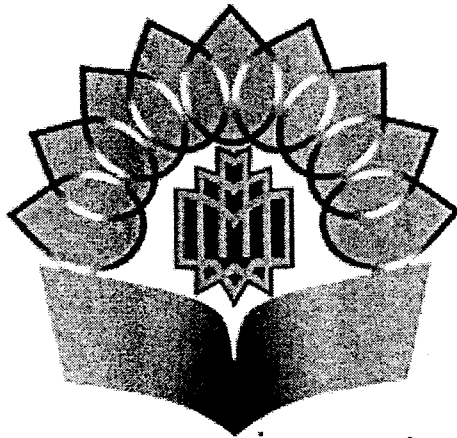




سوره حمد

اول فست بر به نام ایزد دانا

بمتم بدرقه راه کن ای طائر قدس که دراز است ره مقصد من نوشهرم



نودین سال تأسیس دانشکده تربیت معلم ۱۳۸۸

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه:

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (سازه)

عنوان:

برآورد آسیب پذیری ساختمان های بتن مسلح در برابر انفجار و راه کارهای مقاوم سازی

پژوهشگر:

مرتضی نکویی

استاد راهنما:

دکتر علی معصومی

۱۳۸۹/۸/۵

تأیید استاد راهنما
دکتر علی معصومی

شهریور ۱۳۸۸

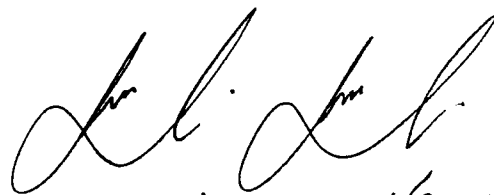
۱۴۴۶۲۱

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد
جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد : آقای مرتضی نکویی قاچکانلو

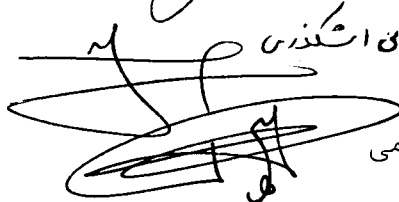
دانشجوی رشته: مهندسی عمران گرایش سازه

دانشکده: فنی و مهندسی

تحت عنوان "برآورد آسیب پذیری ساختمانهای بتن مسلح در برابر انفجار و راهکارهای مقاوم سازی" در ساعت ۱۸ روز یکشنبه مورخ ۱۳۸۸/۷/۵ در محل سالن چند رسانه ای معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه با حضور کمیته ای مرکب از اساتید راهنما، مشاور، داور و مدیر گروه (نماینده تحصیلات تکمیلی) برگزار گردید. کمیته مذکور پس از شنیدن گزارش دانشجو و چگونگی پاسخگویی نامبرده به سئوالات مطرح شده در ارتباط با پایان نامه یاد شده، پایان نامه فوق الذکر را با نمره ۱۹ نمره (درجه عالی) مورد تایید قرار داد.



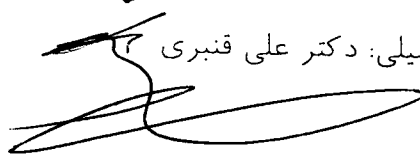
استاد راهنما: دکتر علی معصومی



استاد داور مهمان: دکتر قاسم دهقان اشکنزی



استاد داور داخلی: دکتر پیمان همامی



نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر علی قنبری

چکیده

طبق آمارهای سازمان ملل متحد در ابتدای قرن بیستم نسبت تلفات غیرنظامیان به کل تلفات جنگی، تنها ۰.۵٪ بوده است. در حالی که این نسبت در طول جنگ جهانی اول به ۱۵٪، جنگ جهانی دوم به ۶۵٪ و در دهه ۱۹۹۰ میلادی به بیش از ۹۰٪ رسیده است. دلیل این امر کشانده شدن جنگ به حوزه‌های غیرنظامی و عدم آمادگی کشورها در برابر این بحران می‌باشد. بنابراین در این پژوهش سعی شده است پس از ارائه مبانی مورد نیاز، طراحی ساختمان‌های مسکونی و اداری مقاوم در برابر بارگذاری انفجاری مورد بررسی قرار گیرد.

جهت مقابله با حملات هوایی، روش جدیدی ارائه شده است. به این صورت که لایه‌ای طراحی شده در اطراف ساختمان بر روی زمین قرار می‌گیرد. در حالتی که بمب در مجاورت ساختمان منفجر شود، پس از نفوذ بمب هوایی در خاک، به کمک این لایه، گازهای ناشی از انفجار، به جای این‌که به سمت بالا فوران کرده و طبقات بالاتر ساختمان را تحت تاثیر قرار دهد، در داخل خاک محبوس شده و مقداری از انرژی آن اتلاف می‌شود. هم‌چنین لایه‌ی مذکور تحت اثر موج انفجار به سمت بالا رانده شده و گازهای ناشی از انفجار به جای این‌که در هوا گسترش یابند، به داخل فضای زیر آن نفوذ می‌کنند. این امر باعث کاهش فشار موج و تأخیر در رسیدن آن به ساختمان می‌شود. هم‌چنین باعث می‌شود که سرعت خروج گاز از گودال انفجار کاهش یابد. هم‌چنین، گسترش گازها در هوا از حالت قارچی شکل به حالت کروی شکل تغییر حالت داده و طبقات پائین‌تر را بیش‌تر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این امر از این جهت حائز اهمیت است که اولاً مقاومت‌سازی طبقات بالاتر ساختمان، منجر به سخت‌تر شدن آن طبقات و کاهش سختی نسبی طبقات پائین می‌شود و به هنگام زلزله ممکن است پدیده‌ی طبقه‌ی نرم در طبقات پائین‌تر رخ دهد. بنابراین جهت مقابله با حملات هوایی، مقاومت‌سازی طبقات بالاتر توصیه نمی‌شود. ثانیاً مقاومت‌سازی طبقات پائین با دو هدف همزمان مقابله با انفجار سطحی و حملات هوایی صورت خواهد گرفت که هزینه‌های اقتصادی طرح پیشنهادی را توجیه می‌کند.

هم‌چنین در حالتی که بمب به خود ساختمان برخورد می‌کند و یا در حملات تروریستی، جهت جلوگیری از پدیده‌ی خرابی پیش‌رونده در ساختمان، به دلیل حذف یکی از المان‌های سازه‌ای مانند ستون، طرح استفاده از طبقه‌ی سخت شده ارائه شده و بررسی شده است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که طرح مذکور، کارایی بسیار بالایی در ایجاد مسیر انتقال نیروی جایگزین و جلوگیری از فروریزش ساختمان دارد.

تقدیم به

پدر دلسوز

و

مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

سپاس خدای یکتا را که هستیم بخشید و از دریای بیکران رحمتش برخوردارم نمود. او را شکرگزارم که به لطفش قدم در راه علمی نهادم که یقین و قطعیت آن را هیچ انسان عاقلی نمی‌تواند زیر سوال ببرد. بی هیچ تردیدی انجام این مهم، بدون یاری و مساعدت خانواده عزیزم و راهنمایی و کمک استاد گرامی‌ام میسر نبود. از این رو قبل از هر چیز وظیفه خود می‌دانم از پدر و مادرم که همواره در تمامی مراحل زندگی حامی‌ام بوده‌اند، از صمیم قلب تشکر نمایم.

از شاگردی استاد گرانقدر جناب آقای دکتر معصومی، بر خود می‌بالم و به خاطر راهنمایی‌ها و دلسوزی‌های بی‌نظیرشان نهایت سپاسگزاری را از ایشان می‌نمایم. از خداوند متعال توفیقات بیش از پیش را برای ایشان آرزو دارم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر قاسم دهقان و جناب آقای دکتر پیمان همای به خاطر قبولی زحمت داوری این پایان نامه تشکر می‌نمایم.

در نهایت از دوستان عزیزی که در طول دوره تحصیل، همراه و مشوق من بوده‌اند، به‌ویژه آقایان مهندس شیردل، مهدی رحیمی، محسن فرزادی، نادر محمدی، داریوش صیامی، محمد کشاورز و علی جمشیدی تشکر نموده و موفقیتشان را از خداوند مهربان خواستارم.

فصل اول

- کلیات ۱۳
- ۱-۱ مقدمه ۱۴
- ۲-۱ مروری بر مطالعات انجام شده ۱۵
- ۳-۱ هدف از پژوهش ۱۷
- ۴-۱ ساختار پایان نامه ۱۸

فصل دوم

- رفتار سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی ۱۹
- ۱-۲ کاربرد سلاح‌ها ۲۰
- ۱-۱-۲ حمله زمینی ۲۰
- ۲-۱-۲ حمله هوایی ۲۱
- ۳-۱-۲ حمله تروریستی ۲۳
- ۱-۳-۱-۲ ساختمان فدرال آلفرد پیمورا ۲۳
- ۲-۳-۱-۲ ساختمان برج الخبر عربستان ۲۵
- ۲-۲ خصوصیات سلاح‌های انفجاری ۲۶
- ۱-۲-۲ گلوله‌های انفجاری ۲۶
- ۲-۲-۲ بمب‌ها ۲۷
- ۳-۲-۲ راکت‌ها ۲۸
- ۴-۲-۲ موشک‌های نظامی ۲۹
- ۵-۲-۲ مواد منفجره ۲۹
- ۳-۲ اصابت ۳۱
- ۱-۳-۲ آثار ساختمانی ۳۲
- ۴-۲ نفوذ ۳۲
- ۱-۴-۲ عوامل موثر بر نفوذ ۳۲
- ۵-۲ اثر سلاح‌ها بر مواد پر کاربرد در حوزه‌ی نظامی ۳۴
- ۱-۵-۲ بتن ۳۴

۳۹	..... فولاد	۲-۵-۲
۴۱	..... خاک، سنگ، مصالح سنگی، چوب و مواد دیگر	۳-۵-۲
۴۲	..... نقش و عمل گلوله انفجاری (توپخانه) در زمین	۱-۳-۵-۲
۴۲	..... نقش و عمل بمب‌های هوایی در زمین	۲-۳-۵-۲
۴۴	..... انفجار	۶-۲
۴۵	..... پدیده انفجار	۱-۶-۲
۴۵	..... عمل منفجرشدن	۱-۱-۶-۲
۴۶	..... موج انفجار	۲-۱-۶-۲
۴۸	..... انتشار موج انفجار	۳-۱-۶-۲
۵۰	..... انعکاس انفجار	۴-۱-۶-۲
۵۰	..... آثار فیزیولوژیکی انفجار	۶-۱-۶-۲
۵۱	..... کاهش انفجار	۷-۱-۶-۲
۵۱	..... اندرکنش موج انفجاری با موانع	۲-۶-۲
۵۲	..... انفجارهای نامسدود	۱-۲-۶-۲
۵۵	..... انفجارهای نیمه مسدود	۲-۲-۶-۲
۵۶	..... پاسخ سازه‌ای ساختمان‌ها در برابر انفجار	۷-۲
۵۸	..... طراحی سازه‌ای برای ساختمان‌ها	۱-۷-۲
۶۳	..... راه کارهای عملی محافظت اجزای سازه‌ای در برابر انفجار	۸-۲
۶۳	..... گسیختگی زنجیره‌ای	۱-۸-۲
۶۵	..... استفاده از کابل‌های نگهدارنده	۲-۸-۲
۶۵	..... استفاده از قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری بالا	۳-۸-۲
۶۷	..... افزایش فاصله‌ی محل انفجار از ساختمان	۴-۸-۲
	فصل سوم	
۶۹	..... مدل‌سازی عددی	
۷۰	..... مقدمه	۱-۳
۷۰	..... معرفی مدل‌ها	۲-۳

۷۱	۳-۳ شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار ETABS
۷۲	۴-۳ شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار AUTODYN
۷۴	۱-۴-۳ مدل مصالح
۷۵	۱-۱-۴-۳ بتن
۷۹	۲-۱-۴-۳ TNT
۸۰	۳-۱-۴-۳ هوا
۸۲	۴-۱-۴-۳ خاک
۸۲	۵-۱-۴-۳ فولاد
۸۳	۶-۱-۴-۳ فولاد Hardened Arne tools
۸۴	۲-۴-۳ برخورد و نفوذ موشک در خاک
۸۴	۱-۲-۴-۳ محاسبه عمق نفوذ موشک
۸۵	۲-۲-۴-۳ انفجار بعد از نفوذ در زمین
	فصل چهارم
۸۸	تحلیل و بررسی نتایج
۸۹	۱-۴ اعتبارسنجی نرم‌افزار
۸۹	۱-۱-۴ فشار هوا ناشی از انفجار
۹۲	۲-۱-۴ شبیه‌سازی اصابت و نفوذ موشک در خاک
۹۶	۱-۲-۴ انفجار سطحی
۹۸	۲-۲-۴ انفجار در حملات هوایی
۱۰۶	۴-۴ مقاومت‌سازی
۱۰۹	۱-۴-۴ تاثیر ضخامت لایه قرار گرفته بر روی زمین (مدل اول)
۱۱۴	۲-۴-۴ تاثیر تراکم‌پذیری خاک (مدل دوم)
۱۱۸	۳-۴-۴ تاثیر پارامتر فرسایش در لایه (مدل سوم)
۱۲۵	۴-۴-۴ قطر گودال ایجاد شده در مرحله نفوذ (مدل چهارم)
۱۲۹	۵-۴-۴ فاصله‌ی انفجار
۱۳۲	۵-۴-۴ بحث در مورد روش‌های پیشنهادی

۵-۴ طبقه سخت شده..... ۱۳۸

۱-۵-۴ مفاهیم اساسی در سازه‌های با طبقه سخت شده..... ۱۳۸

۲-۵-۴ روش پیشنهادی مقاوم‌سازی..... ۱۳۹

فصل پنجم

۱-۵ نتیجه‌گیری..... ۱۴۵

۲-۵ پیشنهاد برای ادامه تحقیقات..... ۱۴۶

مراجع..... ۱۴۷

پیوست ۱..... ۱۵۰

نرمافزار المان محدود Autodyn..... ۱۵۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱- مشخصات مدل ماده انفجاری ۸۰
- جدول ۲- مشخصات مدل هوا در نرمافزار [16] ۸۱
- جدول ۳- مشخصات مدل فولاد در نرمافزار [16] ۸۲
- جدول ۴- مشخصات فولاد Hardened Arne tool-steel ۸۲

فهرست شکل‌ها

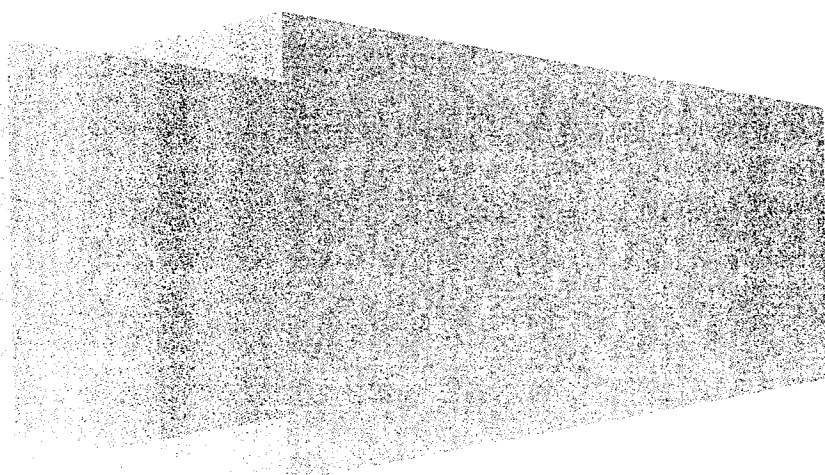
- شکل ۱- ساختمان فدرال آلفرد پیمورا قبل از انفجار ۲۴
- شکل ۲- نمای شمالی و شرقی ساختمان فدرال آلفرد پیمورا بعد از انفجار ۲۴
- شکل ۳- نمای شمالی ساختمان برج الخیر عربستان بعد از انفجار ۲۵
- شکل ۴- گودال ایجاد شده بر اثر انفجار ۲۵
- شکل ۵- بمبها ۲۷
- شکل ۶- موشک ای جی ام-۶۵ ماوریک ۲۹
- شکل ۷- عکسالعمل فولاد و بتن نسبت به اصابت و نفوذ ۳۴
- شکل ۸- تعریف نفوذ پرتابه در خاک ۴۲
- شکل ۹- مسیر نفوذ در حالت کلی ۴۳
- شکل ۱۰- دیاگرام فشار- زمان موج انفجار ۴۶
- شکل ۱۱- تغییرات فشار مثبت و منفی نسبت به مسافت ۴۹
- شکل ۱۲- انتشار موج ۴۹
- شکل ۱۳- انعکاس انفجار ۵۰
- شکل ۱۴- انفجار در بالای ساختمان ۵۲
- شکل ۱۵- انتشار موج در انفجار هوایی ۵۳
- شکل ۱۶- موج اولیه انعکاس در حالت انعکاس منظم و تشکیل جبهه ماخ ۵۳
- شکل ۱۷- فرآیند تشکیل جبهه ماخ ۵۴
- شکل ۱۸- انفجار سطحی ۵۴
- شکل ۱۹- مقایسه انفجار و سایر بارگذارها از جنبه شدت و فرکانس ۵۶
- شکل ۲۰- فرآیند عکسالعمل ساختمان در برابر انفجار ۵۷
- شکل ۲۱- پاسخ کلی اعضا نسبت به بارگذاری انفجار ۵۸
- شکل ۲۲- پاسخ موضعی اعضا نسبت به انفجار و ترکشها ۵۸
- شکل ۲۳- رفتار نامناسب ضعیف دیوار بنایی در برابر انفجار ۵۹
- شکل ۲۴- انفجار در مجاورت ستونهای بیرونی ۶۰
- شکل ۲۵- تغییر شکل ستون بیرونی پس از انفجار ۶۰
- شکل ۲۶- شکل شماتیک خرابیهای محتمل [10] ۶۱
- شکل ۲۷- اثر انفجار بر دال بتن مسلح ۶۲
- شکل ۲۸- اثر انفجار شدید بر دال بتن مسلح ۶۲
- شکل ۲۹- خرابی زنجیرهای ۶۳
- شکل ۳۰- ساختمان فدرال آلفرد پی مورا در او کلاهما در سال ۱۹۹۵ و ساختمانهای مرکز تجارت جهانی در سال ۲۰۰۱ ۶۴
- شکل ۳۱- خرابی اعضای بیرونی سازه ۶۶
- شکل ۳۲- مسیر انتقال نیروی جایگزین با استفاده از تیرهای شکلیپذیر ۶۷
- شکل ۳۳- استفاده از دیوار جهت افزایش فاصله بمب و ائتلاف انرژی انفجار ۶۸
- شکل ۳۴- استفاده از میلان شهری جهت محافظت ۶۸
- شکل ۳۵- پلان ساختمان مورد مطالعه (واحدها بر حسب متر است) ۷۱

۷۲	..... شکل ۳۶- مدل کامپیوتری ETABS
۷۳	..... شکل ۳۷- نمای کلی مدل دو بعدی
۷۳	..... شکل ۳۸- مدل سه بعدی ساختمان بتنی در نرمافزار المان محدود
۷۴	..... شکل ۳۹- لحظه‌ی اصابت موشک در کنار ساختمان
۷۶	..... شکل ۴۰- مقایسه نرخ کرنش بین انواع بارگذاریها
۷۷	..... شکل ۴۱- اثر نرخ کرنش بر مقاومت بتن
۷۸	..... شکل ۴۲- بررسی تجربی رابطه ضریب بزرگنمایی و نرخ کرنش
۷۸	..... شکل ۴۳- رابطه‌ی اصلاح شده برای بتن تحت کشش
۷۹	..... شکل ۴۴- مدل مقاومت RHT بتن [16]
۸۳	..... شکل ۴۵- شکل شماتیک پرتابه انتخاب شده برای شبیه‌سازی
۸۳	..... شکل ۴۶- روابط هندسی برای نوک پرتابه
۸۵	..... شکل ۴۷- حالت‌های مختلف انفجار بعد از نفوذ در زمین
۸۸	..... شکل ۴۸- مدل اعتبار سنجی انفجار
۸۹	..... شکل ۴۹- انتشار موج انفجار در هوا
۸۹	..... شکل ۵۰- منحنی فشار-زمان در نقاط مشخص شده
۹۰	..... شکل ۵۱- فشار هوا بر حسب فاصله مقیاس شده
۹۲	..... شکل ۵۲- پدیده نفوذ در مدل سه بعدی (نمایش نیمی از مدل، بهدلیل تقارن)
۹۲	..... شکل ۵۳- پدیده نفوذ در مدل دو بعدی
۹۳	..... شکل ۵۴- رابطه سرعت برخورد و عمق نفوذ پرتابه [21]
۹۴	..... شکل ۵۵- فرآیند انتشار گازهای ناشی از انفجار
۹۵	..... شکل ۵۶- فشار هوا در طول فرآیند انفجار سطحی
۹۶	..... شکل ۵۷- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده با تغییر زمان (انفجار سطحی)
۹۸	..... شکل ۵۸- توزیع کرنش در خاک
۹۸	..... شکل ۵۹- فشار هوا در طول فرآیند انفجار
۹۹	..... شکل ۶۰- توزیع کرنش موثر در اعضای سازه‌ای در سیکلهای متوالی
۱۰۰	..... شکل ۶۱- مدل دارای خلا
۱۰۰	..... شکل ۶۲- موقعیت Gauge در دو مدل
۱۰۱	..... شکل ۶۳- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل اولیه با تغییر زمان
۱۰۲	..... شکل ۶۴- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل دارای خلا مذکور با تغییر زمان
۱۰۳	..... شکل ۶۵- توزیع فشار زیر سطح فنداسیون
۱۰۳	..... شکل ۶۶- توزیع کرنش در اعضای سازه‌ای در مدل دارای خلا
۱۰۶	..... شکل ۶۷- شکل شماتیک روش پیشنهادی
۱۰۶	..... شکل ۶۸- تاثیر ضخامت لایه (مدل اول)
۱۰۶	..... شکل ۶۹- تاثیر تراکمپذیری خاک (مدل دوم)
۱۰۷	..... شکل ۷۰- تاثیر پارامتر فرسایش در لایه (مدل سوم)
۱۰۷	..... شکل ۷۱- قطر گودال ایجاد شده در مرحله نفوذ (مدل چهارم)
۱۰۹	..... شکل ۷۲- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل اول

- شکل ۷۳- فشار هوا در مدل اول در دو لحظه‌ی متفاوت از فرآیند انتقال موج فشاری ۱۱۰
- شکل ۷۴- توزیع کرنش موثر در اعضای مدل اول در دو لحظه‌ی متفاوت از فرآیند برخورد موج فشاری به سازه ۱۱۱
- شکل ۷۵- بررسی سهم خاک و لایه در انتقال موج انفجار ۱۱۲
- شکل ۷۶- تغییر سرعت در تراز طبقات در مدل دارای خلا ۱۱۲
- شکل ۷۷- مدل تراکم خاک در دو حالت اولیه و اصلاح شده ۱۱۳
- شکل ۷۸- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل دوم ۱۱۴
- شکل ۷۹- فشار هوا در مدل دوم در دو لحظه‌ی متفاوت از فرآیند انتقال موج فشاری ۱۱۵
- شکل ۸۰- توزیع کرنش موثر در اعضای مدل دوم در دو لحظه‌ی متفاوت از فرآیند برخورد موج فشاری به سازه ۱۱۶
- شکل ۸۱- بررسی تاثیر مشخصات مصالح لایه ۱۱۸
- شکل ۸۲- مقایسه‌ی تغییرات کرنش موثر در اثرات تغییر مشخصات مصالح لایه در نقطه ۱ ۱۱۹
- شکل ۸۳- تغییرات کرنش موثر در اثرات تغییر مشخصات مصالح لایه در نقطه ۲ ۱۱۹
- شکل ۸۴- تغییرات کرنش موثر در اثرات تغییر مشخصات مصالح لایه در نقطه ۳ ۱۲۰
- شکل ۸۵- تغییرات کرنش موثر در اثرات تغییر مشخصات مصالح لایه در نقطه ۴ ۱۲۰
- شکل ۸۶- تغییرات کرنش موثر در اثرات تغییر مشخصات مصالح لایه در نقطه ۵ ۱۲۱
- شکل ۸۷- تغییرات کرنش موثر در اثرات تغییر مشخصات مصالح لایه در نقطه ۶ ۱۲۱
- شکل ۸۸- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل سوم ۱۲۲
- شکل ۸۹- توزیع کرنش موثر در اعضای مدل در دو لحظه‌ی متفاوت از فرآیند برخورد موج فشاری به سازه ۱۲۳
- شکل ۹۰- تغییر قطر گودال ایجاد شده بر حسب سرعت برخورد پرتابه ۱۲۵
- شکل ۹۱- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل چهارم ۱۲۶
- شکل ۹۲- توزیع کرنش موثر در اعضای مدل سوم در دو لحظه‌ی متفاوت از فرآیند برخورد موج فشاری به سازه ۱۲۷
- شکل ۹۳- فاصله‌ی انفجار از ساختمان برابر با ۴ متر ۱۲۸
- شکل ۹۴- توزیع فشار روی سطح اعضای سازه ۱۲۹
- شکل ۹۵- توزیع کرنش موثر در اعضای سازه‌ای بر اثر انفجار در فاصله‌ی ۴ متری ۱۲۹
- شکل ۹۶- مقایسه‌ی توزیع کرنش موثر در اعضای سازه‌ای در ۶ نقطه ۱۳۰
- شکل ۹۷- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل‌های پیشنهادی در نقطه ۵ ۱۳۲
- شکل ۹۸- تغییرات سرعت نقاط مشخص شده در مدل‌های پیشنهادی در نقطه ۶ ۱۳۳
- شکل ۹۹- تغییرات کرنش موثر نقاط مشخص شده در مدل‌های پیشنهادی در نقطه ۲ ۱۳۴
- شکل ۱۰۰- تغییرات کرنش موثر نقاط مشخص شده در مدل‌های پیشنهادی در نقطه ۴ ۱۳۴
- شکل ۱۰۱- تغییرات کرنش موثر نقاط مشخص شده در مدل‌های پیشنهادی در نقطه ۶ ۱۳۵
- شکل ۱۰۲- تغییرات کرنش موثر نقاط مشخص شده در مدل اولیه و مدل اول در نقطه ۲ ۱۳۵
- شکل ۱۰۳- تغییرات کرنش موثر نقاط مشخص شده در مدل اولیه و مدل اول در نقطه ۴ ۱۳۶
- شکل ۱۰۴- تغییرات کرنش موثر نقاط مشخص شده در مدل اولیه و مدل اول در نقطه ۶ ۱۳۶
- شکل ۱۰۵- مدل مسطح قاب- دیوار و نیروهای اندرکنشی بر اثر بار جانبی ۱۳۷
- شکل ۱۰۶- قاب ساختمانی مدل شده در SAP2000 ۱۳۹
- شکل ۱۰۷- قاب اولیه پس از حذف ستون بیرونی ۱۴۰
- شکل ۱۰۸- مقاومت‌سازی با استفاده از بادبند فولادی ۱۴۱
- شکل ۱۰۹- مقاومت‌سازی با استفاده از دیوار برشی ۱۴۲

فصل اول

کلیات



بسیاری از کشورها قربانی حملات تروریستی در شکل وسیعی هستند. بمب‌هایی که در اطراف ساختمان‌ها در بسیاری از کشورها منفجر شده‌اند باعث خسارات جانی و سازه‌ای شده‌اند. انفجار علاوه بر اینکه باعث خرابی بخش‌هایی از ساختمان، دیوارها، در و پنجره‌ها و مختل کردن سرویس‌دهی ساختمان می‌شود، باعث به‌وجود آمدن گرد و غبار، آتش‌سوزی و تولید ترکش‌های ساختمانی نیز می‌شود و می‌تواند به ساکنین صدمات جانی وارد کند. با توجه با این‌که رویدادهای تروریستی معمولاً فراتر از توانایی کشورها برای جلوگیری از چنین حوادثی هستند، در پاسخ به تهدیدهای بالقوه ناشی از حملات تروریستی به سازه‌های شهری، موسسات مختلف دفاعی و مراکز مهم کشوری، تحقیقات وسیعی را در این زمینه آغاز کرده‌اند تا روش‌های طراحی و ساخت با در نظر گرفتن این پدیده اصلاح شوند و ارتقاء یابند.

ارزیابی جامع آثار انفجار بر یک سازه که گامی اساسی و حیاتی در فرآیند مقاوم‌سازی محسوب می‌شود، کاری بسیار پیچیده است، زیرا در بیشتر موارد، انفجار در زمان بسیار کوتاهی رخ می‌دهد و شامل بارهایی است که از لحاظ شدت به مراتب بزرگ‌تر از مقاومت اکثر مصالح هستند. دانش انفجار شامل شناخت پدیده‌هایی است که در حیطه‌ی تجربه‌ی معمول مهندسی نمی‌گنجند و ارزیابی منسجم آثار یک انفجار مستلزم احاطه به مسائل زیر است:

بارگذاری انفجار، رفتار دینامیکی غیر خطی سازه، ملاحظات طراحی سازه‌ای، شوک زمینی، اثر انفجار بر بدن انسان، اثر اصابت ترکش‌های ساختمانی بر اعضای سازه‌ای
علاوه بر موارد فوق، پس از رخ دادن انفجار با حذف یک عضو باربر، مثلاً یک ستون، وظیفه باربری آن بر عهده-
ی اعضای مجاور گذاشته می‌شود و در صورت عدم طراحی اعضای مجاور برای این بارگذاری، این خرابی به ترتیب در کل سازه پیش می‌رود. خرابی پیش‌رونده دلیل اصلی پیچیدگی رفتار ساختمان تحت بار انفجار است و می‌تواند عاملی کنترل‌کننده در فرآیند آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی ساختمان باشد. بیشتر نرم‌افزارهای موجود قابلیت تحلیل خرابی پیش‌رونده را ندارند ولی در سال‌های اخیر نرم‌افزارهایی بدین منظور طراحی شده است که برای مطالعه‌ی جامع اثر انفجار بر ساختمان استفاده از آنها ضروری به نظر می‌رسد.

وقوع انفجار که در نقاط مختلف دنیا از جمله کشور ایران ممکن است صورت گیرد، نیاز به مقاوم‌سازی و بهسازی تاسیسات و مراکز مهم در مقابل خطرات ناشی از این نوع بارها را بیش از پیش لازم می‌سازد. به دلیل شدت بالای بارهای انفجاری، محافظت کامل ساختمان‌ها در برابر این بارها امری غیرممکن و دور از توجه اقتصادی است با این وجود از جمله روش‌هایی که در کشورهای مختلف جهت کاهش سطح خسارت ارائه شده، به کارگیری سازه‌های بتنی، سازه‌های مرکب، دیوار حائل، حفاظ‌های بتنی، سازه‌های مجازی و موارد مشابه است.

۲-۱ مروری بر مطالعات انجام شده

رفتار دینامیکی بتن وابسته به نرخ کرنش تحت شرایط مختلف است. محدوده‌های مختلفی از نرخ کرنش با استفاده از وسایل و بارگذاری‌های گوناگون مورد مطالعه قرار گرفته است. برای نمونه مالور^۱ و کراوفورد^۲ با تعریف ضریب افزایش دینامیکی^۳ که نسبت بین استحکام دینامیکی به استحکام استاتیکی در نرخ کرنش‌های بالا است، مقدار این کمیت را عددی بالاتر از ۴ برای حالت فشاری و بالاتر از ۶ برای حالت کششی به دست آورده‌اند [3]. در فرمول بندی CEB^۴-FIP تاثیر نرخ کرنش بر روی استحکام فشاری و کششی به‌طور جداگانه آورده شده است [3 و 4]. میزان افزایش استحکام طبق آزمایش‌های انجام شده توسط گروت^۵ برای نرخ کرنش‌های بین 100 s^{-1} تا 1000 s^{-1} ، بدین صورت گزارش شده که میزان فاکتور افزایش استحکام دینامیکی در نرخ کرنش‌های بیان شده در وضعیت بارگذاری فشاری ۴ و برای حالت کششی ۶، است. حتی مد شکست خمشی در کرنش‌های با نرخ بارگذاری استاتیکی به مد شکست برشی یا ترکیبی از دو مد نام برده شده، تغییر می‌کند [5]. راجینیو و گاتیونت^۶ شبیه‌سازی تاثیر نرخ کرنش را برای حالت‌های بارگذاری دینامیکی فشاری و کششی مطرح کرده‌اند. اساس کار آنها بر پایه اثر جفت‌شوندگی بین دو مدل به نام‌های مدل ترک‌خورگی و مدل پلاستیسیته^۷ استوار است [6]. سکنتاسیوکل^۸ و همکاران، تحقیقات خود را بر پایه تاثیر سرعت بارگذاری بر روی ترک‌های ایجاد شده در بتن انجام داده‌اند افزایش استحکام دینامیکی بتن بر اثر بار ضربه را محاسبه

¹ Malvar

² Crawford

³ Dynamic Increase Factor

⁴ Comite Euro-international du Beton

⁵ Grote

⁶ Ragueneau and Gatuingt

⁷ Cracking model and plasticity model

⁸ Sukontasukkul

کرده‌اند [8]. لو و زو¹ رفتار بتن در برابر بارگذاری دینامیکی انفجاری مورد مطالعه قرار داده‌اند در این تحقیق مقادیر استحکام دینامیکی و سایر خواص وابسته به نرخ کرنش در بتن شبیه‌سازی شده است. این مدل بر اساس مکانیک شکست پیوسته و همچنین رشد ترک‌ها با تعریف پارامتر کمی D حاصل شده است [8]. بارابی² رفتار بتن را در برابر نرخ کرنش‌های بالا و تاثیر آن بر استحکام کششی را مورد مطالعه قرار داده است. در این مدل، افزایش مقدار استحکام کششی دینامیکی نسبت به استحکام کششی استاتیکی کاملاً نشان داده شده است. همچنین حساس بودن استحکام کششی به نرخ کرنش در مقایسه با استحکام فشاری بیان شده است [9]. سچولر³ و همکاران اندازه‌گیری استحکام کششی بتن را همراه با انرژی مورد نیاز برای شکست انجام دادند نتایج بدست آمده برای مقادیر استحکام کششی در حالت دینامیکی با مقادیر حاصله از کارهای دیگران از جمله لامبرت و راس⁴ همخوانی دارد [10].

پارامتر بعدی مسئله، پدیده انفجار و نوع بارگذاری است. اصل حاکم بر عمل انفجار، آزاد شدن انرژی به طور ناگهانی است. سرعت فعل و انفعال درون مواد منفجره بین ۱۵۰۰ تا ۸۰۰۰ متر بر ثانیه است. چنین انفجاری همراه با صدای زیاد بوده و مقدار زیادی تغییرات در محیط اطراف انفجار به وجود می‌آورد. در این راستا، وارتون و فرمی⁵ معادل‌سازی قدرت انفجار مواد منفجره مختلف را مورد آزمایش قرار داده‌اند. در این معادل‌سازی ماده مرجع TNT⁶ و تمام مواد نسبت به TNT معادل‌سازی شده‌اند. کوپر⁷ و همکاران با بهره‌گیری از روش لرزه-نگاری و استفاده از امواج آکوستیک بر اثر انفجار ماده منفجره، قانون مقیاس بندی را به صورت تجربی تدوین کرده‌اند. نتایج حاصل با فرمول‌های به دست آمده توسط گراهام⁸ مورد مقایسه قرار گرفته و از لحاظ مطابقت با مرجع مذکور تقریباً در یک سطح قرار دارند. در مطالعات دیگر نیز از دوربین‌های سرعت بالا جهت شبیه‌سازی پدیده انفجار و همچنین از وسایل اندازه‌گیری خطی و غیرخطی برای اندازه‌گیری پارامترهای انفجار استفاده شده است. آئین‌نامه‌ی TM5-1300⁹ (طراحی سازه‌های مقاوم در برابر آثار انفجارهای تصادفی) که با انجام انواع آزمایش‌ها و مطالعات توسط وزارت دفاع ایالات متحده‌ی آمریکا تدوین شده است، می‌تواند مرجعی معتبر برای

¹ Lu & Xu

² Barapi

³ Schuler

⁴ Lambert and Ross

⁵ Wharton and Formby

⁶ Trinitrotoluene

⁷ Koper

⁸ Graham

⁹ Technical manual

محققین باشد. علاوه بر آن برنامه‌ی کامپیوتری CONWEP که توسط کین گری و بولماش¹ و تهیه شده است نیز گزینه‌ای مناسب برای پیش‌بینی فشار ناشی از انفجار هوایی می‌باشد.

در زمینه تحلیل و آنالیز مود شکست در سازه‌های بتنی تحت بارگذاری انفجاری نیز مطالعاتی انجام گرفته است. لاو و هاو² در مورد تحلیل دو نوع مود شکست برشی و خمشی تحت بارگذاری بر روی بلوک‌های بتنی تحقیقاتی را انجام داده‌اند. ایشان در تحقیقات خود با استفاده از روش‌های آماری و استفاده از مدل‌های دینامیکی، رابطه بین متغیرهای تابع سختی و خیز حاصل از بارگذاری بتن را بررسی کرده و برای قبل از تسلیم و بعد از تسلیم، مدل‌های دینامیکی وابسته به زمان ارائه داده‌اند. کراثامر³ و همکاران با استفاده از نرم-افزار کامپیوتری که با الگوبرداری از روش یک درجه آزادی عمل می‌کند روش جدیدی را برای به‌دست آوردن نیروی مورد نیاز جهت ترک برداشتن سازه ارائه دادند.

یانچاو شی⁴ و همکارانش، براساس شاخص خرابی افت ظرفیت تحمل بار فشاری، برای المان ستون منحنی‌های فشار-ضربه برای هر سطح از خرابی به‌دست آورده‌اند (در هر حالت بارگذاری، فشار-ضربه برای ستون محاسبه می‌شود مقدار آن در بین این منحنی‌ها قرار می‌گیرد و بدین ترتیب سطح خرابی ستون تعیین می‌شود). هم‌چنین لئون سیزل⁵ و همکاران برای صفحات بتن مسلح، براساس تغییر شکل صفحه‌ی بتنی چهار طرف گیردار، شاخص خرابی و منحنی‌های هم‌خسارت (حداقل فاصله‌ی ایمن قرار گیری یک سازه‌ی خاص نسبت به بمب) تعریف کرده‌اند. معیار تغییرشکل نمی‌تواند بیانگر رفتار واقعی و مودهای مختلف شکست صفحه بتن مسلح باشد هم‌چنین شرایط گیرداری از چهار طرف برای دال‌ها و دیوار برشی‌های با جزئیات مختلف نمی‌تواند برآورد نزدیک به واقعیت نتیجه دهد.

۱-۳ هدف از پژوهش

با توسعه‌ی سریع برنامه‌های کامپیوتری در دهه‌های اخیر، شبیه‌سازی عددی حوادث انفجاری در کامپیوترهای شخصی ممکن شده است و نتایج حاصل از شبیه‌سازی کمک شایانی به شناخت هرچه بهتر گسترش موج انفجاری و رفتار سیستم‌های سازه‌ای تحت بارگذاری انفجار نموده است. از طرف دیگر انجام کارهای

¹ Kingery and Bulmash

² Low and Hao

³ Krauthammer

⁴ Yanchao Shi

⁵ Leon Cizelj

آزمایشگاهی در بسیاری از موارد بدون توجیه اقتصادی و امنیتی و حتی غیرممکن است لذا برای انجام تحلیل های دقیق و نزدیک به واقعیت، از نرم افزارهایی که بدین منظور تدوین شده، استفاده می شود.

وقوع انفجار که در نقاط مختلف دنیا از جمله کشور ایران ممکن است صورت گیرد، نیاز به مقاوم سازی و بهسازی تاسیسات و مراکز مهم در مقابل خطرات ناشی از این نوع بارها را بیش از پیش لازم می سازد. به دلیل شدت بالای بارهای انفجاری، محافظت کامل ساختمان ها در برابر این بارها امری غیرممکن و دور از توجیه اقتصادی است با این وجود از جمله روش هایی که در کشورهای مختلف جهت کاهش سطح خسارت ارائه شده، به کارگیری سازه های بتنی، سازه های مرکب، دیوار حائل، حفاظ های بتنی، سازه های مجازی و موارد مشابه می باشد. در این پژوهش با توجه به افزایش احتمال حملات نظامی در نقاط مختلف دنیا و همچنین به دلیل توجه کم طراحان ساختمان های اداری و مسکونی به بارگذاری انفجار، سعی شده است با ارائه روش های جدیدی در بهبود رفتار و ایمن سازی ساختمان ها اقدام گردد. راهکار پیشنهادی شامل به کارگیری لایه ی طراحی شده بر روی زمین جهت محبوس کردن انرژی حاصل از انفجار در خاک و سیستم طبقه ی سخت شده به منظور مقابله با خرابی کلی ساختمان ناشی از خرابی ستون طبقات پائین است. دو روش مذکور در ادامه بیش تر مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۱ ساختار پایان نامه

در این پایان نامه در فصل اول به کلیاتی در مورد تاریخچه کارهای صورت گرفته پرداخته می شود.

در فصل دوم مبانی مورد نیاز شامل؛ معرفی سلاح های مرتبط، تشریح پدیده ی انفجار، بارگذاری انفجاری، اثر انفجار بر اعضای سازه ای و روش های مختلف مقاوم سازی یا کاهش اثر انفجار شرح داده می شود.

در فصل سوم، مشخصات مدل های تحلیلی و مختصری از مبانی رفتار سازه و خاک در برابر نفوذ و انفجار آورده شده است. همچنین مدل مصالح تعریف شده در نرم افزار و پارامترهای موثر بر آنها، به صورت مبسوط ارائه شده است.

در فصل چهارم اعتبار سنجی نرم افزار نیز در ابتدای فصل آورده شده است. همچنین نتایج تحلیل ها و جزئیات لازم برای بررسی بهتر روش های پیشنهادی ارائه شده است. در پایان فصل، استفاده از سیستم طبقه ی صلب و اثر آن در بهبود رفتار سازه در طول خرابی پیش رونده شرح داده شده است.

در فصل پنجم با توجه به افزایش احتمال حملات تروریستی در نقاط مختلف دنیا، سعی شده است با ارائه روش های جدیدی در بهبود رفتار و ایمن سازی ساختمان ها اقدام گردد.