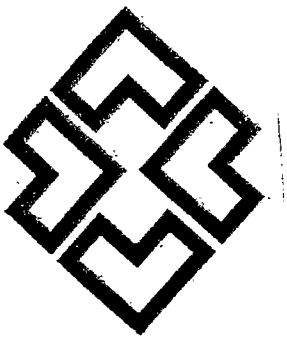
١٣٨٧ /٥/ ٢٥

٩٩١٥٧



**پژوهشکده ساختمان و مسکن**

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد

مهندسی عمران - زلزله

موضوع:

# تحلیل دینامیکی سازه های گنبدی فضاکار

استاد راهنما:

**جناب آقای دکتر علی کاوه**

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

نگارش:

**سید مهدی یوسفی**

زمستان ۱۳۷۸

۱۳۸۷ /۵۱/ ۲۵

۹۹۱۵۷

بسمه تعالی

پژوهشکده ساختمان و مسکن

# تاییدیه هیات داوران

خانم / آقای **سید مهدی یوسفی** پایان نامه کارشناسی ارشد ۶ واحدی خود را با عنوان **تحلیل دینامیکی سازه‌های فضاکار با توجه به شبکه‌های یک‌لایه‌ای گنبدی و طراحی آنها** در تاریخ ..... ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران** با گرایش **مهندسی زلزله** پیشنهاد می‌کنند.

| اعضای هیات داوران | نام و نام خانوادگی | امضاء |
|---|---|---|
| ۱ – استاد راهنما : | آقای دکتر ..... | |
| ۲– استاد مشاور : | آقای دکتر ..... | |
| ۳– استادان ممتحن: | آقای دکتر ..... | |
| | آقای دکتر ..... | |
| ۴– مدیر گروه : | آقای دکتر ..... | |
| (یا نماینده گروه تخصصی) | | |

۱۳۸۷/۱۵/۲۵

۹۹۱۵۷

کلیه حقوق اعم از چاپ ، تکثیر ، نسخه‌برداری ، ترجمه و اقتباس

برای پژوهشکده ساختمان و مسکن محفوظ است.

**تقدیم**

**به پدر عزیز**

**مادر مهربانم**

**و**

**برادرم امین**

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله از زحمات استاد عالی‌مقام جناب آقای دکتر علی کاوه که حمایت و راهنمایی‌های خردمندانه ایشان ،نور هدایت رهروان علم و دانش و تداوم تجربه زندگی بهتر و زیباتر است ،تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از راهنمایی‌های آقای دکتر هوشیار نوشین که با سعه صدر و حوصله تمام در مراحل انجام پایان‌نامه بنده را از نظرات مفید و آموزشهای علمی مستفیذ فرمودند سپاسگزاری می‌نمایم. برخود لازم می‌دانم که از پدر و مادر عزیزم که همه زندگی خویش را بی‌هیچ چشم‌داشتی وقف پیشرفت و سعادت فرزند خویش نموده و خصوصا در مدت تحصیل از هیچ حمایت مادی و معنوی فروگذار نکردند تشکر نمایم. از جناب آقای دکتر عباسعلی تسنیمی ریاست محترم مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن که حمایت صمیمانه‌ای در جهت انجام پایان‌نامه و استفاده از امکانات مرکز فرمودند قدردانی می‌نمایم. از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر مصیبی وخصوصاً جناب آقای دکتر مالک که اطلاعات ارزشمندی را در قالب دوره آموزشی سازه های فضاکار در اختیار اینجانب قرار دادند کمال امتنان را دارم .

بدینوسیله از کلیه عزیزان و دوستانی که در انجام مراحل مختلف پایان‌نامه با من همکاری کردند بخصوص سرکار خانم گرشاسبی و جناب آقای فاضل حامدی که در مراحل تایپ و ویرایش همکاری بسیار نزدیکی با اینجانب داشتند نهایت امتنان را دارم امیدوارم این کارگروهی مقبول درگاه احدیت قرار بگیرد و برای پویندگان آینده علم نوین سازه‌های فضاکار مفید واقع شود.

## چکیده

در این پایان نامه خواص پاسخ دینامیکی گنبدهای تک لایه فضاکار در برابر نیروی افقی و قائم زلزله مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

پس از معرفی سازه های فضاکار وبرنامه تاشه پردازی فورمین (FORMIAN)،روش استفاده از این برنامه برای ایجاد تاشه گنبدهای انتخابی توضیح داده شده است. سپس اثرات توپولوژی یا بافتار سازه همچنین چگالی تعداد گره و اعضاء ،بر روی رفتار استاتیکی و دینامیکی‌گنبدها،مورد بررسی قرار گرفته است و چندین توپولوژی معمول سازه‌های گنبدی فضاکار مورد مطالعه قرار گرفته اند و اثرات نوع تاشه به همراه تغییرات چگالی،تعداد گره‌هاوبه تبع آن تعداد المانهای سطح گنبد برروی رفتار دینامیکی این نوع تاشه‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفته است. اثرات تکیه‌گاهی که باعث تغییر رفتار سیستم سازه‌ای گنبدها می‌شود مطالعه شده و بالاخره بهترین نوع توپولوژی با توجه به کمترین وزن توصیه شده است.

توصیه‌های ارائه شده به طراحان در این زمینه اجازه ارزیابی دقیق از ظرفیت گنبدهای مزبور تحت تأثیر بار استاتیکی وزن و رفتار دینامیکی تحت بار زلزله را ممکن می سازد.

## فهرست مطالب


مقدمه..... ۲

فصل اول

آشنائی با سازه های فضاکار

۱.۱ تعریف سازه‌های فضاکار..... ۶

۱.۲ انواع سازه‌های فضاکار..... ۶

۱.۳ سازه های فضایی تک لایه..... ۶

۱.۴ کاربرد سازه های فضائی..... ۷

۱.۵ مشخصات سازه فضائی..... ۸

۱.۵.۱ بافتار سازه..... ۸

۱.۵.۲ اتصالات سازه..... ۸

۱.۶ مزایای سازه فضائی..... ۹

۱.۷ بافتار سازهٔ فضائی..... ۱۰

۱.۷.۱ انواع بافتار فضائی..... ۱۰

۱.۸ سازه‌های فضائی در ایران..... ۱۱

فصل دوم

پیونده ها

مقدمه..... ۱۷

سیستم‌های مختلف سازه‌های فضایی..... ۱۷

۲.۱ سیستم‌های با پیونده گویسان..... ۱۸

۲.۱.۱ سیستم MERO..... ۱۸

۲.۲ سیستم پیونده NS (نیامی)..... ۲۰

۲.۳ سیستم صفحه‌ای..... ۲۳

۲.۳.۱ پیوند Unistrut..... ۲۳

۲.۴ سیستم‌های با پیونده شکافی ..... ۲۵
۲.۵ سیستم با پیونده پوسته‌ای (Shell joint system) ..... ۲۵
۲.۵.۱ پیونده Oktaplatte ..... ۲۶
۲.۵.۲ سیستم NODUS ..... ۲۸
۲.۵.۳ سیستم SDC ..... ۲۹
۲.۶ سیستم‌های مدولار ..... ۳۰
۲.۶.۱ سیستم مدولار Space Deck ..... ۳۰
۲.۶.۲ سیستم یونیبت (UNIBAT) ..... ۳۴
۲.۶.۳ سیستم CUBIC ..... ۳۶
۲.۷ مقایسه پیونده‌های مدولار ..... ۳۷

فصل سوم

تاشه پردازی

۳.۱ داده‌پردازی (تاشه‌پردازی) ..... ۴۱
۳.۲ داده‌پردازی به روش جبر فورمکس ..... ۴۲
۳.۳ برنامه فورمین ..... ۴۲
۳.۴ تعاریف مربوط به فورمکس ..... ۴۳
۳.۵ تعریف عمل جمع فورمکس‌ها Ö ..... ۴۳
۳.۶ معرفی برخی توابع برنامه فورمین ..... ۴۴
۳.۶.۱ NUMBERIC FUNCTION (توابع ریاضی) ..... ۴۴
۳.۶.۲ توابع فورمکسی ..... ۴۴
۳.۶.۲.۱ توابع Translection Function (تراگرد) ..... ۴۴
۳.۶.۲.۱.۱ توابع کاردینال ..... ۴۷
۳.۶.۲.۱.۲ توابع تندیال ..... ۵۱
۳.۶.۲.۱.۳ توابع پرووِیال ..... ۵۵

۳.۶.۲.۲ توابع کاهانی (Itroflection Functions) ..... ۵۵
۳.۶.۲.۲.۱ تابع Pexum ..... ۵۵
۳.۶.۲.۲.۲ توابع Rendition ..... ۵۵
۳.۶.۲.۲.۳ تابع Relection ..... ۶۱
۳.۶.۲.۳ توابع متفرقه ..... ۶۱
۳.۶.۲.۴ توابع تغییر مقیاس ..... ۶۲
۳.۷ نحوه ایجاد تاشه گنبد ..... ۶۳
۳.۸ ایجاد شکل پارامتری مدلهای انتخابی ..... ۶۴
پیوست ۱-۳ مدل فورمکسی گنبدهای انتخابی ..... ۶۶

فصـــل چهارم

آنالیز دینامیکی خطی

۴.۱ مشخصات عمومی گنبدها ..... ۷۶
۴.۲ مشخصات هندسی گنبدها ..... ۷۶
۴.۳ مشخصات هندسی المانها ..... ۷۸
۴.۴ بارگذاری سازه‌های فضاکار ..... ۷۹
۴.۴.۱ بارهای مرده ..... ۷۹
۴.۴.۲ باربرف ..... ۸۰
۴.۴.۳ سربار (بار زنده) ..... ۸۱
۴.۴.۴ بار ناشی از تغییر درجه حرارت ..... ۸۱
۴.۴.۵ باربار ..... ۸۲
۴.۴.۶ بار زلزله ..... ۸۲
۴.۴.۷ ترکیبات بارگذاری ..... ۸۳
۴.۴.۸ فرضیات طراحی ..... ۸۳
۴.۵ پریود ارتعاشی و مودهای طبیعی ارتعاش ..... ۸۴

۴.۵.۱ بررسی مربوط به اثرات چگالی بر روی پریود ارتعاشی ..... ۸۵
۴.۵.۲ مشخصات دینامیکی مدلها ..... ۹۱
۴.۶ حرکت زلزله و نتایج تحلیل دینامیکی خطی ..... ۱۰۲
۴.۷ بررسی‌های مربوط به اثرات بافتار یا توپولوژی روی رفتار دینامیکی گنبد ..... ۱۰۳
۴.۷.۱ خلاصه‌ای از نرم افزارهای مورد استفاده ..... ۱۰۳
۴.۷.۲ پارامترهای ثابت و متغیر ..... ۱۰۴
۴.۷.۳ گنبد دیاماتیک با تکیه‌گاههای متمرکز ..... ۱۰۴
۴.۷.۴ گنبد دنده‌دار با تکیه‌گاههای متمرکز ..... ۱۰۶
۴.۷.۵ گنبد لاملا با تکیه‌گاههای متمرکز ..... ۱۰۸
۴.۷.۶ گنبد شودلر با تکیه‌گاه متمرکز ..... ۱۰۹
۴.۷.۷ مدل گنبد با تکیه‌گاه پیوسته ..... ۱۰۹
۴.۷.۸ بررسی نتایج ..... ۱۱۰

فصل پنجم

ارزیابی نیروی معادل استاتیکی برای گنبدها

۵.۱ کلیات ..... ۱۷۷
۵.۲ مدل هندسی گنبدهای تک لایه ..... ۱۷۷
۵.۳ حرکت زلزله ..... ۱۷۸
۵.۴ مدل‌سازی اعضاء و گره‌ها ..... ۱۷۸
۵.۵ نیروی معادل استاتیکی برای گنبدهای باخیز بالا بر پایه رفتار خطی گنبد ..... ۱۷۹
۵.۶ بررسی پریودارتعاشی گنبد ..... ۱۸۲

فصل ششم

نتیجه‌گیری

۶ بررسی نتایج ..... ۱۹۶

# مقدمه

ارزیابی بهترین توپولوژی در بافتار گنبدهایی که معمولاً برای دهانه‌های بزرگ به کار می‌روند مساله‌ای است که همواره مورد نظر طراحان این گونه سازه‌ها بوده وهست . در این سازه ها از واحد سه وجهی و چهار وجهی استفاده می شود و بیشتر به صورت شکلهای زیبا به همدیگر متصل می شوند. اگر چه زیبایی این سازه ها مورد توجه معماران است ولی بررسی رفتار دقیق آنها در برابر بارهای ثقلی و بارهای دینامیکی زلزله و بررسی‌های اقتصادی می‌تواند پارامتر عمده‌ای در بکارگیری از این نوع شبکه‌ها باشد. آنچه که درطراحی سازه‌های فضاکار، بخصوص سازه‌های فضاکار دو لایه معمول است ،صرف نظر کردن از تاثیربارهای دینامیکی و طراحی آن صرفاً در برابر بارهای استاتیکی ثقلی می‌باشد. این روش معمول ،اگر چه با توجه به وزن سبک این نوع پوشانه‌ها، غیرمنطقی نیست ، ولیکن در برخی از انواع آن ،بخصوص در سازه‌های فضاکارگنبدی تک لایه‌ای ،اثرات بارهای دینامیکی به مراتب از بارهای ثقلی استاتیکی بیشتر است.

در این نوشتار ،ابتدا سازه های فضاکار تک لایه و دولایه معرفی شده وانواع کاربرد های آن در دنیا و در سطح کشور بهمراه مزایای استفاده از این پوشانه ها توضیح داده می شود. این سازه ها با توجه به تعداد زیاد گره ها دارای پیونده های مخصوصی هستند که اهمیت فوقالعاده ای دارند و اگر کار خود را بخوبی انجام ندهند سازه قادر به تحمل بار نخواهد بود.

پیونده ها به صورت مشروح در فصل دوم بحث شده اند .

استفاده از جبر فورمکس هاروش نوین تاشه پردازی سازه های فضاکار را ممکن می سازدکه توسط برنامه فورمین انجام می گیرد[4] . مختصری از برنامه فورمین و تاشه پردازی سازه های فضاکار ،بخصوص آنچه که در ایجاد تاشه گنبد ها ضروری است در فصل سوم ارائه شده و مدلهای فورمکسی آنها به پیوست ضمیمه شده است .

پس از ایجاد تاشه مدلهای انتخابی ،آنالیز و طراحی گنبدها برای دو حالت بارهای استاتیکی ثقلی و بارهای دینامیکی زلزله به صورت غیرمتقارن انجام شده است. نوع آنالیز دینامیکی بکار رفته، روش دینامیکی طیفی است که اثرات افقی و قائم زلزله را به صورت توأم در نظر می‌گیرد. در این پایان نامه ابتدا چندین توپولوژی معمول سازه‌های فضاکار با طول دهانه و زاویه مشخص انتخاب شده‌اند و پس از اعمال زلزله به صورت افقی و قائم بر آنها و طراحی بهینه آنها، بهترین نوع توپولوژی از نظر اقتصادی برای کاربرد در بافتار گنبد توصیه شده است. طراحی گنبد با در نظر گرفتن اثرات تکیه‌گاهی در پایه گنبد صورت پذیرفته و با توجه به استفاده از

تکیه گاهها در پایه گنبد طراحی در دو حالت مختلف تکیه گاههای متمرکز و تکیه گاههای پیوسته صورت گرفته است . همچنین خصوصیات ارتعاشی خطی گنبدها در حالتی که از ستون‌های متمرکز یا ستونهای درختی در بافتار آن استفاده شود و یا هنگامی که چگالی تعداد گره‌هاو المان هادر تاشه گنبد تغییر یابد، مورد نقد و بررسی قرار گرفته است .

نهایتاً در فصل پنجم نیروی معادل استاتیکی وارد بر گنبد به عنوان مقدمه‌ای برای تحلیل های غیر خطی وطراحی شبکه های عصبی ارزیابی شده است .

# فصل اول

# آشنائی با سازه های فضاکار

## ۱.۱ تعریف سازه‌های فضاکار

در ابتدا به نظر می‌رسد تعریف سازه‌های فضاکار سهل باشد ولی با کمی دقت در می‌یابیم که تعریف سازه‌های فضا کار چندان هم ساده نیست. همانطوری که می‌دانید همه سازه‌ها و یا بهتر بگوییم اغلب سازه‌هایی که ما سرو کار داریم، رفتارشان سه بعدی است ولی تنها چیزی که باعث می‌شود این سازه‌ها از بقیه سازه‌های دیگر متمایز شود،این است که رفتار سازه‌های فضا کار به هیچ‌وجه در یک صفحه دو بعدی قابل بررسی نیست. در صورتی که سازه‌های دیگر را می‌توان در صفحات دو بعدی مدل کرد و با بررسی آنها در بعد سوم رفتارشان را پیش‌بینی نمود.

## ۱.۲ انواع سازه‌های فضاکار

سازه‌های فضایی ممکن است از لحاظ مصالح، از ورقه‌های چوبی یا بتنی ویا شبکه‌های آهنی ساخته شوند و از لحاظ شکل هندسی، می‌توانند مسطح یا بصورت استوانه‌ای (سازه های فضا کار چلیکی) و یا بصورت گنبدی و دارای سطحی سهمی‌گون و یا ترکیبی ازاین شکل‌ها باشند و هر کدام از موارد گفته شده می‌تواند تک لایه و یا دو لایه باشند.

از سازه های فضایی دو لایه، می‌توان برای پوشش دهانه های خیلی بزرگ استفاده کرد و در عین حال دارای وزن کمتری هستند.

در سازه‌های فضایی تک لایه، اعضاء علاوه بر نیروی محوری برای برش و خمش نیز طراحی می‌شود، ولی در سازه‌های فضایی دو لایه نیروی اعضاء غالباً به صورت نیروی محوری است. بنابراین طراحی آنها ساده‌تر بوده و وزن کمتری نسبت به حالت تک لایه خواهند داشت.

## ۱.۳ سازه های فضایی تک لایه

سازه‌های فضایی تک لایه به صورت متنوع در کارهای مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل(۱۰۱) ساختار دو طرفه (۱) ، سه طرفه (۲) و چهار طرفه (۳) رانشان می‌دهد. معمولترین شبکه تک لایه بصورت شبکه

---

1) two-way
2) three-way
3) four-way

مربعی است که در آن المان‌ها بر هم عمود هستند. حالت دیگر شبکه مورب است که در آنها اعضاءبا دیواره زاویه مایل می‌سازد. این شبکه به علت اینکه دارای صلبیت بیشتری بوده و تغییر شکل آنها کوچک هستند و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عمده فرق بین شبکه مربعی با شبکه مورب در این است که در شبکه مورب طول اجزاء (L) متغییر است بنابر این حتی اگر اعضا مقطع مساوی و سختی خمشی برابر EI داشته باشند، تفاوت سختی EI/L آنها قابل ملاحظه خواهد بود. بدین معنی که در تیرهای کناری سختی بالا بوده و یک تکیه‌گاه نسبی برای اعضای بزرگتر خواهند بود و همین امر باعث کاهش ممان خمشی در حالت شبکه مورب خواهد شد.

با مقایسه ممان خمشی در این دو شبکه ملاحظه می شود که ممان خمشی در شبکه مربعی ازنظر قدر مطلق بزرگتر از ممان در حالت شبکه مورب است.

اینکه شبکه‌های مورب سختی بالایی دارند به این حقیقت بر می‌گردد که در این نوع شبکه‌ها مسیر جاری شدن نیرو با جهت اعضا همخوانی دارندو بنابر این اعضاء در جاهایی قرار دارند که‌نیاز بیشتری به آنهاوجود دارد.

شبکه‌های سه طرفه برای پوشش دهانه‌های بزرگتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های چهارطرفه را می‌توان ، ترکیبی از شبکه مربعی و مورب دانست که در مقایسه با حالتهای قبلی کاربرد کمتری دارند.

شبکه‌های تک لایه برای دهانه‌های تا ۱۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی برای دهانه‌های بزرگتر،از شبکه‌های دو لایه استفاده می‌شود. شبکه‌های دو لایه تا دهانه ۱۰۰ متر از لحاظ اقتصادی به صرفه می‌باشند. شبکه‌های دو لایه از دو لایه موازی تشکیل شده‌اند که این دو لایه به وسیله اعضای موربی به هم متصل می‌شوند.

## ۱.۴ کاربرد سازه های فضائی

- **پوشش دهانه‌های بزرگ**

با افزایش دهانه‌ها در سازه‌های فولادی، معمولاً از پروفیلهای لانه زنبوری، تیر ورقها و خرپاها استفاده می‌شود. ولی برای دهانه‌های بزرگتراز ۳۰ متر ، تقریباً تنها سازه فضائی است که اقتصادی و قابل اجراست و می‌توان با مصرف فولاد کمتر، دهانه را پوشش داد. در این مورد میتوان سازه فضائی را به عنوان خرپای متعامد ویا چند جهته فرض نمود که همانند اقتصادی بودن دال بتنی دوطرفه نسبت به دال یک طرفه، سیستم خرپای

متعامد نیز ،نسبت به خرپای یک طرفه و مسطح اقتصادی ترمی‌باشد. همچنین مسائل پوشش و پرلین گذاری به راحتی قابل حل بوده و هزینه آن کاهش می‌یابد. این دهانه بزرگ می‌تواند پوشش کارخانه‌های صنعتی، آشیانه‌های هواپیما و سالن کشتی‌سازی و ورزشگاهها باشد.

- **پوشش سطوح با اهداف معماری خاص**

آنچه که همیشه موردنظر معماران است خلق شکلهای بدیع و منحنی است که با استفاده از بتن انجام می‌شود. لیکن با توجه به وزن بالا و هزینه زیاد قالب‌بندی ،موانعی برای نیل به این هدف وجود دارد. با سازه‌های فضاکار خیلی راحت می‌توان هر سطح و حجم دلخواهی را پوشش داد. این سطح می‌تواند سطح شکسته، گنبدهای دایروی، بیضی‌گونه، زین اسبی،استوانه‌ای و یا هر شکل دیگری باشد. در این سیستم نیازی به ستونها و مدولار(۱) بودن آنها نیست و خود سازه در کل می تواند پایداری خود را حفظ کند و هر قطعه‌ای می‌تواند بارهای خود را به زمین منتقل کند.

## ۱.۵ مشخصات سازه های فضاکار

سازه‌های فضاکار معمولاً با دو پارامتر اصلی مشخص می‌شوند.

### ۱.۵.۱ بافتار سازه

بافتار (۲) به همبندی اعضاء و نحوهٔ اتصال آنها به همدیگر اطلاق می‌گردد. هر سطحی از سازه فضاکار را می‌توان با شبکه‌های متفاوت تهیه کرد. بافتار، یکی از پارامترهای اصلی در بهینه سازی یک سازه فضائی است ،بطوریکه با تغییر دهانه‌ها و توزیع تکیه‌گاهها، شکل سازه با یک نوع بافتار، نسبت به دیگری مقاومتر و اقتصادی‌تر می‌گردد.

### ۱.۵.۲ اتصالات سازه

مشخصه دیگر یک سازه فضاکار، نوع اتصالات آن است. سازه‌های فضاکار معمولاً به صورت پیش ساخته، ساخته می‌شوند و در محل خود بافته و نصب می‌گردد. بنابراین نوع اتصالات سازه از اهمیت خاصی برخوردار

---

1) Moudular 2) Configuration

است. این اتصالات باید توان انتقال نیروهای چند محوری، شکل‌پذیری مطلوب، راحتی و دقت مناسب را داشته باشد. خود این اتصالات با توجه به نوع نیروها، نوع بافتار و طول دهانه‌ها تغییر می‌کند، مثلاً اتصال مورد کاربرد در یک گنبد تک لایه با نوع اتصال یک سیستم تخت دولایه، متفاوت خواهد بود، چرا که در اولی نوع اتصال باید توان تحمل نیروهای خمشی انتهای اعضاء را داشته باشد ولی در دومی تنها نیروهای وارد به اتصال، نیروی محوری می‌باشد.

## ۱.۶ مزایای سازه‌های فضاکار

سازه‌های فضاکار دارای مزایای زیادی هستند از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **پوشش دهانه‌های خاص معماری**
- **پوشش دهانه‌های بزرگ**
- **سبکی سازه فضاکار:**

باتوجه به استفاده بهینه از اعضاء، تقریباً تمام اعضاء تحت اثر نسبتهای تنش حداکثر خود قرار دارند. بنابراین هر جا تنش کمتر باشد، نوع پروفیل کاهش می‌یابد و تحت ۹۰٪ تنش مجاز خود قرار می‌گیرد . به این دلیل یک سازه فضاکار عموماً سبک است . به عبارت دیگر، زمانی که از یک تیر جهت پوشش یک دهانه استفاده می‌شود، بالهای آن تیر آهن را برای لنگر اوج در وسط دهانه و جان آن تیر آهن را برای برش در تکیه‌گاه طراحی می‌کنند، ولی بنا به مسائل پیش‌ساختگی مجبور به استفاده ازاین جان و بال در کل دهانه هستیم و بنابراین تنش در بالها در تکیه‌گاهها به ۰/۱ مقدار مجاز خود می‌رسد، که سبب افزایش وزن تیر می‌گردد.

این سبکی سازه،باعث پوشش راحت سقف، کاهش بارهای جانبی و نصب آسان آن می‌گردد.

- **شکل پذیری و درجه نامعینی سازه‌های فضاکار:**

سازه فضائی در اکثر بافتارهای خود دارای درجه نامعینی بالائی می‌باشد به همین دلیل باعث رفتار مناسب این سازه‌ها در محدوده غیرخطی می‌گردد. به عبارت دیگر با افزایش بارها، اعضاء سازه با کمانش و یا جاری شدن، یک توزیع مجدد در کل شبکه را بوجود می‌آورند و سازه حتی با از بین رفتن ۱۰ درصد تعداد اعضاء، به توان باربری خود ادامه می‌دهد و عضو به عنوان یک فیوز یا هشدار دهنده عمل می‌کند و نوع شکست کاملاً نرم و قابل پیش‌بینی است.

● **سهولت نصب و بالابردن:**

این سازه‌ها با توجه به مدولار بودن واحدهای تشکیل دهنده وشکل گیری آنها از قطعات کوچک و قابل حمل توسط کارگر، دارای پروسه نصب آسان است.

● **اطمینان از فرآیند تولید:**

با توجه به تولید سازه فضائی در کارخانه و اتصال قسمت‌پیچی آن در کارگاه، اجزای این سازه معمولاً زیرنظر واحدهای کنترل کیفی، کنترل می‌گردند و توسط آزمایشهای تخریبی و غیرمخرب مورد آزمایش قرار می‌گیرند. بنابراین فرآیند تولید این سازه خیلی مطمئن و ایمن است.

## ۱.۷ بافتار سازهٔ فضائی

### ۱.۷.۱ انواع بافتار فضائی:

بافتار سازه فضائی به شکلهای متفاوت پیشنهاد و اجرا شده که در شکلهای (۱.۲)الی (۱.۴) نمونه‌هائی از آنها ارائه شده است این بافتارها را می‌توان براساس تعداد لایه‌ها به تک لایه، دولایه، سه لایه و یا براساس نشیمن‌گاههای آن تقسیم‌بندی کرد.

بافتار سازه‌های فضائی تک لایه به شکلهای مختلف ارائه شده است به غیر از مسائل سازه‌ای، پوشش، سختی و مقاومت سازه‌ها، مسائل مربوط به تیپ‌بندی یکی از مسائل مهم می‌باشد. تعدادی از محققین سعی در پوشش این سازه‌ها با اعضاء هم طول کرده‌اند. آنها حداقل با حدود ۱۵ تا ۲۰ تیپ توانسته‌اند این نوع سازه‌ها را پوشش دهند. تعداد دیگری از محققین سعی در پوشش سازه، با زوایای مساوی در اتصالات کرده‌اند. یعنی خواسته‌اند اتصالات را تیپ کنند و ازاین ره‌آورد شکلهای مختلف پدید آمده است. همچنین سازه‌های دولایه از ترکیب دو لایه تک و یک لایه میانی و یا قطری تشکیل می‌گردد. لایه‌های بالا و پائین می‌تواند نظیر هم و یا از نوع متفاوت انتخاب گردد. مثلاً به عنوان نمونه در سازه گنبدی شکل لایه بالا بصورت مدار نصف‌النهار که مناسب پوشش می‌باشد و لایه پائین به شکل قطری که مناسب توزیع بار و شکل معماری می‌باشد، تشکیل می‌گردد. شکلهای (۱.۳) و (۱.۴) تنوع این بافتارها را در مورد گنبد و استوانه نمایش می‌دهند و معمولاً براساس