بسم الله الرحمن الرحيم

.... اَلَّذیْ عَلَّمَ بِالْقَلَمْ .

عَلَّمَ الْاِنْسَانَ مَالَمْ یَعْلَمْ .

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده عمران ـ بخش مهندسی سازه

« تحلیل دینامیکی سازه‌های نامتقارن متکی بر تکیه گاه لغزشی »

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

در گرایش مهندسی سازه

توسط :

نصرت‌الله فلاح

زیر نظر استاد ارجمند :

دکتر محمدمهدی سعادتپور

۱۳۷۲ /۷/ ۴

۱۹۴۸۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

تابستان ۱۳۷۰

* بنـــــــــام خـــــــــدا *

این پایان نامه درجلسه مورخ ۷۰/۷/۶ کمیته پایان نامه متشکل از اساتید ذیل مورد بررسی و تائید قرارگرفت:

۱- (استاد راهنما)

۲- (استاد کمیته تخصصی)

۳- (مسئول کمیته کارشناسی ارشد دانشکده)

تقدیم به آنانکه زندگی خویش را وقف سازندگی وتهذیب جوانان کشورما می‌نمایند.

تقدیم به آنانکه مشوقم درپیمودن این راه بودند.

تقدیم به آنانکه مشعل را هم بودند.

تقدیم به پدر، مادر و همسرم.

" بسم الله الرحمن الرحیم "

حمدوسپاس خداوندگاری را سزاست که با آفرینش انسان ،درمیان همه پدیده های هستی اورا با زیور علم ودانش ممتاز ساخت ودر اولین آیات ،ارزش این نعمت را متذکر گردید . آفریدگاری که زبان ستایشگران از وصف کمالش عاجز ،وکوششگران سپاسگویش ، با تلاشی هرقدرگران ،نتوانندکزعهدهٔ شکرش بدرآیند . ذات پاک آفریدگار را به خاکساری میستاییم که حقیررا درانجام این رساله یاوروپشتیبان بوده است .

با انجام این رساله برخودفرض میدانم که از زحمات خالصانهٔ اساتیدگرانقدری که دردوران تحصیل ازمحضرشان کسب فیض نمودم ،تقدیرنمایم . ازخداوندبزرگ افزونی عزت وسعادت این گرانمایگان را خواستارم .

درارتباط با رسالهٔ حاضر ،از زحمات بیشائبهٔ جناب آقای دکترمحمدمهدی سعادتپور ، استادراهنمای رساله ،کمال تشکروسپاسگزاری را مینمایم .ایشان ضمن طرح موضوع ، با علاقهٔ تمام پیشرفت کار را تعقیب وبا راهنمائیها وهمفکریهای ارزشمند خویش سهم بسزایی درپیشبرداین رساله داشته اند . همچنین مراتب سپاس وقدردانی خودرا نسبت به زحمات جناب آقای دکترامیرمسعودکیانیا به عنوان استادکمیته تخصصی رساله ابراز میدارم . ازهمسرفداکارم که با صبروبردباری ، مشکلات را تحمل نموده تا در انجام این مهم موفق گردم، صمیمانه تشکروسپاسگزاری مینمایم . از زحمات چندسالهٔ کارکنان دانشکده عمران ومساعدتهای کارکنان مرکزمحاسبات دانشگاه که درطی انجام رساله برخوردار بودم ، قدردانی مینمایم .درپایان لازم میدانم که از موسسه خدمات فرهنگی اصفهان که تایپ این رساله را انجام داده اند تشکرنمایم .

نصرت الله فلاح

تابستان ۱۳۷۰

* فهرست مطالب *

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	۱
۱–۱ : زلزله وعلل وقوع آن	۱
۱–۲ : شیوه‌های مقابله با زلزله	۳
۱–۲–۱ : اصول کلی حاکم برطرح ساختمانهای کوچک مقاوم در مقابل زلزله	۳
۱–۲–۲ : شیوه‌های جدید درطرح انواع مختلف سازه‌های مقاوم در مقابل زلزله	۵
۱–۳ : مسائل موردنظر دررساله حاضر	۱۶
فصل دوم : تحلیل رفتار دینامیکی سازه‌های یکدرجه‌آزادمتکی برتکیه‌گاه لغزشی	۱۹
۲–۱ : مقدمه	۱۹
۲–۲ : سیستم درنظرگرفته‌شده	۱۹
۲–۳ : معادلات حرکت	۲۱
۲–۳–۱ : معادله‌حرکت سیستم درفاز غیرلغزشی	۲۱
۲–۳–۲ : معادله‌حرکت سیستم درفاز لغزشی	۲۳
۲–۴: حل معادلات حرکت	۲۴
۲–۴–۱: حل درفاز غیرلغزشی	۲۵
۲–۴–۲: حل درفاز لغزشی	۲۶
۲–۵ : خصوصیات سیستم درنظرگرفته‌شده	۲۷

عنوان	صفحه
۲-۶ : ارزیابی پاسخ های سیستم	۲۸
فصل سوم: روش المان الاستو پلاستیک با سختی اولیه نا محدوددرتحلیل دینامیکی سازه‌های برشی متکی برتکیه‌گاه‌لغزشی	۳۹
۳-۱ :مقدمه	۳۹
۳-۲ :ایده‌فنرا لاستوپلاستیک مجازی وسیستم درنظرگرفته‌شده	۳۹
۳-۳ :معادله‌حرکت	۴۲
۳-۴ : ملاحظاتی خاص درتحلیل عددی بروش فنرا لاستوپلاستیک	۴۲
۳-۵ : ارزیابی روش فنرا لاستوپلاستیک	۴۴
فصل چهارم: تحلیل دینامیکی سازه‌های نامتقارن متکی برتکیه‌گاه‌لغزشی	۵۰
۴-۱ : مقدمه	۵۰
۴-۲ : سیستم درنظرگرفته‌شده	۵۱
۴-۳ : توسعه‌روش فنرا لاستوپلاستیک درتحلیل سازه‌های نامتقارن‌لغزشی- روش المانهای مجازا	۵۲
۴-۳-۱ : ماتریس سختی الاستیک المان	۵۳
۴-۳-۲ : رفتارغیرخطی المانها	۵۴
۴-۳-۳ : معیارتسلیم المان ها	۵۵
۴-۳-۴ : معیاربرگشت به‌حالت الاستیک	۵۷
۴-۳-۵ : ماتریس سختی سیستم	۵۷
۴-۴ : معادلات حرکت	۶۳
۴-۵ : حل معادلات حرکت	۶۵
۴-۶ : خصوصیات سیستم درنظرگرفته‌شده	۶۵

عنوان	صفحه

۴–۷ : ارزیابی روش المانهای مجزا – بررسی تعداد المانها ۶۶

۴–۸ : مطالعه طیف پاسخ های سیستم ۶۹

۴–۹ : مطالعه اثرات پیچش درتغییرشکل ستونهای گوشه ۸۰

۴–۱۰ : نتیجه‌گیری وپیشنهادات درموردسیستم‌های نامتقارن‌لغزشی ۸۲

فصل پنجم : روش سطح تسلیم درتحلیل دینامیکی سازه‌های نامتقارن متکی برتکیه‌گاه‌لغزشی ۸۸

۵–۱ : مقدمه ۸۸

۵–۲ : سطوح تسلیم اولیه ونهایی ۸۹

۵–۳ : ماتریس سختی الاستیک ومماسی سیستم ۹۵

۵–۴ : معادلات حرکت وحل آنها ۹۶

۵–۵ : روش های تکراری درحذف خطاهای ایجاد شده درآنالیز الاستیک – کاملا" پلاستیک ۹۶

۵–۶ : حل چندمثال وارزیابی دقت روش سطح تسلیم ۹۹

فصل ششم : خلاصه‌روش های پیشنهادی برای تحلیل سازه‌های نامتقارن متکی برتکیه‌گاه‌لغزشی ونتایج بدست آمده ۱۰۳

مراجع ۱۰۷

* چکیـــده *

اغلب سازه ها اگرتحت تحریک دینامیکی واقع شوندرفتارپیچشی ازخودنشـــــان می‌دهند. عوامل مختلفی ممکن است سبب ایجادچنین پیچشی گردند. عدم انطباق مراکز جرم وسختی الاستیک ، یکنواخت نبودن حرکات زمین درزیرپایه ،وجودموء لفه چرخشـــی درحرکات زمین ، تسلیم نامتقارن عناصرمقاوم حتی درسازه هایی با مراکزجرم وسختی الاستیک منطبق برهم و... ازجمله عوامل فوق می‌باشند. دراین گونه موارد عناصرمقاوم سازه تحت تأثیرتوأم نیروهای ناشی ازحرکات جانبی وپیچشی سازه بوده وبا بیشترشدن فاصله این عناصرمقاوم ازمرکزسختی ، تغییرمکان ونیروهای برشی مربوط به آنهـــا بیشترخواهدشد. در رساله حاضرفرض شده است که پیچش موجودتنها ازعدم انطباق مراکـز جرم وسختی الاستیک ناشی می‌شود. تداخل اثرپیچش درواکنش سازه های نامتقارن ونحوه درنظرگرفتن این اثردرطراحی سازه ها ، مدت مدیدی است گه توجه بسیاری ازمحققیـــن را به خودجلب کرده است . بدلیل تعددپارامترهای موء ثردرواکنش و پیچدیگی رفتـــار سازه های نامتقارن ، علیرغم مطالعات گسترده ای گه درموردرفتاراین گونه ازسازه هـا چه درناحیه الاستیک وچه درناحیه غیرالاستیک صورت گرفته است ، هنوزمعیارهایی کـــه بتوانندتداخل اثرپیچش را به خوبی دربرگیرند ارائه نشده است .

ازجمله روش های پیشنهادشده به منظورایزوله نمودن سازه ها ازحرکات مخرب زمین ، استفاده ازتکیه گاه لغزشی است. تکیه گاه لغزشی با توجه به مقاومت اصطکاکی محـــدود سطح تماس پایه ولایه لغزشی ، امکان لغزش پایه صلب را روی فونداسیون فراهم آورده که تحقق این حرکت لغزشی سبب اتلاف بخش زیادی ازانرژی زلزله درسطح تماس می‌گـردد و درنتیجهء آن ازانتقال انرژی زلزله به سازه کاسته می‌شود.

این اتلاف انرژی درسازه های نامتقارن سبب کاهش نیروهای اینرسی طبقات و بالطبع کاهش پیچش طبقات میگردد.

هدف اصلی دررساله حاضرتحلیل رفتاردینامیکی سازه نامتقارنی است که دارای رفتارالاستیک خطی بوده وبه وسیلهٔ تکیه گاه لغزشی ازحرکات مخرب زمین ایزوله شده است. جهت تحقق این امرسطح تماس پایه ولایه لغزشی به تعدادی المان مستطیلی شکل تجزیه شده است ورفتار صلب پلاستیک این اجزاء به کمک رفتارالاستیک کاملا" پلاستیک، بطورتقریبی بیان میشود. برای هریک ازاین المانها درمحدودهٔ الاستیک، سختی الاستیک متناسب با سختی سازه اصلی درراستای اصلی مقاومت، فرض شده است. با به تسلیم رسیدن هریک ازاین المانها با استفاده ازتئوری پلاستیسیته ماتریس سختی مماسی المان محاسبه ودر ادامه حل مسئله بکارگرفته میشود. درتلاشی دیگرجهت تحلیل سریعتر این گونه ازسازه ها، برای پایه صلب یک سطح تسلیم تقریبی محاسبه شده است. درحقیقت این سطح مرزحالت الاستیک وپلاستیک پایه میباشد. مشابه با روش قبل برای پایه در محدودهٔ الاستیک، ماتریس سختی قطری که عناصرآن متناسب با سختی جانبی سازه اصلی درراستای اصلی مقاومت میباشد، فرض شده است.

با استفاده ازبرنامه کامپیوتری نوشته شده دراین زمینه، مطالعه پارامتریک بر روی خصوصیات سیستم ایزوله کننده (ضریب اصطکاک سطح تماس پایه ولایه لغزشی، نسبت جرم های سازهٔ اصلی وپایه) انجام گرفته که مقادیرمناسب برای این پارامترها قابل تعیین میباشد.

* فصل اول

* مقدمه *

۱-۱: زلزله و علل وقوع آن

زمین لرزه از جمله حوادث طبیعی است که در طول تاریخ ، بشر با آن مواجه بوده است و هر از چندگاهی در گوشه‌ای از جهان ، هزاران انسان را به کام مرگ می‌فرستد. متأسفانه کشور ما نیز از این امر مستثنی نبوده و گهگاهی در گوشه و کنار میهنمان آثار تلخی را بجای می‌گذارد. در طی حدود ۸۰ سال گذشته مملکتمان به طور متوسط در هر سال یک زلزله با بزرگی بیش از ۶ ریشتر به خود دیده است [۱] . تعداد زلزله‌های با بزرگی بیش از ۷ ریشتر در مدت مزبور برابر با زده می‌باشد. ده‌ها هزار نفر در این زلزله‌ها جان خود را از دست دادند و میلیونها ریال خسارت وارد شده است . هیچ نقطه از ایران را نمی‌توان در مقابل وقوع زلزله مصون پنداشت . با توجه به این مطالب باید هر چند وقت یکبار انتظار زلزله‌های نسبتاً بزرگ را در یکی از نقاط ایران داشته باشیم . زلزله یک واقعیت زندگی در کشور ما است و مردم ما باید زندگی با زلزله را بیاموزند. همانطور که ممالک زلزله‌خیز دیگر در این جهت سعی کرده و می‌کنند . برای مثال در دوازدهم ژوئن سال ۱۹۷۸ زلزله‌ای با بزرگی ۷/۴ ریشتر در ژاپن رخ داد که در آن ۲۷ نفر کشته شدند [۱] . درحالیکه در زلزله شمال کشور ما در سال ۱۳۶۹ که تقریباً با همان بزرگی بوده است ، به یاد داریم که چه خسارات جانی و مالی عظیمی بوجود آمده بود. کشور ما در روی نوار زلزله الپاید قرار دارد که در امتداد شرق ـ غرب از کوههای هیمالیا تا دریای مدیترانه ادامه دارد.

مکانیسم‌های اساسی در داخل زمین که باعث وقوع زلزله می‌گردند هنوز بطور کامل درک نگردیده و اند و نظریه‌های گوناگونی پیشنهاد شده است که بعضاً متناقض یکدیگرند .

اما آشکار است که علل وقوع زلزله ارتباط نزدیکی به تحولات تکتونیک کلی زمین دارد که مدام" رشته کوهها وخندق های اقیانوسی را درسطح زمین ایجاد می‌کنند.

تکتونیک ایران اخیرا" بوسیله مک کنزی[1] ونوروزی مطالعه شده است[۲]. از جملهٔ نظریه ها درمورد علل وعوامل ایجاد زلزله، نظریه برگشت ارتجاعی می‌باشد که به وسیله رید[2] پس از مطالعهٔ گسیختگی‌های ایجاد شده درطول گسل سان اندراس درهنگام وقوع زلزله ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو به معرض توجه گذاشت.

زلزله هایی که بوسیله رهایی ناگهانی انرژی اندوخته شده درپوسته زمین ایجاد می‌شوند مزلزله های تکتونیک[3] خوانده می‌شوند. تعدادی زلزله های کوچکتر به علل دیگر مانند لغزش کوه ها[4]، ریزش کوه ها[5]، فروریختن غارها وسخره های زیرزمینی وفعالیت آتشفشانی به وقوع می‌پیوندند[۲]. دربعضی مواقع بشرخوددرایجاد زلزله موثر می‌باشد. بعنوان مثال ایجاد سدهای عظیم روی رودخانه ها تعادل ساختمان زمین را به هم زده ممکن است سبب ایجاد زلزله های کوچک بشود. درمتجاوز از ۳۰ محل دردنیا مشاهده شده است که جمع شدن آب درمخازن بزرگ پشت سدها فعالیت زلزله ای منطقه را زیادکرده است. درمحل بعضی ازاین سدها، زلزله های مخربی به بزرگی بیش از ۶ ریشتر رخ داده است[۲].

انفجارات اتمی نیزممکن است باعث ایجاد زلزله شده یا وقوع زلزله را تسریع کند. در ۴ فوریه ۱۹۷۶ زلزله ای به بزرگی ۷/۵ ریشتردرکشورگواتمالا رخ دادکه درحدود ۵۰۰۰۰ نفرکشته شدند. این زلزله بعنوان یکی ازبزرگترین فاجعه های ثبت شده درنیمکرهٔ

---

1. Mckenzi
2. H.F. Reid
3. Tectonic earthquakes
4. Land slides
5. Rock falls

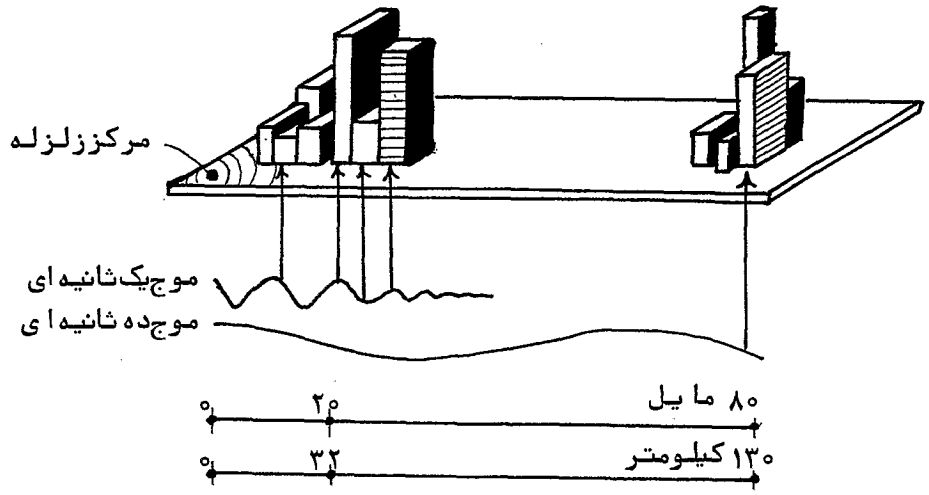
غربی تلقی می‌شود. قبل از وقوع این زلزله در روزهای سوم و چهارم فوریه امریکا به یک سری آزمایش‌های اتمی دست زد. اولین بمب به قدرت تقریبا" دویست هزار تن تی ـ ان ـ تی، ده برابر قویتر از بمب اتمی هیروشیما در روز سوم فوریه منفجر گردید. عده‌ای عقیده براین هستند که این انفجار بعنوان یک نیروی اولیه حالت تعادل زمین ـ شناسی منطقهٔ مزبور را به هم زده است[۲].

انرژی کل ناشی از زلزله با فاصله از مرکز زلزله کاهش می‌یابد ولی این نکته در ارزیابی خسارات وارد بر ساختمان‌ها ممکن است گمراه کننده باشد. آن قسمت از حرکت زمین که دارای پریود کوتاه (فرکانس بالا) می‌باشند در فواصل کم بتدریج مستهلک می‌شوند، ولی امواجی از زمین که دارای پریود بلند (فرکانس پایین) می‌باشند ممکن است صدها کیلومتر حرکت کنند. ارتعاشات با پریود بلند، سبب تشدید ارتعاشات سازه‌های مرتفع شده و در نتیجه سازه‌های با ارتفاع زیاد ممکن است حتی در فواصل خیلی دور از مرکز زلزله خسارت ببینند (شکل ۱ـ۱). در روز اول فروردین ۱۳۵۶ زلزله‌ای به بزرگی تقریبا" ۷ ریشتر در ۴۰ کیلومتری شمال بندرعباس رخ داد که در آن ۱۵۲ نفر کشته شدند. در بندرعباس هتل گامرون که یک ساختمان بتنی است تغییر شکل زیادی در محل اتصالات و عناصر سازه‌های آن رخ داد. هتل گامرون از دو قسمت تشکیل شده است[۲] : قسمت قدیمی ۴ طبقه و قسمت جدید ۶ طبقه، عمده خسارت در قسمت ۶ طبقه رخ داد.

۱ـ۲ : شیوه‌های مقابله با زلزله

۱ـ۲ـ۱ : اصول کلی حاکم بر طرح ساختمانهای کوچک مقاوم در مقابل زلزله

۱ـ شکل تصویر افقی ساختمان‌ها : ساختمان در تصویر افقی باید حتی المقدور نسبت به خطوطی که از مرکز آن می‌گذرند متقارن باشد. ساختمانهای با تصویر افقی دایره، مربع یا مستطیل در زلزله‌ها بهترین عملکرد را دارند. اگر تقارن وجود نداشته باشد آثار پیچشی



شکل ۱-۱ (اقتباس از مرجع [۲])

درساز ه ا یجا دمی‌شودکه می‌توا ندخیلی مخرب با شدولذا حتما" با یدا رزیا بی گردد .

۲- ا نتخا ب نوع مصا لح سا ختما ن : مصا لح سا زه ا ی ا غلب بعلت دردسترس بـــودن ویا ملاحظا ت ا قتصا دی ا نتخا ب می‌شوند .ا گرفقط مقا ومت درمقا بل زلزله موردنظربا شـــد بهترین مصا لح دا را ی خوا ص زیر می‌با شند .

ا لف - خا صیت جذب ا نرژی ا رتعا شی وتغییرشکل پلاستیک زیا د

ب - همگن بودن

پ - نسبت مقا ومت به وزن با لا

ت - مقا ومت یکسا ن وزیا دحدا قل دردو جهت عمودبرهم (بعبا رتی دیگرا ورتو - تروپیک با شند)

ث - ا یجا دا تصا لات با مقا ومت کا مل آ سا ن با شد .

بطورکلی هرچقدرسا ختما ن بزرگتربا شدخوا ص فوق ا همیت بیشتری پیدا می کنند .

۳- یکپا رچگی سا ختما ن : مطا لعا ت ا نجا م شده درمنا طق متعددزلزله زده ا همیـــت به هم‌پیوستن قسمتها ی مختلف سا ختما ن به یکدیگررا ثا بت کرده ا ست . دیوا رها یی که به

طورنا صحیح به‌یکدیگرمتصل شده‌اندا غلب درشا نیه های ا ول زلزله موجب فروپا شی ساختما ن می‌شوند . سقف ها یی که به‌طورمنا سب به‌دیوا رها متصل نشده‌ا ندنیزفرومی‌ریزند.

۴ـ سقف سبک : نیروی زلزلهٔوا ردبرساختما ن با وزن ساختما ن ا فزا یش می‌یا بد . بنا برا ین سقف سبک نسبت به‌سقف سنگین برتری دا رد .

۵ـ نقا طی که با یستی تقویت شوند: بعنوا ن مثا ل درطرفین درها وپنجره ها، فولادهای تقویتی قا ئم ودرداخل دیوا رها ودربا لا وپا یین با زشوها فولادهای تقویتی ا فقی قرا ردا ده‌شود .

۶ـ ا جرای درهم : بقاء ساختما ن ویا فروریختن آن درییک زلزلهٔشدیدبه‌مقا ومت ضعیف ترین قسمت آن بستگی دا رد . اگرقسمت ضعیف شکست بخورد ، بقیه‌ساختما ن احتمالاً فروخوا هدریخت .

۷ـ فا صله‌ساختما نهای مجا ور: ساختما نهای مجا ورهم‌خصوصاً" ساختما نهای باارتفاع متفا وت ، با ید ا زیکدیگرفا صله‌دا شته‌با شند . بعنوا ن مثا ل وجوددوساختما ن یک طبقه ودوطبقه‌بدون فا صله‌درکنا رهم ، درموقع وقوع زلزله‌بعلت حا لت های ا رتعا شی مختلف، ممکن ا ست به‌یکدیگرضربه‌بزنند .

۱ـ۲ـ۲ : شیوه‌ها یی جدیددرطرح ا نوا ع مختلف سا زه‌های مقا وم درمقا بل زلزله

پس‌اززلزله‌شدیدسا ل ۱۹۰۸ ا یتا لیاکه‌درنا حیه‌مسینا رجیو[1] ا تفا ق ا فتا دومنجر به‌کشته‌شدن بیش ا ز۱۶۰۰۰۰ نفرگردید، برای طرا حی وساختن سا زه‌های مقا وم درمقا بل زلزله ، دودیدگا ه ا زطرف مهندسین ودا نشمندا ن سا زه ، بیا ن شده‌ا ست[۳] . عده‌ای بر ا ین ا عتقا دبوده‌ا ندکه‌می‌با یستی با محکم ساختن سا زه‌به‌پی و زمین وبا قوی ساختن

---

1. Messina- Reggio