوان ۶۸
شکل ۴-۱۶: طیف محتوای فرکانسی مولفه‌های گهواره‌ای، الف) زلزله تفت، ب) زلزله طبس، ج) زلزله چی‌چی‌تایوان ۶۸
شکل ۴-۱۷: تاریخچه زمانی مولفه پیچشی، الف) زلزله تفت، ب) زلزله طبس، ج) زلزله چی‌چی‌تایوان ۶۹
شکل ۴-۱۸: طیف محتوای فرکانسی مولفه پیچشی، الف) زلزله تفت، ب) زلزله طبس، ج) زلزله چی‌چی‌تایوان ۷۰

شکل ۴-۱۹: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۱
شکل ۴-۲۰: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۲
شکل ۴-۲۱: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۳
شکل ۴-۲۲: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۴
شکل ۴-۲۳: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۵
شکل ۴-۲۴: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۶
شکل ۴-۲۵: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۷
شکل ۴-۲۶: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله تفت، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۷۸
شکل ۴-۲۷: نمودار ماکزیمم تغییرمکان افقی در جهت x بر حسب ارتفاع در و ضعیت‌های مختلف مخزن تحت اثر مولفه-های انتقالی زلزله تفت.....۷۹
شکل ۴-۲۸: نمودار ماکزیمم تغییرمکان افقی در جهت x بر حسب ارتفاع در و ضعیت‌های مختلف مخزن تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله تفت.....۷۹
شکل ۴-۲۹: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۰
شکل ۴-۳۰: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۱
شکل ۴-۳۱: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۲

شکل ۴-۳۲: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۳
شکل ۴-۳۳: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۴
شکل ۴-۳۴: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۵
شکل ۴-۳۵: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۶
شکل ۴-۳۶: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله طبس، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۷
شکل ۴-۳۷: نمودار ماکزیمم تغییرمکان افقی در جهت x بر حسب ارتفاع در و ضعیت‌های مختلف مخزن تحت اثر مولفه-های انتقالی زلزله طبس.....۸۸
شکل ۴-۳۸: نمودار ماکزیمم تغییرمکان افقی در جهت x بر حسب ارتفاع در و ضعیت‌های مختلف مخزن تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله طبس.....۸۸
شکل ۴-۳۹: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۸۹
شکل ۴-۴۰: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۰
شکل ۴-۴۱: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۱
شکل ۴-۴۲: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۲
شکل ۴-۴۳: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۳
شکل ۴-۴۴: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت x تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۴
شکل ۴-۴۵: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت z تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۵

شکل ۴-۴۶: تاریخچه زمانی لنگر واژگونی در جهت Z تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله چی‌چی‌تایوان، الف) مخزن خالی، ب) مخزن $\frac{1}{3}$ پر، ج) مخزن $\frac{2}{3}$ پر، د) مخزن پر.....۹۶
شکل ۴-۴۷: نمودار ماکزیمم تغییرمکان افقی در جهت X بر حسب ارتفاع در و ضعیت‌های مختلف مخزن تحت اثر مولفه-های انتقالی زلزله چی‌چی‌تایوان.....۹۷
شکل ۴-۴۸: نمودار ماکزیمم تغییرمکان افقی در جهت X بر حسب ارتفاع در و ضعیت‌های مختلف مخزن تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله چی‌چی‌تایوان.....۹۷
شکل ۴-۴۹: تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی بالاترین نقطه مخزن پر تحت تحریک سه مولفه زلزله و شش مولفه زلزله طبس.....۱۰۵
شکل ۴-۵۰: تاریخچه زمانی برش پایه در جهت X مخزن دوسوم پر تحت تحریک سه مولفه زلزله و شش مولفه زلزله تفت.....۱۰۵

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۴-۱: مشخصات مصالح..... ۵۲
جدول ۴-۲: مشخصات هندسی مخزن..... ۵۲
جدول ۴-۳: آنالیز حساسیت برای سازه خالی..... ۵۳
جدول ۴-۴: آنالیز حساسیت برای سیال(مخزن پر)..... ۵۳
جدول ۴-۵: تغییرمکان سیال با استفاده از روابط تئوریک و مدل عددی..... ۵۶
جدول ۴-۶: توزیع فشار هیدرواستاتیکی با استفاده از روابط تئوریک و مدل عددی..... ۵۷
جدول ۴-۷: نیروهای نرمال بر سطح سازه وسیال در گره‌های مرز مشترک جداره..... ۵۸
جدول ۴-۸: نیروهای نرمال بر سطح سازه وسیال در گره‌های مرز مشترک کف مخزن..... ۵۸
جدول ۴-۹: تغییرمکان نرمال بر سطح سازه وسیال در گره‌های مرز مشترک جداره..... ۵۹
جدول ۴-۱۰: تغییرمکان نرمال بر سطح سازه وسیال در گره‌های مرز مشترک کف مخزن..... ۵۹
جدول ۴-۱۱: پریود و فرکانس غالب مودهای ارتعاش سیستم در وضعیت‌های مختلف تراز آب..... ۶۰
جدول ۴-۱۲: فرکانس طبیعی دو مود ارتعاش جانبی اول سازه در وضعیت‌های مختلف تراز آب..... ۶۱
جدول ۴-۱۳: مقادیر α و β برای نسبت میرایی ۵ درصد..... ۶۱
جدول ۴-۱۴: مشخصات زلزله‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر..... ۶۳
جدول ۴-۱۵: ماکزیمم شتاب زاویه‌ای و فرکانس غالب مولفه‌های انتقالی و دورانی سه زلزله مورد بررسی..... ۶۷
جدول ۴-۱۶: نتایج آنالیز دینامیکی تحت اثر مولفه‌های انتقالی زلزله‌های تفت، طبس و چی‌چی‌تایوان..... ۹۸
جدول ۴-۱۷: نتایج آنالیز دینامیکی تحت اثر مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله‌های تفت، طبس و چی‌چی‌تایوان..... ۹۹
جدول ۴-۱۸: تغییر مکان‌های سیستم در آنالیز دینامیکی مولفه‌های انتقالی زلزله‌های تفت، طبس و چی‌چی‌تایوان..... ۱۰۰
جدول ۴-۱۹: تغییر مکان‌های سیستم در آنالیز دینامیکی مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله‌های تفت، طبس و چی‌چی‌تایوان..... ۱۰۱
جدول ۴-۲۰: تاثیر مولفه دورانی بر پاسخ ماکزیمم نیروی برش پایه مخزن در جهت X و Z..... ۱۰۳
جدول ۴-۲۱: تاثیر مولفه دورانی بر پاسخ ماکزیمم لنگر واژگونی مخزن در جهت X و Z..... ۱۰۳
جدول ۴-۲۲: تاثیر مولفه دورانی بر ماکزیمم تغییرمکان افقی مخزن در جهت X..... ۱۰۴
جدول ۴-۲۳: ماکزیمم تنش فون میزز مخزن..... ۱۰۶

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

مخازن سازه‌هایی هستند که جهت ذخیره کردن مایعات مختلفی مانند آب، فرآورده‌های نفتی و مواد شیمیایی از آن‌ها استفاده می‌شود. با تخریب مخازن آب، امدادرسانی و اطفاء حریق با مشکل روبرو می-شود. آسیب دیدن مخازن نفتی و مواد شیمیایی سبب ایجاد آتش‌سوزی‌های گسترده و نشت مواد سمی و آلودگی در محیط زیست خواهد شد. از نظر وضعیت استقرار، مخازن به دو گروه کلی هوایی و زمینی تقسیم می‌شوند.

مخازن هوایی که برای ذخیره کردن و نگهداری آب مصرفی به‌کار می‌رود به اشکال مختلف کروی، مخروطی، استوانه‌ای و مکعب‌مستطیل ساخته می‌شوند. مخازن هوایی در دو حالت پایه‌دار با پایه مرکزی (شافتی) و پایه‌دار با پایه قابی ساخته می‌شوند که پایه قاب آن‌ها ممکن است مهار شده و یا مهار نشده (قاب خمشی) باشد. در برخی مناطق، که عموما خارج از محیط شهری هستند، پایه‌های مخازن هوایی می‌تواند از مصالح سنتی و آجری ساخته شوند. مخازن هوایی بطور کلی از سه بخش تشکیل می‌شوند: ۱- ظرف مخزن که بخش نگهدارنده آب می‌باشد. ۲- پایه مخزن که عضو باربر اصلی مخزن است و تنها کاربری آن نگهداری ظرف مخزن و انتقال نیروها به پی می‌باشد. ۳- پی مخزن که البته به نوع مخزن و شرایط خاک منطقه در انواع مختلف منفرد، نواری، گسترده و متکی بر شمع ساخته می‌شود.

در صورتی‌که زمین مرتفع در منطقه مورد نظر وجود داشته باشد، مخزن مستقیما در روی زمین ساخته می‌شود. مخازن زمینی ممکن است به صورت مدفون و یا نیمه مدفون ساخته شوند. مخازن مدفون زمینی مخازنی هستند که تا عمق مناسب در زمین فرو رفته و سپس در پشت دیوارها و همچنین سقف آن‌ها خاک ریخته می‌شود. اینگونه مخازن علاوه بر محاسنی که از لحاظ استتار دارند، از نظر تبادلات حرارتی نیز بسیار مناسب می‌باشند. در مخازن نیمه مدفون عمل خاکریزی غالبا تا نصف ارتفاع دیوار انجام می‌شود و در روی سقف مخزن عملا هیچگونه خاکی وجود ندارد. عواملی که در استقرار منابع زمینی از لحاظ مدفون و نیمه مدفون بودن تاثیر دارد، شامل شرایط اقلیمی، توپوگرافی، محدودیت زمین و رقوم موردنظر و همچنین شیب زمین و جنس لایه‌های خاک می‌باشد.

مخازن زمینی برای احجام بسیار بزرگ (بالاتر از ۱۰۰۰ متر مکعب) بسیار مناسب‌تر و کم‌هزینه‌تر از مخازن هوایی می‌باشند، ولی در بسیاری از موارد شرایط توپولوژی منطقه استفاده از مخازن هوایی ایجاب می‌کند. در اکثر مواقعی که از آب‌های زیر زمینی استفاده می‌گردد یا در مناطق مسطح که فاصله شبکه مصرف تا نقاط مرتفع زیاد می‌باشد، استفاده از مخازن زمینی مقدور نیست (محمدی شوره؛ وثوقی شهسواری، ۱۳۸۰).

۱-۲- ضرورت و اهمیت پژوهش

بطور کلی تمامی سازه‌هایی که روی زمین ساخته می‌شوند تحت مولفه‌های حرکت زمین‌لرزه قرار می‌گیرند و چون مخازن هوایی آب اهمیت بسزایی در شبکه‌های خدمات شهری و صنعتی دارند، باید از عملکرد ایمن آن‌ها در هنگام وقوع زلزله، جهت پاسخگویی به نیاز آبی شهروندان، اجتناب از آتش‌سوزی و زیان‌های زیست محیطی اطمینان حاصل کرد.

اساسا هر سازه‌ای که بر زمین اتکا داشته باشد، در هنگام وقوع زمین‌لرزه تحت اثر شش مولفه حرکت زمین قرار می‌گیرد. که شامل سه مولفه انتقالی (دو مولفه افقی و یک مولفه قائم جابجایی) و سه مولفه دورانی (دو مولفه گهواره‌ای و یک مولفه پیچشی) می‌باشد. بنابراین در طراحی سازه‌های خاص و مهم علاوه بر مولفه‌های افقی و قائم می‌بایست اثر مولفه‌های دورانی را نیز در نظر گرفت، در صورتی‌که اثر مولفه‌های دورانی زلزله بر سازه‌ها کمتر اهمیت داده شده است.

از طرفی با توجه به اینکه کشور ما در ناحیه‌ای با خطر زلزله‌خیزی بالا قرار دارد و با عنایت به این مطلب که در مخازن هوایی، قسمت اعظم جرم در فاصله قابل ملاحظه‌ای از فونداسیون قرار می‌گیرد و همچنین اثر اندرکنشی که بین سازه و سیال وجود دارد، تحمل نیروهای جانبی زمین‌لرزه در این سازه‌ها، که شامل مولفه‌های انتقالی و مولفه‌های دورانی می‌باشد، مساله‌ای بسیار مهم خواهد بود و این سازه‌ها را در زمره سازه‌های بااهمیت زیاد قرار می‌دهد.

با توجه به مطالبی که به آن اشاره گردید، اثر مولفه‌های دورانی و انتقالی بطور همزمان بر سازه، خصوصیات دینامیکی سازه و اثر اندرکنش آب و مخزن هر سه از ارکان اساسی در بررسی نحوه عملکرد رفتار مخازن هوایی در هنگام وقوع یک زمین لرزه می‌باشد. این مطلب با توجه به اینکه کشور ما در یک منطقه زلزله‌خیز قرار دارد و خرابی مخازن هوایی که طی زلزله‌های گذشته اتفاق افتاده، لزوم تحقیق در این زمینه را کاملا آشکار می‌سازد.

۱-۳- اهداف پژوهش

در این پژوهش به چگونگی تولید مولفه دورانی از مولفه‌های انتقالی پرداخته می‌شود. و با اعمال همزمان مولفه‌های انتقالی و دورانی به سازه، اهمیت تاثیر مولفه‌های دورانی بر سازه بررسی خواهد شد.

۱-۴- تعریف مساله

در این پژوهش به بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی فلزی با پایه‌های مهاربندی شده با احتساب اثر اندرکنش سازه و سیال تحت اثر هر شش مولفه زلزله پرداخته می‌شود. برای این منظور برای تحلیل سازه از روش اجزای‌محدود به کمک نرم افزار Ansys 12.0 و از روش لاگرانژی- لاگرانژی برای مدلسازی محیط سازه و سیال استفاده می‌گردد و موارد زیر در نظر گرفته می‌شود.

۱- اثرات اندرکنش سازه و سیال در نظر گرفته می‌شود.

۲- پی را صلب در نظر می‌گیریم و اثرات اندرکنش خاک و سازه در نظر گرفته نمی‌شود.

۳- رفتار مصالح اعم از آب و یا فولاد، ارتجاعی و خطی فرض می‌گردد.

۴- مصالح جامد و سیال، همگن و هموژن فرض می‌شود.

۵- مولفه‌های انتقالی و دورانی زلزله بر سازه اعمال می‌گردد.

۶- جریان را آرام در نظر می‌گیریم و از آشفتگی جریان و چرخشی بودن آن صرف‌نظر می‌کنیم.

۱-۵- ساختار کلی تحقیق

این تحقیق در پنج فصل تنظیم شده است که در فصل اول به مقدمه و کلیات پرداخته شده است.

در فصل دوم به تاریخچه کارهایی که تا بدین لحظه انجام پذیرفته، صورت گرفته است. که به دو بخش تقسیم می‌گردد: بخش اول به بیان کارهایی که در مورد آنالیز لرزه‌ای مخازن صورت گرفته، می‌پردازد و در بخش دوم به تاریخچه تحقیقاتی که در مورد تولید مولفه‌های دورانی زلزله می‌باشد، می‌پردازد.

فصل سوم به معادلات حاکم بر محیط سیال و سازه، چگونگی مدلسازی زلزله، چگونگی مدلسازی سیال و سازه در نرم‌افزار Ansys اختصاص یافته است. و در ادامه به بیان معادلاتی برای تولید مولفه‌های دورانی زلزله، بر حسب مولفه‌های انتقالی زلزله پرداخته شده است.

در فصل چهارم ابتدا مدل فیزیکی سازه و سپس مدل ریاضی و شبکه سه‌بعدی اجزای محدود سیستم معرفی شده و بعد از آن به بررسی صحت مدلسازی پرداخته شده است. پس از آن خصوصیات دینامیکی مخزن آب در وضعیت‌های مختلف مخزن مورد بررسی قرار می‌گیرد. و در ادامه به معرفی زلزله‌های مورد استفاده در این تحقیق پرداخته شده است. و در پایان نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی خطی سازه بیان شده است.

در فصل پنجم نتایج حاصل از مطالعات انجام شده عنوان گردیده و در پاره‌ای از موارد پیشنهاداتی ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر ادبیات فنی

۲-۱- مقدمه

در این قسمت پیشینه مطالعات را به دو بخش تقسیم می‌کنیم، بخش اول به مطالعاتی که در مورد آنالیز دینامیکی مخازن صورت گرفته، می‌پردازیم و در بخش دوم به مطالعاتی که در مورد تئوری مولفه-های دورانی زلزله انجام شده، می‌پردازیم.

۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در زمینه پاسخ دینامیکی مخازن ذخیره سیال

در مخازن بدلیل اندرکنش بین سازه و سیال، واکنش دینامیکی متفاوتی نسبت به سازه‌هایی نظیر پل‌ها و ساختمان‌ها از خود نشان می‌دهند. این تفاوت از تاثیر فشار هیدرودینامیکی بر دیواره مخزن ناشی می‌شود. به‌منظور مدلسازی فشار هیدرودینامیک وارد بر مخازن مطالعات تحلیلی و عددی بسیاری در این زمینه صورت پذیرفته است.

ایده در نظر گرفتن اثر فشار هیدرودینامیکی بر سازه‌ها از اواخر دهه ۱۹۲۰ در رابطه با طرح تعدادی از سدهای بلند در مناطق زلزله‌خیز شکل گرفت. دانشمندان مشهوری چون وسترگارد و کارمان قدم‌های اول را در این راه برداشتند. وسترگارد[1] (۱۹۹۳) با در نظر گرفتن دیواره قائم صلب به عنوان سد و محیط نیمه بینهایت سیال، اقدام به اعمال تحریک هارمونیک روی این مدل کرد. او در مطالعات خود، آب را مایعی ایده‌آل در نظر گرفت و از تراکم‌پذیری و تاثیر امواج سطحی صرف‌نظر کرد. برای کاهش اثر تراکم-پذیری، وی مطالعات خود را به تحریکات هارمونیک با پریود $T_S = \pi \frac{4H}{C}$ محدود کرد که در آن H ارتفاع آب مخزن سد و C سرعت امواج الاستیک در سیال می‌باشد. حاصل این مطالعه رابطه مشهور وسترگارد است که در تحلیل و طراحی سدها از آن استفاده می‌شود. ادامه این روند منتهی به ایجاد ادبیات وسیعی در باب جنبه‌های مختلف این مقوله گشت، به نحوی که در نظرگرفتن اثرات فشار هیدرودینامیکی آب بر سازه‌های هیدرولیکی از ملزومات محاسبه می‌باشد.

اولین مطالعات مربوط به رفتار مخازن آب هنگام زلزله، به سال ۱۹۳۴ برمی‌گردد، وقتی‌که هاسکینز و ژاکوبسن[2] (۱۹۳۴) بر اساس نظریه جرم افزوده، نتایج عددی و آزمایشگاهی خود را برای فشار آب در مخزن مستطیلی تحت بارگذاری زلزله ارائه دادند. در آن زمان تغییرات فشار مایع در ارتفاع، سهموی بدست آمد.

[1] - Westergard
[2] - Haskins, Jacobsen