به نام خدا

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
عمران -سازه

بررسی اثر نقص سازه‌ای در اتصال به تکیه‌گاه در شبکه‌های دولایه تختِ سازه‌های فضاکار

اساتید راهنما : **دکتر رضا مرشد**

دکتر محمّدعلی سعیدی

پژوهش و نگارش : **بهروز سعیدی**

پاییز ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

با تشکر فراوان از

دکتر محمود هریسچیان

و

دوست عزیزم مهندس احمد مشکفروش

که با راهنمایی‌های ارزنده و بی‌دریغ خود مرا در

انجام این تحقیق یاری نمودند

چکیده

برخی از سازه‌های فضاکار در مقابل بعضی از متغیرهای رفتاری اعم از متغیرهای هندسه یا ماده یا تکیه‌گاه و یا شرایط محیطی چون دما حساس می باشند، یکی از این متغیرهای رفتاری، جابجایی تکیه‌گاه‌هاست که ممکن است ناشی از ناهمگنی پی‌ها و یا میزان بار وارده به آنها باشد؛ همچنین وقتی سازه‌های فضاکار برروی زمین ساخته شدند و به محل نصب انتقال یافتند ممکن است بین تعدادی از تکیه‌گاه‌ها با سازه (به علت بی‌دقتی در ساخت، به وجود آمدن تغییر شکل در سازه هنگام بلند کردن آن با جرثقیل برای نصب، اختلاف دمای طراحی و اجرا و ...) فاصله به وجود آمده باشد که برای نصب به اعمال نیروی خارجی و یا اعمال دمای طراحی در هنگام اجرا نیاز میشود؛ این حالت معادل وقتی است که در تکیه‌گاه‌ها نشست نامتساوی رخ دهد. شبکه‌های دولایه با وجود درجه بالای نامعینی استاتیکی، مصون از خرابی نیستند و خرابی چند عضو بحرانی میتواند به علت ایجاد یک مکانیزم، باعث گسیختگی آنها شود، لذا جابجایی تکیه‌گاه باعث ایجاد تنش‌هایی ناخواسته در سازه می‌شود که اگر در جهت افزایش تنش‌های ناشی از بارگذاری عمل کند تعدادی از المان‌ها را به تنش بحرانی رسانده ادامه کاربری سازه را به خطر می‌اندازد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار $SAP2000$ به بررسی اثرات آن بر شبکه‌های دولایهٔ تخت پرداخته شده است و روابطی برای محاسبهٔ جابجایی تکیه‌گاهیِ پیشنهاد شده است. در بررسی انجام شده در اثر جابجایی تکیه‌گاهِ ستون مرکزی در بافت دوراهه و دوراههٔ کاهش یافته، ستون کناری (وسط ضلع سازه) و المان‌های اطراف آن و در بافت قطری، ستون گوشه و المان‌های اطراف آن بحرانی-ترین وضعیت را دارند. در جابجایی تکیه‌گاهِ ستون کناری، بیشترین تغییرات در جهت بحرانی‌تر شدن در ستون کنارِ ستون تحت جابجاییِ تکیه‌گاهی و المان‌های اطراف آن ایجاد می‌شود.

کلمات کلیدی: سازه فضاکار، شبکه دولایه تخت، نقص تکیه‌گاه، نشست تکیه‌گاه .

فهرست

مقدمه ۱

کلیات ۱

اهداف پروژه ۲

روش تحقیق ۲

فصل اول : معرفی سازه های فضایی ۴

۱-۱- تعریف سازه های فضایی ۴

۱-۲- تاریخچه سازه های فضایی ۵

۱-۳- رفتار سه بعدی در سازه های فضایی ۷

۱-۴- فوائد سازه های فضایی ۱۲

۱-۵- انواع سازه های فضایی ۱۳

۱-۵-۱- شبکه های تخت ۱۴

۱-۵-۲- سازه ای چلیکی ۲۲

۱-۵-۳- سازه های گنبدی ۲۳

۱-۵-۴- سازه های بازشو (تاشو) ۲۴

۱-۶- اجزای سازه فضایی ۲۵

۱-۶-۱- عضوها ۲۵

۱-۶-۲- اتصالات ۲۵

۱-۷- آیین نامه های موجود در زمینه سازه های فضایی ۳۴

فصل دوم : آنالیز ماتریسی خرپاهای فضایی ۳۶

۲-۱- کلیات ۳۶

۲-۲- ماتریس سختی ۳۹

۲-۳- محاسبه تنشها ۴۱

فصل سوم : مدل سازی در فرمین ۴۳

۳-۱- معرفی نرم افزار فرمین ۴۳

۳-۲- مفهوم جبرفرمکسی ۴۴

۳-۳- استفاده از فرمین برای ساخت مدلهای تحقیق ۴۸

فصل چهارم : آماده‌سازیِ مدلها ۵۴

۴-۱- مشخصات مدل ها ۵۴

۴-۱-۱- نوع بافت ۵۴

۴-۱-۲- مشخصات هندسی ۵۶

۴-۱-۳- مشخصات مصالح و مواد ۵۸

۴-۲- معرفی المان های استفاده شده ۵۸

۴-۲-۱- اتصال گره ها ۵۸

۴-۲-۲- درجات آزادی و آزاد سازی آن در گره ها ۵۸

۴-۳- بارگذاری سازه ۶۰
۴-۴- تحلیل و طراحی ۶۱
۴-۵- شرایط تکیه گاهی ۶۲
۴-۵-۱- سختی ستون‌ها ۶۳
۴-۵-۲- اعمال جابجایی به نقاط تکیهگاهی ۶۳
۴-۶-معیار بررسی تغییرات ایجادشده در سازه (اثر مخرب) ۶۳
فصل پنجم : بررسی اثر جابجایی تکیهگاهی در شبکههای تخت دولایه ۶۷
۵-۱- مقدمه ۶۷
۵-۲- بررسی تأثیر سختی ستونها بر مقدارِ λ ۶۷
۵-۳- بررسی رفتار سازه تحت اثر نشست ستون مرکزی ۷۳
۵-۳-۱- تغییرات نیروی محوری ستونها تحت اثر نشست ستون مرکزی ۷۳
۵-۳-۲- بررسی تغییرات نیروی محوری در المانها ۹۱
۵-۳-۳- بررسی تغییرات نیرویهای محوری ماکزیمم ۱۳۵
۵-۴- بررسی رفتار سازه تحت اثر نشست ستون کناری ۱۴۵
۵-۴-۱- تغییرات نیروی محوری ستونها تحت اثر نشست ستون کناری ۱۴۶
۵-۴-۲- بررسی تغییرات نیرویهای محوری ماکزیمم ۱۴۸
۵-۴-۳- بررسی تغییرات نیروی محوری در المانها ۱۵۵
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۵۷

مقدمه

کلیات

درسالهای اخیر نیاز به فضاهای محصور با دهانه های بزرگ و بدون ستونهای میانی افزایش چشمگیری یافته است. در این میان می توان به ساخت روز افزون سالنهای اجتماعات و ورزشی، آشیانه‌های تعمیر و نگهداری هواپیما و مراکز خرید اشاره کرد. یکی از بهترین گزینه ها برای ساخت چنین فضاهایی استفاده از سازه های فضایی است. سازه های بزرگ معمولاً هزینه ساخت بالایی دارند. با توجه به کاربری خاص آنها در صورت ایجاد خرابی خسارتهای مالی و جانی فراوانی ایجاد می شود. موارد ذکر شده دلایل متقنی برای بررسی دقیقتر نیروهای وارده بر این سازه‌ها و در نهایت طراحی واقع‌بینانه آنها است.

هر کدام از انواع سازه‌های فضاکنار در برابر تغییر یک یا چند پارامتر حساس می‌باشند؛ به عنوان مثال یک سازه چلیکی در مقابل سختی افقی تکیه گاه حساس می باشد و تغییرات کوچکی در مقدار آنها می تواند تاثیر زیادی در نحوه توزیع نیروها و میزان تغییر شکل سازه داشته

باشد[۱]. یکی از نیروهایی که اغلب در طراحی سازه های فضایی نادیده انگاشته می شود نشست تکیه‌گاه می باشد. سازه‌های فضایی دارای سختی بالایی هستند و لذا این نقص در اینگونه سازه ها نیروهای بزرگی را به اعضا تحمیل می کنند. بنابراین ضرورت بررسی آن بیشتر از سازه های دیگر ملموس است.

اهداف پروژه

در یک سازه فضاکار خرابی چند عضو بحرانی میتواند به علت ایجاد یک مکانیزم، باعث سقوط و گسیختگی آنها شود، نشست تکیه‌گاه ممکن است باعث ایجاد تنش‌هایی ناخواسته در سازه شود که اگر در جهت افزایش تنش‌های ناشی از بارگذاری عمل کند ممکن است تعدادی از المانها را به تنش بحرانی رسانده ادامه کاربری سازه را به خطر بیاندازد. هدف این تحقیق بررسی رفتار شبکه-های دولایهٔ تختِ سازه‌های فضاکار در جابجایی‌های تکیه‌گاهی و اثر نوع بافت، ابعاد سازه و تغییر موقعیت ستون مرکزی بر آن می باشد.

روش تحقیق

در این تحقیق تعدادی مدل که با استفاده از نرم افزار SAP2000 آنالیز و طراحی شده انتخاب گردیده است و با اعمال نشست به تکیه‌گاه ستون‌های آن به بررسی تغییرات نیروی داخلیِ ستون‌ها و المان‌های آن پرداخته شده است. این پایان نامه مشتمل بر ۶ فصل است. رئوس مطالب فصل‌ها به شرح زیر می باشد:

فصل اول، به توضیح کلیاتی در مورد سازه های فضایی، تعاریف، تاریخچه و انواع مختلف سازه‌های فضایی می پردازد. در این قسمت همچنین انواع اتصالات مرسوم در تولید و ساخت سازه های فضایی معرفی می شود.

فصل دوم به توضیح روابط تئوریک آنالیز ماتریسی سازه‌های فضاکار می پردازد.

در فصل سوم مبانی مدلسازی انجام شده با استفاده از نرم افزار فرمین ارائه می‌شود.

فصل چهارم به معرفی مدل‌ها و مشخصات مواد و مصالح به کار گرفته شده و ستون‌ها و المان‌های مورد بررسی و نیز تعریفِ اثرِ مخربِ موردِ بررسی، می‌پردازد.

در فصل پنجم با ارائهٔ نمودارها به تشریح رفتار سازه‌ها تحت نشست پرداخته می‌شود و روابطی نیز در این زمینه پیشنهاد می‌گردد که کاربرد مطالعات انجام گرفته را نشان می‌دهد.

فصل ششم در برگیرنده نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده می‌باشد.

فصل اول

معرفی سازه‌های فضایی

۱-۱- تعریف سازه های فضایی

سازه‌های فضایی[1] به آن دسته از سازه ها اطلاق می شود که نحوه قرارگیری اعضاء در آنها باعث ایجاد رفتاری سه بعدی در انتقال بارها می شود و در بعضی از موارد عضوها ممکن است دو بعدی باشند. یک سازه فضایی اغلب شکل سطحی صاف یا منحنی دارد. در گزارش انجمن مهندسان راه و ساختمان آمریکا که با عنوان وضعیت موجود سازه های شبکه ای انتشار یافت،

[1] space structures

سازه های فضایی به عنوان دسته ای از سازه های شبکه ای طبقه بندی و بـه صـورت زیـر تعریـف شده اند[۲]:

سازه فضایی یک سیستم سازه‌ای است که از مجموعه‌ای از عضوهای به هم پیوسته تشکیل شده است، مکانیزم انتقال بارِ سه بعدی از دیگر ویژگی های این سازه‌ها است.

برخی مواقع بین قاب فضایی[۱] و خرپا فضایی[۲] تمایز قائل می شوند. بر طبق این تعریف خرپاهای فضایی سیستم هایی هستند که اتصالات آنها مفصلی است، در حالی که واژه قاب‌های فضایی مخصوص سازه‌هایی است که اتصالات صلب دارند. براساس گزارش گروه مهندسان IASS سازه فضایی به عنوان یک واژه کلی که هم خرپاهای فضایی و هم قاب‌های فضایی را در بر می - گیرد به حساب می‌آید[۲]. در ایجاد سازه‌های فضایی مختلف مرزی وجود ندارد. به این دلیل انواع سازه‌های فضایی به لحاظ هندسه، نوع مواد و رفتار بسیار متنوع هستند. در جامعه مهندسان ایران اغلب به خرپای فضایی که برای اتصال اعضاء آنها به یکدیگر از اتصال مرو[۳] استفاده شده است سازه فضایی اطلاق می شود. در این پایان‌نامه منظور از سازه‌های فضایی، خرپای فضایی است که عملکرد اعضای آنها خرپایی می باشد. این دسته از سازه ها اغلب دارای اتصالات مرو هستند. در این عملکرد نیروهای ایجاد شده در اعضاء صرفاً محوری است.

۱-۲- تاریخچه سازه های فضایی

معماران و مهندسان همواره در پی یافتن راه‌حل‌های جدید برای حل مسئله فضاهای محصور بوده اند. با صنعتی شدن و توسعه دنیای مدرن تقاضا برای استفاده از سازه های با دهانه

[1] Space frame

[2] Space truss

[3] mero

های بزرگ افزایش یافت. سازه های مشبک فضایی به دلیل تنوع بسیار و انعطاف پذیری ابزار با ارزشی برای دستیابی به فرم های جدید توسط معماران و مهندسان می باشند.

تا اواسط قرن ۱۸ میلادی دسترسی معماران و مهندسان به مصالح با مقاومت بالا در کشش بسیار محدود بود. در آن دوران چوب، آجر و سنگ معمول ترین مصالح در صنعت ساختمان سازی بودند. در میان این مصالح چوب دارای مقاومت کششی قابل قبولی است، ولی به صورت طبیعی تنها در طولها و مقاطع عرضی محدود در دسترس است[۳]. با وقوع انقلاب صنعتی، تولید آهن و سپس فولاد گسترش یافت و تولید مصالح با مقاومت زیاد ساختن ساختمان هایی با ارتفاع بیشتر و دهانه های وسیع را امکان پذیر ساخت. همراه با توسعه صنعت فولاد روشهای ریاضی برای توضیح و پیش بینی رفتار سازه ها و درک نحوه رفتار مصالح به سرعت توسعه یافت. با فراهم شدن امکانات سخت افزاری و نرم افزاری لازم برای طراحی و ساخت سازه های فولادی، ابتدا سازه های خرپایی و سپس سازه های فضایی قابی به مرور به وجود آمدند. نظریه ساخت ساختمان های مدولار به صورت یک رویای تحقق یافته تقریباً ۱۶۰ سال قبل با طراحی، ساخت و نصب قاب های فلزی کریستال پالاس در هاید پارک لندن شکل عملی یافت و کارایی این روش به خوبی نشان داده شد. شاید قدیمی ترین نمونه ها از آنچه امروزه به عنوان قاب فضایی یا شبکه فضایی می شناسیم، توسط مخترع تلفن الکساندر گراهام بل (۱۹۲۲- ۱۸۴۷) رواج یافت. در اوایل قرن بیستم وی خرپای فضایی مرکب از قطعات ۴ وجهی و هشت وجهی را آزمایش کرد.

با وجود توسعه و پیشرفت حاصل از تلاش های گراهام بل در زمینه خرپاهای فضایی سه بعدی سبک وزن در اوایل قرن بیستم، تا قبل از معرفی سیستم مرو در سال ۱۹۴۳ این خرپاها در معماری کاربردی نداشتند. مرو اولین سیستم شبکه فضایی بود که به صورت گسترده در دسترس معماران و مهندسان قرار گرفت و توسط دکتر مکس منگریگ هاوسن[۱] ((۸۸- ۱۹۰۳) معرفی

[1] Dr Ing. Max Mengeningh ausen

شد. این سیستم هنوز هم رایج ترین روش در ساخت خرپاهای فضایی است. این روش در ادامه به صورت کامل توضیح داده خواهد شد.

با گذر زمان روشهای مختلفی برای ساخت سازه های فضای توسط افرادی چون دنینگ[۱]، باکمینستر[۲]، واچسمان[۳] و دوشاتیو ارائه شد. در دهه ۱۹۶۰ استفاده بیشتر از کامپیوتر و توسعه برنامه هایی که قادر بودند سازه های مشبک فضایی را تحلیل کنند تاثیر زیادی در افزایش استفاده از سازه های فضایی برای دهانه های بزرگ داشتند.

۱-۳- رفتار سه بعدی در سازه های فضایی

در حقیقت همه سازه‌ها سه بعدی و دارای طول، ارتفاع و ضخامت هستند. تیرها و خرپاهای مسطح اغلب رفتار سازه ای دوبعدی دارند. این عناصر سازه ای به طور کلی در یک صفحه در برابر بارهای وارده مقاومت می‌کنند. در چنین سازه‌هایی نباید پایداری در جهت بعد سوم فراموش شود. برای مثال در تیرها و خرپاهای تحت خمش با افزایش دهانه ارتفاع بیشتری لازم است و در نتیجه تمایل ناحیه فشاری برای کمانش در جهت عمود بر صفحه قائم (کمانش جانبی) افزایش می‌یابد. برای مقابله با این مسئله مهاربند هایی در ناحیه فشاری پیش بینی می شود. در صورت تقویت مهاربندها به صورتی که سختی قابل توجهی در مقیاس سختی تیر اصلی داشته باشند، سازه‌ای سه بعدی تشکیل می شود. این سیستم دارای مزایای اقتصادی و سازه‌ای زیادی نسبت به حالت قبل می‌باشند.

---

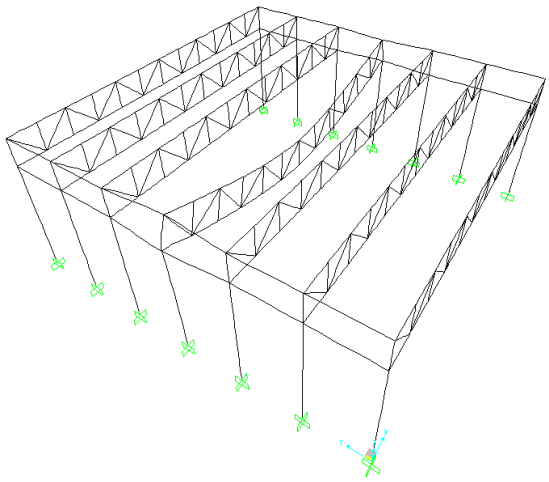
[1] Dening

[2] Buckminster

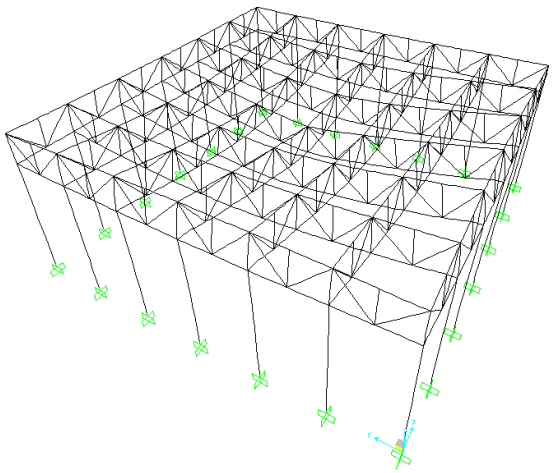
[3] Wachsman

برای روشن‌تر شدن تمایز رفتار سازه‌های دوبعدی و سازه‌های سه بعدی شکل تغییر فرم یافته دو نمونه از این سازه‌ها در زیر آورده شده است. در شکل سازه‌ای با رفتاری ۲ بعدی ارائه شده و در شکل ۱-۲ سازه ای با رفتار فضایی نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود با اعمال بار به مرکز سازه تنها یک خرپا بار اعمال شده را تحمل می کند. اما در شکل مشاهده می‌شود که با اعمال بار کل سازه دچار تغییر شکل می شود. به عبارت دیگر درصد بیشتری از المان های سازه در تحمل بارهای وارده مشارکت می کنند. این رفتار باعث اقتصادی‌تر طرح شدن سازه می شود. از طرف دیگر در سازه های با رفتار ۲ بعدی با از میان رفتن یک قسمت باربر پایداری سازه از بین می رود. اما در سازه‌ای که رفتاری سه بعدی دارد، به علت بالا بودن درجه نامعینی، با از میان رفتن یک تیر الزاماً پایداری سازه به خطر نمی افتد.



شکل۱-۱: تغییر شکل سازه دوبعدی تحت اثر بار متمرکز در مرکز



شکل ۱-۲: تغییر شکل سازه سه بعدی تحت اثر بار متمرکز در مرکز

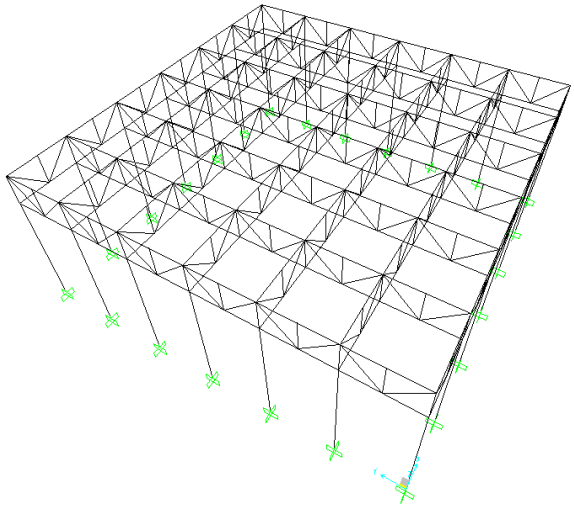
همانطور که در قسمت ۱-۱- توضیح داده شد سازه های فضایی اسکلتی به دو قسمت تقسیم می شوند:

i سازه های فضایی خرپایی :

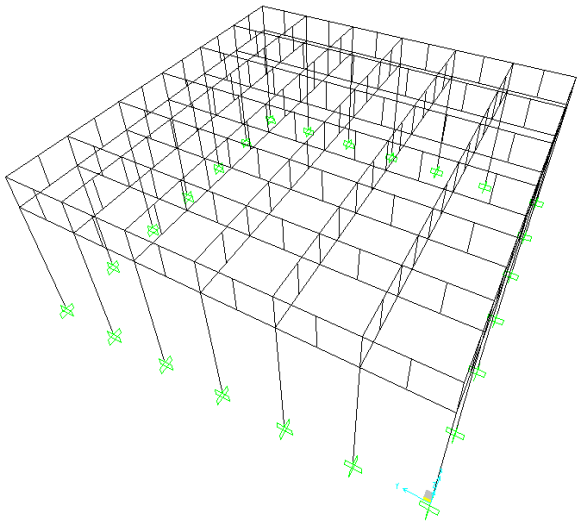
نیروهای اعمال شده به سازه تنها باعث ایجاد نیروهای محوری در اعضا می شوند(شکل۱-۳).

ii سازه های فضایی قابی :

نیروهای اعمال شده به سازه باعث ایجاد برش، نیروی محوری و خمش در اعضاء می شوند (شکل ۱-۴). در سازه های فضایی خرپایی مقدار ناچیزی خمش بر اثر بار ثقلی در اعضاء ایجاد می‌شود.



شکل ۱-۳: نمونه ای از سازه فضایی خرپایی

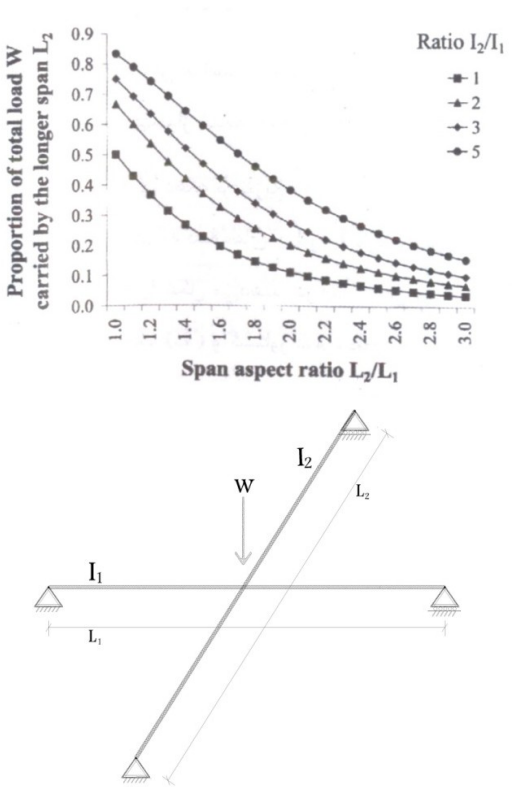


شکل ۱-۴: نمونه ای از سازه فضایی قابی

تصمیم گیری در مورد اینکه از شبکه سه بعدی و یا سازه هایی با رفتار دو بعدی استفاده شود اغلب متاثر از شکل پلان ساختمان و محل قرارگیری تکیه‌گاه‌هاست. اگر بارهای وارده به صورت یکنواخت روی سطح پلان بام یا طبقات پخش شده باشند، بی‌گمان سازه با رفتار دو بعدی

اقتصادی خواهد بود. با این وجود زمانی که امکان قرار دادن تکیه گاه در سراسر اضلاع پلان مربع یا مستطیل شکل وجود داشته باشد، ممکن است سازه هایی با رفتار سه بعدی ترجیح داده شوند.

تاثیر نسبت ظاهری دهانه بر توزیع بار در یک سازه با رفتار دو طرفه را می توان به سادگی توسط اعمال بار متمرکز (W) بر محل تقاطع دوتیر عمود بر هم به دهانه های L_2 , L_1 نشان داد. در صورتی که تیرها در نقطه میانی به هم متصل شده باشند، شبکه تیر تک لایه بسیار ساده ای را تشکیل می دهند. در ابتدا فرض می شود که هر دو تیر دارای مصالح و مقاطع عرضی مشابهی باشند. ارتباط بین نسبت ظاهری دهانه (L_2/L_1) و بار حمل شده توسط هر یک از تیرها یعنی W_1 و W_2 را به سادگی از طریق یک سری محاسبات برای نسبت های مختلف دهانهٔ تیرها می توان به دست آورد. ارتباط بین نسبت ظاهری دهانه ها و باربری تیر L_2 در شکل ۱-۵ نشان داده شده که در آن L_2 دهانه بزرگتر و L_1 دهانه کوچکتر است.



شکل۱-۵: ارتباط بین نسبت ظاهری دهانه و میزان باربری تیر

۱-۴ - فوائد سازه های فضایی

امروزه در سراسر دنیا سازه های فضایی به سرعت در حال پذیرش و مقبولیت در بین طراحان و مهندسین سازه می باشند. این امر را نمی توان فقط مرهون جذابیت و زیبایی بیشتر این سازه ها دانست، بلکه دلائل متعددی که در ذیل به پاره‌ای از آنها اشاره می شود، در گسترش محبوبیت این سازه‌ها مؤثر می‌باشند.

وزن کم : سازه های فضایی سبک هستند، بازده سازه ای خوبی دارند و در آنها از مصالح به صورت بهینه استفاده می شود. وزن کم این سازه ها باعث کاهش ابعاد ستون و پی می شود.

پوشش دهانه های بزرگ : به دلیل سختی زیاد و وزن کم، این گونه سازه ها گزینه مناسب و اقتصادی برای پوشش دهانه های گسترده می باشند. این فضاها می توانند دارای کاربری های متنوع مانند ساختمان های ورزشی، تالار سخنرانی، آشیانه های هواپیما و سالن های اجتماعات باشند.

سختی زیاد : به دلیل سختی زیاد این سازه ها، تغییر مکان ها کوچک است. این ویژگی در کاربرد سازه های فضایی به عنوان پشت بند آنتن های بشقابی سهموی حائز اهمیت است.

نصب تأسیسات : به دلیل وجود فضای باز بین دو لایه سازه های فضایی چند لایه نصب تأسیسات مکانیکی و الکتریکی و کانال های هوا درون ارتفاع سازه به سادگی میسر است. به دلیل وجود سیستم منظمی از تکیه گاه اتصال این تأسیسات بسیار ساده است و نیاز به کار فولادی ثانویه بسیار کم شده یا حتی حذف می شود. اگر تجهیزات سنگینی در سازه فضایی نسب شود، باید بارهای وارده بر نقاط گره ها وارد شوند. این مسئله به ویژه در خرپاهای فضایی به منظور به حداقل رساندن لنگر خمشی در اعضاء ضروری است.