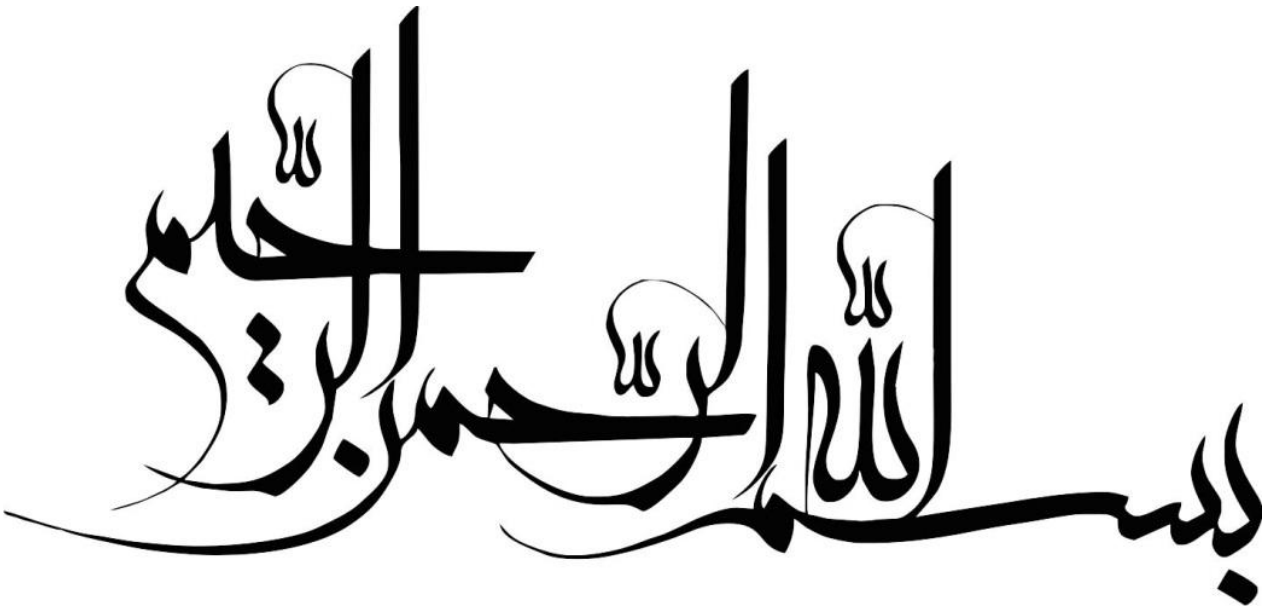
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc.)
گرایش: سازه

عنوان:

ارزیابی آسیب پذیری یک ساختمان بتنی مقاوم لرزه‌ای در مقابل انفجار

استاد راهنما:
دکتر محمد صادق روحانی منش

استاد مشاور:
دکتر قاسم دهقانی

پژوهشگر:
محمد جعفری

تابستان ۹۱

تقدیم:

به پیشگاه حضرت صاحب الزمان (عجل ا.. تعالی فرجه الشریف)

و پیر جماران **روح خدا** و یاران شهیدش

و سرباز فداکار مکتب حسینی، **سید علی** عزیز

با امید خدمت به این مکتب نورانی

تشکر و قدردانی:

خداوندا!

تو را سپاس به خاطر تمام نعمتهایی که بر من ارزانی داشتی، نعمتهایی که هیچگاه نمی‌توانم از عهده شناخت همه آنها برآیم، چه رسد به شکر آنها...

تو را سپاس برای مادری فداکار و پدری دلسوز که حمایت‌هایشان در تمام صحنه های زندگی مشوق من است و دعای خیر شان تمنای همیشگی ام.

تو را سپاس برای همسری مهربان که با حمایت او این پژوهش به سرانجام رسید.

تو را سپاس برای اساتیدی که در تمامی این سالها از آنان درس ایثار آموختم.

و برتر از همه تو را سپاس که ما را با نعمت **ولایت** آشنا کردی. امید آنکه قدردان آن باشیم.

خدایا سرانجام امور همه ما را

مختوم به خیر گردان!

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

این‌جانب **محمد جعفری** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی **۸۸۰۸۳۸۴۷۹۰۰** در رشته **مهندسی عمران-سازه** که در تاریخ **۱۳۹۱/۰۶/۲۸** از پایان نامه خود تحت عنوان: **ارزیابی آسیب پذیری یک ساختمان بتنی مقاوم لرزه‌ای در مقابل انفجار** با کسب **نمره ۱۸** و درجه **عالی** دفاع نموده‌ام بدین‌وسیله متعهد می‌شوم :

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان‌نامه ، کتاب ، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام.

۲- این پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل ، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ، ثبت اختراع و.... از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با این‌جانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی :

تاریخ و امضاء:

بسمه تعالی

در تاریخ **۱۳۹۱/۶/۲۸** دانشجوی کارشناسی ارشد، آقـای **محمــد جعفــری** از پایان نامه خود با عنــوان **ارزیابی آسیب پذیری یک ساختمان بتنی مقاوم لرزه‌ای در مقابل انفجار** دفاع نموده و با نمره ..... به حروف ..... با درجـه ..... مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما:

فهرست مطالب:

۱ کلیات طرح ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ موضوع پژوهش ۲

۱-۳ اهمیت موضوع ۲

۱-٤ روش پژوهش ۲

۲ مستندات و مطالعات نظری ٤

۲-۱ بررسی مقالات ٤

۲-۱-۱ مقدمه ٤

۲-۱-۲ مقاله شماره ۱ ٥

۲-۱-۲-۱ چکیده ٥

۲-۱-۲-۲ جزئیات ٥

۲-۱-۲-۳ نتایج ۷

۲-۱-۲-٤ مکانیزم تخریب ۷

۲-۱-۲-٥ جمع بندی ۸

۲-۱-۲-٦ کاستی: ۹

۲-۱-۲-۷ چکیده ۱۰

۲-۱-۲-۸ جزئیات ۱۰

۲-۱-۲-۹ نتایج ۱۲

۲-۱-۳ مقاله شماره ۳ ۱٤

۲-۱-۳-۱ چکیده ۱٤

۲-۱-٤ مقاله شماره ٤ ۱٤

۲-۱-٤-۱ چکیده ۱٤
۲-۱-۵ مقاله شماره ۵ ۱۵
۲-۱-۵-۱ چکیده ۱۵
۲-۱-٦ مقاله شماره ٦ ۱٦
۲-۱-٦-۱ چکیده ۱٦
۲-۱-۷ مقاله شماره ۷ ۱٦
۲-۱-۷-۱ چکیده ۱٦
۲-۲ مقاومت انفجاری ۱۷
۲-۲-۱ کلیات ۱۷
۲-۲-۱-۱ مقدمه ۱۷
۲-۲-۱-۲ تعریف انفجار ۱۷
۲-۲-۱-۳ مراحل فرآیند انفجار: ۱۷
۲-۲-۱-٤ آثار انفجار ۱۸
۲-۲-۱-۵ عوامل تکان سازه ۱۸
۲-۲-۱-٦ انواع انفجار ۱۸
۲-۲-۱-۷ انفجارهای خارجی ۱۸
۲-۲-۲ پارامترهای موج انفجار ۱۹
۲-۲-۲-۱ فاصله مقیاس شده ۱۹
۲-۲-۲-۲ پارامترهای اصلی ۱۹
۲-۲-۲-۲-۱ شکل موج ۱۹
۲-۲-۲-۲-۱-۱ موج ضربه: ۲۰
۲-۲-۲-۲-۱-۲ موج فشار: ۲۰
۲-۲-۲-۲-۲ فشار مبنای انفجار ۲۱
۲-۲-۲-۲-۲-۱ روابط براد ۲۲
۲-۲-۲-۲-۲-۲ روابط هنریش ۲۲
۲-۲-۲-۲-۳ زمان تداوم انفجار ۲۳
۲-۲-۳-۱ پارامترهای وابسته ۲٤

۱-۳-۲-۲-۲ تکانه انفجار _____ ۲۵
۲-۳-۲-۲-۲ فشار دینامیکی _____ ۲۵
۳-۳-۲-۲-۲ فشار بازتاب _____ ۲۶
۲-۲-۲-۳-۳-۱ اثر ماخ: _____ ۳۰
٤-۳-۲-۲-۲ سرعت جبهه موج _____ ۳۱
٥-۳-۲-۲-۲ طول موج _____ ۳۲
٦-۳-۲-۲-۲ چگالی هوای پشت جبهه _____ ۳۲
۷-۳-۲-۲-۲ فشار بر حسب زمان _____ ۳۲
۳-۲-۲ اندرکنش انفجار و سازه (بارگذاری انفجاری) _____ ۳٤
۱-۳-۲-۲ مقدمه _____ ۳٤
۲-۳-۲-۲ انواع انفجارهای خارجی _____ ۳٤
۱-۲-۳-۲-۲ انفجار در هوای آزاد _____ ۳٤
۲-۲-۳-۲-۲ انفجار در هوا _____ ۳٥
۲-۲-۳-۲-۲-۱ روش تعیین پارامترهای جبهه ماخ _____ ۳٥
۳-۲-۳-۲-۲ انفجار سطحی _____ ۳٦
۲-۲-۳-۲-۳-۱ چاله انفجار _____ ۳٦
۲-۲-۳-۳ نیروهای وارد بر یک سازه (رو زمینی) در اثر فشارهای حاصل از انفجار ۳٦
٤-۳-۲-۲ بارگذاری انفجاری _____ ۳۷
۱-٤-۳-۲-۲ بدون بازشو _____ ۳۷
۱-۱-٤-۳-۲-۲ بارگذاری دیوارها _____ ۳۷
۲-٤-۳-۲-۲ دارای بازشو _____ ٤۱
۲-۲-۳-٤-۲-۱ انواع سازه دارای باز شو در سطوح خارجی _____ ٤۱
۲-۲-۳-٤-۲-۲ مراحل اثر انفجار _____ ٤۱
۲-۲-۳-٥ اثر فشار های داخلی و خارجی بر تغییر مکان وجوه سازه _____ ٤۳
۲-۲-۳-٥-۱ غیر از دیوار جلویی _____ ٤۳
۲-۲-۳-٥-۲ دیوار جلویی _____ ٤۳
٦-۳-۲-۲ ترکش های اولیه و ثانویه _____ ٤۳

۲-۲-٤ مقاومت دینامیکی مصالح ٤٥
۲-٤-۲-۱ کلیات ٤٥
۲-٤-۲-۲ تابع مقاومت-تغییر شکل ٤٦
۲-٤-۲-۳ مصالح مناسب انفجاری ٤٦
۲-۲-٤-۳-۱ بتن مسلح ٤٦
۲-۲-٤-۳-۲ فولاد ساختمانی ٤٧
۲-۲-٤-۳-۳ مصالح بنایی مسلح ٤٧
۲-۲-٤-۳-٤ خاک ٤٧
۲-۲-٤-۳-٥ بتن الیافی ٤٨
۲-۲-٤-۳-٦ مصالح نما ٤٩
۲-٤-۲-٤ مشخصات دینامیکی مصالح ٤٩
۲-۲-٤-٤-۱ روابط تنش-کرنش ٤٩
۲-۲-٤-٤-۲ ضریب تشدید مقاومت ٥٠
۲-۲-٤-٤-۳ افزایش مقاومت دینامیکی ٥١
۲-۲-٤-٤-٤ تنش طراحی دینامیکی ٥٣
۲-٤-۲-٥ حدود تغییر شکل ٥٣
۲-۲-٤-٦ پارامترهای خمشی ٥٤
۲-۲-٥ تحلیل دینامیکی سازه ٥٤
۲-٥-۲-۱ کلیات ٥٤
۲-۲-٥-۲ دقت ٥٥
۲-٥-۲-۳ روشهای تحلیل ٥٦
۲-۲-٥-۳-۱ روش استاتیکی معادل ٥٦
۲-۲-٥-۳-۲ تحلیل دینامیکی با یک درجه آزادی ٥٦
۲-۲-٥-۳-۲-۱ اصول و روابط اولیه تعادل ٥٦
۲-۲-٥-۳-۲-۲ روشهای حل ٥٨
۲-۲-٥-۳-۲-۳ عکسالعملهای تکیه گاهی ٦٢
۲-۲-٥-۳-۳ تحلیل دینامیکی با چند درجه آزادی ٦٣

۲-۲-۵-۳-۳-۱ اصول و روابط اولیه تعادل ۶۳
۲-۲-۵-۳-۳-۲ روش تحلیل اجزاء محدود ۶۳
۲-۲-۵-۳-۳-۳ روشهای پیشرفته ۶۴
۲-۲-۵-٤ کاربرد ۶۵
۲-۲-۵-٤-۱ اندر کنش المانهای سازه ای ۶۵
۲-۲-۵-٤-۲ تحلیل قابها ۶۶
۲-۲-٦ عملکرد انفجاری ۶۶
۲-۲-٦-۱ مقدمه ۶۶
۲-۲-٦-۲ درجه اهمیت ساختمانها ۶۸
۲-۲-٦-۳ سطوح خطر ۶۹
۲-۲-٦-٤ اهداف طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر انفجار ۷۰
۲-۳ مدلسازی انفجاری ۷۱
۲-۳-۱ کلیات ۷۱
۲-۳-۲ بررسی ابزارهای مدلسازی نرم افزار ۷۳
۲-۳-۲-۱ پردازشگر ها ۷۳
۲-۳-۲-۱-۱ مقدمه ۷۳
۲-۳-۲-۱-۲ پردازشگر لاگرانژ ۷۵
۲-۳-۲-۱-۳ پردازشگر اویلر ۷۶
۲-۳-۲-۱-٤ پردازشگر ALE ۷۷
۲-۳-۲-۱-۵ پردازشگرSPH ۷۸
۲-۳-۲-۱-٦ اندر کنش پردازشگر ها ۷۹
۲-۳-۲-۲ مدلهای مواد ۸۱
۲-۳-۲-۲-۱ مقدمه ۸۱
۲-۳-۲-۲-۲ معادلات مشخصه ۸۱
۲-۳-۲-۲-۳-۱ مدلسازی معادله حالت ۸۲
۲-۳-۲-۲-۳-۲ مدلسازی اثرات مقاومت ۸۳
۲-۳-۲-۲-۳-۳ مدلسازی گسیختگی ماده ۸۳

٤-٢-٢-٢-٣-٢ مدلسازی فرسایش ماده ٨٤
٢-٣-٢-٣ گام های تحلیل ٨٤
٣-٣-٢ انتخاب مدلهای مناسب برای معرفی مشخصات مواد ٨٥
١-٣-٣-٢ مشخصات بتن ٨٥
١-١-٣-٣-٢ معادله حالت ٨٥
٢-١-٣-٣-٢ مدل مقاومت و گسیختگی ٨٦
٣-١-٣-٣-٢ مدل فرسایش ٨٧
٢-٣-٣-٢ مشخصات آرماتور ٨٧
١-٢-٣-٣-٢ معادله حالت ٨٧
٢-٢-٣-٣-٢ مدل مقاومت و گسیختگی ٨٨
٣-٣-٣-٢ مشخصات ماده منفجره ٨٨
٤-٣-٢ ارزیابی خسارت ٨٩
٢-٣-٤-١ مقدمه ٨٩
٢-٤-٣-٢ تاریخچه ٨٩
٣-٤-٣-٢ نیازهای سازه ای ٩٠
٤-٤-٣-٢ شاخص های خسارت ٩٠
٢-٣-٤-٥ انتخاب معیارهای ارزیابی عملکرد ٩١
٣ روش شناسی و مدل سازی ٩٢
١-٣ مقدمه ٩٢
٢-٣ معرفی ساختمان: ٩٢
٣-٣ طراحی ساختمان ٩٤
١-٣-٣ فرضیات طراحی ٩٤
١-١-٣-٣ آیین نامه ها ٩٤
٢-١-٣-٣ مشخصات مصالح ٩٥
٢-٣-٣ مشخصات المانهای سازه ای ٩٥
٣-٣-٣ مشخصات بارگذاری ٩٦

۳-۳-۱-۱ بارگذاری ثقلی ۹۶
۳-۳-۲-۲ بارگذاری لرزه‌ای (جانبی) ۹۶
۳-۳-۴ ترکیبات بار: ۹۷
۳-۳-۵ ترسیم مدل: ۹۹
۳-۳-۶ تحلیل و طراحی ۱۰۰
۳-۳-۷ آرماتورگذاری (مطابق ضوابط لرزه ای) ۱۰۳
۳-۴ مدلسازی در AUTODYN ۱۰۳
۳-۴-۱ بررسی امکانات نرم افزار ۱۰۴
۳-۴-۱-۱ ارتباط با Ansys workbench ۱۰۴
۳-۴-۱-۲ تقارن ۱۰۴
۳-۴-۱-۳ المان بندی ۱۰۵
۳-۴-۱-۴ حسگر ها ۱۰۸
۳-۴-۱-۵ شرایط مرزی ۱۰۸
۳-۴-۱-۶ اتصالات ۱۰۹
۳-۴-۱-۷ اندرکنش ۱۰۹
۳-۴-۱-۸ انفجار تئوریک ۱۱۰
۳-۴-۲ صحت سنجی چند نمونه ۱۱۳
۳-۴-۲-۱ مدل شماره ۱: بررسی تاریخچه فشار انفجار دو بعدی ۱۱۳
۳-۴-۲-۲ مشخصات مدل ۱۱۳
۳-۴-۲-۳ نتایج مدلسازی ۱۱۴
۳-۴-۲-۴ مدل شماره ۲: بررسی تاریخچه فشار انفجار سه بعدی ۱۱۵
۳-۴-۲-۵ مشخصات مدل ۱۱۵
۳-۴-۲-۶ نتایج مدلسازی ۱۱۵
۳-۴-۲-۷ جمع بندی دو مدل ۱۱۶
۳-۴-۳ شرح مدلسازی در این پژوهش ۱۱۸
۳-۴-۳-۱ تقارن ۱۱۸

۳-٤-۳-۲ مصالح ۱۱۸
۳-٤-۳-۳ اجزاء ۱۱۹
۳-٤-۳-٤ تیرهای بتن آرمه ۱۱۹
۳-٤-۳-٥ ستونهای بتنی ۱۱۹
۳-٤-۳-٦ دال بتنی ۱۲۰
۳-٤-۳-۷ شرایط مرزی ۱۲۰
۳-٤-۳-۸ اتصالات ۱۲۱
۳-٤-۳-۹ اندرکنش ها ۱۲۲
۳-٤-۳-۱۰ نصب حسگر ۱۲۲
۳-٤-۳-۱۱ زمان اجرای مدل ۱۲۳
۳-٤-۳-۱۲ فاصله نقطه انفجاری ۱۲۳
۳-٤-۳-۱۳ جرم ماده منفجره ۱۲٤

٤ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲٥

٤-۱ تجزیه و تحلیل نتایج ۱۲٥
٤-۱-۱ مدل : انفجار در Z=۰.۷ ۱۲٦
٤-۱-۱-۱ فشار انفجاری ۱۲٦
٤-۱-۱-۱-۱ خروجی ۱۲٦
٤-۱-۱-۱-۲ تفسیر ۱۲۷
٤-۱-۱-۲ بتن ۱۲۸
٤-۱-۱-۲-۱ خروجی ها ۱۲۸
٤-۱-۱-۲-۲ تخریب بتن ۱۲۸
٤-۱-۱-۲-۳ پلاستیک شدن بتن ۱۲۸
٤-۱-۱-۲-٤ ترک خوردگی بتن ۱۲۹
٤-۱-۱-۲-٥ تفسیر ۱۳۰
٤-۱-۱-۳ آرماتور ۱۳۰
٤-۱-۱-۳-۱ خروجی ۱۳۰

٤-١-١-٣-٢ تفسیر _____ ١٣١
٤-١-١-٤ تغییر مکان سازه _____ ١٣٢
٤-١-١-٤-١ راستای انفجار _____ ١٣٢
٤-١-١-٤-٢ راستای قائم _____ ١٣٢
٤-١-١-٤-٣ تفسیر _____ ١٣٣
٤-١-١-٥ معیارهای پذیرش _____ ١٣٣
٤-١-١-٥-١ ستونها و قابها _____ ١٣٣
٤-١-١-٥-٢ تیرها و دالها _____ ١٣٤
٤-١-١-٥-٣ تفسیر _____ ١٣٥
٤-١-٢ مدل : انفجار در Z=٠.٣ _____ ١٣٥
٤-١-٢-١ فشار انفجاری _____ ١٣٥
٤-١-٢-١-١ خروجی _____ ١٣٥
٤-١-٢-١-٢ تفسیر _____ ١٣٧
٤-١-٢-٢ بتن _____ ١٣٧
٤-١-٢-٢-١ خروجی ها _____ ١٣٧
٤-١-٢-٢-٢ تخریب بتن _____ ١٣٧
٤-١-٢-٢-٣ پلاستیک شدن بتن _____ ١٣٨
٤-١-٢-٢-٤ ترک خوردگی بتن _____ ١٣٩
٤-١-٢-٢-٥ تفسیر _____ ١٣٩
٤-١-٢-٣ آرماتور _____ ١٤٠
٤-١-٢-٣-١ خروجی _____ ١٤٠
٤-١-٢-٣-٢ تفسیر _____ ١٤٣
٤-١-٢-٤ تغییر مکان سازه _____ ١٤٤
٤-١-٢-٤-١ راستای انفجار _____ ١٤٤
٤-١-٢-٤-٢ راستای قائم _____ ١٤٤
٤-١-٢-٤-٣ تفسیر _____ ١٤٥
٤-١-٢-٥ معیارهای پذیرش _____ ١٤٥

٤-١-٢-٥-١ ستونها و قابها _____ ١٤٥
٤-١-٢-٥-٢ تیرها و دالها _____ ١٤٧
٤-١-٢-٥-٣ تفسیر _____ ١٤٨
٤-١-٣ مدل : انفجار در Z=٠.١ _____ ١٤٨
٤-١-٣-١ فشار انفجاری _____ ١٤٨
٤-١-٣-١-١ خروجی _____ ١٤٨
٤-١-٣-١-٢ تفسیر _____ ١٥٠
٤-١-٣-٢ بتن _____ ١٥٠
٤-١-٣-٢-١ خروجی ها _____ ١٥٠
٤-١-٣-٢-٢ تخریب بتن _____ ١٥٠
٤-١-٣-٢-٣ پلاستیک شدن بتن _____ ١٥١
٤-١-٣-٢-٤ ترک خوردگی بتن _____ ١٥٢
٤-١-٣-٢-٥ تفسیر _____ ١٥٢
٤-١-٣-٣ آرماتور _____ ١٥٣
٤-١-٣-٣-١ خروجی _____ ١٥٣
٤-١-٣-٣-٢ تفسیر _____ ١٥٦
٤-١-٣-٤ تغییر مکان سازه _____ ١٥٦
٤-١-٣-٤-١ راستای انفجار _____ ١٥٦
٤-١-٣-٤-٢ راستای قائم _____ ١٥٧
٤-١-٣-٤-٣ تفسیر _____ ١٥٧
٤-١-٣-٥ معیارهای پذیرش _____ ١٥٧
٤-١-٣-٥-١ ستونها و قابها _____ ١٥٨
٤-١-٣-٥-٢ تیرها و دالها _____ ١٥٩
٤-١-٣-٥-٣ تفسیر _____ ١٥٩
٤-٢ نتیجه گیری _____ ١٦١
٤-٣ پیشنهاداتی برای پروژه های آینده _____ ١٦٣

۵ پیوست ۱٦٤

۵-۱ منابع _____ ۱٦٤

فهرست اشکال و نمودارها

شکل ۲-۱: تخریب ستونهای تحتانی در اثر انفجار ۸

شکل ۲-۲: گسترش تخریب ۸

شکل ۲-۳: اثر دیوارهای غیر سازه ای در کاهش اثر موج ۹

شکل ۲-٤: تعیین پارامترهای انفجاری ۱۰

شکل ۲-۵: اعضای قاب و موقعیت ماده منفجره نسبت به آنها ۱۱

شکل ۲-٦: تاریخچه زمانی تغییر مکان وسط دهانه ستون ۱۲

شکل ۲-۷: المانهای خراب شده در هر مدل ۱۳

شکل ۲-۸: نمودار فشار- زمان موج ضربه ۲۰

شکل ۲-۹: نمودار فشار- زمان موج فشار ۲۱

شکل ۲-۱۰: مقایسه روابط براد و هنریش [] ۲۳

شکل ۲-۱۱: مقایسه روابط ایزدی فرد و ماهری باTM برای محاسبه مدت زمان فاز مثبت[] ۲٤

شکل ۲-۱۲: انعکاس منظم ۲٦

شکل ۲-۱۳: انعکاس قائم ۲۷

شکل ۲-۱٤: ضرایب بازتاب بر حسب زاویه انعکاس –محدوده فشارهای کم [] ۲۸

شکل ۲-۱۵: ضرایب بازتاب بر حسب زاویه انعکاس –محدوده فشارهای زیاد [] ۲۹

شکل ۲-۱٦: افزایش ارتفاع نقطه سه گانه با دور شدن از مرکز انفجار ۳۰

شکل ۲-۱۷:فشار یکنواخت بر ساختمانهای واقع در زیر ارتفاع جبهه ماخ ۳۱

شکل ۲-۱۸: انتشار موج انفجار در هوای آزاد و برخورد آن با سازه ۳۵

شکل ۲-۱۹: برخورد امواج انفجار به سازه در زمانهای مختلف ۳۷

شکل ۲-۲۰: فشار وارده به دیوار جلویی سازه، برحسب زمان ۳۸

شکل ۲-۲۱: فشار وارده به دیوارهای جانبی سازه، برحسب زمان ۳۹

شکل ۲-۲۲: فشار وارده به دیوار پشتی سازه، برحسب زمان ٤۰

شکل ۲-۲۳: بار جانبی خالص روی سازه ٤١
شکل ۲-۲٤: نیروهای وارده از امواج انفجار به ساختمان در زمانهای متفاوت ٤٢
شکل ۲-۲۵: منحنی تنش-کرنش فولاد ۵۰
شکل ۲-۲٦: منحنی تنش-کرنش بتن ۵۰
شکل ۲-۲۷: اثر سرعت کرنش روی منحنی تنش- کرنش فولاد ۵۱
شکل ۲-۲۸: اثر سرعت کرنش روی منحنی تنش- کرنش فولاد ۵۲
شکل ۲-۲۹: نمودار ترسیمی نمونه برای سیستم الاستوپلاستیک با یک درجه آزادی ٦۰
شکل ۲-۳۰: عکس العملهای عضو خمشی با جرم و بار توزیع شده ٦۲
شکل ۲-۳۱: نمایی از ویرایش ١٤نرم افزار انسیس ۷۱
شکل ۲-۳۲: محدوده مسائل دینامیک صریح ۷۲
شکل ۲-۳۳: تفاوت المان بندی در پردازشگرها ۷۵
شکل ۲-۳٤: شبکه بندی در پردازشگر لاگرانژ ۷٦
شکل ۲-۳۵: شبکه بندی در پردازشگر اویلری ۷۷
شکل ۲-۳٦: شبکه بندی در پردازشگر ALE ۷۸
شکل ۲-۳۷: تعریف ذرات در پردازشگر ذرات ۷۹
شکل ۲-۳۸: تراکم ماده متخلخل انعطاف پذیر ۸٦
شکل ۳-۱: ابعاد دهانه های ساختمان انتخابی ۹۳
شکل ۳-۲:تصویر سه بعدی ساختمان ۹٤
شکل ۳-۳: مدلسازی پلان ساختمان ۹۹
شکل ۳-٤: مدلسازی قابهای ساختمان ۱۰۰
شکل ۳-۵: مدلسازی ستون و آرماتورگذاری آن ۱۰۰
شکل ۳-٦: آرماتور های طراحی شده تیرها در طبقه اول (سانتی متر مربع) ۱۰۲
شکل ۳-۷: تقارن دو بعدی ۱۰۵
شکل ۳-۸: تقارن سه بعدی ۱۰۵

شکل ۳-۹: نمونه ای از مش بندی اجزاء ساختارمند. ۱۰۷
شکل ۳-۱۰: نمونه ای از مش بندی اجزاء غیر ساختارمند. ۱۰۷
شکل ۳-۱۱: شرایط مرزی ۱۰۸
شکل ۳-۱۲: الگوهای شرایط مرزی ۱۰۹
شکل ۳-۱۳: منوی تعریف انفجار تحلیلی ۱۱۱
شکل ۳-۱٤: مقایسه دو روش اتوداین برای مدل کردن انفجار، با دستنامه فنی و تجربیات [] ۱۱۲
شکل ۳-۱۵: مش بندی و ترکیب حسگر ها- مدل شماره ۱ ۱۱۳
شکل ۳-۱٦: کانتور تنش در لحظه ای از انفجار ۱۱٤
شکل ۳-۱۷: منحنی فشار زمان حسگر های تعریف شده در انفجار یک بعدی ۱۱٤
شکل ۳-۱۸: انفجار مدلسازی شده در المان اویلری هوا ۱۱۵
شکل ۳-۱۹: کانتور تنش انفجار سه بعدی ۱۱۵
شکل ۳-۲۰: منحنی فشار زمان برای حسگر های نصب شده در انفجار سه بعدی ۱۱٦
شکل ۳-۲۱: نمودار مقایسه ای فشار بر حسب فاصله مقیاس شده، برای مدلهای ارزیاب صحت ۱۱۷
شکل ۳-۲۲:تقارن ۱۱۸
شکل ۳-۲۳:آرماتورگذاری ستونها ۱۱۹
شکل ۳-۲٤: آرماتورگذاری دالها ۱۲۰
شکل ۳-۲۵: اعمال تقارن ۱۲۰
شکل ۳-۲٦: تخصیص تکیه گاه ۱۲۱
شکل ۳-۲۷: اتصالات ۱۲۱
شکل ۳-۲۸: اندرکنش ها ۱۲۲
شکل ۳-۲۹: حسگرها ۱۲۳
شکل ۳-۳۰: پلان انفجار ۱۲٤
شکل ٤-۱: نمودار فشار زمان حسگرهای هوا در امتداد انتشار موج ۱۲٦
شکل ٤-۲: کانتور فشار وارد بر سازه ۱۲۷