

طراحی جداگر لرزهای در مخازن نفت و گاز

تالیف

رضا بهادری خسروشاهی



نشر علم عمران

www.elme-omran.com

Info@elme-omran.com

عضو:



انجمن کتاب‌های

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه	: بهادری خسروشاهی، رضا، ۱۳۶۱ -
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی جداگر لرزه‌ای در مخازن نفت و گاز / تالیف رضا بهادری خسروشاهی
مشخصات نشر	: تهران: علم عمران، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۱۹۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۳۲-۲ ریال ۱۵۰۰۰۰
موضوع	: مخازن نفت -- مخازن ذخیره -- پیش‌بینی‌های ایمنی
موضوع	: Gas Industry, Safety Measures, Oil reservoirs Engineering
موضوع	: نفت -- مهندسی مخازن زیرزمینی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ ط ۹ ب / ۵ / TP۶۹۲
رده بندی دیویی	: ۶۶۵/۵۴۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۵۳۵۰۴۶



نشر علم عمران

طراحی جداگر لرزه‌ای در مخازن نفت و گاز
تالیف: رضا بهادری خسروشاهی

چاپ اول	زمستان ۱۳۹۵
چاپ	پرستش
تعداد و قطع صفحات	۱۹۰ صفحه و وزیری
شمارگان	۵۰۰
بهای کتاب	ریال ۱۵۰۰۰۰
شابک ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۳۲-۲	ISBN 978-600-5176-32-2

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان‌آرا، بین خیابانهای ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱

تلفن: ۸۱۳۵۳۹۳۰-۳۱ دورنگار: ۸۱۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

تقدیم به:

پدر، مادر، همسر و دختر عزیزم بابت گذشت از اوقاتی که برای آنها بود.

و

تقدیم به:

کشور و مردم عزیزم که حضور در کنارشان همواره الهام بخش ادامه این مسیر پویا می باشد.

سپاسگزاری

قدردانی از استاتید گرامی

- جناب آقای دکتر فیروز بهادری خسروشاهی استاد محترم دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده عمران با صرف وقت و دقت نظر فراوان متن تنظیمی را بازبینی و نکات علمی و موارد فنی ارزنده‌ای را در راستای غنای مطالب و تدوین فصول و ترتیب مباحث ارائه نموده‌اند.
- جناب آقایان دکتر محمود میری و دکتر محمد قاسم وتر، به ترتیب استاتید محترم اینجانب در رشته مهندسی عمران - سازه دانشگاه سیستان و بلوچستان و عمران - سازه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی ایران، که در مدت انجام تحقیق بنده و همکارانم مفتخر به دریافت پیشنهادات ارزنده از ایشان جهت پیشبرد اهداف این تحقیق بوده‌ایم.

و با تشکر فراوان از

- شرکت مهندسان مشاور آب عمران فراز اندیش بابت قبول هزینه چاپ و انتشار کتاب
- مهندس سید مهیار حسینی کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه، همکار اینجانب در تیم تحقیقاتی.
- کارکنان محترم آزمایشگاه سازه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی ایران، مخصوصاً جناب آقای مهندس جبار زاده مسئول آزمایشگاه سازه، آقایان مرتضایی و جوالی تکنسین‌های محترم آزمایشگاه که در نصب و مونتاژ قطعات مربوط به آزمایش با جدیت و صف ناپذیری، تیم تحقیقاتی را یاری نمودند.
- استاد گرامی، جناب آقای مهندس ابوالقاسم قادری (مهندس پلیمر)، که با مشاوره و تجربیات بسیار ارزنده خود و نیز جایگاه ایشان به عنوان مسوول فنی یکی از کارخانجات بزرگ تولید قطعات لاستیکی در ایران، کمک موثری را در جهت انجام هرچه آگاهانه‌تر فرایند تحقیق مصروف داشتند.
- شرکت صنعتی Pole Astara و کارکنان محترم این شرکت بزرگ تولید قطعات صنعتی که با کمک‌های ارزنده خویش، تیم تحقیقاتی را در پیشبرد هرچه سریع‌تر فرایند تحقیق یاری نمودند.
- و در نهایت شرکت ارتعاشات صنعتی ایران و کارکنان محترم این شرکت که با راهنمایی‌های خود اینجانب را در امر تهیه و گردآوری اطلاعاتی مناسب در زمینه موضوعات تحقیق یاری نمودند.



{در برابر زلزله نمی‌توان مقاومت کرد بلکه باید با آن حرکت کرد!!} (ضرب المثل ژاپنی)

پیشگفتار

مقابله با پدیده زلزله از دیرباز در کانون توجه مهندسان سازه و دست‌اندرکاران پروژه‌های ساختمانی و برنامه‌ریزان عمرانی و مدیریت توسعه پایدار بوده است. هرچند در بسیاری از موارد ایمن سازی تاسیسات و سازه‌ها در برابر زلزله با بهره‌گیری از مکانیزم‌های متعارف مقاوم سازی و معیارهای طراحی محقق می‌گردد، لیکن در مواردی نیز مهندس طراح برای ارتقای سیستم ایمنی ناگزیر از به‌کارگیری فرایند جداسازی ساختار بدنه و فونداسیون از طریق عناصر میراگر انعطاف پذیر و نصب جداگرهای لرزه‌ای کارآمد است. امروزه استفاده از این رویکرد نوین در سازه‌های بلند، پل‌های هوایی و تاسیسات سنگین و بویژه سازه‌های صنعتی فلزی بزرگ مقیاس نظیر مخازن کروی نفت و گاز از جمله دستاوردهای مهم در عرصه مهندسی عمران قلمداد می‌شود. کتاب حاضر با عنوان " طراحی جداگر لرزه‌ای در مخازن نفت و گاز" با عنایت به چنین ضرورتی تدوین گردیده و مولف در گام نخست با بررسی دقیق منابع و مراجع علمی و انجام تحقیقات فراگیر و هدفمند ضمن پرداختن به نکات اصولی و مبانی نظری و فنی، چگونگی استفاده از عناصر میراگر در مقابله با خطرات زلزله و معیارهای طراحی انواع سازه‌های جداسازی شده را به تشریح ارائه نموده است. در گام دوم نوشتار، نویسنده با تمرکز به جایگاه استفاده از مخازن کروی و پرداختن به مبانی نظری بهره‌گیری از جداگرها در ارتقای ایمنی چنین سازه‌هایی، عملکرد یک مدل واقعی از منبع کروی تحت بار زلزله را با جزئیات کامل مشاهداتی و محاسباتی و بیان توصیفی و تصویری به عنوان بخشی از کار تحقیقاتی علمی - آزمایشگاهی برای مخاطبین و متخصصین این عرصه ارائه نموده است. شایسته ذکر است این کتاب دومین دست‌آورد مولف در حیطه مهندسی عمران می‌باشد که با هدف نشر دانش مهندسی و انتقال تجارب و ایجاد تعامل با جامعه کارشناسی و دست‌اندرکاران پروژه‌های ساختمانی توسط نویسنده و پشتیبانی شرکت *مهندسان مشاور آب و عمران فرازندیش* به علاقمندان و رهپویان سازندگی کشور تقدیم می‌گردد. امید است هرچند گامی کوچک، اقدامی در تعمیق دیدگاه‌های پژوهشی و کاربردی مخاطبین گرامی تلقی شود.

ارائه نکته‌نظرات و بیان دیدگاه‌ها و پیشنهادات اصلاحی و نظرات کارشناسان گرامی موجب امتنان فراوانی است و آدرس اینترنتی faraz_omran@yahoo.com بدین منظور معرفی می‌گردد.

شرکت مهندسان مشاور آب و عمران فرازندیش

مدیرعامل

دکتر فیروز بهادری

مقدمه ناشر

استفاده از جداسازهای لرزه‌ای باعث می‌شود که شدت زلزله وارد به سازه از طریق پی به میزان قابل توجهی کاسته شود. استفاده از جداساز برای سازه‌های خاص همانند سازه‌های صنایع پتروشیمی، مخازن نفت و گاز... در کشور ایران که دارای وضعیت زلزله خیزی قابل توجهی است قابل تأمل است. از این رو استفاده از جداسازها برای سازه‌های با اهمیت، علیرغم هزینه‌های آنها توصیه می‌شود. در این راستا و به منظور بسط دانش استفاده از جداسازها در مخازن نفت و گاز، کتاب حاضر چاپ گردید. این کتاب نتیجه چند سال تجربه آکادمیک و آزمایشگاهی جناب آقای مهندس رضا بهادری خسروشاهی است که توسط نشر علم عمران به چاپ رسیده است. امید است با نشر آن، گام هرچند کوچک ولی مؤثر در زمینه استفاده از تکنولوژی‌های نوین در صنعت برداشته باشیم.

سید مهدی داودنبی

مدیر نشر علم عمران

مقدمه مولف

با توجه به شرایط ایران از لحاظ ساختار زمین‌شناسی و واقع شدن آن بر روی نوار آلپاید، لزوم حفظ جان افراد و سازه‌ها در برابر زلزله‌ها از موارد مهم در علوم مهندسی به خصوص رشته‌های چهارگانه مهندسی عمران، معماری، مکانیک و برق است. لذا ضرورت ارتقای دانش در زمینه بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها از اهداف و اهم برنامه‌ها جهت حفظ و توسعه زیر ساخت‌ها در کشور می باشد. برای رسیدن به این هدف برنامه‌ریزی و صرف وقت و هزینه، بی شک لازم و ضروری خواهد بود. با توجه به این زمینه‌ها، بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها شرایطی مطلوب برای توسعه هر چه سریع‌تر ایجاد خواهد کرد زیرا نگرانی‌ها از تهدیدهای احتمالی محیطی تا حدود قابل توجهی مرتفع خواهد گشت. برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها شناخت سازه و محیطی که در آن واقع است موجب طراحی و ساخت سازه ای ایمن و یا تجهیزات مناسب جهت حفظ افراد کاربر و نیز سازه خواهد شد. برای شناخت محیط و سازه، مطالعات، بررسی‌ها، تحقیقات و کاربرد نرم افزارهای قدرتمند، اصولی بنیادین است که گروه‌های مهندسی باید با برنامه‌ریزی آن‌ها را به کار برند. در رسیدن به این اصول به طور حتم کار گروهی بر کار فردی ارجحیت تمام داشته و نتایج قابل استفاده و کاربردی به شکل قابل توجهی از درون فعالیت‌های تیمی حاصل خواهد شد. با توجه به مطالب ارائه شده یک تیم تحقیقاتی در زمینه بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها به صورت مشترک توسط دانشگاه سیستان و بلوچستان و مرکز پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی ایران در قالب، دو پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد تشکیل شد. وظیفه این تیم شناخت، طراحی و ساخت جداگرهای لرزه‌ای لاستیکی پایه برای یک سازه صنعتی و سپس آزمایش جداگرها بر روی نمونه آزمایشگاهی بود. جداگر لرزه‌ای لاستیکی با توجه به ابعاد مدل آزمایشگاهی سازه، طراحی و سپس با تهیه مواد اولیه و طرح اختلاط، لاستیک جداگرها تولید گردید. در مرحله نهایی با نصب جداگرها به میز لرزه و نصب سازه به جداگرها و میز در آزمایشگاه، با اعمال بار لرزه‌ای نتایج در مورد میزان تاثیر جداگرها بر روی سازه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نیز تایید کننده تاثیر قابل توجه جداگرها بر روی بهسازی لرزه‌ای سازه بوده است. با توجه به این‌که جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها یک موضوع نسبتاً جدید در سراسر جهان است، لذا توجه و پیگیری‌های متعددی؛ جهت شناخت و درک این موضوع از طرف مهندسین، مسولین و حتی پیمانکاران شده است. با عطف به این نکته دسترسی تمام افرادی که به این موضوعات علاقه‌مند هستند در قالب کتاب، نشریات و مقاله‌های سودمند از جمله وظایف افرادی است که در حال تحقیق و بررسی هستند تا زمینه برای سایر گروه‌ها نیز جهت ادامه کار و توسعه هر چه سریع‌تر این دانش فنی فراهم گردد.

اینجانب به عنوان یکی از اعضای گروه تحقیقاتی ذکر شده با انتشار کتاب حاضر که شامل مطالب و منابع سودمندی جهت شناخت جداگرهای لرزه‌ای لاستیکی، روش‌های طراحی آن‌ها و نیز نتایج آزمایش‌ها بر روی سازه جداسازی شده است، سعی به ارائه خدماتی هر چند کم مقدار، جهت توسعه این فناوری در کشور داشته‌ام. امید است ارائه این مطالب بتواند پاسخ‌گوی برخی ابهامات و سوالات همکاران ارجمند باشد. با این وجود این اثر بدون ایرادات فنی و علمی نبوده و از متخصصین و کارشناسان گران‌قدر تقاضامندم با بررسی موشکافانه مطالب، اینجانب را در بهبود اثر یاری رسانند.

بدیهی است غنای محتویات هر اثری محصولی قابل استفاده برای کاربران به ارمغان می‌آورد. بدین منظور سایت faraz_omran@yahoo.com جهت ارائه پیشنهادات سروران گرامی معرفی می‌گردد.

با آرزوی توسعه هر چه بیشتر فن‌آوری‌های نوین سازه‌ای در ایران

رضا بهادری خسروشاهی

۱۳۹۵

فهرست مطالب

فصل اول. خلاصه‌ای بر علل وقوع زمین‌لرزه‌ها	۱
۱-۱-۱- علل وقوع زمین لرزه	۱
۱-۱-۱-۱- نظریه تکنونیک صفحه‌ای	۱
۱-۱-۲- خلاصه‌ای از برخی دلایل زلزله و بررسی نظریه‌ها	۲
۱-۱-۳- امواج لرزه‌ای	۵
۱-۱-۴- بیان کمی زلزله	۷
۱-۱-۵- حرکت ثبت شده زمین در هنگام زلزله	۹
۱-۱-۶- مکانیزم‌های آسیب‌رسانی زمین لرزه‌ها	۱۰
فصل دوم. جدایی سازه همراه با زمین‌لرزه به وسیله سیستم تکیه‌گاه لاستیکی با میرایی بالا.....	۱۳
۱-۲-۱- جداگرهای لرزه‌ای	۱۳
۱-۲-۱-۱- انواع جداگرهای لرزه‌ای متداول	۱۵
۱-۲-۲- سیستم تکیه‌گاهی لاستیکی طبیعی با میرایی بالا.....	۱۷
۱-۲-۲-۱- انواع لاستیک مورد استفاده در جداسازهای لاستیکی	۱۹
فصل سوم. مبانی طراحی و لزوم جداسازی لرزه‌ای	۲۳
۱-۳-۱- تشریح حرکت زمین (مدل سازی زلزله)	۲۸
۱-۳-۲- روش استاتیکی معادل	۲۹
۱-۳-۲-۱- مختصری بر محاسبه نیروی زلزله به روش استاتیکی خطی	۲۹
۱-۳-۲-۲- موارد اضافه مقاومت	۳۰
۱-۳-۲-۳- جنس خاک	۳۱

۳۱.....	۳-۲-۴- سختی سازه
۳۷.....	۳-۳- روش آنالیز (تحلیل) دینامیکی
۳۸.....	۳-۳-۱- روش تحلیل در دامنه زمان
۴۵.....	۳-۴-۱- چرایی جداگرهای لرزه‌ای پایه
۴۶.....	۳-۴-۱- سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای پایه
۴۷.....	۳-۴-۲- معیارهای طراحی جداگرها
۴۷.....	۳-۴-۳- انواع سیستم‌های جداسازی
۵۰.....	۳-۴-۴- دیدگاه اجمالی به فرآیند محاسباتی
۵۰.....	۳-۵- نگاه کلی به رفتار یک جداگر لاستیکی خالص (بدون ورقهای فولادی)
۵۶.....	۳-۶- برخی از آزمایشات استاندارد در ایران مربوط به لاستیک مورد استفاده در جداگر لرزه‌ای [طبق آزمایشهای مرکز تحقیقات صنایع لاستیک ایران]
۵۷.....	۳-۷- نتیجه گیری
۵۹.....	فصل چهارم. مبانی و اصول طراحی جداگرهای لاستیکی لرزه‌ای پایه
۵۹.....	۴-۱-۱- مقدمات ضروری قبل از طراحی جداگرها
۶۰.....	۴-۱-۱-۱- ابعاد سازه مورد استفاده در تحقیق
۶۱.....	۴-۱-۲- تعریف سطح عملکرد (مفهوم طراحی بر اساس عملکرد)
۶۳.....	۴-۱-۳- ضریب اهمیت سازه
۶۳.....	۴-۲- معیارهای پذیرش سازه
۶۳.....	۴-۲-۱- ظرفیت باربری قائم سازه
۶۴.....	۴-۲-۲- پایداری در برابر بارهای جانبی
۷۲.....	۴-۳- تحلیل منبع کروی
۷۳.....	۴-۳-۱- تحلیل شبه استاتیکی منبع کروی
۷۳.....	۴-۳-۲- طراحی لرزه‌ای سازه‌های محافظ مربوط به مخزن کروی
۷۵.....	۴-۳-۳- محاسبه برش پایه منبع کروی
۷۸.....	۴-۳-۴- محاسبه مقاومت حد تسلیم F_y و تغییر شکل نهایی δ_y مربوط به ستون‌ها و بادبندها
۸۰.....	۴-۳-۵- محاسبه برش پایه مخزن کروی بر اساس آیین نامه ژاپن (مثال)
۸۴.....	۴-۴- تعیین حداکثر نیروی زلزله اعمالی به قاب مهاربندی شده به روش مبحث ۱۰ مقررات ملی
۸۷.....	۴-۵- تحلیل استاتیکی خطی سازه (منبع) طبق نشریه ۳۶۰ معاونت راهبردی

- ۸۷-۱-۵-۴- کنترل ضوابط محدوده‌ی کاربرد روش استاتیکی خطی
- ۸۸-۲-۵-۴- تعیین زمان تناوب اصلی نوسان سازه
- ۸۸-۳-۵-۴- روش تحلیل استاتیک خطی برای سازه مورد نظر
- ۹۱-۶-۴- بررسی شکل پذیری در مخزن کروی با جداگر و بدون جداگر لرزه‌ای بر اساس تحقیقات انجام شده در گذشته ..
- ۹۳-۷-۴- بررسی تاثیر تلاطم داخل منبع کروی در شرایط منبع جداسازی شده و جداسازی نشده
- ۹۳-۱-۷-۴- محاسبه و برآورد فشار هیدرودینامیک در وضعیت‌های مختلف مخزن کروی
- ۹۹-۲-۷-۴- محاسبه نیروی برش پایه بدون تاثیر تلاطم در منبع کروی با استاندارد EC8 و ASCE
- ۱۰۲-۳-۷-۴- محاسبه نیروی برش پایه با تاثیر sloshing در منبع کروی طبق استاندارد اروپایی و آمریکایی
- ۱۰۴-۸-۴- جداگر لرزه‌ای پایه و حفاظت از سازه‌ها
- ۱۰۶-۱-۸-۴- معیارهای طراحی جداگرها:
- ۱۰۶-۲-۸-۴- طراحی جداگر الاستومر بر اساس آیین نامه UBC و نشریه معاونت راهبردی شماره ۵۲۳
- ۱۱۴-۹-۴- نتیجه گیری

فصل پنجم. آزمایش جداگر لرزه‌ای توسط میز لرزه

- ۱۱۷-۱-۵- نگاهی کلی به فرآیند ساخت جداگر لرزه‌ای با میرایی بالا
- ۱۲۴-۲-۵- انجام آزمایش برش و فشار بر روی جداگر ساخته شده
- ۱۲۴-۱-۲-۵- بررسی آزمایش فشاری و برشی، تغییر شکل‌های قائم و افقی جداگر لاستیکی
- ۱۲۵-۳-۵- آزمایش‌ها و رکوردهای مورد نظر جداگر طراحی شده بر روی میز لرزه
- ۱۳۰-۴-۵- تحلیل نمودارهای شتابنگاشت
- ۱۳۰-۱-۴-۵- تئوری جداگر پایه
- ۱۳۵-۲-۴-۵- آزمایش‌های تاثیر جداگر پایه بر سازه
- ۱۴۱-۵-۵- تحلیل نتایج و نمودارهای حاصل از FFT
- ۱۴۵-۶-۵- رابطه سرعت و شتاب

منابع

- ۱۶۷- پیوست‌ها

فهرست علائم

توصیف	علامت
هم پوشانی بالا و پایین تکیه‌گاه	A ,
سطح مقطع مهاربند	A
تغییر مکان تراز زام در مود m	a_{jm}
ضریب کاهش	B
ضریب زلزله	C
ماتریس میرایی سیستم	c
ضریب تصحیح برای اعمال تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی سیستم	C_1
اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای را بر تغییر مکان‌ها به دلیل رفتار چرخشی آن‌ها وارد می‌کند	C_2
اعمال اثرات $P-\Delta$	C_3
میرایی سیستم جداگر پایه	C_b
ضریب برش پایه	C_{bs}
مرز کمانش الاستیک و پلاستیک	C_C
ضریب زلزله در مود m	C_m
برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود	C_m
میرایی روسازه	C_s
قطر خارجی ستون‌های استوانه‌ای	d
تغییر مکان طرح	D_D
قطر مخزن	D_d
نسبت نیرو به ظرفیت برای تلاش بحرانی در عضو i	D_{CRI}
مدول فشاری جداساز	E_C
پیچش تصادفی	e_{aj}
پیچش ذاتی	e_j
تنش مجاز فشار	F_a
تنش موجود فشاری	f_a
تنش مجاز فشاری کاهش یافته	F_{as}

علامت	توصیف
F_i	نیروی جانبی هر طبقه
$f(\zeta)$	نسبت وزن جرم موثر محتوی مخزن
F_y	نیروی مجاز جانبی وارد بر ستون‌ها (kN) - تنش تسلیم
g	شتاب زمین (m/s^2)
h_r	ضخامت کل لاستیک
h	ارتفاع ستون (کف تا سقف)
K	ماتریس سختی سیستم
k	ضریب طول موثر مهاربند
K_b	سختی سیستم جداگر پایه
K_s	سختی روسازه
$K_Z(V)$	سختی قائم در اثر تغییرات حجمی و بدون کرنش برشی
$K_Z(\gamma)$	سختی قائم تکیه گاه بدون تغییرات حجمی
l	طول مهاربند
L_r	ارتفاع سر ستون
M_1	لنگر اولیه پای ستون
M_2	لنگر ثانویه (اثر $P-\Delta$)
M_a	ممان خمشی بحرانی در حد فاصل زیر نقطه a یا $\frac{L_r}{4}$
$m_c - M_c$	جرم انتقالی منبع
$m_i - M_i$	جرم ضربه‌ای
m_r	جرم سقف منبع استوانه‌ای
m_w	جرم بدنه منبع استوانه‌ای (بشرطی که ضخامت منبع در تمام سطح یکسان باشد)
M_O	معرف لنگر واژگونی
M_R	معرف لنگر مقاوم
N_c	مقاومت مجاز فشاری باد بندها (kN)
N_T	مقاومت مجاز کششی بادبندها (kN)
P	سهم ستون از بار ثقلی ($P=DL+LL$)
P	نیروی محوری مهاربند
Q_d	نیروی برشی مجاز طراحی
q_1, q_2	ضرائب مدی
r	شعاع ژیراسیون مقطع مهاربند
S	ضریب شکل
S_a	شتاب طیفی سازه
$S_d(T_I)$	طیف پاسخ مربوط به نوسان ضربه‌ای منبع (حاصل از اثر تلاطم)
$S_d(T_{imp})$	طیف پاسخ منبع استوانه‌ای در حالت نوسان ضربه‌ای

علامت	توصیف
T_m	زمان تناوب نوسان مود m ام
T_0	عددی است که بر حسب نوع زمین تعیین می‌شود
t	ضخامت لایه لاستیکی
T_1	ضخامت پوسته فولادی ستون‌های توخالی استوانه‌ای (mm)
V_D	حجم خود تانک یا مخزن (m^3)
V_I	حجم مورد استفاده از مایع (m^3)
V_m	نیروی برشی پایه در مود m ام
W	وزن کل سازه (kN)
W_D	وزن بار مرده سازه (kN)
W_I	وزن محتوی داخلی مخزن (kN)
W_i	وزن طبقه مورد نظر
w_j	وزن ارتعاشی هر طبقه است؛ شامل بار مرده+ درصدی از بار زنده نصف ارتفاع طبقه پایین+ نصف ارتفاع طبقه بالا.
W_m	وزن موثر سازه در مود m ام
W_j	وزن تراز j ام
W_{max}	وزن مجاز
x_t	تغییر مکان سیستم در لحظه t
$\dot{x}(t)$	سرعت سیستم در لحظه t
$\ddot{x}(t)$	شتاب سیستم در لحظه t
$\ddot{x}_g(t)$	مولفه شتاب حرکت زمین در جهت مورد نظر
Z	ضریب منطقه
δ_i	جابجایی نسبی طبقه مورد نظر
η_{XZ}	(تانسور کرنش برشی)
γ_W	کرنش برشی مجاز ناشی از وزن سازه، کرنش برشی مجاز در اثر وزن W می‌باشد
δ	تغییر مکان کلی مد نظر
δ_M	تغییر شکل در سر ستون‌ها
ζ	نسبت حجم قابل استفاده از مایع به حجم مخزن V_I/V_D
η	تغییر شکل پلاستیک متوسط مربوط به بادبندها
δ_1	تغییر شکل بادبندها
δ_2	تغییر شکل ستون در نقطه b در نتیجه ترکیب بار 2S مربوط به بادبندها
δ_3	جابجایی نسبی بین نقطه a و نقطه b وقتی که زاویه‌ای بین ستون و زمین فرض گردد
η	ضریب متوسط تغییر شکل پلاستیک
β_b, β_s	فاکتورهای میرایی
ω_1, ω_2	فرکانس‌های نوسان در این حالت

فصل اول

خلاصه‌ای بر علل وقوع زمین‌لرزه‌ها

۱-۱-۱ - علل وقوع زمین لرزه

نظریه‌های متعددی برای علل پیدایش زمین لرزه‌ها توسط لرزه شناسان ارائه شده است که به اختصار در این فصل از کتاب به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱-۱-۱-۱ - نظریه تکتونیک صفحه‌ای

از بین کلیه علل پیدایش زمین لرزه، پدیده تکتونیک صفحه‌ای^۱ عامل وقوع اغلب زمین لرزه‌های شناخته شده است. بر اساس نظریه تکتونیک صفحه‌ای، بخش بیرونی زمین به نام لیتوسفر^۲ شامل چندین قطعه بزرگ و صلب است که صفحه نامیده می‌شوند. لیتوسفر شامل پوسته و قسمت بالای گوشته^۳ زمین است و از استنوسفر^۴ زیر آن با این تفاوت متمایز می‌شود که سردتر و در نتیجه صلب‌تر است.

نظریه تکتونیک صفحه‌ای تصویری دینامیکی از گوشته‌ای متحرک با صفحات لیتوسفر به ضخامت حدود ۱۰۰ کیلومتر که بر روی استنوسفر حرکت جانبی دارند، ارائه می‌دهد. بر اساس نظریه تکتونیک صفحه‌ای، سطح زمین از ۶ صفحه لیتوسفری بزرگ و تعداد صفحات کوچک‌تر پوشیده شده است. پیدایش زمین لرزه‌ها به علت حرکت این صفحات نسبت به یکدیگر در طول مرز مشترک آن‌ها می‌باشد.

نواحی زلزله خیز جهان به سه نوار عمده به نام‌های نوار محیط اقیانوس آرام، نوار آلپاید و نوار وسط اقیانوس اطلس تقسیم شده است. نوار محیط اقیانوس آرام از مهم‌ترین نوارهای زلزله خیز به شمار می‌رود و اغلب زمین لرزه‌های دنیا را شامل می‌شود. نوار آلپاید که کشور ایران بر روی این نوار زلزله واقع است از سلسله کوه‌های هیمالیا در شرق آسیا آغاز شده و پس از عبور از ایران و ترکیه تا دریای مدیترانه امتداد می‌یابد. نوار وسط اقیانوس اطلس

1. Plate Tectonics
2. Lithosphere
3. Mantle
4. Asthenosphere

که در امتداد شمال - جنوب است به دلیل قرار داشتن آن در وسط اقیانوس اطلس از نظر مهندسان سازه اهمیت زیادی ندارد.

محل وقوع اغلب زلزله‌ها در نواحی مجاور مرزهای صفحات تکتونیک قرار دارد. در این نواحی صفحات در اثر انتقال حرارت مواد گرم‌تر به سمت بالا و مواد سردتر به طرف پایین به یکدیگر فشار آورده و یکی به زیر دیگری فرو رفته که نتیجه آن زمین لرزه است. همان گونه که اشاره شد، ایران در نوار زلزله آلباید که از کوه‌های هیمالیا تا دریای مدیترانه امتداد دارد واقع شده است. بر اساس مطالعات لرزه شناسی، صفحات اصلی منطقه شامل صفحه ایران و صفحه عربستان با سرعت مختلف در جهت شمال شرقی حرکت می‌کنند. بارزترین وجه تکتونیکی منطقه از زیر رانده شدن صفحه ایران به وسیله صفحه عربستان است. در مرز مشترک صفحات ایران و عربستان ناحیه‌ای است که توسط منطقه فشاری زاگرس و چین خوردگی زیاد آن مشخص است و تشکیل گسل‌ها را نتیجه می‌دهند. زلزله‌هایی که در اثر رهایی ناگهانی انرژی ذخیره شده در پوسته زمین ایجاد می‌شوند به زلزله‌های تکتونیک موسوم هستند.

۱-۱-۲- خلاصه‌ای از برخی دلایل زلزله و بررسی نظریه‌ها

انبساط پذیری سنگ‌های پوسته‌ای

فشار ناشی از وزن سنگ‌های روی هم در عمق تا حدود ۵ کیلو متری پوسته زمین تقریباً معادل با مقاومت فشاری نمونه‌های سنگی ترک نخورده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد است. از طرف دیگر در صورت عدم دخالت عوامل دیگر، نیروی برشی برای ایجاد گسیختگی ترد ناگهانی و نیز لغزش اصطکاکی در امتداد یک ترک حاصل نمی‌شود و سنگ تنها تغییر شکل‌هایی در محدوده پلاستیک می‌دهد. لیکن کاهش اصطکاک موثر در امتداد مرز ترک‌ها به دلیل وجود آب، توجیه مناسبی برای ایجاد مکانیزم‌های گسیختگی ناگهانی در امتداد ترک‌ها می‌باشد.

مطالعات وسیع و مستقل انجام شده پس از دهه ۱۹۶۰، تغییرات سرعت امواج P را قبل از وقوع زلزله تایید می‌کند، به گونه‌ای که در یک تجربه، افت ناگهانی سرعت امواج P به میزان 10 درصد چهار سال قبل از وقوع زلزله و سپس افزایش این سرعت با آهنگ یکنواخت گزارش شده است.

برای توضیح این پدیده، (افت ناگهانی سرعت امواج P و افزایش تدریجی آن) استفاده از نظریه انبساط پذیری سنگ‌های پوسته زمین قابل قبول به نظر می‌رسد. بر اساس این نظریه وجود آب در امتداد ترک‌ها باعث ایجاد امکان گسیختگی ناگهانی می‌شود.

هر چند به طور طبیعی باید انتظار تغییر شکل‌های تدریجی (و نه شکست آبی) را در توده سنگ داشت، اما وجود آب باعث کاهش اصطکاک موثر در درز توده‌های سنگی شده فشار آب حفره‌ای کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت امواج P دچار افت ناگهانی می‌شود.

با گذشت زمان با جریان یافتن آب زیرزمینی در ترک‌های ایجاد شده، فشار آب حفره‌ای مجدداً افزایش یافته، سرعت امواج P افزایش تدریجی می‌یابد.