٣٨٣٩٢

۱۳۸۰ /۸/ ۳۰
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
کتابخانه مرکزی

بنام خدا

دانشکده عمران

مطالعهٔ آسیب‌پذیری و تقویت ساختمانهای بتنی با قاب خمشی در برابر زلزله

محمد انگوتی

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران - زلزله

014524

استاد راهنما: دکتر محسنعلی شایانفر

اسفند ماه ۱۳۷۹

۳۸۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر

عزیزم

چکیده

ساختمانهای بتن‌آرمه که قبل از سالهای دهۀ ۱۹۷۰ در ایـران طراحـی شـده‌اند اکـثراً بـرای بارهـای ثقلی طراحی شده و دارای مقاومت لرزه‌ای لازم نیستند، این قابها علاوه بر مقاومت لرزه‌ای کم، دارای جزئیات اجرایی ضعیف هستند. بنابراین هر نوع طرح تقویت باید با در نظر گرفتن ضعفهای موجود در سازه انجـام شود.

در این رساله بعد از بررسی رفتار اعضای بتن‌آرمه تحت اثر بارهای سیکلی، توابع آسـیب‌پذیـری بـه طـور جامع مورد بررسی قرار می‌گیرند، سپس دوازده مورد قاب بتن‌آرمه با سه دهانه به طول مجموع ۱۳ متر در نظر گرفته شده و تحت اثر زلزلۀ طبـس، ناغـان و منجیـل بـا اسـتفاده از برنامـۀ **IDARC** آنـالیز و بررسـی شده‌اند. سپس سه مورد از آنها با استفاده از بادبند ضربدری تقویت شده‌اند. نتایج بررسـی نشـان می‌دهـد که این سازه‌ها دارای ضعف در برابر زلزله بوده و تغییر مکان جانبی زیاد و آسیب‌دیدگی شدید ستونها در همۀ آنها مشاهده می‌شود. و احتمالا قادر به تحمل زلزله‌های محتمل در بسیاری از شهرهای ایران نیسـتند، اما استفاده از بادبند ضربدری بدلیل سختی جانبی زیاد مانع از بروز ضعفهای این سازه‌ها می‌شود.

سپاسگزاری

با سپاس وتشکر فراوان از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محسنعلی شایانفر، که از راهنمائیهای خالصانه ایشان در انجام این تحقیق بهره‌مند شدم و با تشکر از آقایان دکتر عباسعلی تسنیمی و دکتر غلامرضا قدرتی امیری که در نشست بررسی این پایان‌نامه شرکت کردند و نظرات ارزشمندی جهت بهبود و تصحیح آن ابراز داشتند. همچنین از آقایان مهندس کاظم شاکری و مهندس وحید بهرنگ به خاطر همکاریهایشان تشکر می کنم.

بر خود لازم می‌دانم از مسئولین کتابخانهٔ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و نیز مسئولین کتابخانه موسسهٔ بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله که در انجام تحقیق از همکاری بیدریغشان برخوردار بودم تشکر کنم. همچنین از آقای حسن انگوتی که تایپ متن پایان‌نامه را انجام دادند تشکر و قدردانی می کنم.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول

مقدمه‌ای بر بررسی آسیب‌پذیری و تقویت ساختمانها در برابر زلزله

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲) لزوم مطالعه آسیب پذیری ساختمانهای موجود ۲

۱-۳) سابقه ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای موجود ۳

۱-٤) اهداف ۵

۱-۵) سازماندهی رساله ۵

فصل دوم

مروری بر رفتار اعضای بتن آرمه تحت اثر بار زلزله

۲-۱) مقدمه ٦

۲-۲) رفتار مصالح ساختمانی تحت اثر بارهای نوسانی ٦

۲-۲-۱) رفتار بتن ٦

۲-۲-۲)رفتار فولاد ۱۰

۲-۲-۳) اثر متقابل بتن و فولاد ۱۲

۲-۲-۳-۱) چسبندگی میله های تسلیح و بتن ۱۲

۲-۲-۳-۲) اثر میلگردهای عرضی ۱۳

۲-۲-۳-۳) کمانش میلگردهای تسلیح ۱٤

۲-۳) رفتار اعضای بتن آرمه تحت اثر بار نوسانی ۱٤

۲-۳-۱) تیرها ۱٤

عنوان	صفحه
۲-۳-۲) ستونها	۱۹
۲-۳-۳) اتصالات	۲٤

فصل سوم

خسارت وارد بر ساختمانهای بتنی در نواحی لرزه خیز

۳-۱) مقدمه	۲۸
۳-۲) عوامل موثر بر خسارت	۲۹
۳-۳) دسته بندی خسارت	۲۹
۳-٤) خسارتهای وارد بر ساختمانها	۳۰
۳-٤-۱) خسارات وارد بر بخشهای معماری	۳۰
۳-٤-۲) خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل مستقر در ساختمانها	۳۱
۳ـ٤ـ۳) خسارت وارد بر تاسیسات مکانیکی و برقی	۳۲
۳-٤-٤) خسارات ناشی از ضعف کلی مجموعه	۳۲
۳-٤-٤-۱) خسارات ناشی از طراحی عمومی نامناسب	۳۲
۳-٤-٤-۲) خسارات ناشی از اثر ساختمانهای مجاور	۳۳
۳-٤-٤-۳) خسارت ناشی از اثر خاک محل	۳٤
۳-٤-٤-٤) خسارت ناشی از ضعفهای موضعی	۳٤

عنوان | صفحه

فصل چهارم

تعیین آسیب‌پذیری ساختمانهای بتن‌آرمه

٤-١) مقدمه ٣٩

٤-٢) روشهای تعیین آسیب پذیری سازه‌های بتن آرمهٔ موجود ٣٩

٤-٢-١) روشهای کیفی تعیین آسیب‌پذیری سازه‌های بتن‌آرمه ٤١

٤-٢-١-١) تابع آسیب‌پذیری بر اساس خسارات مالی ٤١

٤-٢-١-٢) روش ATC برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانها ٤٥

٤-٢-٢) روشهای کمی تعیین آسیب پذیری سازه های بتن آرمهٔ موجود ٥٢

٤-٣) توابع آسیب‌پذیری ٥٤

٤-٣-١) طبقه بندی خسارت ٥٥

٤-٣-٢) شاخص‌های آسیب‌پذیری محلی ٥٧

٤-٣-٢-١) شاخص‌های آسیب‌پذیری غیر تجمعی ٥٧

٤-٣-٢-٢) مدل هیسترزیس ٦٠

٤-٣-٢-٣) شاخص‌های تجمعی بر اساس تغییرشکل ٦١

٤-٣-٢-٤) شاخص‌های آسیب‌پذیری بر مبنای خستگی ٦٣

٤-٣-٢-٥) شاخص‌های آسیب‌پذیری تجمعی بر مبنای انرژی ٦٤

٤-٣-٢-٦) شاخصهای مرکب ٦٥

٤-٣-٣) شاخص‌های آسیب‌پذیری کلی سازه ٦٩

٤-٣-٣-١) شاخص‌های متوسط وزنی ٦٩

عنوان	صفحه
٤-٣-٣-٢) شاخص های آسیب پذیری بر اساس پارامترهای مودی	٧٠
٤-٣-٤) ماتریس خسارت و منحنی‌های آسیب‌پذیری	٧٣
فصل پنجم	
روشهای مقاوم‌سازی قابهای بتن‌آرمه در برابر زلزله	
٥-١) مقدمه	٧٦
٥-٢) روشهای مقاوم‌سازی قابهای بتن‌آرمه	٧٧
٥-٢- ١) روشهای کاهش نیروی وارد بر ساختمان در هنگام زلزله	٧٧
٥-٢-١-١) کاهش وزن ساختمان	٧٧
٥-٢-١-٢) استفاده از جداسازهای لرزه‌ای	٧٩
٥-٢-١-٣) افزایش میرایی ساختمان	٧٩
٥-٢-٢) تقویت کل سازه و افزایش سختی، مقاومت جانبی و شکل‌پذیری	٨١
فصل ششم	
ارزیابی مقاومت لرزه‌ای و تقویت ساختمانهای نمونه	
٦-١) مقدمه	٨٩
٦-٢) ساختمانهای نمونه	٩٠
٦-٣) مشخصات عمومی قابهای بتن‌آرمهٔ طراحی شده برای بارهای ثقلی	٩١
٦-٤) مدل کردن جزئیات قابهای GLD	٩١
٦-٥) روش محاسبات	٩٣

عنوان	صفحه
٦-٦) بررسی تغییرمکان جانبی ساختمانها در اثر زلزله	٩٥
٦-٧) بررسی ضرایب برش پایه	٩٨
٦-٨) بررسی تغییرات پرید سازه	٩٨
٦-٩) بررسی آسیب‌پذیری سازه‌های نمونه	١٠٢
٦-٩-١) مطالعه آسیب‌پذیری با استفاده از رابطهٔ CAKMAK	١٠٢
٦-٩-٢) مطالعه آسیب‌پذیری با استفاده از رابطهٔ SOZEN	١٠٤
٦-٩-٣) مطالعه آسیب‌پذیری با استفاده از رابطهٔ پارک و انگ	١٠٥
٦-١٠) مراحل تشکیل مفصلهای پلاستیک	١٠٨
٦-١١) تقویت قابها	١١١
فصل هفتم	
جمع‌بندی مطالب و نتایج	
٧-١) نتیجه‌گیری	١١٦
٧-٢) پیشنهادات	١١٧
پیوست شماره (١): معرفی برنامهٔ EASP80	١١٨

فهرست تصاویر و جدولها

عنوان	صفحه
شکل(۱-۲): منحنی تنش کرنش انواع بتن و مدل هاگن‌ستاد	۷
شکل (۲-۲): تغییرات منحنی تنش-کرنش نسبت به میزان فولاد عرضی	۸
شکل (۳-۲): تاثیرنرخ کرنش بر منحنیهای تنش-کرنش بتن	۸
شکل(٤-۲): منحنی تنش-کرنش بتن تحت اثر بار فشاری سیکلی	۹
شکل (۵-۲): منحنی تنش-کرنش برای انواع فولاد	۱۱
شکل (٦-۲): رفتار فولاد ساختمانی تحت اثر بار سیکلی	۱۱
شکل (۷-۲): رابطهٔ تنش چسبندگی- لغزش	۱۲
شکل (۸-۲): اثر محصورسازی بر روابط تنش کرنش بتن	۱۳
شکل (۹-۲): اثر تسلیح عرضی در جلوگیری از کمانش میلگردهای طول	۱٤
شکل (۱۰-۲): رابطه لنگر انحنا برای یک تیر تحت اثر بار صعودی	۱۵
شکل (۱۱-۲): رابطه لنگر انحنا برای یک جزء بتن مسلح با فولاد کششی و فشاری	۱٦
شکل(۱۲-۲): مراحل مختلف پدیده تنگش منحنی هیسترزیس یک تیر	۱۸
شکل (۱۳-۲): فولادگذاری قطری و منحنی هیسترزیس مربوطه	۱۹
شکل(۱٤-۲):رابطه لنگر انحنا اعضای بتن‌آرمه تحت اثر بار محوری ثابت و لنگر خمشی	۲۰
شکل(۱۵-۲): تاثیر تسلیح عرضی بر رابطه بار – تغییر شکل تیر ستونها	۲۱
شکل(۱٦-۲) رابطهٔ بین لنگر و زاویهٔ دوران برای تیر ستونها	۲۲
شکل(۱۷-۲): رفتار هیسترزیس تیر ستونها را با فولادگذاری موازی و قطری	۲۳
شکل(۱۸-۲): اثر مقدار تسلیح قطری روی روابط بار تغییر مکان برای تیر ستونها	۲٤
شکل(۱۹-۲):رابطه بار تغییرشکل برای یک اتصال تیر به ستون	۲۵
شکل (۲۰-۲): مکانیزم انتقال نیرو در اتصال	۲۷
شکل(۱-۳) :خسارت به دیوار خارجی ساختمان	۳۱
شکل (۲-۳): بیمارستان الیوویو که به دلیل مساله طبقهٔ نرم آسیب دید	۳۳
شکل (۳-۳): پدیدهٔ روانگرایی در هنگام وقوع زلزله (ترکیه ۱۹۹۹)	۳٤

فهرست تصاویر و جدولها

عنوان	صفحه
شکل(٤-٣): شکست برشی ستون به دلیل وجود دیوار میانقاب	٣٥
شکل (٥-٣): گسیختگی خمشی انتهای ستون	٣٦
شکل (١-٤): تابع آسیب‌پذیری اقتصادی برای یک منطقه	٤٣
شکل (٢-٤) :شاخص خسارت مالی نرمال شده برای ساختمان بتنی مسلح	٤٤
جدول (١-٤) : منطقه بندی لرزه‌خیزی در **ATC-21**	٤٧
جدول (٢-٤): امتیاز **BSH** در **ATC-21**	٤٨
شکل (٣-٤) :فرم **ATC-21** برای درجه‌بندی ساختمانهای واقع در مناطق با لرزه‌خیزی بالا	٤٩
شکل (٤-٤) :نمودار جریان روش ارزیابی سریع **ATC-21**	٥٠
جدول (٣-٤): مقادیر **MH** و **ML** و **MB** برای ساختمانهای شیبدار	٥١
شکل(٥-٤): توزیع لوگ‌نرمال **DF** برای **PGA=0.22g** برای ساختمانهای شیبدار کالیفرنیا	٥١
شکل(٦-٤): نمودار مرحله اول جریان ارزیابی کمی آسیب پذیری	٥٤
شکل (٧-٤): پارامترهای شاخص خسارت **FDR**	٥٩
شکل(٨-٤) : مدل هیسترزیس بتن در برنامه **IDARC**	٦٢
جدول (٤-٤): مقادیر بهینهٔ پارامترهای مدل هیسترزیس	٦٣
شکل (٩-٤): پارامترهای شاخص خسارت **Yao** و **Stephens**	٦٣
شکل (١٠-٤): پارامترهای شاخص کراتزیچ و همکاران	٦٥
جدول (٥-٤): معیارهای مختلف خسارت	٦٧
شکل(١١-٤): مشخصات ممان انحنا برای مدل براسی و همکاران	٦٨
شکل (١٢-٤): یک نمونه منحنی آسیب‌پذیری بر اساس ماکزیمم نرم‌شدگی	٧١
شکل (١٣-٤): تغییرات سختی سازه در اثر بارگذاری لرزه‌ای	٧٣
جدول (٦-٤): نمونه‌ای از ماتریس خسارت	٧٥
شکل (١-٥): تغییرات ضریب برش پایه در اثر تغییر وزن طبقهٔ هفتم یک ساختمان	٧٨

عنوان	صفحه
شکل (۲-۵): تاثیر میرایی بر ضریب برش پایه	۸۰
شکل(۳-۵): روشهای مقاوم‌سازی در کشور ژاپن	۸۲
شکل(٤-۵): اتصال دیوار میانقاب به قابهای موجود	۸۳
شکل (۵-۵): روند محاسبه و انتخاب تقویت یا تعمیر برای اعضای سازه‌ای	۸٦
شکل (٦-۵): روشهای تقویت اتصالات	۸۸
جدول (۱-٦): مشخصات قابهای GLD نمونه	۹۰
شکل(۱-٦): پلان و نمای ساختمان سه طبقه	۹۰
شکل(۲-٦): نمونه‌ای از آرماتورگذاری ستونهای GLD	۹۲
شکل(۳-٦): نمونه‌ای از آرماتورگذاری تیرهای GLD	۹۲
شکل(٤-٦): شتاب‌نگاشت نرمال شدهٔ زلزله‌های منجیل، طبس و ناغان نسبت به شتاب ثقل زمین	۹٤
شکل(۵-٦): منحنی طیف پاسخ نرمال شده زلزله‌های منجیل، طبس و ناغان	۹۵
شکل (٦-٦): درصد نسبت تغییرمکان جانبی بام به ارتفاع ساختمان	۹٦
شکل (۷-٦): درصد نسبت تغییرمکان جانبی بام به ارتفاع ساختمان	۹۷
شکل (۸-٦) : ضریب برش پایه قابها	۹۹
شکل (۹-٦) : ضریب برش پایه قابها	۱۰۰
جدول (۲-٦): پریدهای ماکزیمم قابها در طول بارگذاری	۱۰۱
شکل (۱۰-٦): مقایسه رفتار خطی و غیر خطی و تغییر پرید سازه	۱۰۱
شکل(۱۱-٦): تغییرات پرید سازه در طول بارگذاری، (قاب FR8 تحت اثر زلزله طبس ۰/۳۵g)	۱۰۲
شکل (۱۲-٦): ماکزیمم نرم شدگی قابها	۱۰۳
شکل (۱۳-٦): تغییرات پرید در مودهای مختلف قاب FR4 در اثر بار زلزله طبس ۰/۵۰g	۱۰۵
جدول (۳-٦): ارتباط شاخص خسارت و نوع خسارت در مدل پارک و انگ	۱۰٦
شکل (۱٤-٦): شاخص خسارت کلی برای قابها از روش پارک و انگ	۱۰۷
شکل (۱۵-٦): شاخص خسارت تیرها و ستونهای طبقهٔ آخر قاب FR4 در اثر زلزلهٔ ناغان(۰/۵۰g)	۱۰۸

عنوان | صفحه

شکل(۱۶-۶): مراحل تشکیل مفصلهای پلاستیک برای قاب **FR1** ۱۰۹

شکل(۱۷-۶): مراحل تشکیل مفصلهای پلاستیک برای قاب **FR4** ۱۱۰

شکل (۱۸-۶): قاب **FR1** تقویت شده با بادبندی **X** ۱۱۱

شکل (۱۹-۶): تغییر مکان نسبی بین طبقه در قاب **FR1** تقویت شده با بادبند **X** ۱۱۲

شکل(۲۰-۶): قاب **FR4** را بعد از تقویت ۱۱۳

شکل (۲۱-۶) : ستون تقویت شده با جکت فولادی ۱۱٤

شکل (۲۲-۶) : مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات قاب **FR4** قبل و بعد از تقویت ۱۱٤

شکل (۲۳-۶): تاریخچهٔ زمانی تغییر مکان نسبی بام به ارتفاع قاب **FR7** درزلزله ۱۱۵

فصل اول

مقدمه‌ای بر بررسی آسیب‌پذیری و تقویت ساختمانها در برابر زلزله

۱-۱) مقدمه

به همراه پیشرفت تمدن بشر و ایجاد تشکلهای شهرنشینی و ازدیاد جمعیت در میان حوادث طبیعی زمین‌لرزه بیشترین شمار کشتارجمعی و زیان مالی رابه خود اختصاص داده است. بررسیهای آماری نشان میدهد که از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۸۸ حدود ۲۶ میلیون نفر زلزله زده برجای مانده و بدلیل افزایش شدید جمعیت در سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ تلفات زلزله دراین سالها نسبت به سالهای قبل حدود سه برابرشده است. بنابرگزارش سازمان بهداشت جهانی ازسال ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۵، ۵۶ زمین‌لرزه با ۲۸/۴۰۴ نفرکشته و ۷۴/۰۱۰ نفر زخمی، ۳/۸۸۷/۵۸۷ نفرحادثه دیده، ۲/۳۴۲/۵۷۵ نفر بی خانمان و حدود ۳۹/۴۳۹ میلیارد دلار خسارت بوقوع پیوسته است که قاره آسیا دارای بیشترین سهم از این خسارتها می‌باشد. در کشورهای جهان سوم به علت ناامنی شدید ساختمانها وتراکم زیادجمعیت، خسارت چند برابر کشورهای پیشرفته بوده وتعداد بازماندگان بی خانه و کاشانه در حدود چهل برابرآنهاست.

از آغاز قرن هیجدهم میلادی تاکنون زمین‌لرزه باعث کشته شدن حدود ۳/۰۰۰/۰۰۰ نفر شده است. چنانکه زیستگاهها آمادگی رویارویی با چنین پدیده‌ای را نداشته باشند با کشتار گسترده انسانها و از بین رفتن دامها و سایر سرمایه‌های اقتصادی روبرو خواهند شد که حتی ممکن است ساختار سیاسی و اقتصادی جامعه‌ای از هم پاشیده شود. زمینلرزه ۲۷ ژوئن ۱۹۷۶ تانگ‌شان چین با ۶۵۰/۰۰۰ نفر کشته و ۸۰۰/۰۰۰ نفر زخمی این شهر صنعتی را به کلی نابود کرد[٤].

کشور ایران بر روی کمربند زلزله آلپ-هیمالیا قرار دارد و از زمانهای قدیم شاهد زلزله های مخرب زیادی بوده است. شواهد تاریخی نشان میدهد که زلزله‌های با بزرگی ۷ ریشتر و بیشتر در بسیاری از