دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران و نقشه برداری

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش سازه

تعیین ضریب رفتار گنبدهای تک لایه فضاکار بااستفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی

استاد راهنما

دکتر محمود یحیایی

نگارش

محسن وشوشادی

اسفند ماه

۱۳۸۹

فهرست مطالب

فصل اول : انواع گنبد های فضا کار و مشخصات انها

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف سازه فضایی ۳

۱-۳- انواع سازه های فضا کار ۴

۱-۴- گنبد ها ۴

۱-۴-۱-تاریخچه ساخت گنبد ها ۵

۱-۴-۲-تقسیم بندی انواع گنبدهای فلزی ۶

۱-۴-۲-۱- تقسیم بندی گنبد ها بر اساس توزیع بار ۶

۱-۴-۲-۲- تقسیم بندی گنبدها بر اساس ارتفاع ۷

۱-۴-۲-۳- تقسیم بندی گنبدها بر اساس روش باربری ۸

۱-۴-۲-۳-۱- گنبدها با قاب و اسکلت یک لایه ۸

۱-۴-۳- مزایای استفاده از گنبدهای فضاکار ۱۳

۱-۴-۴- روش های نصب سازه های فضا کار ۱۴

۱-۴-۵- اجزای یک گنبد فضا کار ۱۵

۱-۴-۶- معرفی اتصالات گنبدهای فضاکار تک لایه ۱۶

۱-۴-۶-۱- اتصالات کروی یا توپی (Ball Joint Systems) ۱۷

۱-۴-۶-۲- اتصالات کاسه ای (Socket Joint Systems) ۱۹

۱-۴-۶-۳- اتصالات صفحه ای (Plate Joint Systems) ۲۰

۱-۴-۶-۴- اتصالات چاک دار یا چفت شده (Slot Joint Systems)..... ۲۱

۱-۴-۶-۵- اتصالات پوسته ای (Shell Joint Systems)..... ۲۲

۱-۴-۶-۶- اتصالات ترکیبی (Composite All Directions)..... ۲۳

۱-۴-۷- انواع مکانیزم های خرابی و مودهای ناپایداری در گنبدهای فضا کار..... ۲۴

۱-۴-۷-۱- عوامل اساسی مؤثر بر رفتار کمانشی..... ۲۴

۱-۴-۷-۲- مودهای ناپایداری کمانشی..... ۲۵

فصل دوم : بررسی عوامل موثر بر رفتار گنبد های فضا کار

۲-۱- مقدمه ۳۰

۲-۲- اثر بار برف..... ۳۰

۲-۳- اثر شرایط تکیه گاهی..... ۳۱

۲-۳-۱- اثرات انواع قیدهای تکیه گاهی..... ۳۲

۲-۳-۲- اثرات شکل پذیری تکیه گاه ها..... ۳۲

۲-۴- اثر نوع اتصالات اعضا..... ۳۳

۲-۵- اثر سختی اعضای مرزی..... ۳۴

۲-۶- اثر مدل های مختلف هیسترزیس اعضای محوری..... ۳۵

۲-۷- اثرات رفتار پس کمانشی اعضا..... ۳۵

۲-۸- اثرات مشخصات و الگوی شبکه ۳۵

۲-۹- اثر ارتفاع و ابعاد گنبدهای فضا کار..... ۳۸

۲-۱۰- اثر سطح مقطع اعضای سازنده گنبدها ۴۰
۲-۱۱- اثر پوشش سقف ۴۱

فصل سوم : بررسی اثر پارامتر های موثر در رفتار لرزه ای گنبد ها

۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۲- اهمیت رفتار غیر خطی در گنبدهای فضا کار ۴۳
۳-۳- انواع روش های تحلیل ۴۵
۳-۴- مفهوم ضریب رفتار ۴۶
۳-۵- معرفی اصطلاحات و پارامترهای لرزه ای ۴۷
۳-۵-۱- شکل پذیری ۴۸
۳-۵-۲- ضریب شکل پذیری کلی سازه μ_s ۴۸
۳-۵-۳- ضریب کاهش نیرو دراثرشکل پذیری R_μ ۴۹
۳-۵-۴- ضریب اضافه مقاومت Ω ۴۹
۳-۵-۵- ضریب تنش مجاز (y) ۵۰
۳-۶- تعیین ضریب رفتار ۵۰
۳-۶-۱- ضریب شکل پذیری کلی سازه μ_s ۵۱
۳-۶-۲- ضریب کاهش نیرو دراثرشکل پذیری R_μ ۵۲
۳-۶-۲-۱- عوامل موثربرضریب کاهش شکل پذیری μ_s ۵۲

۳-۶-۲-۲- روش های محاسبه ضریب کاهش در اثر شکل پذیری R_μ ۵۴
۳-۶-۲-۲-۱- روش نیومارک و هال ۵۵
۳-۶-۳- ضریب اضافه مقاومت Ω ۵۶
۳-۶-۳-۱- عوامل مؤثر بر ضریب اضافه مقاومت Ω ۵۶
۳-۶-۳-۲- روش محاسبه ضریب اضافه مقاومت Ω ۵۷
۳-۶-۴- ضریب تنش مجاز(y) ۵۸
۳-۷- مروری بر تحقیقات انجام شده ۵۸

فصل چهارم : نرم افزارهای مورد استفاده ، مدل سازی، بارگذاری

۴-۱: مقدمه ۶۳
۴-۲- رفتار غیر خطی در سازه ها ۶۴
۴-۳- تحلیل غیر خطی ۶۶
۴-۴- انتخاب شتابنگاشت ۶۷
۴-۴-۱- رکوردهای حوزه های دور(Far-Field) ۶۸
۴-۵- نرم افزارهای بکار رفته درمدلسازی و تحلیل گنبدها ۷۰
۴-۵-۱ نرم افزار Formian V 2.0 ..... ۷۰
۴-۵-۲ نرم افزار اتوکد Auto cad ۷۰
۴-۵-۳ نرم افزار SAP2000 ..... ۷۰
۴-۵-۴ نرم افزار OpenSees ۷۰

۴-۵-۴-۱- مدلسازی اولیه: ۷۱
۴-۵-۴-۲- اختصاص دادن ویژگی های مقاطع و مواد المانها: ۷۲
۴-۶-روشهای تحلیل ۷۳
۴-۶-۱- تحلیل استاتیکی: ۷۳
۴-۶-۲- روش تحلیل شبه دینامیکی: ۷۴
۴-۶-۳- روش تحلیل دینامیکی: ۷۴
۴-۷- بارهای در نظر گرفته شده روی سازه و مقاطع المانها و مواد بکار برده شده ۷۵
۴-۷-۱ - بار مرده ۷۵
۴-۷-۲ - بار زنده(سر بار برف) ۷۶
۴-۷-۳ - بار زلزله ۷۷
۴-۷-۴ - شرایط تکیه گاهی ۷۸
۴-۷-۵– اتصالات در سازه ها ۷۹
۴-۷-۶ – مواد ومقاطع المانها ۷۹

فصل پنجم : نتایج تحقیقات گذشته در مورد ضریب رفتارگنبدها

۵-۱ مقدمه ۸۰
۵-۲ تحقیقات در ایران ۸۱
۵-۲-۱مقایسه و بررسی مقادیر ضریب رفتار محاسبه شده در انواع گنبدها ۸۲
۵-۲-۲ مقایسه زمان تناوب گنبدهای مورد مطالعه ۸۵

فصل ششم : بررسی نتایج حاصل از آنالیز

۶-۱: مقدمه ۸۴

۶-۲- آنالیز Push Over ۸۵

۶-۳- نتایج تحلیل Push Over گنبدهای ژئودزیک روی ستون ۹۴

۶-۴- نتایج تحلیل Push Over گنبدهای ژئودزیک روی زمین ۱۰۱

۶-۵- نتایج تحلیل Push Over گنبدهای دندانه ای روی ستون ۱۰۷

۶-۶- نتایج تحلیل Push Over گنبدهای دندانه ای روی زمین ۱۱۳

۶-۷- نتایج آنالیز تاریخچه زمانی روی گنبدها ۱۲۰

فصل هفتم : نتایج و پیشنهادات

۷-۱- نتایج حاصل از تحلیل پوش آور گنبدها ۱۲۹

۷-۲- نتایج آنالیز تاریخچه زمانی ۱۳۲

۷-۳ – پیشنهادات ۱۳۳

فهرست اشکال

فصل اول : انواع گنبد های فضا کار و مشخصات انها

شکل ۱-۱: انواع تاشه های فضایی از دیدگاه توزیع نیروها ۷

شکل ۱-۲ : الگوهای متداول گنبدهای تک لایه ۹

شکل ۱-۳ : نمونه ای از الگوی چیدمان اعضا در گنبدهای دندانه ای ۱۰

شکل ۱-۴ : نمونه ای از الگوی چیدمان اعضا در گنبدهای شودلر ۱۱

شکل ۱-۵ : نمونه ای از الگوی چیدمان اعضا در گنبدهای شبکه ای ۱۲

شکل ۱-۶ : نمونه ای از الگوی شبکه گنبدهای ژئودزیک ۱۲

شکل ۱-۷ : اتصال MERO ۱۸

شکل ۱-۸ : اتصال Tuball ۲۰

شکل ۱-۹ : اتصال Octatube ۲۱

شکل ۱-۱۰: انواع اتصالات Teriodetic (در خرپا و در شبکه مسطح) ۲۲

شکل ۱-۱۱ : اتصال OKTAPLATTE ۲۳

شکل ۱-۱۲ : اتصال .Composite A.D ۲۳

شکل ۱-۱۳ : ناپایداری عضو ۲۵

شکل ۱-۱۴ : ناپایداری گره ۲۶

شکل ۱-۱۵ : ناپایداری پیچشی گره و انواع مودهای آن ۲۶

شکل ۱-۱۶ : ناپایداری خطی ۲۷

شکل ۱-۱۷ : ناپایداری کلی ۲۷

شکل ۱-۱۸ : ناپایداری مرکب ۲۸

شکل ۱-۱۹ : چگونگی گسترش کمانش محلی در یک شبکه ۲۹

فصل دوم : بررسی عوامل موثر بر رفتار گنبد های فضا کار

شکل ۲-۱: مدل های مورد تحلیل ۳۶

شکل ۲-۲ : پاسخ های سرعت درنقطه A در سه مدل ۳۷

شکل ۲-۳ : پاسخ های نیروی محوری درسه مدل برای سایر نقاط ۳۷

شکل ۲-۴ : پاسخ سرعت در نقطه A برای مدل ها با اتصالات صلب..... ۳۷

شکل ۲-۵ : پاسخ نیروی محوری سه مدل با اتصالات صلب برای سایرنقاط ۳۸

شکل ۲-۶ : اولین مود ارتعاش طبیعی گنبدها ۳۹

فصل سوم : ارزیابی پارامتر های موثر در رفتار لرزه ای گنبد ها

شکل ۳-۱ : اثرات انواع غیر خطی بر سازه های فضا کار..... ۴۵

شکل ۳-۲ : رفتار کلی سازه ۴۷

شکل ۳-۳: رفتار مصالح شکل پذیر و شکننده ۴۸

شکل ۳-۴ : تغییرات طیف های شتاب (Sa) ، سرعت (Sv) و جابجایی (Sd) نسبت به زمان تناوب..... ۵۵

شکل۳-۵ : ضرایب زلزله برای گنبدهای مشبک تک لایه ۶۰

شکل ۳-۶ : توزیع ضرایب زلزله CHi و CVi در ارتفاع..... ۶۰

شکل۳-۷: رابطه میان $\alpha(\phi)$, ϕ ۶۱

شکل ۳-۸ : رابطه میان $\beta(\phi)$, ϕ ۶۱

شکل ۳-۹ : رابطه میان $\gamma(\phi)$, ϕ ۶۱

فصل چهارم : نرم افزارهای مورد استفاده ، مدل سازی، بارگذاری

شکل ۴-۱ : حل مستقیم در مقایسه با روش نیوتن رافسون..... ۶۶

شکل ۴-۲: گامهای یک بارگذاری..... ۶۷

شکل ۴-۳: تقسیم گامهای بارگذاری به قسمتهای مختلف ۶۷

شکل ۴-۴- نمودار شتاب- زمان مربوط به رکورد حوزه دور رکورد ۱..... ۶۹

شکل ۴-۵- نمودار سرعت- زمان مربوط به رکورد حوزه دور رکورد ۱..... ۶۹

شکل ۴-۶- جابجایی- زمان مربوط به رکورد حوزه دور رکورد ۱..... ۶۹

شکل ۴-۷- نحوه اختصاص دادن Geotrans المانها در نرم افزار OpenSees..... ۷۲

شکل ۴-۸- سیکل کامل تعریف مشخصات المان در نرم افزار OpenSees ۷۳

شکل ۴-۹ : سطح بارگیر یک گره..... ۷۶

شکل ۴-۱۰ : توزیع فشار حاصل از باد..... ۷۷

فصل پنجم : نتایج تحقیقات گذشته در مورد ضریب رفتارگنبدها

شکل ۵-۱: مقایسه دو مقدار ضریب رفتار محاسبه شده برای گنبد های دندانه ای..... ۸۱

شکل۵-۲: مقایسه دو مقدار ضریب رفتار محاسبه شده برای گنبد های شودلر..... ۸۲

شکل۵-۳: مقایسه دو مقدار ضریب رفتار محاسبه شده برای گنبد های مشبک ۸۲

شکل۵-۴: ضریب رفتار گنبد ها در ابعاد مختلف ۸۴

شکل۵-۵: بررسی تغییرات ضریب رفتار در انواع گنبدها ۸۴
شکل۵-۶: تغییرات زمان تناوب با ابعاد و نوع گنبدها ۸۶
شکل۵-۷: مقادیر ضریب رفتار در انواع گنبدهای شودلر ۸۷
شکل۵-۸: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدهای شودلر ۸۸
شکل ۵-۹: ضریب رفتار بدست آمده در انواع گنبدهای شودلر ۸۹
شکل ۵-۱۰: مقایسه بین پریود بدست آمده از نرم افزار و رابطه تجربی در انواع گنبدها ۸۹
شکل ۵-۱۱: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدهای دندانه ای ۹۰
شکل۵-۱۲: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدهای دندانه ای ۹۱
شکل۵-۱۳: ضریب رفتار بدست آمده در انواع گنبدهای دندانه ای ۹۹

فصل ششم : بررسی نتایج حاصل از آنالیز

شکل ۶-۱: شکل شماتیک گنبدهای ژئودزیک روی ستون ۹۵
شکل۶ -۲: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع اول (GEO-CO -01). ۹۶
شکل ۶-۳: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع **دوم** (GEO-CO -02). ۹۶
شکل۶ -۴: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع سوم (GEO-CO -03). ۹۷
شکل۶-۵: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع چهارم (GEO-CO -04). ۹۷
شکل۶-۶: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع پنجم (GEO-CO -05). ۹۸
شکل۶-۷: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع ششم (GEO-CO -06). ۹۸
شکل ۶-۸: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدها ۱۰۰

شکل ۶-۹: شکل شماتیک گنبدهای ژئودزیک روی زمین..... ۱۰۱
شکل۶-۱۰: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع اول (GEO-ER -01)..... ۱۰۲
شکل۶-۱۱: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع دوم (GEO-ER -02)..... ۱۰۳
شکل۶-۱۲: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع سوم (GEO-ER -03)..... ۱۰۳
شکل۶-۱۳: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع چهارم (GEO-ER -04)..... ۱۰۴
شکل۶-۱۴: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع پنجم (GEO-ER -05)..... ۱۰۴
شکل۶-۱۵: منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع ششم (GEO-ER -06)..... ۱۰۵
شکل ۶-۱۶: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدها..... ۱۰۷
شکل ۶-۱۷: شکل شماتیک گنبدهای دندانه ای روی ستون..... ۱۰۸
شکل۶-۱۸: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع اول (RIB-CO -01)..... ۱۰۹
شکل۶-۱۹: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع دوم (RIB-CO -02)..... ۱۰۹
شکل۶-۲۰: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع سوم (RIB-CO -03)..... ۱۱۰
شکل۶-۲۱: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع چهارم (RIB-CO -04)..... ۱۱۰
شکل۶-۲۲: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع پنجم (RIB-CO -05)..... ۱۱۱
شکل۶-۲۳: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع ششم (RIB-CO -06)..... ۱۱۱
شکل ۶-۲۴: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدها..... ۱۱۳
شکل ۶-۲۵: شکل شماتیک گنبدهای دندانه ای روی زمین..... ۱۱۴
شکل۶-۲۶: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع اول (RIB-ER -01)..... ۱۱۵
شکل۶-۲۷: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع دوم (RIB-ER -02)..... ۱۱۵
شکل۶-۲۸: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع سوم (RIB-ER -03)..... ۱۱۶
شکل۶-۲۹: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع چهارم (RIB-ER -04)..... ۱۱۶

شکل۶-۳۰: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع پنجم (RIB-ER -05). ۱۱۷
شکل۶-۳۱: منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع ششم (RIB-ER -06). ۱۱۷
شکل ۶-۳۲: مقایسه ضریب رفتار بدست آمده از روابط درگنبدها ۱۱۹
شکل ۶-۳۳ : شکل پذیری ناشی از ناشی از Drift طبقات تحت رکورد حوزه دور ۱۲۱
شکل ۶-۳۴: مقایسه میانگین شکل پذیری گنبدهای ژئودزیک تحت اثر رکوردهای حوزه دور ۱۲۲
شکل ۶-۳۵ : شکل پذیری ناشی از ناشی از Drift طبقات تحت رکورد حوزه دور ۱۲۳
شکل ۶-۳۶: مقایسه میانگین شکل پذیری گنبدهای ژئودزیک تحت اثر رکوردهای حوزه دور..... ۱۲۴
شکل ۶-۳۷ : شکل پذیری ناشی از ناشی از Drift طبقات تحت رکورد حوزه دور ۱۲۵
شکل ۶-۳۸: مقایسه میانگین شکل پذیری گنبدهای دندانه ای تحت اثر رکوردهای حوزه دور..... ۱۲۶
شکل ۶-۳۹ : شکل پذیری ناشی از ناشی از Drift طبقات تحت رکورد حوزه دور ۱۲۷
شکل ۶-۴۰: مقایسه میانگین شکل پذیری گنبدهای دندانه ای تحت اثر رکوردهای حوزه دور..... ۱۲۸

فهرست جداول

فصل دوم : بررسی عوامل موثر بر رفتار گنبد های فضا کار

جدول ۲-۱ : نمایش رابطه زاویه رو به کمان سازه های فضایی قوسی با مودهای ارتعاشی..... ۴۰

فصل چهارم : نرم افزارهای مورد استفاده ، مدل سازی، بارگذاری

جدول ۴-۱ مشخصات رکوردهای حوزه دور[۳۰]..... ۶۸
جدول ۴-۲- مشخصات مصالح بکار رفته شده در سازه ها..... ۷۹
جدول ۴-۳- مشخصات المانهای بکار رفته شده در سازه ها..... ۷۹

فصل ششم : بررسی نتایج حاصل از آنالیز

جدول ۶-۱: مشخصات گنبدهای ژئودزیک روی ستون..... ۹۵
جدول ۶-۲: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع اول (GEO-CO -01)..... ۹۶
جدول ۶-۳: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع **دوم** (GEO-CO -02)..... ۹۶
جدول ۶-۴: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع سوم (GEO-CO -03)..... ۹۷
جدول ۶-۵: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع چهارم (GEO-CO -04)..... ۹۷
جدول ۶-۶: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع پنجم (GEO-CO -05)..... ۹۸
جدول ۶-۷: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع ششم (GEO-CO -06)..... ۹۸
جدول ۶-۸: نتایج حاصل از نمودارهای پوش آور ۹۹
جدول ۶-۹: مشخصات گنبدهای ژئودزیک روی زمین..... ۱۰۲
جدول ۶-۱۰: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع اول (GEO-ER -01)..... ۱۰۲

جدول ۶-۱۱: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع دوم (GEO-ER -02)..... ۱۰۳
جدول ۶-۱۲: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع سوم (GEO-ER -03)..... ۱۰۳
جدول ۶-۱۳: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع چهارم (GEO-ER -04)..... ۱۰۴
جدول ۶-۱۴: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع پنجم (GEO-ER -05)..... ۱۰۴
جدول ۶-۱۵: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد ژئودزیک نوع ششم (GEO-ER -06)..... ۱۰۵
جدول ۶-۱۶: نتایج حاصل از نمودارهای پوش آور ۱۰۵
جدول ۶-۱۷: مشخصات گنبدهای دندانه ای روی ستون..... ۱۰۸
جدول ۶-۱۸: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع اول (RIB-CO -01)..... ۱۰۹
جدول ۶-۱۹: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع دوم (RIB-CO -02)..... ۱۰۹
جدول ۶-۲۰: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع سوم (RIB-CO -03)..... ۱۱۰
جدول ۶-۲۱: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع چهارم (RIB-CO -04)..... ۱۱۰
جدول ۶-۲۲: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع پنجم (RIB-CO -05)..... ۱۱۱
جدول ۶-۲۳: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع ششم (RIB-CO -06)..... ۱۱۱
جدول ۶-۲۴: نتایج حاصل از نمودارهای پوش آور ۱۱۲
جدول ۶-۲۵: مشخصات گنبدهای دندانه ای روی زمین..... ۱۱۴
جدول ۶-۲۶: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع اول (RIB-ER -01)..... ۱۱۵
جدول ۶-۲۷: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع دوم (RIB-ER -02)..... ۱۱۵
جدول ۶-۲۸: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع سوم (RIB-ER -03)..... ۱۱۶
جدول ۶-۲۹: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع چهارم (RIB-ER -04)..... ۱۱۶
جدول ۶-۳۰: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع پنجم (RIB-ER -05)..... ۱۱۷
جدول ۶-۳۱: نتایج حاصل از منحنی Push Over گنبد دندانه ای نوع ششم (RIB-ER -06)..... ۱۱۷

جدول ۶-۳۲: نتایج حاصل از نمودارهای پوش آور ۱۱۸
جدول ۶-۳۳: میانگین شکل پذیری در گنبدهای ژئودزیک تحت اثر زلزله های حوزه دور..... ۱۲۲
جدول ۶-۳۴: میانگین شکل پذیری در گنبدهای ژئودزیک تحت اثر زلزله های حوزه دور..... ۱۲۴
جدول ۶-۳۵: میانگین شکل پذیری در گنبدهای دندانه ای تحت اثر زلزله های حوزه دور..... ۱۲۶
جدول ۶-۳۶: میانگین شکل پذیری در گنبدهای دندانه ای تحت اثر زلزله های حوزه دور..... ۱۲۸

چکیده

در سال های اخیر و به موازات پیشرفت های روز افزون مهندسی عمران استفاده از روش های نوین در صنعت ساخت و ساز به منظور کاستن از حجم بالای مصالح مصرفی , افزایش سرعت و در عین حال وجود کارایی و مقاومت مناسب در ساخت و ساز ها یکی از اهداف همیشگی مهندسان عمران بوده . در این بین مسقف نمودن فضاهای بزرگ همواره یکی از دغدغه های اصلی مهندسین بوده است . در این بین استفاده از سازه‌های فضاکار با توجه ویژگی‌های منحصربه فردشان از قبیل سبکی و سرعت ساخت بالا در نصب و اجرا همواره مورد توجه بوده و استفاده از این شیوه نیز بطور محسوسی افزایش یافته است . بالطبع استفاده گسترده تر از سازه های فضاکار لزوم شناخت انواع سازه‌های فضاکار از لحاظ شکل و نحوۀ اتصال اعضا و همچنین چگونگی بارگذاری و تحلیل و طراحی آنها نیز بیشتر احساس می‌شود . چرا که شناخت دقیق رفتار یک نوع سیستم سازه ای اولین گام در جهت کاربرد مناسب , اقتصادی و در عین حال ایمن آن سیستم می باشد.

با توجه به موارد ذکر شده در بالا این پایان نامه به بررسی شکل پذیری گنبد های فضاکار می پردازد و با توجه به گستردگی و پیچیدگی های مساله دو نوع مهم از این گنبد ها یعنی گنبد های ژئودزیک و گنبد های دندانه ای تک لایه به منظور بررسی انتخاب شده اند. به منظور انجام این تحقیق ابتدا نمودار نیرو – تغییر مکان برای هر نمونه مشخص شده و سپس به کمک روابط نیرو – تغییر مکان نمونه ها یک رابطه کلی جهت محاسبه مقادیر پریود گنبد ها ارایه شده است . در نهایت به کمک این رابطه و روابط تئوری دیگر شکل پذیری این نوع گنبد ها به صورت یک رابطه ساده ریاضی بر اساس خصوصیات پایه ای رفتاری گنبد ها ارائه شده است.

واژه های کلیدی: ضریب رفتار – پریود سازه - گنبدهای دندانه ای و ژئودزیک تک لایه – Open Sees- تحلیل استاتیکی غیر خطی

فصل ۱ : انواع گنبد های فضا کار و مشخصات انها

۱-۱-مقدمه

استفاده از سازه های فضاکار (بویژه گنبدها) دارای سابقه بسیار زیاد ، در حدود ۱۰۰ الی ۱۵۰ سال می باشد . ولی در نیم قرن اخیر با توجه به اینکه علاقه بسیاری به پوشاندن فضاها بدون مانع بزرگ (از قبیل استادیوم های ورزشی ، مراکز فرهنگی ، تالارها ، فروشگاه ها ، آشیانه هواپیماها و ...)، ایجاد شده است ، با توجه به ویژگیهای منحصر به فرد سازه های فضاکار مثل سبکی و اقتصادی بودن و سرعت ساخت بالا ، بکارگیری این نوع از سازه ها بیشتر مد نظر قرار گرفته است. در بین سازه های فضاکار ، گنبدها بواسطه یکسری پتانسیل های سازه ای برتر مثل پایداری نسبتا بالا و سختی بیشتر نسبت به دیگر سازه های فضاکار ، امکان پوشاندن فضاهای به مراتب بزرگتری را فراهم می کنند .

در حقیقت سازه های فضایی را می توان الگوبرداری از طبیعت دانست، زیرا فرم های طبیعی نیز از صلبیت بالایی برخوردار بوده و از حداقل مصالح برای حداکثر کارآیی بهره می گیرند . انسان نیز همگام با پیشرفت علم همواره مشتاق تقلید و الگوبرداری از این فرم های طبیعی بوده که یکی از آنها، سازه های فضایی هستند، بطور مثال گونه ژئودزیک سطوح کروی که توسط Le Recolias در سال ۱۹۴۰ م. پیشنهاد شد، ویژگی اسکلت‌های ملکولی و کریستالی بنام Radia tuscaretta globosa را دارد [۹].

سازه های فضایی در مقایسه با سایر سیستم های سازه ای دارای چندین مزیت اساسی هستند که به عنوان مثال می توان سبکی وزن این سازه ها ناشی از توزیع فضایی مصالح و مکانیزم انتقال بار عموماً محوری و در نتیجه اقتصادی تر شدن طرح ها، امکان استفاده از اعضا و اتصالاتی با ابعاد یکسان و تولید آنها توسط ماشین آلات دقیق کامپیوتری، امکان مونتاژ این سازه ها بر روی زمین با استفاده از کارگران نیمه ماهر، سختی مناسب و مشارکت تمامی اعضا در باربری و همچنین عدم نیاز این سازه ها به ستون های میانی در پوشش دهانه های بزرگ را نام برد. اما از طرفی دو عامل اصلی که همگام با پیشرفت صنایع و علوم مکانیک مواد موجب رشد فزاینده استفاده از این نوع سیستم های سازه ای در دهه های اخیر شده، تولید انواع جدید اتصالات با قابلیت ساخت و مونتاژ آسان و همچنین توسعه برنامه های کامپیوتری با توانایی مدل سازی رفتار اینگونه سازه هاست.

در ادامه انواع گنبد های فضایی و مشخصات انها ارائه خواهد شد . لازم به ذکر است که در این فصل توضیحات و توصیفات ارائه شده بر اساس مفاد ذکر شده در آیین نامه انجمن بین المللی پوسته ها و سازه های فضایی است , که مرجعی محکم و قابل استناد است . ولیکن با توجه به انکه آیین نامه سازه های فضا کار ایران نیز اخیرا تدوین شده است در فصول آتی به این آیین نامه نیز اشاراتی خواهد شد .

۱-۲- تعریف سازه فضایی

انجمن بین المللی پوسته ها و سازه های فضایی (IASS) سازه فضا کار را به این صورت تعریف می کند:

یک سازه فضایی را می توان یک سیستم سازه ای در نظر گرفت که از اعضای خطی تشکیل شده و طرز قرارگیری آنها بگونه ای است که بارها به صورت سه بعدی منتقل می شوند ، در برخی موارد ، عناصر سازنده ممکن است دو بعدی نیز باشند . یک سازه فضایی اغلب شکل سطحی صاف یا منحنی گونه را به خود می گیرد [۹].

۱-۳- انواع سازه های فضا کار

بطور کلی سازه های فضایی را می توان به سه بخش زیر تقسیم کرد[۱۳] :

۱- سازه های فضایی مشبک که شامل اعضایی مجزا و معمولاً میله ای هستند.

۲- سازه های فضایی پیوسته که شامل مؤلفه هایی چون دال ها، غشاءها یا پوسته ها هستند.

۳- سازه های فضایی دوگانه که شامل اجزایی به هر دو صورت فوق می باشند.

از طرفی سازه های فضایی قابل استفاده برای پوشش دهانه ها را از دیدگاه شکل کلی سازه می توان به انواع زیر تقسیم نمود:

۱- سازه های تخت

۲- سازه های با انحنای یک جهتی (چلیک ها یا استوانه ها)

۳- سازه های با انحنای دو جهتی (گنبدها)

۴- سازه های قابل انبساط

۵- سازه های چادری

۶- سازه های مشبک چند جانبه (Nexorades)

باید توجه داشت که سازه های فضا کار علاوه بر پوشش دهانه ها، برای انواع زیر سازه ها، دکل ها و ستون ها نیز کاربرد داشته که در این تحقیق مورد نظر نمی باشند .

۱-۴- گنبد ها

گنبدها گروهی از سازه های فضایی هستند که دارای سطحی با انحناء در دو راستا بوده و علاوه بر پلان دایره، قابلیت پوشاندن سطوح مربعی، مستطیلی و شش ضلعی را دارند. همچنین انحنای این سازه ها می تواند علاوه بر کمان دایره، بصورت کمانی از بیضی، سهمی ، سیکلوئید و سایر منحنی های دلخواه و یا حتی ترکیبی از دو انحناء به شرط پایداری لازم باشد.

۱-۴-۱- تاریخچه ساخت گنبد ها