بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه

قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌های شبکه دولایه فضاکار

استاد راهنما:

دکتر عیسی سلاجقه

مؤلف:

ایمان منصوری

شهریور ماه ۱۳۸۸

این پایان نامه به‌عنوان یکی از شرایط درجه‌کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به‌عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: ایمان منصوری

استاد راهنما: دکتر عیسی سلاجقه

داور ۱: دکتر حامد صفاری

داور ۲: دکتر سعید شجاعی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: مهندس عباس بحرالعلوم

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

پدر فدا کار و مادر مهربانم که پیشرفت فرزندانشان دغدغه اصلی زندگیشان بوده و می باشد

و خواهر و برادرعزیزم که همواره مشوق من بوده اند.

تشکر و قدردانی :

اکنون که به یاری خداوند متعال، نگارش این پایان نامه به پایان رسیده است بر خود لازم می‌دانم که از زحمات استاد بزرگوارم، جناب آقای پروفسور عیسی سلاجقه که در طول انجام این تحقیق از نظرات و راهنمایی‌های ارزنده ایشان استفاده کردم صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

از اعضای محترم هیات داوران، استادان ارجمند، آقایان دکتر صفاری و دکتر شجاعی سپاسگزارم که با مطالعه پایان نامه و ارائه راهنمایی‌های ارزنده خود برای تکمیل مطالب و رفع کاستی‌های آن مرا مدیون محبت‌های خویش ساختند.

از برادر ارجمندم حاج آقای حسینمردی که با حمایت و تشویق ایشان توانستم گامی در راه علم بردارم کمال تشکر را دارم.

همچنین بجاست از جناب آقای دکتر علیمرادی و دوستان گرامی ام آقایان دکتر D. Lignos، مهندس خطیبی نیا، مهندس فرهادی، مهندس محمدی، مهندس النجری، مهندس دبیری، سرکار خانم مهندس دیده بان و نیز همه دوستانی که در انجام این تحقیق مرا یاری کردند صمیمانه سپاسگزاری کنم.

از دو گوهر تابناک وجودم یعنی پدر و مادر عزیزم بخاطر تلاش‌ها، و زحماتشان متشکرم.

قدردانی من از عزیزان نه به عنوان یک وظیفه، بلکه از صمیم قلب به خاطر کمک‌های بی‌دریغشان می‌باشد. سلامتی و توفیق روزافزون همه این عزیزان را از خداوند متعال مسئلت دارم.

چکیده:

با توجه به گسترش روزافزون ساخت سازه‌های بزرگ با دهانه‌های وسیع مانند استادیوم‌ها، نمایشگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات و آشیانه‌های هواپیما، مطالعه در زمینه تحلیل و طراحی شبکه‌های دولایه که برای پوشش سقف این گونه سازه‌ها به کار می‌رود، امری ضروری است.

در حال حاضر یکی از مهمترین اهداف مهندسان زلزله پیش بینی رفتار سازه‌ها در برابر زلزله‌های آینده است. اطلاعات محدود ما در مورد پارامترهای لرزه‌ای از قبیل فاصله از مرکز زلزله، محتوای فرکانسی و حداکثر شتاب زلزله ونیز وجود عدم قطعیت‌ها در روش‌های تحلیلی باعث شده است تئوری احتمال وارد مهندسی زلزله شود.

تحلیل دینامیکی فزاینده یک ابزار تحلیلی مفید در مهندسی زلزله بر اساس عملکرد است. این روش جدید قادر است تقاضای لرزه‌ای و حالات حدی ظرفیت یک سازه را تحت بارگذاری لرزه‌ای با استفاده از رکوردهای مناسب که به چندین سطح شتاب افزاینده مقیاس شده اند، تخمین بزند. با استفاده از این روش می توان درک بهتری از رفتار سازه را به دست آورد. آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی با از استفاده نرم افزار قدرتمند OpenSees و با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی هندسی و مصالح انجام شده است.

در این تحقیق رفتار سازه‌های فضاکار تخت دو لایه در حالت‌های الاستیک و غیرالاستیک تا مرحله خرابی سازه و محاسبه سطوح اطمینان سازه با استفاده از تئوری قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه: سازه‌های فضاکار، آنالیز دینامیکی فزاینده، قابلیت اعتماد لرزه‌ای

فهرست مطالب :

فصل اول: کلیات ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ گزارش هایی از اثرات زلزله بر سازه های فضاکار ۳
۱-۳ اهداف و روش تحقیق ۵
۱-٤ ساختار پایان‌نامه ٦
فصل دوم: معرفی سازه‌های فضاکار ۸
۲-۱ مقدمه ۹
۲-۲ انواع سازه‌های فضاکار گسسته ۹
۲-۲-۱ شبکه ها ۹
۲-۲-۲ شبکه‌های دو لایه ۱۱
۲-۲-۳ چلیک‌ها ۱۳
۲-۲-٤ گنبدها ۱٤
۲-۳ تاشه پردازی سازه‌های فضاکار و جبرفرمکس ها ۱٦
۲-٤ مزایای سازه‌های فضاکار ۱۷
فصل سوم: رفتار کلی شبکه‌های دولایه فضاکار ۱۹
۳-۱ مقدمه ۲۰
۳-۲ نامعینی استاتیکی و خرابی پیشرونده ۲۰
۳-۳ مودهای خرابی ۲۲
۳-۴ رفتار اعضای کششی و فشاری ۲۳
۳-۵ طول موثر عضو ۲٤
۳-۶ رفتار اتصالات و پیونده ها ۲٤
۳-۷ نتایج آزمایش های تجربی ۲۶
۳-۸ مشخصات کلی رفتار شبکه های دولایه ای ۲۶
فصل چهارم : روش‌های تحلیل شبکه‌های دولایه ۲۹
٤-۱ مقدمه ۳۰
٤-۲ بارگذاری ۳۰
٤-۲-۱ بارهای مرده ۳۲
٤-۲-۲ بار برف ۳۲
٤-۲-۳ بار زنده ۳۳

٤-٢-٤ بارناشی از تغییر درجه حرارت ٣٣
٤-٢-٥ بار باد ٣٤
٤-٢-٦ بار زلزله ٣٤
٤-٢-٧ ترکیب های بارگذاری ٣٦
٤-٣ تحلیل استاتیکی ٣٥
٤-٤ روش های تحلیل تقریبی ٣٦
٤-٤-١ روش تقریبی مبتنی بر تشابه سازه با محیط های پیوسته ٣٦
٤-٤-٢ روش مبتنی بر تفاوت های محدود ٣٧
٤-٤-٣ روش مبتنی بر اجزای محدود ٣٧
٤-٥ تحلیل خطی ٣٨
٤-٦ بررسی رفتار عضو ٣٨
٤-٧ جایگزینی عضو کمانه کرده ٣٩
٤-٨ اصلاح سختی عضو کمانه کرده ٤٠
٤-٩ تحلیل ناپایداری ٤١
٤-١٠ تحلیل غیر خطی ٤٢
٤-١١ تحلیل دینامیکی ٤٢
٤-١٢ تحلیل خرابی پیشرونده ٤٥
فصل پنجم: تحلیل‌های دینامیکی و دینامیکی غیرخطی فزاینده ٤٨
٥-١ مقدمه ٤٩
٥-٢ مشخصات شتابنگاشت‌ها و اصلاح آن‌ها ٥١
٥-٣ آنالیز دینامیکی غیرخطی ٥٦
٥-٤ آنالیز دینامیکی غیرخطی فزاینده ٥٧
٥-٤-١ معرفی ٥٧
٥-٤-٢ تعاریف در تحلیل دینامیکی فزاینده ٥٨
٥-٤-٣ برخی خواص منحنی IDA ٦١
٥-٤-٤ ظرفیت و سطوح عملکرد در آنالیز دینامیکی فزاینده ٦٢
٥-٤-٥ خلاصه کردن منحنی‌های IDA ٦٣
٥-٤-٦ خلاصه‌ای از مراحل انجام آنالیز IDA ٦٤
فصل ششم: مدل‌سازی و تحلیل نتایج آنالیز دینامیکی فزاینده ٦٥
٦-١ مقدمه ٦٦
٦-٢ مفاهیم اولیه اجزاء محدود ٦٦

۶-۳ رفتار فولاد ۶۷
۶-۳-۱ رفتار ارتجاعی ۶۷
۶-۳-۲ رفتار غیرخطی ۶۷
۶-۴ تحلیل غیر خطی ۶۸
۶-۵ روش تحلیل غیر خطی ۶۹
۶-۵-۱ نمو بار در آنالیز الاستوپلاستیک ۶۹
۶-۵-۲ حل عددی معادلات ۶۹
۶-۶ معیار همگرایی ۷۰
۶-۷ تنش و کرنش موثر ۷۱
۶-۷-۱ تنش موثر ۷۱
۶-۷-۲ کرنش موثر ۷۲
۶-۸ معیار ون میسز ۷۲
۶-۹ مدل سازی ۷۳
۶-۹-۱ بارگذاری ۷۴
۶-۹-۲ بررسی انواع مسایل غیرخطی در نرم افزار OpenSees ۷۵
۶-۹-۲-۱ بررسی خصوصیات غیرخطی مصالح ۷۵
۶-۹-۲-۲ بررسی خصوصیت غیرخطی هندسی ۷۶
۶-۹-۳ روش حل مسایل غیر خطی در برنامه OpenSees ۷۷
۶-۹-۴ انتخاب مصالح و نمودار تنش- کرنش ۷۷
۶-۹-۵ معیار همگرایی در برنامه OpenSees ۷۹
۶-۹-٦ روش های عددی برای تحلیل دینامیکی ۷۹
۶-۹-۷ تعیین ماتریس میرایی به روش رایلی ۸۰
۶-۹-۸ معرفی المان انتخابی ۸۱
۶-۱۰ معرفی سازه‌ها ۸۱
۶-۱۱ نتایج تحلیل‌های IDA ۸۳
۶-۱۲ خلاصه منحنی‌های IDA سازه ها ۸۷
فصل هفتم: تحلیل قابلیت اطمینان ۹۱
۷-۱ مقدمه ۹۲
۷-۲ بررسی آسیب پذیری قاب های خمشی فولادی ۹۲
۷-۳ روش های آنالیز قابل استفاده ۹۳
۷-٤ پروژه FEMA/SAC درتحلیل قابلیت اطمینان ۹۴

۷-۵ بررسی آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌های موجود ۹۶
۷-٦ تئوری روش تحلیل قابلیت اطمینان ۹۸
۷-۶-۱ مقدمه ۹۸
۷-۶-۲ تئوری و روابط ۹۹
۷-۶-۳ عدم قطعیت های موجود ۱۰۲
۷-۷ پارامترهای ظرفیت و تقاضا ۱۰۴
۷-۸ معیارهای پذیرش ۱۰۶
۷-۹ تئوری FEMA-350 در تحلیل قابلیت اطمینان ۱۰۶
۷-۱۰ محاسبه و ارزیابی اطمینان ۱۰۷
۷-۱۱ نتایج ۱۰۷
۷-۱۲ خلاصه روش ارایه شده در FEMA-351 ..... ۱۲۴
فصل هشتم: نتیجه گیری ۱۲٦
۸-۱ نتیجه گیری ۱۲۷
۸-۲ پیشنهادها ۱۲۸
مراجع ۱۲۹

فهرست جداول

جدول ۵-۱ مشخصات شتابنگاشت‌های مورد استفاده با احتمال وقوع ۲ درصد در ۵۰ سال ۵۲
جدول ۶-۱ ابعاد شبکه های دولایه مدل سازی شده ۸۲
جدول ۶-۲ مشخصات مقاطع ۸۲
جدول ۷-۱ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۱ با اتصال صلب ۱۰۸
جدول ۷-۲ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۲ با اتصال صلب ۱۱۰
جدول ۷-۳ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۳ با اتصال صلب ۱۱۲
جدول ۷-۴ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۴ با اتصال صلب ۱۱٤
جدول ۷-۵ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۱ با اتصال مفصلی ۱۱٦
جدول ۷-۶ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۱ با اتصال مفصلی ۱۱۸
جدول ۷-۷ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۱ با اتصال مفصلی ۱۲۰
جدول ۷-۸ جزییات محاسبه قابلیت اعتماد لرزه ای سازه ۱ با اتصال مفصلی ۱۲۲

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ رفتار سازه در سطوح مختلف ۵
شکل ۲-۱ نمونه هایی از شبکه های دولایه..... ۱۰
شکل ۲-۲ ایجادالگوهای جدیدازطریق حذف بعضی از اعضا ۱۱
شکل۲-۳ نمونه هایی از شبکه های دولایه ۱۲
شکل۲-۴ نمونه هایی از سازه های چیلکی ۱۳
شکل۲-۵ نمونه های از سازه های گنبدی ۱٤
شکل ۴-۱ مدل رفتاری اعضا در روش حذف عضو کمانه کرده..... ۳۹
شکل ۴-۲ مدل رفتاری اعضا در روش اصلاح سختی عضو کمانه کرده..... ٤۰
شکل ۵-۱ شتابنگاشت زلزله Imperial Valley (IV91) ۵۳
شکل ۵-۲ شتابنگاشت زلزله Imperial Valley(IV92) ۵۳
شکل ۵-۳ شتابنگاشت زلزله Imperial Valley(IV93) ۵۳
شکل ۵-۴ شتابنگاشت زلزله Loma Prieta (LP94) ۵۳
شکل ۵-۵ شتابنگاشت زلزله Loma Prieta (LP95) ٥٤
شکل ۵-۶ شتابنگاشت زلزله Loma Prieta (LP96) ٥٤
شکل ۵-۷ شتابنگاشت زلزله Northridge (NR47)..... ٥٤
شکل ۵-۸ شتابنگاشت زلزله Northridge (NR48)..... ٥٤
شکل ۵-۹ شتابنگاشت زلزله Superstition (SH79) ۵۵
شکل ۵-۱۰ شتابنگاشت زلزله San Fernando (SF10)..... ۵۵
شکل ۵-۱۱ طیف پاسخ شتابنگاشت‌ها ۵۵
شکل ۵-۱۲ منحنی‌های IDA قاب ۵ طبقه مهاربندی شده فولادی تحت اثر چهار شتابنگاشت متفاوت..... ٦۰
شکل ۵-۱۳ منحنی‌های IDA یک قاب ۵ طبقه مهاربندی شده فولادی ٦۱
شکل۶-۱ روش نیوتن- رافسون برای حل معادلات غیرخطی ۷۰
شکل۶-۲ منحنی تاریخچه بارگذاری ۷۵
شکل۶-۳ انواع رفتارهای غیرخطی مصالح ۷۸

شکل۶-۴ منحنی هیستریزیس مصالح steel02 ..... ۷۹
شکل۶-۵ بافتار شبکه های دولایه مدل سازی شده ۸۱
شکل ٦-٦ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۲۱×۲۱ با اتصالات صلب ۸۳
شکل ٦-۷ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۳۳×۳۳ با اتصالات صلب ۸۳
شکل ٦-۸ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ٥٦×٥٦ با اتصالات صلب ۸٤
شکل ٦-۹ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۸۰×۸۰ با اتصالات صلب ۸٤
شکل ٦-۱۰ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۲۱×۲۱ با اتصالات مفصلی ۸٥
شکل ٦-۱۱ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۳۳×۳۳ با اتصالات مفصلی ۸٥
شکل ٦-۱۲ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ٥٦×٥٦ با اتصالات مفصلی ۸٦
شکل ٦-۱۳ منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۸۰×۸۰ با اتصالات مفصلی ۸٦
شکل ٦-۱٤ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۲۱×۲۱ با اتصالات صلب ۸۸
شکل ٦-۱٥ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۳۳×۳۳ با اتصالات صلب ۸۸
شکل ٦-۱٦ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ٥٦×٥٦ با اتصالات صلب ۸۸
شکل ٦-۱۷ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۸۰×۸۰ با اتصالات صلب ۸۹
شکل ٦-۱۸ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۲۱×۲۱ با اتصالات مفصلی ۸۹
شکل ٦-۱۹ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۳۳×۳۳ با اتصالات مفصلی ۹۰
شکل ٦-۲۰ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ٥٦×٥٦ با اتصالات مفصلی ۹۰
شکل ٦-۲۱ خلاصه منحنی‌های IDA شبکه دولایه ۸۰×۸۰ با اتصالات مفصلی ۹۰

فصل اول
کلیّات

۱-۱ مقدمه

در مهندسی زلزله بر اساس عملکرد برای ارزیابی عملکرد سازه لازم است ظرفیت و نیاز لرزه‌ای آن تعیین گردد. ارزیابی عملکرد سیستم‌های غیرخطی پیچیده بوده و باید روش‌های تحلیلی مناسبی جهت مدل سازی رفتار سازه در برابر زمین لرزه استفاده شود. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه تحلیل-های کامپیوتری، امروزه امکان استفاده از آنالیزهای دینامیکی غیرخطی برای رسیدن به این منظور میسر است. در این روش پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه تحت اثر زلزله مشخص تعیین می‌شود.

پیشرفت روزافزون تکنولوژی پردازش داده‌ها در علوم رایانه‌ای امکان تحلیل‌های فزاینده را فراهم ساخته است. همین موضوع باعث شده است که تحلیل‌ها از حالت استاتیکی و الاستیک شروع و به تحلیل‌های دینامیکی ارتجاعی و پس از آن تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و درنهایت تحلیل دینامیکی غیرخطی پیشرفت کنند. در تحلیل دینامیکی غیرخطی لازم بود که چند رکورد مختلف برای هر بار مطالعه اجرا شود که غالبا به علت حجیم بودن کار، از این روش برای کنترل طراحی‌های انجام شده، استفاده می‌شود.

از طرف دیگر روش‌هایی مثل تحلیل استاتیکی غیرخطی یا روش طیف ظرفیت، از ازدیاد فزاینده بار استاتیکی در روش خود سود می‌برند که یک تصویر از رفتار سازه در اختیار قرار می‌داد که از حالت رفتار الاستیک سازه شروع و به حد جاری شدن ودر نهایت با فروریزش سازه به انتها می‌رسید.

با شباهت بین عبور از روش آنالیز استاتیکی خطی به آنالیز استاتیکی غیرخطی، این ایده بوجود آمد که از روش آنالیز دینامیکی خطی به روش آنالیز دینامیکی فزاینده سوق پیدا کنیم، به صورتی که بار لرزه‌ای مقیاس شود و به تدریج افزایش یابد.

مفاهیم این روش در سال ۱۹۷۷ توسط Bertero [۱] بسط پیدا کرد. در سال‌های اخیر روش طراحی بر اساس ظرفیت و تقاضا که توسط Allin Cornell توسعه داده شد، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است که با توجه قابلیت بیان در قالب احتمالاتی می‌تواند برای تعیین تراز اطمینان و بهبود عملکرد سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا تلاش‌های زیادی توسط محققانی از جمله Wen & Foutch (1997) [۲]، Jalayer & Cornell (1998) [۳]، Vamvatsikos & Cornell (2002) [٤]، Hamburger & Moehle (2002) [٥] و Uriz & Mahin (2004) [٦] صورت گرفته است که منجر به تدوین دستورالعمل‌هایی در این زمینه شد.

۱-۲ گزارش هایی از اثرات زلزله بر سازه های فضاکار

در این بخش با رجوع به دو مرجع [۷ و ۸] خلاصه گزارش های آسیب های وارده به سازه های فضاکار دیده شده است ارائه شود. مرجع [۷] به طور خاص به بررسی آسیب های دیده شده در سازه های فضاکار پرداخته است.

زلزله هانشین در هفدهم ژانویه ۱۹۹۵ میلادی در ناحیه صنعتی هانشین ژاپن اتفاق افتاد مرکز این زلزله نزدیک به شهر کوبه بود. در این ناحیه بیشتر از ۱/۴ میلیون نفر (در آن زمان) زندگی می کردند. در اثر این زلزله و آتش سوزی ناشی از آن بیشتر از ۱۴۰۰۰۰ خانه ویران شد و ۱۰۰۰۰۰۰ متر مربع از نواحی مسکونی از بین رفت. ۵۴۰۰ نفر کشته شدند و نزدیک به ۳۰۰۰۰۰ نفر آواره شدند. آسیب های سنگینی که به بزرگراه ها و ساختمان ها وارد شد باعث شگفتی و تعجب مهندسین ژاپنی گردید. بیشینه شتاب افقی این زلزله ۸۰۰/۸ گال و بیشینه شتاب قائم آن ۳۳۲/۲ گال گزارش شده است.

در بحران پس از زلزله بسیاری از سازه های با سطح زیر پوشش بزرگ (سقف های بزرگ) محلی امن برای اسکان زلزله زدگان بودند و این امر نشانگر کارایی و اهمیت آن‌ها در بحران پس از زلزله بود.

در بسیاری از گزارش های این زلزله آسیب های سنگین وارده به انواع سازه ها گزارش شده است. در حالی که میزان خرابی سازه های فضاکار بسیار محدود بوده است. در سازه های شامل سقف‌های فضاکار اغلب خرابی در محل اتصال سازه فولادی فضاکار به سازه بتنی نگهدارنده آن اتفاق افتاده است. در بسیاری از موارد پانل های سقف و وسایل متصل به آن مانند بلندگوها و چراغ ها افتاده اند و خود سقف سالم مانده است. سازه های فضاکار آسیب دیده را می توان به سه دسته تقسیم نمود، سازه های شامل:

سازه های اسکلتی تک لایه: تعداد سازه های اسکلتی تک لایه (شبکه های تک لایه فضاکار) که در این زلزله آسیب دیده اند کم بوده است. خرابی عمومی دیده شده عبارت است از: کنده شدن بتن در اطراف میل مهارهایی که سقف را به سازهی بتنی زیرین خود متصل می ساخته اند. مثال‌هایی از این نمونه عبارتند از:

سقف تک لایه سه سالن ورزشی که هر سه بر روی سازه بتنی قرار داشته اند.یکی از این ساختمان-هایک طبقه و بقیه دو طبقه بوده اند و این سقف ها همگی از نوع چلیکی بوده اند.

سازه های اسکلتی دو لایه: بیشتر از صد سازه فضاکار دو لایه متشکل از همومندهای لوله ای و سیستم پیونده های استاندارد شده در ناحیهی زلزله زده وجود دارند، در حالیکه تعداد سازه های اسکلتی دو لایه که به طور جدی صدمه دیده اند کمتر از ده نمونه است. انواع معمول آسیب دیدگی در این سازه ها عبارت است از: لهیدگی تکیه گاه ها و کمانش غیر الاستیک اعضای نزدیک به تکیه گاه ها. خرابی اول اغلب در سازه هایی که وظیفه پوشش سطح باز بین دو ساختمان را به عهده داشته اند اتفاق افتاده است. این سازه ها تحت اثر تغییر مکان های متفاوت ساختمان های اطراف متحمل خرابی های شدید در تکیه گاه ها شده اند.یک مثال از نوع دوم خرابی کمانش و شکست اعضای جانی در سقف استوانه اییک ورزشگاه می باشد. در سازه ای دیگر که دارای شکلی پله ای است در چند تراز آن اعضای لایه پایین و بالا و اعضای جانی دچار کمانش و شکست شده اند.

همچنین در قسمت هایی اتصال همومندها به پیونده ها (که از نوع گویسان می باشند) دچار خرابی شده است. دو نمونه اخیر نیز از نوع چلیک می باشد.

آسیب های تیرهای اسکلتی (فضاکار):

نمونه آسیب دیده این دسته از سازه های فضاکار، سقف ایستاده (با شیب زیاد)یک سالن تئاتر است و این سقف از تیرهای فضاکار ساخته شده است. در حین زلزله این سازه دارای چرخش و تغییر مکان بوده است.

خرابی های مشاهده شده عبارتند از:

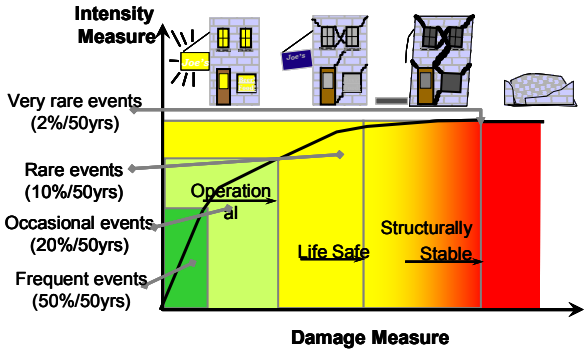
- بیرون آمدن و کشیده شدن میل مهارها از بتن
- کمانش اعضاء
- شکست پیونده ها
- شکست صفحات اتصال

طبق گزارش خلاصه ای که در بالا ذکر شد، دیده می شود که سازه های فضاکار در زلزله کمتر دچار خرابی های جدی شده اند. آنچه به عنوان خرابی سازه ای، آن‌ها را آسیب پذیر کرده است اغلب اتصال سازه فولادی به تکیه گاه بتنی بوده است. لذا چنین نتیجه گیری می شود که خود سازه ها قادر به تحمل ارتعاش اعمال شده بوده اند و اتصالات از شکل پذیری برخوردار نبودند و نیروی طراحی اتصالات باید بزرگتر از آنچه به نظر می آید فرض شود.

دیگر آنکه بایستی به ملحقات غیر سازه ای و چگونگی اتصال آن‌ها به اعضای سازه ای نیز توجه کافی شود. چنانکه دیده شد بسیاری از خرابی ها مربوط به ملحقات غیرسازه ای بوده است.

نکته آخر شکست پیونده های گویسان است که دریک مورد ذکر شده است. این پیونده ها ممکن است به هنگام بارگذاری دارای تغییر شکل های زیادی بشوند که در تحلیل و طراحی سازه‌هایی که در آن‌ها به کار می رود موثر است و دریک تحقیق دقیق بایستی ملحوظ شوند.

در تحقیقات و آیین نامه های اجرایی سعی بر این است که طراحی به نحوی ایمن باشد تا خسارت را به حداقل برسانند. در عین حال انتخاب سطح عملکرد برای یک مالک کار ساده ای نمی باشد. چون با افزایش سطح ایمنی از سطح استانداردهای آیین نامه ای، مالک سازه مجبور به پرداخت اضافه هزینه هایی می شود که این موضوع انتخاب سطح عملکرد را پیچیده می کند. در اغلب آیین نامه ها یک سازه خاص بایستی چندین سطح عملکردی را ارضا نماید. به عنوان نمونه همانطور که از شکل ۱-۱ مشخص است، سازه برای زلزله هایی با احتمال وقوع ۵۰ درصد در ۵۰ سال سطح عملکردی بهره برداری آنی و برای زلزله هایی با احتمال وقوع ۱۰ درصد در ۵۰ سال سطح عملکردی ایمنی جانی و برای زلزله های با احتمال وقوع ۲ درصد در ۵۰ سال سطح عملکردی جلوگیری از فروریزش را ارضا می نماید[۹].



شکل ۱-۱: رفتار سازه در سطوح مختلف [۵]

۱-۳ اهداف و روش تحقیق

از دیدگاه مهندسی زلزله سازه‌های فضاکار دارای ویژگی‌های قابل تاملی از جمله وجود مدهای موثر در فرکانس‌های بالا (مدهای بالا)، وجود مدهای کمانشی و ناپایداری‌های متنوع، دهانه های بزرگ، سبکی و... هستند.

عامل سبکی ممکن است باعث این تفکر می‌شود که حرکت زمین نباید بر روی این سازه‌ها چندان موثر باشد و بایستی در طراحی این سازه‌ها ترکیب بارهای مرده، زنده، حرارت و باد تعیین کننده باشد. از طرفی عواملی که ابتدا به آن‌ها اشاره شد، اهمیت بررسی دقیق‌تر اثر بارگذاری لرزه‌ای بر روی این سازه‌ها را روشن می‌کند. به هر جهت، استفاده صحیح از سازه‌های فضاکار بالاخص در مناطق لرزه خیز، مستلزم آگاهی کافی از اثر زلزله بر اینگونه سازه‌ها می‌باشد. موثر بودن یا نبودن بارگذاری زلزله و درجه تاثیر آن بر طراحی سازه فضاکار خود مستلزم تحلیل‌های دقیق و همه جانبه این سازه‌ها تحت اثر بارهای لرزه‌ای و شناخت و برآورد صحیح آن می باشد. امروزه در تعداد محدودی از کشورها توصیه نامه‌هایی در خصوص سازه‌های فضاکار تدوین شده است. یکی از مواردی که در مورد سازه‌های فضاکار مورد بررسی قرار نگرفته است، قابلیت اعتماد لرزه‌ای شبکه-های تخت دولایه است.

این تحقیق به منظور بررسی رفتار سازه های فضاکار تخت دو لایه در حالت های الاستیک و غیرالاستیک تا مرحله خرابی سازه و محاسبات سطوح اطمینان با استفاده از تئوری قابلیت اعتماد سازه انجام گرفته است.

١-٤ ساختار پایان نامه

- فصل اول شامل بحث کلی پیرامون تحلیل دینامیکی افزاینده و تاریخچه مختصری از تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌باشد. در این فصل گزارش هایی از اثرات زلزله بر سازه های فضاکار ارائه شده است. در ادامهٔ این فصل اهداف و ساختار پایان‌نامه بیان شده است.

- فصل دوم شامل تاریخچه سازه‌های فضاکار، انواع این سازه‌ها می‌باشد.
- فصل سوم به بررسی رفتار کلی شبکه‌های دولایه اختصاصیافته و در آن به رفتار کششی و فشاری، رفتار اتصالات و نتایج حاصل ار آزمایش‌های تجربی انجام شده توسط محققان مختلف درباره رفتار کلی شبکه‌های دولایه اشاره شده است.
- فصل چهارم شامل بحث پیرامون روش‌های تحلیل شبکه‌های دولایه است.
- در فصل پنجم، مبانی تحلیل دینامیکی غیرخطی افزاینده ارائه شده است.
- فصل ششم به روش مدل‌سازی سازه‌ها با استفاده ازیک برنامه قدرتمند، برای تحلیل غیرخطی اشاره می‌کند. در ادامه، نتایج آنالیز دینامیکی فزاینده ارائه شده است.

- فصل هفتم شامل بحث پیرامون قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. در ادامه سطوح اطمینان شبکه‌های دولایه با ابعاد مختلف با هم مقایسه شده‌اند.
- فصل هشتم به ارائه خلاصه نتایج این تحقیق اختصاص دارد.