بررسی رفتار دینامیکی شبکه های دولایه فضاکار پیشتنیده

امیررضا عبداللهی

دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

گروه عمران

۱۳۸۹

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما: دکتر محمدرضا شیدایی

بِسم اللّٰه الرّحمن الرّحيم

تقدیم به :

جانهای آزاد

آنان که مبارزه می کنند

رنج می کشند و

پیروز می شوند.

سپاس یزدان را،

در ابتدا بر خود واجب می دانم از زحمات استاد ارجمند دکتر محمّدرضا شیدائی کمال تشکّر و قدردانی را بنمایم، کسی که با صبر و بردباری بسیار، دلسوزانه مرا در آغاز، انجام و پایان این تحقیق یاری‌گر بوده‌اند.

از اساتید ارجمندم در دورهٔ کارشناسی‌ارشد، دکتر منیر، دکتر تاروردیلوو دکتر شوکتی سپاسگزارم

از همسر دلسوزم که در تمام مراحل زندگی با صبر و بردباری در کنارم بوده قدردانی می کنم

از تمامی دوستانم در دوران کارشناسی ارشد کمال تشکّر و آرزوی پیروزی و سربلندی را دارم.

چکیده

استفاده از سازه های فضاکار برای پوشش دهانه های بزرگ بسیار رایج می باشد. یکی از انواع متداول این سازه ها، سازه های فضاکار تخت دولایه است. این سازه ها به دلیل داشتن درجات نامعینی بالا نسبت به انواع ناکاملی ها بخصوص ناکاملی از نوع اندازه نبودن اعضا بسیار حساس اند و اینگونه ناکاملی ها باعث افت شدید ظرفیت باربری استاتیکی سازه در مطالعات تجربی شده است. روشهای زیادی برای بهینه سازی سازه و کاهش اثرات منفی ناکاملی ها وجود دارد. یکی از این روشها پیشتنیده کردن اعضا است که این روش با استفاده از ماتریس نرمی سازه و بهره گیری از روشهای بهینه سازی ، اعضایی که باید این پیشتنیدگی به آنها اعمال شود و مقدار بهینه این پیشتنیدگی را مشخص می کند. این روش مستلزم صرف زمان زیادی است و تنوع مقادیر پیشتنیدگی به دست آمده برای هر کدام از اعضا و پیچیده شدن انتخاب این اعضا در سازه های بزرگ استفاده از این روش را در سازه های واقعی عملا غیر ممکن می سازد. در این تحقیق با ابداع روشی ساده تر ابتدا سازه یک بار تحلیل شده و اعضا بحرانی مشخص می گردند، به دلیل ضعف شدید اعضا فشاری که به دلیل کمانش زود هنگام باعث خرابی کلی سازه می شوند از میان عضوهای بحرانی فقط اعضا فشاری را انتخاب کرده و پیشتنیده می کنیم. سپس سازه جدید را تحلیل کرده و دوباره با همین روش پیشتنیده می کنیم و این تحلیل ها را به صورت پی در پی ادامه می دهیم تا جایی که دیگر پیشتنیده کردن اثر مطلوبی بر باربری استاتیکی سازه نداشته باشد. تحلیلها نشان داده که با کمک این روش نتایج مطلوبی در مورد افزایش ظرفیت باربری استاتیکی سازه به دست می آید و در ضمن این روش نسبت به روشهای قبلی بسار ساده تر می باشد. بررسی ها نشان داده که این روش نه تنها ظرفیت باربری اعضا پیشتنیده شده را افزایش می دهد بلکه با به مشارکت کشاندن اعضا بیشتری در تحمل بارهای وارده از ظرفیت مصالح به کار رفته در سازه نیز استفاده بیشتری می کند. صرفنظر از نتایج مثبتی که پیشتنیده کردن بر ظرفیت باربری استاتیکی سازه دارد ، پیشتنیده کردن باعث به وجود آمدن نیروهای داخلی و به تبع آن در سایر اعضا سازه ،بدون اعمال بار خارجی بر سازه ،می شود.نتایج این نیروها بر رفتار استاتیکی سازه پس از انجام تحلیهای استاتیکی مشخص شده است اما تحت بارهای دینامیکی اعمال شده به سازه از جمله بارهای رفت و برگشتی زلزله تاثیر این نیرو های داخلی بر رفتار سازه نا مشخص است. در این تحقیق علاوه بر ابداع روشی جدید برای پیش تنیده کردن آسان تر سازه به بررسی تاثیر این پیشتنیدگی بر رفتار لرزه ای سازه به خصوص ظرفیت باربری لرزه ای نهایی سازه پرداخته شده است. روشهای مختلفی برای بررسی رفتار لرزه ای سازه ها وجود دارند، یکی از این روشها به دست آوردن بار ناپایداری دینامیکی سازه است که به کمک آن ظرفیت لرزه ای سازه ها قابل مقایسه خواهد بود. در این روش با استفاده از داده های فقط یک زلزله و اعمال ضرایب بزرگنمایی مختلف به این زلزله ، سازه برای هر کدام از ضرایب بزرگنمایی یک بار تحلیل دینامیکی شده و تغییر مکان ماکسیمم آن به دست می آید، ضرایب بزرگ نمایی تا جایی افزایش می یابد که منجر به خرابی سازه یا توقف تحلیل ها شود. در انتهادر نموداری هر ضریب بزرگنمایی و جابجایی ماکسیمم مربوط به آن رسم شده و از اتصال نقاط مختلف ،که هرکدام مربوط به یک ضریب و جاجایی آن است نموداری به دست می آید. نقطه ای از این نمودار که جابجایی های ماکسیمم سازه افزایش ناگهانی نشان می دهند نقطه ناپایداری دینامیکی و ضریب مربوط به این نقطه

به عنوان ضریب ناپایداری دینامیکی سازه نامیده می شود. با کمک این ضریب ظرفیت باربری لرزه ای سازه ها به هم قابل مقایسه خواهد بود. روش دیگری که مشابه این روش است روش تحلیل دینامیکی افزاینده است تنها تفاوت با روش قبلی استفاده از هفت شتابنگاشت و میانگین گیری هندسی از نتایج تحلیل است. در این تحقیق با ترکیب این دو روش یعنی استفاده از هفت شتابنگاشت و تنها بررسی بار دینامیکی سازه و جابجایی ماکسیمم سازه به بررسی و مقایسه اثرات پیشتنیدگی بر ظرفیت سازه ها پرداخت شده است. نتایج تحلیل ها نشان داد که در مراحل اولیه پیشتنیدگی(مراحل ۱و۲ در این تحقیق) ضریب بزرگنمایی منجر به خرابی سازه کاهش می یابد این امر می تواند به دلیل کم بودن تعداد اعضا پیشتنیده و نیرو های داخلی به وجود آمده ،ناشی از پیشتنیدگی، در سازه باشد. در مراحل بالاتر پیشتنیدگی (مراحل ۳ و ٤ در این تحقیق) به دلیل ثابت ماندن نیرو های داخلی و افزایش تعداد اعضا پیشتنیده،که مشخصات دینامیکی بهتری دارند، ضرایب بزرگنمایی منجر به خرابی سازه افزایش یافته است و در نتیجه سازه در برا بر زلزله مقاوم تر شده است. نتایج نهایی به دست آمده نشان داده است که پیشتنیدگی هم ظرفیت استاتیکی و هم ظرفیت لرزه ای سازه های مورد مطالعه را افزایش داده است.

واژه های کلیدی: آنلیز استاتیکی بار افزون، پیشتنیدگی، آنالیز دینامیکی افزاینده، ظرفیت لرزه ای

فهرست مطالب

فصل۱ پیش گفتار ۱

۱-۱- مقدّمه..... ۱

۱-۲- سازه های تخت دولایه فضاکار..... ۳

۱-۳- ضرورت و اهداف تحقیق..... ٤

۱-٤- روش تحقیق..... ٥

فصل۲ بررسی منابع ٦

۲-۱- مقدّمه..... ٦

۲-۲- توسعهٔ اوّلیه سازه‌های فضاکار..... ۷

۲-۲-۱- تعریف سازه‌های فضاکار..... ۱۰

۲-۲-۲- مزایای سازه های فضاکار..... ۱۰

۲-۲-۳-انواع سازه های فضاکار..... ۱۱

۲-۲-٤-اجزای سازه های فضاکار..... ۱٥

۲-۲-٥- سازه های فضاکار تخت دو لایه..... ۱۷

۲-۲-٥-۱- انواع و هندسه..... ۱۷

۲-۳- ناکاملی در سازه های فضاکار..... ۲۱

۲-۳-۱- مقدمه..... ۲۱

۲-۳-۲- اثر ناکاملی اندازه نبودن اعضا در رفتار استاتیکی سازه..... ۲۲

۲-٤- روشهایی برای بهبود کارایی سازه های فضاکار..... ۲٦

۲-٤-۱- مقدمه..... ۲٦

۲-٤-۲- ایجاد ناکاملی اندازه نبودن عضو برای بهبود رفتار سازه..... ۲٦

۲-٤-۳- اعمال روش نیرو برای تحلیل خرپای پیش تنیده..... ۲۷

۲-٤-۳-۱- اندازه نبودن بهینه برای یک دسته از خرپاها ۲۹

۲-٤-٤- مطالعات تجربی در زمینه پیش تنیده کردن شبکه های دولایه..... ۳٤

۲-٥- مبانی بررسی رفتار دینامیکی سازه های فضاکار تحت نیروی زلزله..... ۳۷

۲-۵-۱- مقدمه..... ۳۷
۲-۵-۲- معادله حرکت؛ تحریک زلزله..... ۳۸
۲-۵-۳- پاسخ دینامیکی سیستم..... ٤۰
۲-۵-٤- روشهای تحلیل دینامیکی تحت نیروی زلزله..... ٤۰
۲-۵-۵- انتخاب رکورد زلزله مناسب جهت تحلیل سازه های فضاکار..... ٤٤
۲-۵-۵-۱- حرکت های زمین به هنگام زلزله..... ٤٤
۲-۵-۵-۲- لرزه شناسی مهندسی..... ٤٤
۲-۵-۵-۳- شتاب حداکثر زمین..... ٤٤
۲-۵-۵-٤- انتخاب زلزله طرح مناسب..... ٤٦
۲-۵-٦- ناپایداری دینامیکی سازه های فضاکار..... ٤٦
۲-۵-٦-۱- مفهوم پایداری و ناپایداری..... ٤٦
۲-۵-٦-۲- ناپایداری دینامیکی سازه های فضاکار..... ٤٦
۲-۵-۷- روشهای ارزیابی معیار بحرانی ناپایداری دینامیکی تحت اثر زلزله..... ٤۸
۲-۵-۷-۱- روش معادلات حرکت ٤۸
۲-۵-۷-۲- روش سطح فازی انرژی کل..... ٤۹
۲-۵-۷-۳- روش مجموع انرژی پتانسیل..... ٤۹
۲-۵-۷-٤- معیار ناپایداری دینامیکی تحت نیروی زلزله مورد استفاده توسط KATO..... ۵۰
۲-۵-۸- آنالیز دینامیکی فزاینده..... ۵۱
۲-۵-۸-۱- مقدمه..... ۵۱
۲-۵-۸-۲- اهداف آنالیز دینامیکی غیر خطی فزاینده..... ۵۱
۲-۵-۸-۳- تعاریف در تحلیل دینامیکی فزاینده..... ۵۱
۲-۵-۸-۳-۱- ضریب مقیاس..... ۵۲
۲-۵-۸-۳-۲- اندازه شدت حرکت زمین..... ۵۲
۲-۵-۸-۳-۳- شدت خرابی یا تغییر پذیری شرایط سازه..... ۵۲
۲-۵-۸-۳-٤- مطالعه یک IDA تک نگاشت..... ۵۳

۲-۵-۸-٤- برخی خواص منحنی IDA ٥٤
۲-۵-۸-۵- خلاصه کردن منحنی های IDA ٥٤
۲-۵-۸-٦- ظرفیت و سطوح عملکرد در آنالیز دینامیکی فزاینده ٥٥
۲-۵-۸-۷- الگوریتم IDA ٥٦
۲-٤- بحث ونتیجه گیری ٥٨
فصل۳ مدل سازی و نتایج ٦٠
۳-۱- مدل سازی ٦٠
۳-۲- مشخصات شبکه دولایه تخت مورد مطالعه ٦٠
۳-۳- تحلیل استاتیکی ٦١
۳-۳-۱- مدل سازی و تحلیل سازه ٦١
۳-۳-۲- نتایج تحلیل غیر خطی سازه معمولی ٦٢
۳-۳-۳- نحوه اعمال پیشتنیدگی به اعضا ٦٣
۳-۳-٤- پیش تنیده کردن سازه و نتایج آن ٦٤
۳-۳-۵- رابطه پیشتنیدگی و جهش دینامیکی سازه ٦٧
۳-۳-۵-۱- مشخصات سازه مورد مطالعه ٦٧
۳-۳-۵-۲- نتایج تحلیل غیر خطی ٦٨
۳-۳-۵-۳- پیشتنیده کردن اعضا ٦٨
۳-۳-۵-٤- پیشتنیده کردن سازه ٦٩
۳-۳-۵-۵- نتیجه گیری ۷۱
۳-٤- تحلیل لرزه ای سازه معمولی و پیشتنیده ۷۱
۳-٤-۱- انتخاب نرم‌افزار ۷۱
۳-٤-۲- مشخصات شتاب‌نگاشت‌ها ۷۳
۳-٤-۳- مدل‌سازی تحلیلی رفتار اعضا ۷۵
۳-٤-٤- مدل‌سازی تحلیلی و بارگذاری سازه ۷۷
۳-٤-۵- نتایج آنالیز غیرخطی دینامیکی ۷۸

۳-٤-٥-١- زلزله در جهت افقی..... ۷۹
۳-٤-٥-١-١- سازه معمولی..... ۷۹
۳-٤-٥-١-٢- مرحله اول پیشتنیدگی..... ۸۰
۳-٤-٥-١-٣- مرحله دوم پیشتنیدگی..... ۸۱
۳-٤-٥-١-٤- مرحله سوم پیشتنیدگی..... ۸۲
۳-٤-٥-١-٥- مرحله چهارم پیشتنیدگی..... ۸٤
۳-٤-٥-٢- زلزله در جهت قایم..... ۸٥
۳-٤-٥-٢-١- سازه معمولی..... ۸٥
۳-٤-٥-٢-٢- مرحله اول پیشتنیدگی..... ۸٦
۳-٤-٥-٢-٣- مرحله دوم پیشتنیدگی..... ۸۸
۳-٤-٥-٢-٤- مرحله سوم پیشتنیدگی..... ۸۹
۳-٤-٥-٢-٥- مرحله چهارم پیشتنیدگی..... ۹۰
۳-٤-٥-٣- زلزله همزمان در جهت قائم و افقی..... ۹۱
۳-٤-٥-٣-١- سازه معمولی..... ۹۱
۳-٤-٥-٣-٢- مرحله اول پیشتنیدگی..... ۹۲
۳-٤-٥-٣-٣- مرحله دوم پیشتنیدگی..... ۹۳
۳-٤-٥-٣-٤- مرحله سوم پیشتنیدگی..... ۹٥
۳-٤-٥-٣-٥- مرحله چهارم پیشتنیدگی..... ۹٦
۳-٥- بحث و نتیجه گیری..... ۹۷
فصل٤ نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۹۹
٤-١- مقدمه..... ۹۹
٤-٢- اثرات پیشتنیده کردن در رفتار خرابی تحت بار ثقلی..... ۱۰۰
٤-٣- اثرات پیشتنیده کردن بر سازه تحت اثر بار لرزه ای..... ۱۰۰
٤-٤- پیشنهادات برای تحقیقات آتی..... ۱۰۱
مراجع..... ۱۰۲

فهرست شکل ها و جداول

شکل ۲-۱- تجارب اولیهٔ سازه‌های مشبک فضائی که توسط الکساندر گراهام بل در اولین دههٔ قرن بیستم شکل گرفت.....۸

شکل ۲-۲- مطالعات باکمینستر فولر در مورد کره‌ها.....۹

شکل ۲-۳- سازهٔ سه چهارم کره‌ای فولر، شبکهٔ فضائی دو لایه با گنبد ژئودزیک.....۹

شکل ۲-٤- سازه فضاکار تخت.....۱۱

شکل۲-۵- سازه فضاکار چلیکی.....۱۲

شکل ۲-٦- سازه فضاکار گنبدی.....۱۲

شکل ۲-۷- پوسته های هیپربولیک پارابولید.....۱۳

شکل ۲-۸- برش و ترکیب سازه های استوانه ای شکل.....۱۳

شکل ۲-۹- برش و ترکیب سازه های گنبدی شکل.....۱٤

شکل ۲-۱۰- ترکیب سازه های استوانه ای و گنبدی شکل.....۱٤

شکل ۲-۱۱- ترکیب اشکال هیپر بولیک پارابولید.....۱٤

شکل ۲-۱۲- اعضای استاندارد مرو، اتصالات در هر انتها با پیچ و مهرهٔ اتصالی باریک و جوش شده است.....۱٦

شکل ۲-۱۳-گره استاندارد سیستم mero[1] با سوراخ دندانه‌دار و سطح باربر ماشین‌کاری شده در زوایای $90^{\circ},60^{\circ},45^{\circ}$.....۱٦

شکل ۲-۱٤- اعضای اصلی شبکه های تخت دولایه.....۱۷

شکل ۲-۱۵- ساختار های سازه ای شبکه های تخت دولایه.....۲۰

شکل۲-۱٦- مشخصات خرپای مورد مطالعه.....۲۳

شکل ۲–۱۷– اعضایی که ناکاملی برای آنها در نظر گرفته شده..... ۲۳

شکل ۲–۱۸– اعضای ناکامل شبکه شبکه پایینی (B)، بالایی (T) و جان (D)..... ۲٤

نمودار۲–۱۹– تاثیر اندازه نبودن اعضای شبکه پایینی (B)، بالایی (T) و جان (D) بر رفتار سازه..... ۲۵

جدول۲–۱– ظرفیت باربری نهایی خرپا با اعضای ناکامل در شبکه پایینی (B)، بالایی (T) و جان (D)..... ۲۵

شکل۲–۲۲– فلوچارت الگوریتم تحلیل..... ۳۱

شکل۲–۲۳– هندسه و شماره اعضا..... ۳۲

شکل۲–۲٤– نتایج تحلیلی و تجربی..... ۳۲

شکل۲–۲۵– میزان اندازه نبودن اعضا برای یک خرپای کامل..... ۳۳

جدول۲–٤– تحلیل خرپای کامل..... ۳۳

شکل۲–۲٦– حالتهای متقارن پیش تنیدگی ۳۳

جدول۲–۵– بخشهای متقارن..... ۳٤

شکل۲–۲۷– خرپای مورد مطالعه در بررسی های آزمایشگاهی..... ۳۵

شکل۲–۲۸– مشخصات اعضا..... ۳۵

شکل۲–۲۹– منحنی تحلیل تئوری و تجربی..... ۳۵

شکل۲–۳۰– حالتهای مختلف پیش تنیدگی..... ۳٦

شکل۲–۳۱– اتصالات MERO..... ۳٦

شکل ۲–۳۲– مدل پیشتنیدگی های آزمایشگاهی..... ۳٦

شکل۲–۳۳– مشخصات کششی اعضا و نمودار خرپا..... ۳۷

شکل ۲–۳٤– سازه الاستیک..... ۳۹

شکل ۲–۳۵ سیستم یک درجه آزادی..... ٤۰

شکل ۲–۳٦ –تقسیم $p(t)$ نیز به نیروهای مجزا و پی در پی $p_i = p(t_i)$ ٤۲

شکل ۲-۳۷- سختی وتری..... ٤٤

شکل ۲-۳۸- نمودار روش معادلات حرکت..... ٤٩

شکل ۲-۳۹- استخراج بار ناپایداری دینامیکی(سمت راست) و پاسخ سازه در ناپایداری دینامیکی(سمت چپ)..... ٥٠

شکل ۲-٤٠- منحنی های IDA یک قاب ٥ طبقه مهاربندی شده فولادی تحت اثر ٤ شتابنگاشت متفاوت..... ٥٣

شکل ۲-٤١- خلاصهٔ منحنی‌های IDA و منحنی‌های درصدی..... ٥٥

شکل ۲-٤۲- حالات حدی IM در منحنی IDA..... ٥٦

شکل۲-٤۳- نتایج آنالیز IDA برای دو شتاب‌نگاشت متفاوت..... ٥٧

شکل ۳-۱- بافتار، ابعاد و محل تکیه گاه ها در مدل مورد مطالعه..... ٦١

شکل ۳-۲- منحنی تنش کرنش و مشخصات هندسی اعضا مدل مورد مطالعه..... ٦٢

شکل ۳-۳- منحنی تنش کرنش و مشخصات هندسی اعضا مدل مورد مطالعه..... ٦٣

شکل ۳-٤- مدل سازی اعضای ناکامل..... ٦٣

شکل ۳-٥- مدل سازی اعضای ناکامل (پیش تنیده)..... ٦٤

شکل ۳-٦ اعضای مراحل مختلف پیشتنیدگی..... ٦٥

جدول ۳-۱ اعضای هر مرحله پیشتنیدگی و شماره گره اعضا..... ٦٦

شکل ۳-۷ نمودار بار تغییر مکان سازه معمولی و پیشتنیده..... ٦٦

جدول ۳-۲ ظرفیت باربری حداکثر سازه در مراحل مختلف پیشتنیدگی و درصد افزایش آن..... ٦٧

شکل۳-۸- مشخصات مدل انتخابی الف) بافتار شبکه، ب) رفتار تنش کرنش اعضا و مشخصات مصالح..... ٦٧

شکل ۳-۹- نمودار بار- تغییر مکان گره مرکزی سازه..... ٦٨

شکل۳-۱۰- مشخصات تنش کرنش اعضای پیشتنیده شده..... ٦٩

شکل ۳-۱۱ اعضای مراحل مختلف پیشتنیدگی..... ٦٩
شکل ۳-۱۲- رفتار بار تغییر مکان در هر مرحله پیشتنیدگی..... ۷۰
جدول ۳-۳- میزان مشارکت اعضا در هر سری و درصد افزایش ظرفیت سازه..... ۷۰
شکل ۳-۱۳- اجزای سطح بالا در ساختار OpenSees..... ۷۲
شکل ۳-۱٤- تکنیک مدل سازی به روش مقطع فیبری و روابط مربوط..... ۷۲
شکل۳-۱۵- شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های مورد استفاده در آنالیز دینامیکی افزاینده..... ۷٤
جدول ۳-٤- مشخصات شتاب‌نگاشتهای مورد استفاده در آنالیز دینامیکی افزاینده..... ۷۵
شکل ۳-۱٦- پارامترهای منحنی پوش رفتار مصالح Uniaxial Hysteretic..... ۷٦
شکل ۳-۱۷- منحنی هیسترزیس رفتار مصالح..... ۷٦
شکل۳-۱۸- منحنی تنش-کرنش ایده‌آل برای اعضا..... ۷۷
شکل ۳-۱۹-جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه افقی زلزله سازه معمولی..... ۷۹
شکل ۳-۲۰-جابجایی قایم گره مرکزی تحت مولفه افقی زلزله سازه معمولی..... ۸۰
شکل۳-۲۱- جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه افقی زلزله مرحله۱ پیشتنیدگی..... ۸۰
شکل۳-۲۲- جابجایی قایم گره مرکزی تحت مولفه افقی زلزله مرحله۱ پیشتنیدگی..... ۸۱
شکل ۳-۲۳ -جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه افقی زلزله مرحله۲ پیشتنیدگی..... ۸۲
شکل ۳-۲٤ -جابجایی قایم گره مرکزی تحت مولفه افقی زلزله مرحله۲ پیشتنیدگی..... ۸۲
شکل ۳-۲۵- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه افقی زلزله مرحله ۳ پیشتنیدگی..... ۸۳
شکل ۳-۲۵- جابجایی قایم گره مرکزی سازه تحت مولفه افقی زلزله مرحله ۳ پیشتنیدگی..... ۸۳
شکل ۳-۲۷- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه افقی زلزله مرحله ٤ پیشتنیدگی..... ۸٤
شکل ۳-۲۸ جابجایی قایم گره مرکزی سازه تحت مولفه افقی زلزله مرحله ٤ پیشتنیدگی..... ۸٤
شکل ۳-۲۹- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله سازه معمولی..... ۸۵

شکل ۳-۳۰- جابجایی قایم گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله سازه معمولی.....۸٦
شکل ۳-۳۱- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله مرحله ۱ پیشتنیدگی.....۸۷
شکل ۳-۳۲- جابجایی قایم گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله مرحله ۱ پیشتنیدگی.....۸۷
کل ۳-۳۳- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله مرحله ۲ پیشتنیدگی.....۸۸
شکل ۳-۳٤- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله مرحله ۲ پیشتنیدگی.....۸۸
شکل ۳-۳۵- جابجایی افقی گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله مرحله ۳ پیشتنیدگی.....۸۹
شکل ۳-۳٦- جابجایی قایم گره مرکزی سازه تحت مولفه قائم زلزله مرحله ۳ پیشتنیدگی.....۸۹
شکل۳-۳۷- جابجایی قائم تحت مولفه قائم زلزله مرحله ٤ پیشتنیدگی.....۹۰
شکل۳-۳۸- جابجایی قائم گره مرکزی تحت مولفه قائم زلزله مرحله ٤ پیشتنیدگی.....۹۰
شکل۳-۳۹- جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه معمولی.....۹۱
شکل ۳-٤۰- جابجایی قائم گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه معمولی.....۹۲
شکل ۳-٤۱- جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله۱ پیشتنیدگی.....۹۳
شکل ۳-٤۲- جابجایی قائم گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله۱ پیشتنیدگی.....۹۳
شکل ۳-٤۳- جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله۲ پیشتنیدگی.....۹٤
شکل ۳-٤٤- جابجایی قائم گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله۲ پیشتنیدگی.....۹٤
شکل ۳-٤۵- جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله۳ پیشتنیدگی.....۹۵
شکل ۳-٤۵- جابجایی قائم گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله۳ پیشتنیدگی.....۹۵
شکل ۳-٤۷- جابجایی افقی گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله٤ پیشتنیدگی.....۹٦
شکل ۳-٤۸- جابجایی قائم گره مرکزی تحت مولفه همزمان قائم و افقی زلزله سازه مرحله٤ پیشتنیدگی.....۹٦
شکل۳-٤۹- خلاصه نتایج تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی افزاینده.....۹۷
شکل ۳-۵۰- نمودار خلاصه نتایج تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی افزاینده.....۹۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدّمه

در نیم قرن اخیر تمایل برای استفاده از سازه های فضاکار روز به روز افزایش یافته است. یکی از اهداف اصلی مهندسان و معماران ایجاد فرمهای سازه ای جدید برای پوشاندن دهانه های بزرگ می باشد. با اختراع انواع جدیدی از مصالح و روشهای ساخت و ساز سازه های فضاکار راه حل مناسبی برای حل این مشکل ارایه می دهند. همچنین این سازه ها نیازهای مربوط به سبکی سازه، اقتصادی بودن و ساخت سریع آن را مرتفع می سازند. در چند دهه اخیر اکثر تحقیقات در مورد سازه های فضاکار مربوط به پتانسیل خوب آنها به عنوان یک ساختار سازه ای و ایجاد اشکال زیبا به وسیله آنها متمرکز بوده است. . در تعریف سازه‌های فضاکار باید گفت، سازه‌های فضاکار به گروهی از سازه‌ها اطلاق می‌شود که رفتار سه بعدی دارند. در این سازه‌ها بر خلاف سازه‌های مسطح نظیر خرپای صفحه‌ای، مجموعه شکل سازه، بارهای خارجی، نیروهای داخلی و تغییر مکان‌های سازه‌ای فقط در فضای سه بعدی قابل تعریف می‌باشند. به عبارت دیگر یک سازه فضاکار را به هیچ روی نمی‌توان به صورت یک سیستم صفحه‌ای، تصوّر، تحلیل و طراحی نمود. معرفی فوق، یک تعریف ریخت‌شناسانه از سازه‌های

فضاکار است. در هر حال عملاً به مجموعه سازه‌های مشابهی *سازه فضاکار* اطلاق می‌شود که شامل شبکه‌ها[2]، طاقها، برجها، شبکه‌های کابلی، سیستم‌های پوسته‌ای و غشایی[3]، ساختارهای تاشو[4] و ترکیبات کش‌بستی می‌شود. با ترکیب انواع مختلف سازه های فضاکار اشکال بسیار متنوعی ایجاد می شود و مصالح مختلفی نیز از جمله فولاد، آلومینیوم، چوب، بتن،ترکیبات مسلح شده با الیاف شیشه و یا مواد ترکیبی در ساخت آنها به‌کار می‌روند. . شاید بشود در یک تقسیم‌بندی کلّی، سازه‌های فضاکار را به سه دسته زیر تقسیم کرد:

۱- سازه‌های فضاکار مشبک: شامل اجزای مدولار می‌باشند، که از عناصر میله‌ای به همراه عناصر گره‌ای تشکیل شده‌اند؛

۲- سازه‌های فضاکار ممتد: مانند دالها، پوسته‌ها و غشاها؛

۳- سازه‌های فضاکار دوشکلی: که ترکیبی از اجزای مجزا و ممتد هستند.

شبکه‌های فضایی به صورت سازه‌ای، صفحات صلبی را بوجود می‌آورند امّا اغلب از فولاد یا آلومینیوم با استفاده از تعداد زیادی گره ساخته می‌شوند. ترکیب این صلبیت با انعطاف‌پذیری مصالح ساخت آنها به علاوه پتانسیل جذب انرژی اتصالات، مقاومت خوبی را در برابر نیروهای زلزله بوجود می‌آورد. هر چند قسمت‌هایی در شبکهٔ فضایی وجود دارد که ممکن است با رفتار ترد[5] مواجه شوند، در این بخش‌ها شکست تعداد اندکی از اعضا و یا حتی یک عضو منجر به شکست ناگهانی کل سازه می‌شود. در طراحی شبکهٔ فضایی به منظور حفظ انعطاف‌پذیری سازه در برابر زلزله، تعیین قابلیت شکل‌پذیری سازه برای تامین مقاومت کافی ضروری است. استفاده از اعضای لوله‌ای متداول در شبکه‌های فضائی به دلیل رفتار عالی آنها در برابر نیروهای ناشی از پس‌لرزه‌های دوره‌ای زمین لرزه بسیار مناسب است. نیروی زلزله از حرکت زمین در طی زمین لرزه و در ترکیب با اینرسی سازه بوجود می‌آید. بیشتر نیروهای وارده در بیش از یک جهت به سازه نیرو وارد می‌کنند تا تغییر شکل پیدا کند و این تغییر شکل موجب ایجاد نیروهای داخلی می‌شود. با این وجود به منظور طراحی شبکه‌های فضائی، عملکرد زلزله به صورت طبیعی و با استفاده از یک سیستم شبیه‌سازی شده از نیروهای خارجی نشان داده می‌شود. این نوع طراحی قابلیت بارگذاری شدید و اغلب با احتمال وقوع کم است که شدت نیروهای آن به عواملی که در هر زلزله متفاوت است(مانند حداکثر شتاب زمین، فرکانس و دورهٔ تناوب) بستگی دارد. تحلیل‌های الاستیک ساده قابلیت تغییر شکل غیر الاستیک سازه‌های فضاکار را بدون فروپاشی مورد توجه قرار نمی‌دهد.این انعطاف‌پذیری انرژی زلزله را مستهلک کرده و می‌تواند برای دسترسی به راه‌حلی اقتصادی‌تر به‌کار رود. اگرچه همیشه امکان رفتار ترد وجود دارد که مستلزم یک روند شکست است که توسط توزیع مجدد نیرو از اعضای کمانش کرده تحت نیروهای فشاری زیاد شروع می‌شود(Chilton, 2000). در بررسی رفتار لرزه‌ای یک سازهٔ فضاکار چنین به نظر می‌رسد که فاکتورهای زیر می‌توانند بر پاسخ دینامیکی سازه در برابر ارتعاش حاصل از حرکت زمین تاثیر داشته باشند:

الف) شکل هندسی(تخت، چلیکی، گنبدی).

ب) نسبتهای هندسی(مثلاً نسبت خیز به دهانه).

---

[2] . Grids
[3] . Membrane
[4] . Foldable Assemblies
[5] . Brittle Behavior

پ) بافتار(دو سویه، سه سویه)، تعداد لایه‌ها.

د) نوع اعضا(محوری، خمشی) و خواص آن نظیر مقاومت کششی، فشاری، خمشی، مقاومت پس‌کمانشی، شکل‌پذیری، میرائی و رفتار پسماند.

ر) نوع اتصال و خواص آن همچون شکل‌پذیری و رفتار پسماند.

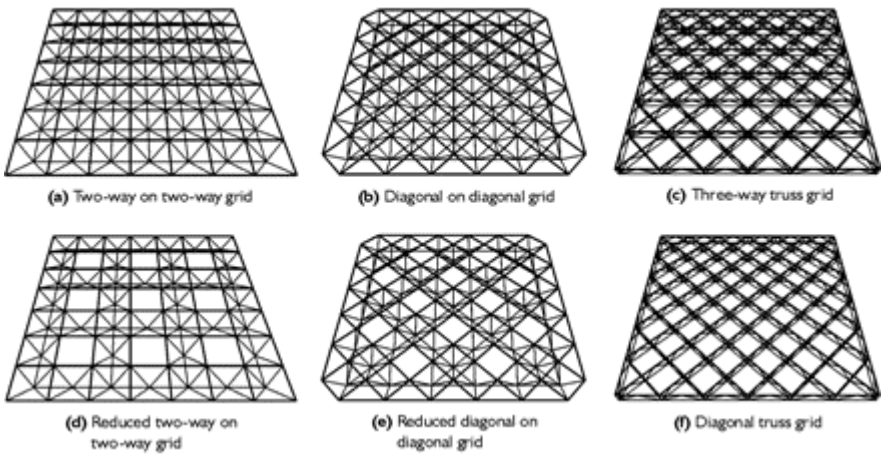
ز) خصوصیات دینامیکی زیر سازه یا سازهٔ تکیه‌گاهی، میرائی و خواص پس‌کمانشی کل سازه

س) نیرو های داخلی موجود در اعضا سازه به دلیل نقص هندسی یا پیشتنیدگی

پیشتنیدگی از آنجا که باعث افزایش ظرفیت باربری و کاهش وزن سازه های فضاکار می شود (A.hanaor and R.levy 1985) تحقیقات زیادی برای کنترل پیشتنیدگی در این سازه ها انجام شده است (Kawaguchi, Pellegrino and Furuya 1994), (Shiling Dong, Xingfei Yuan 2006) ، با توجه به این مساله که وزن سازه و نیرو های داخلی اعضا در رفتار لرزه ای سازه تاثیر زیادی دارند ، بررسی تاثیر پیشتنیدگی در رفتار لرزه ای این سازه ها امری ضروری به نظر می رسد.

۱-۲- سازه های تخت دولایه فضاکار

شبکه های دولایه، یا سازه های فضاکار تخت از دو شبکه مسطح از اعضا تشکیل شده اند که به صورت موازی همدیگر لایه های بالایی و پایینی سازه را تشکیل می دهند این شبکه های مسطح بالایی و پایینی به وسیله اعضای مایل جان به یکدیگر متصل می شوند.اتصالات در این سازه ها از نوع مفصلی بوده و اعضا تنها نیروهای کششی یا فشاری را تحمل میکنند. شکل شبکه های مسطح بالایی و پایینی و نوع اتصال آنها به وسیله اعضای جان می تواند اشکال مختلفی به شبکه دولایه بدهد در شکل زیر انواع این سازه ها مشاهده می شوند.



همواره مهندسان به دنبال روشهایی بوده اند که به کمک آن دهانه های بزرگتری را پوشش دهند و این روش مستلزم افزایش ظرفیت باربری سازه و استفاده از اعضای با مقاومت بالایی است که این کار باعث افزایش وزن سازه خواهد شد. اگرچه این سازه ها از نوع سبک هستند و به نظر می رسد در برابر زلزله مقاوم خواهند بود ولی زلزلهٔ کوبه[6](۱۹۹۵) نشان داد که این سازه ها نیز در برابر زلزله آسیب پذیر اند و افزایش وزن آنها می تواند خطرات جدی ای در بر داشته باشند. روشهایی برای افزایش ظرفیت باربری بدون تغییر در وزن این سازه ها مورد بررسی قرار گرفته اند. یکی از این روشها اعمال ناکاملی های از نوع اندازه نبودن اعضا و ایجاد پیشتنیدگی در اعضای خاصی از سازه است که باعث افزایش ظرفیت باربری کلی سیستم می شود (A.hanaor and R.levy 1985) اعمال این نوع پیشتنیدگی ها نیروهایی در اعضای سازه ایجاد خواهند کرد که مسلما در رفتار لرزه ای سازه ها تاثیر خواهند داشت.

تاکنون روش‌های متداول بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های فضاکار روش استاتیکی و دینامیکی تاریخچه‌زمانی بوده است. در این تحقیق تلاش بر این است که علاوه بر ارایه روشی ساده برای پیشتنیده کردن سازه جهت افزایش ظرفیت باربری استاتیکی آن، با استفاده از آنالیز دینامیکی افزاینده به بررسی رفتار لرزه‌ای این نوع خاص سازه‌های فضاکار مشبّک و تاثیر پیشتنیدگی اعضا در آن پرداخته شود.

۱-۳- ضرورت و اهداف تحقیق

اگرچه این سازه ها (سازه های فضاکار)در پوشاندن دهانه های بزرگ و ایجاد هندسه زیبا مورد توجه مهندسان و معماران قرار گرفته و روشهای گوناگونی همچون اعمال ناکاملی های عمدی و ایجاد پیشتنیدگی در اعضا (A.hanaor and R.levy 1985) (Kawaguchi, Pellegrino and Furuya 1994), (Shiling Dong, Xingfei Yuan 2006) برای افزایش ظرفیت باربری ثقلی این سازه ها ابداع شده است، آیین نامه ای که در آن کاملاً به تمامی خصوصیات و جزئیات تحلیل و طراحی سازه‌های فضاکار و اعمال روشهای بهینه سازی و تاثیر آن در رفتار کلی سازه پرداخته باشد موجود نیست. روش دقیق در طراحی لرزه‌ای سازه‌های فضاکار به ویژه انواع دو لایهٔ آن موجود نیست و بررسی ای در مورد تاثیر ناکاملی اعضا و همچنین روشهای بهبود ظرفیت استاتیکی سازه (که هر دو باعث به وجود آمدن نیرو های داخلی در اعضا سازه می شوند) در رفتار لرزه ای سازه انجام نشده است. روش مرسوم در این زمینه صرف نظر کردن از تأثیر بارهای دینامیکی و طراحی آن صرفاً در برابر بارهای استاتیکی ثقلی می‌باشد. این روش اگر چه با توجه به وزن سبک این نوع پوشانه‌ها غیر منطقی نیست، ولیکن در حضور بارهای زنده (مثلاً بار برف که گاهی به سه برابر بار مردهٔ سازه می‌رسد) روشی کاملاً غیرقابل‌اطمینان است و باعث افزایش چشم‌گیر بارهای دینامیکی می‌گردد به همین دلیل درک صحیحی از چگونگی رفتار دینامیکی سازه‌های فضاکار و تدوین آیین‌نامه‌ای جامع و کامل در این خصوص لازم به نظر می‌رسد.

.وزن کم این سازه‌ها باعث شده بود تا سال‌های متوالی از بررسی رفتار این سازه‌ها تحت بار زلزله امتناع گردد ولی زلزلهٔ کوبه[7](۱۹۹۵) این آرامش خاطر را برای محققین بر هم‌زد و باعث شد تا بررسی رفتار لرزه‌ای این نوع سازه‌ها در رأس کارهای تحقیقی قرار بگیرد. تاکنون روش‌های متداول بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های فضاکار روش استاتیکی و دینامیکی تاریخچه‌زمانی بوده است. در این تحقیق تلاش بر این

[6] . Kobe
[7] . Kobe

است که علاوه بر ارایه روشی ساده برای پیشتنیده کردن سازه جهت افزایش ظرفیت باربری استاتیکی آن، با استفاده از آنالیز دینامیکی افزاینده به بررسی رفتار لرزه‌ای این نوع خاص سازه‌های فضاکار مشبّک و تاثیر پیشتنیدگی اعضا در آن پرداخته شود.

۱-٤- روش تحقیق

در این مطالعه برای بررسی اثر پیشتنیده کردن بر روی رفتار لرزه ای سازه ابتدا سازه طی چهار مرحله پیشتنیده شده است و به کمک آنالیز استاتیکی غیر خطی افزاینده[8] اثر پیشتنیدگی در رفتار استاتیکی سازه مورد بررسی قرار گرفته است. سپس این سازه ها با استفاده از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی افزاینده[9] تحت شتاب‌های افقی و عمودی زلزله به صورت مجزاً و توأمان قرار گرفته‌اند. برای هر حالت از بارگذاری زلزله عملاً به مقایسه‌ای بین بارگذاری مجزا و توأمان زلزله دست می‌یابیم. در پایان با استفاده از نتایج آنالیز دینامیکی افزاینده به تفسیر تغییر رفتار لرزه‌ای این بافتار خاص سازه‌های فضاکار تحت مراحل مختلف پیش تنیدگی می‌پردازیم.

در فصل دوم به بررسی روشهای بهینه سازی سازه های فضاکار و نحوه اعمال پیشتنیدگی به این گونه سازه ها پرداخته شده است همچنین روشهای تحلیل لرزه ای و به خصوص آنالیز IDA سازه ها مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم پایان نامه به بررسی اثرات پیشتنیده کردن بر روی رفتار استاتیکی و لرزه ای یک مدل سازه تخت دولایه فضاکار پرداخته شده است و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم پایان نامه نیز به جمع بندی نتایج و ارایه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده پرداخته می شود.

[8] . Static Push-Over Analysis
[9] . Incremental Dynamic Analysis