دانشگاه ارومیه

بررسی اثر نشست تکیه گاهی روی سازه های فضاکار
تخت دولایه

مریم شیرزادیان

دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه

گروه عمران

۱۳۸۸

۱۳۸۹/۴/۸

واحد اطلاعات مدارک علمی برادر
تهیه مدارک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما :

دکتر محمدرضا شیدایی

۱۳۸۸۵۴

۸۸۱۲۰۲۱
آ-۵۰-

پایان‌نامه خانم مهندس شیرازیان به تاریخ ۸۸/۶/۲۱ شماره مورد پذیرش هیأت محترم

داوران با رتبه عالی و نمره ۱۸/- قرار گرفت.

۱- استاد راهنما و رئیس هیئت دوران : دکتر محمدرضا شیدانی

۲- استاد مشاور : دکتر سعید تاری پور دلیر (داور داخلی)

۳- داور خارجی : دکتر حسین شوکتی

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر جلیل فرزین نیا

حق طبع و نشر مطالب این پایان نامه
در انحصار دانشگاه ارومیه می باشد.

تقدیم به :

پدر و مادر مهربانم

و با سپاس از:

خانواده عزیزم

تقدیر و تشکر

با لطف و عنایت پروردگار برگی دیگر از دفتر موفقیت زندگیم ورق خورد . موفقیتی که هیچگاه به تنهایی و بدون پشتیبانی خانواده عزیزم حاصل نمی شد . رنج و مشکلات سالها تلاش و کوشش مداوم دوران تحصیل بدون یاری ایشان قابل تحمل نبود .

لازم است از جناب آقای دکتر محمدرضا شیدایی که با صبر و حوصله فراوان هدایت مسیر پایان نامهٔ اینجانب را در این مدت عهده دار بودند تشکر نموده و امید است که در اخلاق و علم دنباله رو ایشان باشیم .

همچنین از اساتیدگرامی ، آقایان دکتر حبیب سعید منیر ، دکتر سعید تاروردیلو و دکتر حسین شوکتی کمال تشکر را دارم.

از همهٔ دوستان عزیز و همکلاسیهایم از گروه مهندسی سازه و خاک و پی دانشکدهٔ فنی دانشگاه ارومیه که در این مدت نهایت لطف را داشتند کمال تشکر را دارم .

جا دارد صمیمانه از همهٔ عزیزانم که در این راه پر فراز و نشیب این جانب را به هر نحوی کمک نموده اند قدردانی نمایم .

فهرست مطالب

چکیده فارسی ۱

فصل اول:

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۱- آشنایی با سازه‌های فضاکار ۵

۱-۲- تعریف سازه‌های فضاکار ۵

۱-۲-۲- اجزای تشکیل دهندهٔ یک سازهٔ فضا کار ۶

۱-۲-۳- تشابه سازه های فضا کار و پوسته ها ۶

۱-۳- اهداف پروژه ۷

۱-۴- رئوس مطالب پایان نامه ۷

فصل دوم: بررسی منابع موجود

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- آشنایی با سازه های فضاکار ۱۰

۲-۳ - اشکال مختلف سازه های فضاکار مشبک ۱۱

۲-۳-۱- شبکه های یک لایه ۱۱

۲-۳-۲ - شبکه های دو لایه ۱۲

۲-۳-۳ - شبکه های سه لایه ۱۴

۲-۳-۴- اشکال دیگر سازه های فضاکار ۱۴

۲-۴ - انواع پیونده ها (اتصالات) در سازه های فضاکار ۱۵

۲-۴-۱ -سیستم های پیونده توپی ۱۵

۲-۴-۲ - سیستم های پیونده صفحه ای ۱۸

۲-۴-۳- سیستم های پیونده واحدی (Space Deck Systems) ۲۱

۲- ۵- نشست تکیه گاهی ۲۲

۲- ۵-۱- مطالعه موردی ۲۳

۲- ۵-۲- نحوه مدل کردن با تحلیل المان محدود ۲۷

۲- ۶- مشخصات رفتاری شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۳۹

۲- ۷- رفتار خرابی شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۴۱

۲- ۸- تحلیل استاتیکی نشست تکیه گاهی در شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۴۳

۲-۹- شکل پذیری در شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۴۵

۲-۱۰- نتیجه گیری ۴۶

فصل سوم: مطالعه تحلیلی رفتار خرابی سازه های فضاکار دولایه تحت اثر نشست تکیه گاهی

۳-۱- مقدمه ۴۷

۳-۲- مدل سازی عضو فشاری ۴۸

۳-۲- ۱- تعیین رفتار بار- تغییر مکان محوری اعضا به روش عناصر محدود ۵۱

۳-۲-۲- انواع روشهای خطی سازی برای مدل سازی رفتار اعضای فشاری در تحلیل خرابی شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۵۵

۳-۳- مدل سازی تحلیلی استاتیکی نشست تکیه گاهی در شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۵۶

۳-۴- تحلیل استاتیکی غیرخطی خرابی سازه ۵۷

۳-۴-۱- روش نیوتن – رافسون ۵۸

۳-۴-۲- روش طول کمان ۶۰

۳-۵- مطالعهٔ تحلیلی رفتار خرابی شبکه های دو لایهٔ فضاکار تحت اثر نشست تکیه گاهی ۶۳

۳-۵-۱ کلیات ۶۳

۳-۵-۲ – طراحی مدل های نمونه ۶۳

۳-۵-۳- مدل سازی رفتار اعضا ۶۵

۳-۵-۴- مدلسازی تحلیلی رفتار خرابی شبکه های دولایه فضاکار ۶۷

۳-۵- ۵- نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی خرابی مدل های نمونه ۶۸

۳-۵-۶- نتایج تحلیلی مربوط به اثر نشست تکیه گاهی در مدلها ۷۳

۳- ۵- ۶-۱ نتایج تحلیل مدل های با تکیه گاههای گوشه ای و محیطی ۷۳

۳-۵-۶- ۲- تأثیر تعداد چشمه ۸۶

۳-۵-۶-۳- تأثیر شرایط تکیه گاهی ۸۸

۳-۵-۷- بررسی نتایج ۹۲

۳-۵-۷-۱ – بررسی اثر شرایط تکیه گاهی ۹۲

۳-۵-۷-۲- بررسی تاثیر عمق ۹۲

۳-۵-۷ -۳- بررسی تاثیر تعداد چشمه ۹۳

۳-۵-۷ -۴ – بررسی تاثیر لاغری ۹۳

۳-۶- خلاصه و نتیجه گیری ۹۴

فصل چهارم: خلاصه و نتیجه گیری ، پیشنهادات

۴- ۱ – خلاصه و نتیجه گیری ۹۷

۴- ۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۰۰

مراجع ۱۰۱

فهرست شکل ها و جداول

شکل ها:

شکل ۱-۱ : محدودهٔ دهانه ها برای سیستم های مختلف سازه ای ۴

شکل۲-۱ : تعدادی از طرحهای مقدماتی شبکه های یک لایه ۱۲

شکل۲-۲ : مثالهایی از شبکه های دو لایهٔ فضاکار ۱۳

شکل۲- ۳ : انواع دیگر سازه های فضاکار ۱۵

شکل ۲- ۴ : نمونه هایی از سیستم پیوند توپی توپر مرو ۱۶

شکل ۲-۵ : تصویر شماتیک اتصال عضو به پیونده توپی ۱۷

شکل ۲-۶ : نمونه ای از سیستم پیونده توپر چندوجهی ۱۷

شکل ۲- ۷ : نمونه ای از سیستم پیونده کاسه ای ۱۷

شکل ۲- ۸ : نمونه ای از سیستم پیونده شیاری ۱۸

شکل ۲-۹ : سیستم پیوند ه صفحه ای ۱۹

شکل ۲-۱۰ : مقایسه ای بین سیستمهای پیوندهٔ توپی و پیوندهٔ صفحه ای ۲۰

شکل ۲-۱۱ : سیستم پیونده واحدی ۲۱

شکل ۲- ۱۲ : نمودارهای بار - تغییر مکان سازه های فضاکار دولایه با تکیه گاه های گوشه ای ۲۴

شکل ۲- ۱۳ : نمودار بار - تغییر مکان سازه های فضاکار دولایه با تکیه گاه های محیطی ۲۵

شکل ۲ - ۱۴ : نشست نامتوازن پایه پوسته بر روی خاک پیش تحکیم یافته ۲۷

شکل ۲ - ۱۵ : هندسه شماتیک بارگذاری و هندسه تغییر شکل یافته پوسته ها ۲۸

شکل ۲ -۱۶: تغییر شکل خمش بالای ناحیهٔ uplift ۲۹

شکل ۲ - ۱۷: تغییر شکل خمشی بالای ناحیهٔ uplift و شکل گیری فرورفتگی ۲۹

شکل ۲ - ۱۸: تغییر شکل های زیاد فرورفتگی ۳۰

شکل۲ - ۱۹ : تغییرات الگوهای تنش بالای ناحیه ٔ uplift ۳۰

شکل۲ - ۲۰ : رشد و حرکت به سمت بالای فرورفتگی روی پوسته ها تحت فشار محوری ۳۱

شکل ۲- ۲۱: رابطه بارهای محوری خارجی وتغییر مکان محوری لبه بالایی برای دامنه های مختلف Uplift نهایی ۳۲

شکل ۲ - ۲۲ : اثرات دامنه فرورفتگی بر روی مقاومت کمانشی ۳۲

شکل ۲- ۲۳ : شکل تانکر مورد مطالعه در آمریکا ۳۴

شکل ۲ -۲۴ : نتایج تحلیلهای خطی برای مقادیر مختلف نشست ۳۴

شکل ۲-۲۵ : نتایج تحلیل های غیر خطی هندسی ۳۵

شکل ۲ -۲۶ : نمونه های خمش پوسته ها ۳۵

شکل ۲ - ۲۷ : مدهای کمانش bifurcation برای چند تانکر با نشست های مختلف ۳۶

شکل ۲-۲۸ : توپولوژی و هندسه گنبد ژئودزی Scott ۳۷

شکل۲ – ۲۹ : تنش ها و تغییرمکانهای گنبد ۳۷
شکل۲– ۳۰ : تنش ها و تغییرمکانهای گنبد ۳۸
شکل۲–۳۱ : اثرات غیرخطی ها در پوسته های تک لایه ، پوسته های دو لایه و شبکه های دو لایه فضاکار..... ۳۹
شکل ۲–۳۲ : خرابی کلی سازه ۴۱
شکل ۲–۳۳ : خرابی موضعی سازه با فروجهش دینامیکی ۴۲
شکل ۲–۳۴ : خرابی موضی سازه بدون فروجهش دینامیکی ۴۳
شکل۳–۱ : عضو فشاری دو سر مفصلی با انحنای اولیه ۵۲
شکل۳–۲ : خطی سازی تک گامی ۵۵
شکل۳–۳ : خطی سازی قطعه به قطعه ۵۵
شکل۳–۴ : خطی سازی پله ای ۵۶
شکل۳–۵ : روش نیوتن – رافسون ۵۹
شکل۳– ۶ : روش نموی نیوتن– رافسون ۵۹
شکل۳– ۷ : روش نیوتن– رافسون اصلاح شده ۶۰
شکل۳–۸ : روش طول کمان ۶۱
شکل ۳–۹ : نمایش شبکهٔ دو لایهٔ فضاکار با پلان مربعی ، تعداد چشمهٔ ۸x۸ و تکیه گاههای گوشه ای ۶۴
شکل۳–۱۰– الف :واکنش بار محوری– تغییرمکان محوری اعضای فشاری مدل های GC1 ، GC2 و GC3..... ۶۶
شکل ۳–۱۰– ب : رابطهٔ ایده آلی تنش– کرنش محوری اعضای فشاری مدل های GC1 ، GC2 و GC3..... ۶۶
شکل۳–۱۱ : واکنش استاتیکی بار محوری– تغییرمکان محوری مدل GC1 ..... ۶۹
شکل۳–۱۲ : موقعیت و ترتیب خرابی اعضای مدل GC1 بدون نشست ۶۹
شکل۳–۱۳ : واکنش استاتیکی بار محوری– تغییرمکان محوری مدل GC4 ..... ۷۰
شکل۳–۱۴ : موقعیت و ترتیب خرابی اعضای مدل GC4..... ۷۰
شکل۳–۱۵ : واکنش استاتیکی بار محوری– تغییرمکان محوری مدل GC12..... ۷۱
شکل۳–۱۶ : موقعیت و ترتیب خرابی اعضای مدل GC12 ..... ۷۱
شکل۳–۱۷ : واکنش استاتیکی بار محوری– تغییرمکان محوری مدل GE28 ..... ۷۲
شکل۳–۱۸ : موقعیت و ترتیب خرابی اعضای مدل GE28..... ۷۲
شکل۳–۱۹ : موقعیت و ترتیب خرابی اعضای مدل GC1 تحت نشست در تکیه گاه A..... ۷۴
شکل ۳– ۲۰– الف : واکنش استاتیکی بار– تغییرمکان مدل GC1 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۵
شکل ۳– ۲۰– ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC1 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۵
شکل ۳– ۲۱– الف : واکنش استاتیکی بار– تغییرمکان مدل GC2 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۶
شکل ۳– ۲۱– ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC2 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۶
شکل ۳– ۲۲– الف : واکنش استاتیکی بار– تغییرمکان مدل GC3 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۷
شکل ۳– ۲۲– ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC3 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۷

شکل ۳- ۲۳- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC4 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۸
شکل ۳- ۲۳- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC4 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۸
شکل ۳- ۲۴- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC5 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۹
شکل ۳- ۲۴- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC5 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۹
شکل ۳- ۲۵- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC6 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۰
شکل ۳- ۲۵- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC6 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۰
شکل ۳- ۲۶- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC7 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۱
شکل ۳- ۲۶- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC7 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۱
شکل ۳- ۲۷- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC8 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۲
شکل ۳- ۲۷- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC8 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۲
شکل ۳- ۲۸- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC9 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۳
شکل ۳- ۲۸- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC9 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۳
شکل ۳- ۲۹- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC10 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۴
شکل ۳- ۲۹- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC10 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۴
شکل ۳- ۳۰- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC11 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۵
شکل ۳- ۳۰- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC11 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۵
شکل ۳- ۳۱ : افزایش شکل پذیری و کاهش تاثیر نشست بر ظرفیت باربری با افزایش تعداد چشمه ۸۶
شکل ۳- ۳۲- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GC12 و مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۷
شکل ۳- ۳۲- ب : درصد کاهش ظرفیت باربری مدل GC12 تحت مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۷
شکل ۳- ۳۳- الف : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GE28(1support settlement)..... ۸۹
شکل ۳- ۳۳- ب : مقایسهٔ شکل پذیری و ظرفیت باربری در نشست یک تکیه گاه وسط..... ۸۹
شکل ۳- ۳۴- الف : مقایسهٔ شکل پذیری و ظرفیت باربری در نشست سه تکیه گاه وسط ۹۰
شکل ۳- ۳۴- ب : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GE28(3supports settlement)..... ۹۰
شکل ۳- ۳۴-ج : افزایش شکل پذیری و ظرفیت باربری با تغییر شرایط تکیه گاهی نسبت به تکیه گاه گوشه..... ۹۰
شکل ۳- ۳۵- الف : مقایسهٔ شکل پذیری و ظرفیت باربری در نشست پنج تکیه گاه گوشه..... ۹۱
شکل ۳- ۳۵- ب : واکنش استاتیکی بار- تغییرمکان مدل GE28(5supports settlement)..... ۹۱
شکل ۳- ۳۵-ج : افزایش شکل پذیری و ظرفیت باربری با تغییر شرایط تکیه گاهی نسبت به تکیه گاه گوشه..... ۹۱

جداول :

جدول ۳-۱ : مشخصات مدل های نمونه ۶۵
جدول۳-۲ : نتایج تحلیل استاتیکی مدل ها ۶۷
جدول ۳-۳ : مشخصات مدل های GC1 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۷۵

جدول ۳-۴ : مشخصات مدل های GC2 ونتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۷۶
جدول ۳-۵ : مشخصات مدل های GC3 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی....۷۷
جدول ۳-۶: مشخصات مدل های GC4 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۷۸
جدول ۳- ۷ : مشخصات مدل های GC5 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی...۷۹
جدول ۳- ۸ : مشخصات مدل های GC6 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی...۸۰
جدول ۳- ۹ : مشخصات مدل های GC7 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی...۸۱
جدول ۳- ۱۰: مشخصات مدل های GC8 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی...۸۲
جدول ۳- ۱۱: مشخصات مدل های GC9 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..۸۳
جدول ۳- ۱۲: مشخصات مدل های GC10 ونتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..۸۴
جدول ۳- ۱۳: مشخصات مدل های GC11 ونتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی..... ۸۵
جدول ۳-۱۴ : مشخصات مدل های GC1 ، GC4 و GC12 و نتایج تحلیل استاتیکی آنها.....۸۶
جدول ۳- ۱۵: مشخصات مدل GC12 و نتایج تحلیل استاتیکی آن تحت اثر مقادیر مختلف نشست تکیه گاهی ۸۷
جدول ۳-۱۶ : مشخصات مدل های GC1 و GE28 و نتایج تحلیل استاتیکی آنها ۸۸

چکیده

شبکه های دو لایه فضاکارسازه هایی با سختی بالا و وزن کم می باشند که در چند دهۀ اخیر به نحوگسترده ای برای پوشش فضاهای وسیع بدون استفاده از ستونهای داخلی به کار گرفته شده انـد . از مزایـای ایـن سـازه هـا علاوه بر وزن کم، سختی بالا ، می توان به راحتی حمل و نقل ، راحتی نصب و زیبایی جنبه معماری آنها اشـاره کرد .

سیستم های فضایی با وجود داشتن درجۀ نامعینی استاتیکی بالا دارای رفتار خرابی تردند ، بـه طوریکـه خرابـی یک عضو و یا بخشی از سازه می تواند به سرعت در کل سازه منتشر شده و باعث بروز خرابـی کلـی در سـازه گردد. مطالعه نحوه رفتار خرابی سازه ها در برابر اثر نشست تکیه گاهی و بررسی تغییر میـزان ظرفیـت بـاربری سازه ، برای جلوگیری از خرابی آن از اهمیت زیادی برخوردار است .

مطالعۀ رفتار خرابی ناشی از نشست تکیه گاهی و عوامل موثر بر شکل پذیری این سـازه هـا از اهمیـت بـالایی برخوردار است . پارامترهایی همچون نسبت دهانه به عمق ، شرایط تکیه گاهی ، تعداد چشمه و ناکـاملی اولیـۀ اعضا از پارامترهای مهم موثر بر شکل پذیری شبکه های دو لایۀ فضاکار بوده که در این تحقیق اثر آنها نیـز بـر رفتار اولیه خرابی مدل های نمونه ای از شبکه های دو لایۀ فضاکار مورد مطالعه قرار گرفته اسـت و در نهایـت با اعمال نشست تکیه گاهی اثر آن در مورد سازه مورد بررسی قرار گرفته است .

بررسی های انجام شده در رابطه با تأثیر نشست تکیه گاهی بر رفتار شبکه های دولایه تخت فـضاکار حـاکی از آنست که ترتیب خرابی عینا مثل حالت بدون نشست تکیه گاهی می باشـد . فقـط در صـورت افـزایش میـزان نشست تکیه گاهی ، در کمانش سری اول اعضاء تفاوت دارد . در اثر نشست با تبدیل تکیه گاههای محیطی به گوشه ای و یا با افزایش عمق، ظرفیت باربری کاهش می یابد . با افزایش طول دهانه ، اثر نشست تکیه گـاهی برروی ظرفیت باربری سازه کمتر می شود .

فصل یکم

۱-۱- مقدمه

امروزه سازه های فضاکار بدلیل ویژگیهای منحصر بفردشان جایگاه بسیار ویژه ای را در بین سازه ها در مهندسی سازه و البته در معماری باز کرده اند . سازه های فضاکار سازه هایی می باشند که دارای عملکرد مسلط سه بعدی هستند ، به عبارت دیگر مجموعهٔ بافتار[1] ، بارهای وارده ، جابجایی ها و ... همگی در فضای سه بعدی قابل بیان هستند . این سازه ها بسته به نوع المان های تشکیل دهنده آنها و نیز نوع اتصال عضوها به یکدیگر ، به سه گروه عمده تقسیم می شوند :

۱ . سازه های فضاکار مشبک که دارای المانهای منفصل می باشند ؛

۲ . سازه های فضاکار پیوسته نظیر دالها و پوسته ها که دارای المانهای پیوسته می باشند ؛

۳ . سازه های فضاکار ترکیبی که ترکیبی از سازه های فضاکار پیوسته و مشبک می باشند .

هزاران سازهٔ فضا کار مؤثر جهت پوشاندن استادیوم های ورزشی ،ژیمنازیومها ،آشیانه های هواپیما ، ایستگاههای قطار و بسیاری از اهداف دیگر در دنیا ساخته شده است . بعضی از این سازه ها دهانه ای بالغ بر ۲۰۰ متر دارند .

درچهل سال اخیر معمولاً از قابهای فضا کار در ساخت سازه هایی با دهانه های وسیع استفاده می شود . اهمیت این نوع سازه ها زمانی مشخص می شود که سازه های با دهانهٔ بسیار وسیع ، بدون اینکه ستونی در بین دهانهٔآن باشد ،ساخته می شود . جهت پی بردن به اهمیت سازه های فضا کار و مقایسهٔ آنها با انواع دیگر سیستم های سازه ای از لحاظ اقتصادی وایمنی ، شکل ۱-۱ ارائه شده است [۱].

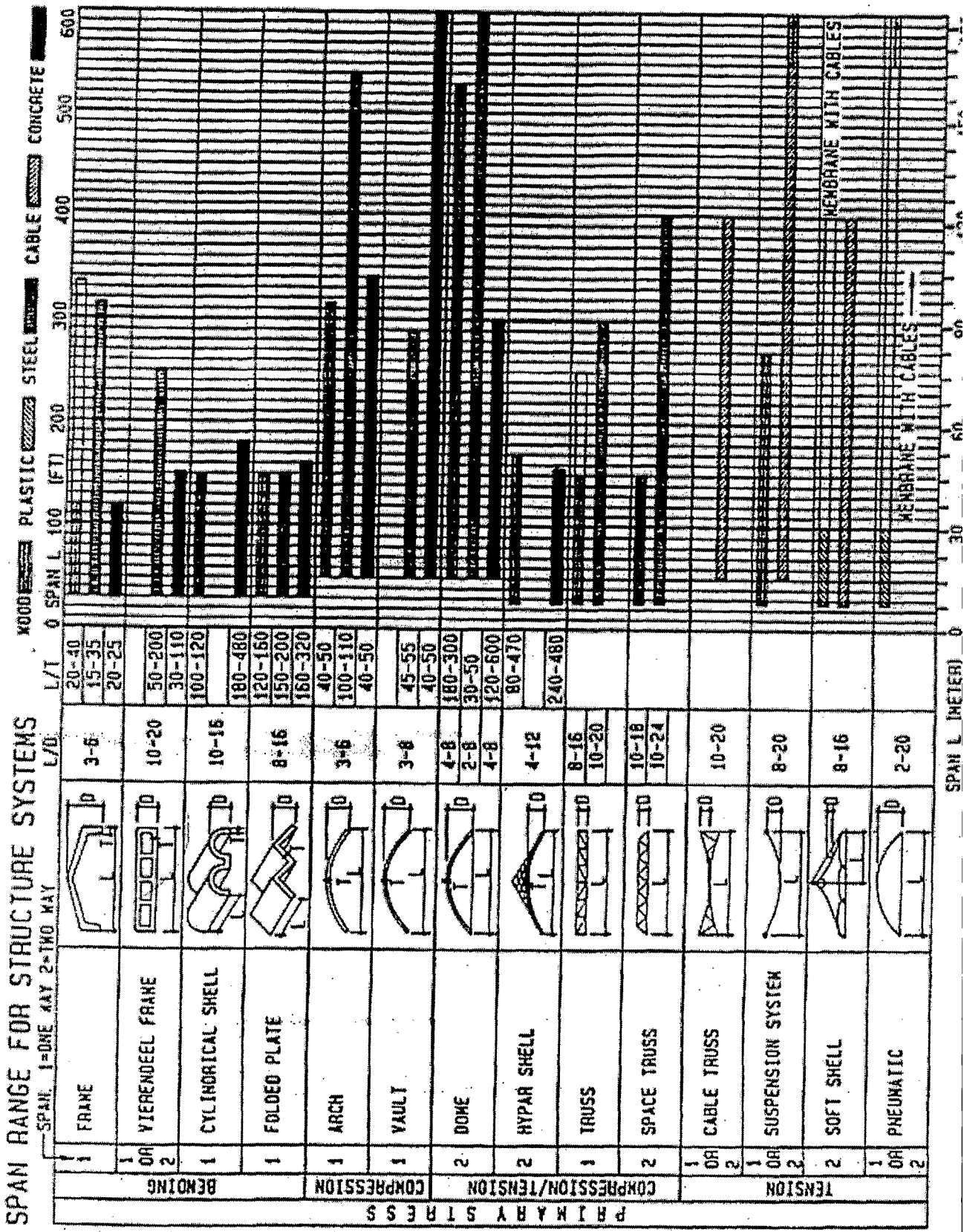
شبکه های دو لایهٔ فضاکار [2] ، سیستم های خاصی متشکل از دو شبکهٔ موازی بالایی و پایینی هستند که اتصال این دو شبکه توسط اعضای مورب یا قائم جان انجام می گیرد [۲] . این نوع سازه ها به خاطر مزایایی چون سختی بالا ، وزن کم ، نصب آسان و قابلیت پوشش دادن فضاهای وسیع در چند دههٔ اخیر به نحو گسترده ای

---

[1] Configuration
[2] Double Layer Grids (DLGs)

مورد استفاده قرار گرفته اند . این خرپاهای فضایی معمولاً از درجهٔ نامعینی استاتیکی بالایی برخوردار می باشند . یک تفاوت اساسی بین رفتار سازه ای شبکه های تخت وشبکه های دو لایه وچند لایه وجود دارد . در شبکه های تخت خمش غالب است و اعضا تحت ممانهای خمشی ، نیروهای برشی و پیچش قرار دارند ، درحالیکه مهمترین نیروهای درونی در شبکه های دو یا چند لایه ، نیروهای محوری هستند . متناسب با مشخصات مقطع عرضی و اعضا و سیستم گرهی یک شبکه ، ممکن است ممانهای خمشی ، نیروهای برشی و پیچش نیز در اعضای آن به چشم بخورد .

در حالت کلی نشست تکیه گاهی را می توان به عنوان نشست یکی از تکیه گاههای سازه تحت عواملی همچون خرابی شالوده و یا تراکم خاک و ... تعریف نمود . در این پروژه اثر نشست تکیه گاهی بر روی رفتار خرابی شبکه های دولایه تخت فضاکار مورد بررسی قرار خواهد گرفت .



شکل ۱-۱- : محدودهٔ دهانه ها برای سیستم های مختلف سازه ای

۱-۲- آشنایی با سازه های فضا کار

۱-۲-۱- تعریف سازهٔ فضا کار

بررسی تحقیقات انجام گرفته بر روی شکل و نوع سیستم های سازه‌ای در ۲۰۰ سال گذشته نشان دهندهٔ علاقهٔ روز افزون به استفادهٔ از سازه‌های با وزن سبک است. برای این منظور استفاده از مواد با مقاومت زیاد برای نیل به این هدف انجام گرفته است. ولی کاربرد این روش برای هر نوع سازه مقرون به صرفه نبوده است . یک مثال مشخص از سازه‌های با وزن کم، سازه‌های فضاکار می‌باشند که با توجه به وزن کم می‌توانند اهداف اقتصادی طرح‌ها را ارضا نمایند [۳].

سازه های فضا کار برگرفته از طبیعت هستند . اشکال طبیعی آنها یک طبیعت استثنایی را بوجود می آورد و با استفاده از حداقل مصالح ، حداکثر مزایای سازه ای را برآورده می کند .

از آنجا که کاهش وزن در سازه‌های فضاکار بسیار مهمتر از ساختمان‌ها است، جای تعجب نیست که اولین تلاش‌ها برای بهره‌گیری از مزیت سبکی سازه‌های فضاکار، که از کارایی سازه‌ای آنها ناشی می‌شد، در ساختن هواپیما انجام گرفت. در این شرایط بود که برادران زایت امکاناتی را که به وسیلهٔ واحدهای چهار وجهی فراهم می‌شد، کشف کردند .

ممکن است این سخن به گوش نخورده باشد اما الکساندرگراهام بل (مخترع تلفن) از اولین کسانی بود که به مزایای سازه های فضا کار پی برد و از آنها در ساخت یک مدل واقعی استفاده کرد . در حقیقت او یکی از اولین ماشین های پرنده که از یک سازه فضا کار چند لایه تشکیل شده بود را ساخت [۳]

سازهٔ فضا کار به سازه ای اطلاق می شود که جزئی از خانوادهٔ شبکه ها ، چلیک ها، گنبدها، تاورها ، شبکه های کابلی ، سازه های تاشو[1] و سازه های کش بستی[2] باشد . این سازه ها محدودهٔ وسیعی از اشکال مختلف را تشکیل می دهند که از مصالح مختلفی همچون فولاد، آلومینیوم، چوب ، بتن ، شیشه ویا ترکیبی از آنها ساخته می شوند.

از دیدگاه تاریخی، اولین سازه‌های فضاکار، گنبدهایی بود که توسط مهندسان آلمانی Schwedler و Zimmerman که در قرن نوزدهم از پیشگامان این علم بودند، ساخته شد. ساخت دهانهٔ ۳۶۱ فوتی برای سازه نمایشگاه لیون در سال ۱۸۹۴میلادی توسط Zimmerman کامل شد. در واقع، سازه‌هایی با این ابعاد در آن زمان، بزرگ و قابل توجه بودند. این تجربه‌های آغازین، تقریباً تا سال ۱۹۳۷میلادی هنگامی که Mangeringhausen تمایل به سازه‌های فضاکار را دوباره رواج داد، فراموش شده بود. او دریافته بود که رواج سازه‌های فضاکار در مقیاس بزرگ جهانی، فقط در صورتی امکان پذیر خواهد بود که اجزای سازه بصورت کارخانه‌ای تولید و مونتاژ آن در محل انجام شود. برای دستیابی به این دو هدف لازم بود که تنوع عضوی کاهش یابد و روش مونتاژ آسان توسعه یابد. بطور مطلوب، یک سازهٔ فضاکار باید شامل عضوهایی با طول برابر باشد. بنابراین در عمل سعی می‌شود که تعداد اعضا با طول‌های نابرابر کاهش یابد [۶] .

1- Foldable 2- Tensegrity

در فرایند طراحی سازه‌های فضاکار با دهانه‌های بزرگ، کاهش بار مردهٔ سازه و نیز هزینه‌های احداث آن از مسائل مهم و اساسی می‌باشد. [۳].

در اینجا به دو تعریف مهم دربارهٔ سازه های فضاکار که در منابع مختلف به آنها اشاره شده است اشاره می شود :

۱- سازه فضا کار یک سیستم سازه ای است که از اعضای مستقیم تشکیل شده است . این اعضا به صورتی درکنار یکدیگر قرار گرفته اند که بارهای وارده می توانند به صورت سه بعدی روی سازه انتقال یا بند و پخش شوند . بابیان دقیق تر می توان گفت سازهٔ فضا کار در حالیکه از اعضای مستقیم تشکیل شده است ، می تواند به شکل منحنی یا مسطح باشد .

۲- یک سیستم سازه ای به شکل شبکه ای از اعضا را سازهٔ فضا کار گویند . البته در اینجا دو عبارت قابهای فضایی[۱] و خرپاهای فضایی[۲] قابل تفسیر می باشند .خرپاهای فضایی سیستمهایی هستند که اتصالات مفصلی دارند درحالیکه عبارت قابهای فضایی به سازه هایی اطلاق می شود که دارای اتصالات صلب می باشند .

۱-۲-۲- اجزای تشکیل دهندهٔ یک سازهٔ فضا کار

یک سازهٔ فضا کار شامل اعضای محوری است که ترجیحاً لوله ای شکل هستند وبه عنوان مقاطع دایروی توخالی[۳] یا مقاطع مستطیلی توخالی[۴] مشهور هستند. همچنین از دیگر اجزای تشکیل دهند یک سازهٔ فضا کار پیونده ها هستند که اعضا را به یکدیکر متصل می کنند . مقاطع دیگر سازه ای از قبیل مقاطع H,I نیز گهگاه استفاده می شوند بخصوص در حالاتی که بارهای انتقال داده شده به اعضا بین گره ها علاوه بر نیروی محوری تولید لنگر نیز بکنند . درحالتیکه بارها فقط به گره ها اعمال می شوند ، مقاطع توخالی دایروی و مستطیلی مزیتی نسبت به انواع دیگر مقاطع دارند و آن این است که درحالیکه این مقاطع در فشار مؤثرتر هستند ، با سطح مقطع برابر دارای شعاع ژیراسیون بزرگتری نسبت به مقاطع دیگر می باشند . مقاطع دایروی توخالی مزیتی نیز علاوه بر اینها دارند و آن این است که دارای ممان ایزسی یکسان در تمامی جهات می باشند .

۱-۲-۳- تشابه سازه های فضا کار و پوسته ها

سازه های فضا کار از نظر رفتار سازه ای به پوسته ها شبیه هستند . این تشابه رفتار به قدری است که این دو دسته از سازه ها به عنوان خواهر خوانده می شوند . رفتارهای مشابه این دو نوع سازه به قرار زیر است :

1-Space Frames
2-Space trusses
3-Circular Hollow Sections
4-Rectangular Hollow Section

۱- بارهای اعمال شده ،بوسیلهٔ نیروهای محوری کششی و فشاری تحمل می شوند و میزان لنگر ایجاد شده بسیارکم و در حد صفر می باشد .

۲- جابجایی بدلیل سختی ذاتی آنها بسیار کوچک است .

۳- شکل هر دو نوع این سازه ها ، استفاده از مصالح را بهینه می کنند .

بدلیل این رفتارهای نزدیک سازه ای ، تحلیلهای مقدماتی قابهای فضایی می توانند بوسیلهٔ جایگزین کردن یک سازهٔ فضا کار با پوسته یا ورق معادلش بدست می آید .

۱-۳- اهداف پروژه

مزیت عمدهٔ شبکه های دو لایهٔ فضاکار دارا بودن همزمان سختی بالا و وزن کم است و بر این اساس می توان از چنین سازه هایی اغلب بدون استفاده از ستونهای داخلی ، برای پوشش دهانه های وسیع بهره گرفت . پس نقش ستونها در این سازه ها عمده می باشد . با توجه به تعریف سازه های فضاکار و نیز با توجه به ماهیت خاص مسئله نشست تکیه گاهی ، لزوم تحقیق بیشتر در زمینهٔ اثر نشست تکیه گاهی بر روی سازه های فضاکار و رفتار خرابی این سازه ها تحت اثر نشست تکیه گاهی احساس می شود . تا به امروز انواع مختلف سازه های فضاکار طراحی و ساخته شده اند . رفتار سازه های فضاکار ساخته شده در محدوده بارهای خدمت ، توسط طراحان تعیین شده است و جای دارد مطالعاتی هم بر روی رفتار پایداری این سازه ها تا مرحله خرابی کلی ، تحت اثر نشست تکیه گاهی انجام گیرد .

در این سیستم ها نیز مانند سایر سازه ها باید ضوابط مربوط به پایداری کل سازه و اعضای تشکیل دهندهٔ آن به درستی مورد بررسی قرار گیرد .

در این پایان نامه سعی شده است به سوالات زیر در خصوص میزان تأثیر نشست تکیه گاهی بر روی رفتار شبکه های دولایه تخت فضاکار پاسخ داده شود :

۱. نسبت عمق به دهانه چه تأثیری بر روی تغییر ظرفیت باربری سازه دارد ؟
۲. تغییر طول اعضاء چه تأثیری بر روی ظرفیت باربری سازه دارد ؟
۳. تغییر نوع تکیه گاهها از گوشه ای به محیطی چه تأثیری بر روی ظرفیت باربری سازه دارد؟

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه

مطالب این پایان نامه در چهار فصل تنظیم شده است . در فصل اول به عنوان مقدمهٔ کار ، ابتدا به معرفی اجمالی سازه های فضاکار و همچنین روند کار این تحقیق پرداخته شده است .

در فصل دوم به دلیل نیاز به آشنایی دقیق تر با سازه های فضاکار ، نشست های تکیه گاهی و همچنین برای درک بهتر ماهیت این پدیده و به دلیل اشتراک بسیاری از ویژگیهای آنها ، ابتدا به معرفی نشست پرداخته شده است و

عوامل بوجود آورندهٔ آن معرفی شده اند . سپس مطالعات انجام شدهٔ موجود در زمینهٔ رفتار سازه های فضاکار تحت اثر نشست تکیه گاهی مورد بررسی اجمالی قرار گرفته و گزیده ای از این تحقیقات و نتایج آنها آورده شده است .

در سازه های فضاکار متداول ، عضوهای کششی بعد از ورود به ناحیه پلاستیک دارای رفتار سخت شدگی کرنشی[1] می باشند که با توجه به این ویژگی می توانند نیروهای اضافی را جذب نمایند . از این رو عضوهای فشاری نقش اصلی را در تحلیل خرابی این سازه ها ایفا می کنند . به همین دلیل و با توجه به اینکه برای تحلیل واکنش خرابی شبکه های دو لایهٔ فضا کار ، ابتدا باید رفتار اعضای فشاری سازه تعیین شود . به همین دلیل در فصل سوم ابتدا نحوهٔ ایجاد ساختار هندسی مدلهای سازه ای آورده شده و سپس نوع تحلیلهایی که باید بر روی سازه انجام شود ، معرفی شده است . در این فصل چندین مدل مختلف از شبکه های دو لایه فضاکار بر اساس ضوابط آئین نامهٔ AISC طراحی شده و با آنالیزهای استاتیکی غیر خطی به کمک نرم افزار LUSAS [۴] دنبال شده است . سپس به نحوهٔ اعمال نشست و همینطور بارهای ثقلی به آنها ، پرداخته شده است .پس از تعیین رفتار بار – تغییر مکان مدلها ، تأثیر پارامتر نشست و نسبت عمق به دهانه بررسی شده است . در ادامه نتایج حاصل از تحلیل ها آورده شده است و تأثیر پارامترهای نشست و نسبت عمق به دهانه روی ظرفیت باربری سیستم و مکانیزم مختلف خرابی سیستم بررسی شده است . همچنین میزان کاهش ظرفیت باربری سیستم به ازای مقادیر مختلف پارامتر نشست تعیین شده است . لازم به یادآوری است که طراحی مدل های این پایان نامه به کمک نرم افزار SAP2000 انجام شده است.

در نهایت توصیه های طراحی برای دستیابی به رفتاری مطلوب در ساختار مورد مطالعه ، پیشنهاد شده است .

در فصل چهارم خلاصهٔ نتایج حاصل از مطالعات حاضر آورده شده است و همچنین پیشنهادهایی در مورد مطالعات بعدی که مرتبط با این موضوع تحقیق می باشند ارائه شده است .

1- Strain Hardening

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- مقدمه

یک سازه مهندسی باید قادر به ایفاء نقش و وظایف مورد نظر باشد . از مهمترین آنها « مقاومت » کافی است که سازه باید بتواند بدون فروریختگی ، بارهای خارجی و وزن خود را تحمل کند . همچنین «سختی» کافی داشته باشد ، بطوریکه تحت اثر بارهای وارده تغییر شکل بی رویه ای از خود نشان ندهد . نشست تکیه گاهی را میتوان نوعی بار دانست که در اثر عواملی از قبیل خرابی شالوده یا نشست خاک زیر سازه و... بوجود می آید . غالباً رسم بر اینست که در طراحی سازه ، مقداری نشست پیش بینی می شود .این بدان معنی است که در طرح ، سعی در ارضای شرایطی است که سازه تحت بدترین حالات بارگذاری تغییر شکل دائمی از خود بروز ندهد .

از زمان معرفی سازه‌های فضاکار، این سازه‌ها موضوعی جذاب و جالب توجه برای محققان بوده است. در این سازه ها به دلایلی مانند کمانش یک عضو فشاری ، تسلیم یک عضو کششی ، ناپایداری گرهی ، اتصال نامناسب اعضا و وجود ناکاملی های هندسی ، خرابی موضعی در سازه پدید می آید . اگر ضوابط طراحی سازه به گونه ای باشد که سازه قدرت جذب این خرابی موضعی را داشته باشد ، خرابی به صورت موضعی در سازه باقی مانده و به سایر قسمتها سرایت نخواهد کرد ، در غیر اینصورت خرابی به صورت موضعی نخواهد ماند و به سایر قسمتهای سازه منتشر شده و در نهایت منجر به خرابی کل سازه خواهد شد . اثر نشست تکیه گاهی بر روی سازه های فضاکار را نیز می توان بصورت نوعی ناکاملی هندسی در نظر گرفت .

وقوع خرابی ناشی از نشست در سازه های فضاکار در سال ۱۹۸۹ در اثر نشست پی گنبد ژئودزی Amundsen- Scott در ایالت South Pole تحت اثر بار برف ، نظر محققین را به این پدیده جلب کرد [۶ و۵] .

تحقیقات قبلی بیشتر روی تحلیل های خطی بوده است . البته بعضی دیگر می گویند : دیواره های پوسته ها دارای سختی کافی بوده و پروفیل نشست آنان صاف وبدون تغییر شکل است [۱۶] .

گزارش فرو ریزش پوسته ای با شعاع ۲۶/۱۵ متر که روغن داغ داشت در ژاپن درسال ۱۹۷۴ ، این گفته را تکذیب کرد . ریزش محتویات این پوسته به دریای مجاورش سبب ضررهای بسیاری به صنعت ماهیگیری شده و بیشتر از ۱۵۰ میلیون دلار ضرر زد . بهمین دلیل نیاز به وجود معیارهایی برای محدود کردن نشست تکیه گاهی به مقادیر قابل قبول وجود دارد .

۲-۲- آشنایی با سازه های فضاکار[1]

سازهٔ فضاکار ، یک سیستم سازه ای متشکل از اعضای مستقیم است که در آن انتقال بارها به صورت سه بعدی انجام می گیرد . در حالت کلی اعضای مستقیم تشکیل دهنده سازه های فضاکار می توانند به صورت توپر و یا توخالی با اشکال مختلف مقاطع ساخته شوند . مقاطع اعضاء در این سازه ها معمولاً به صورت دایره ای تو خالی (لوله) و مستطیل توخالی (قوطی) می باشند . در حالاتی که بارهای انتقال داده شده به اعضا علاوه بر نیروی محوری تولید لنگر خمشی نیز بکنند ، از مقاطع I و H نیز استفاده می شود [۷] . مقاطع لوله و قوطی دارای این مزیت هستند که با سطح مقطع برابر ، دارای مقاومت پیچشی بالا نسبت به مقاطع دیگرمی باشند . مزیت دیگر برای مقطع دایره ، یکسان بودن ممان اینرسی در تمام جهات می باشد .

سازه های فضاکار دارای مزایایی به شرح زیر می باشد [۷] :

۱- هرکدام از اجزای سازه سبک و به صورت جدا از هم بوده و این امر حمل و نقل ساده آنها را ممکن می سازد .

۲- در مقایسه با سایر انواع سازه ها با مقاومت یکسان بسیار سبک می باشند . به عبارت دیگر می توان گفت نسبت به سازه های با وزن یکسان دارای سختی بیشتری می باشند .

۳- زمان ساخت سازه های فضاکار کوتاه است ؛ زیرا اجزای آن در کارخانه و با روشهای سریع و پیشرفته تولید می شوند و پس از حمل به محل کارگاه ه راحتی و به سرعت نصب می شوند .

۴- با توجه به اینکه سازه های فضاکار با در کنار هم قرار دادن اجزای دقیق کارخانه ای ساخته می شوند ، کارگر غیر متخصص هم می تواند در مونتاژ و اجرای آنها بکار گرفته شود .

۵- برای بیشتر مصالح ، مقاومت کششی اعضای میله ای بزرگتر از مقاومت کمانش آن می باشد . به همین دلیل با افزایش نسبت اعضای کششی به اعضلی فشاری می توان به نسبت بزرگتر سختی به جرم رسید .

۶- برای پوشش فضاهای بزرگ بدون ستون با کاربردهای متنوع ، مانند ساختمانهای وزرشی ، تالارهای سخنرانی ، آشیانه های هواپیما و سالن های اجتماعات ، استفاده از سازه های فضاکار اقتصادی می باشند .

۷- این سازه ها به مهندس معمار ، آزادی نامحدودی برای تعیین محل قرارگیری تکیه گاهها و طراحی زیر مجموعه های فضای سرپوشیده می دهند .

۸- امکان اعمال بارهای متمرکز سنگین به یک نقطه ؛ این سازه ها بارها را با یک عمل سه بعدی تحمل می کنند . بارهای اعمال شده بر یک گره ، لزوماً توسط اعضای متصل به آن گره تحمل نمی شوند بلکه به دلیل پخش بار اعضای بیشتری در تحمل بار سهیم می شوند . بنابراین در این سازه ها اعمال بارهای متمرکز خیلی سنگین به یک نقطه نیز امکان پذیر است . این ویژگی مثلاً در آشیانهٔ نگهداری هواپیما می تواند مورد استفاده قرارگیرد ، به این صورت که برای سیستم های تعمیراتی از قبیل جراثقیل ها ، امکان آویخته شدن از پیونده ها فراهم می آید .

---

[1] Space Structures