١٠٨٨٤٧

۸۷/۱/۱۰۶۶۵۳
۸۷_۱۲_۲۱

دانشگاه ارومیه

بررسی پایداری گنبدهای دولایه فضاکار تحت اثر بار باد

طالب شیرزادی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما :
دکتر محمدرضا شیدایی

دانشکده فنی مهندسی
گروه عمران
۱۳۸۶

۱۳۸۷ /۱۲/ ۲۱

۱۰۸۸۳۷

پایان نامه آقای طالب شیرزادی به تاریخ ۸۶/۱۱/۲۹ شماره مورد پذیرش هیات محترم

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

۱- استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : دکتر رضا شیدائی

۲- استاد مشاور: ــــــــــــــــ

۳- داور خارجی : دکتر سعید دوستی

٤- داور داخلی : آقای دکتر حبیب سعید منش

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر پرویز محمدی

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

حق طبع و نشر محتوی پایان‌نامه برای دانشگاه ارومیه محفوظ می‌باشد

تقدیر و تشکر

با لطف و عنایت پروردگار برگی دیگر از دفتر موفقیت زندگیم ورق خورد و با به پایان رساندن دوره کارشناسی ارشد، موفق گشتم درجهت رسیدن به خواسته‌های درونم، گامی فراتر بردارم. بدون شک، همراهی همسربردبار ، پشتیبانی خانواده و مساعدت دوستان و عزیزانم، پیمایش این راه را بر من بسیار آسان نمود؛ از همه ایشان صمیمانه سپاسگذارم.

از استاد گرامیم، جناب آقای دکتر محمدرضا شیدایی، که با بردباری فراوان ونهایت درایت و ریزبینی، زحمت هدایت و راهنمایی پایان نامهٔ حاضر را به دوش کشیدند و اینجانب در مکتب دانش و اخلاق ایشان بسیار آموختم، کمال تشکر را دارم.

همچنین از اساتید گرامی، آقایان دکتر سعید تاروردیلو، دکتر حبیب سعید متیر، دکتر حسین شوکتی، دکتر میرعلی محمدی، دکتر ایرج میرزایی و دکتر مقصود سلیمانپور کمال تشکر را دارم.

از آقای پروفسور هشیار نوشین، که آشنایی با شخصیت والای ایشان اثر فراوانی در زندگیم داشته است، نیز صمیمانه سپاسگذارم.

همچنین از آقای مهندس کاوه احمدی صوفیوند، که در پیشبرد تحقیق حاضر صمیمانه و با فروتنی مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

از همهٔ دوستان عزیزم مخصوصاً آقایان مهندس عباس ولی‌زاده، مهندس بردیا مرجانی، مهندس مهدی فرازمند، مهندس حسن احمدی، مهندس حامد محله‌ای، مهندس فرخ خالدی، مهندس علی ناصر، مهندس روح الله فارسی مدان، مهندس امیر علیپور، مهندس مهرداد موحدنیا، مهندس سعید موحدی، مهندس رامین بهرامی نژاد، مهندس فخرالدین قهرمانی، مهندس جعفر شاینده، مهندس جعفر واحدی، مهندس احمد عدادی، دوستان و همکلاسیهایم از گروه‌های مهندسی سازه، خاک و پی و مکانیک دانشکدهٔ فنی دانشگاه ارومیه، که در این مدت نهایت لطف را داشتند، کمال تشکر را دارم.

تقدیم به:

همسر مهربان،

پدر دلسوز و مادر فداکارم

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- آشنایی با سازه‌های فضاکار ۱

۱-۲- پایداری شبکه های دولایه فضاکار ۲

۱-۳- اهداف پروژه ٤

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه ٥

فصل دوم: آشنایی باشبکه های فضاکار دولایه و بررسی منابع موجود

۲-۱- مقدمه ٦

۲-۲- انواع سازه های فضاکار ۸

۲-۲-۱ - شبکه های تخت ۸

۲-۲-۲ - شبکه های چیلکی ۹

۲-۲- ۳ - گنبدهای مشبک ۱۰

۲-۳- مصالح مورد استفاده در اعضا و پوشش ۱٤

۲-٤ اتصالات و اعضا ۱٦

۲-٥ اجرای سازه‌های فضاکار ۱۷

۲-٦- رفتارسازه ای سازه های فضاکار ۱۸

۲-٦-۱ مودهای ناپایداری در سازه های فضاکار ۲۱

۲-٦-۲ رده های مختلف پدیده ناپایداری در سازه های فضاکار ۲۲

۲-٦-۲-۱ فروجهش گرهی: ۲۲

۲-٦-۲-۲ کمانش عضوی: ۲٤

۲-٦-۲-۳ خرابی پیشرونده ۲٤

۲-٦-۳ انواع مختلف تحلیل خرابی سازه‌های فضاکار ۲٦

۲-٦-۳-۱ تحلیل ایستایی خرابی با در نظر گرفتن پدیده فروجهش گرهی: ۲٦

۲-٦-۳-۲ تحلیل ایستایی خرابی با در نظر گرفتن پدیده کمانش عضوی: ۲۷

۲-۷ طراحی و تحلیل گنبدهای مشبک ۳۱

۲-۸ بار باد ۳۲

۲-۸-۱ پروفیلهای باد: ۳۷

۲-۸-۲ بررسی مطالعات تونل باد ۳۸

۲-۸-۳ بار باد در آیین‌نامه‌ها: ٤۰

۲-۸-۳-۱ روشهای محاسبه بار باد بر سازه در آیین‌نامه eurocode1991-2-4 : ٤۲

۲-۸-۳-۲ - فاکتور حساسیت سازه به تحریک دینامیکی: ٤۲

۲-۸-۳-۳ - ضرایب بار باد در آیین‌نامه eurocode1991-2-4 : ٤۲

۲-۸-۳-۳-۱- ضریب زبری:..... ٤۲
۲-۸-۳-۳-۲- ضریب توپوگرافی:..... ٤۳
۲-۸-۳-۳-۳- ضریب تغییر سرعت باد:..... ٤۳
۲-۸-۳-٤ - محاسبه بار باد در آیین‌نامه eurocode1991-2-4..... ٤۳
۲-۸-۳-٤-۱- فشار خارجی:..... ٤۳
۲-۸-۳-٤-۲- فشار داخلی:..... ٤٤
۲-۸-۳-٤-۳- نیروی باد:..... ٤٤
۲-۸-۳-٤-٤- نیروی اصطکاک:..... ٤٤
۲-۹ - نوع تحلیل برای تعیین رفتار گنبدهای شبکه ای دولایه..... ٤٤
۲-۹-۱- روش نیوتن-رافسون..... ٤٥
۲-۹-۲- روش طول کمان..... ٤٦
۲-۹-۲-۱- همگرایی..... ٤۹
۲-۱۰- خلاصه و نتیجه‌گیری..... ٤۹

فصل سوم: مطالعه تحلیلی رفتار خرابی گنبدهای دولایه فضاکار تحت اثر بارهای ثقلی و بار باد

۳-۱- مقدمه..... ٥۱
۳-۲- مدل‌سازی عناصر محدود شبکه های دو لایه فضاکار در نرم‌افزار ABAQUS..... ٥۳
۳-۲-۱- مدل‌سازی هندسی..... ٥۳
۳-۲-۲- مدل‌سازی عناصر محدود..... ٥۳
۳-۲-۳- المانهای مورد استفاده در مدل‌سازی..... ٥٤
۳-۲-٤- رفتار عضو فشاری..... ٥٤
۳-۲-٤-۱- المان frame element..... ٥٥
۳-۲-٤-۲- رفتار frame section..... ٥٦
۳-۲-٤-۲-۱- تعریف رفتار محوری عضو..... ٥۷
۳-۲-٤-۲-۲-تعریفرفتار محوری الاستیک خطی..... ٥۷
۳-۲-٤-۲-۳- تعریف کمانش ،پس کمانش و رفتار پلاستیک محوری (پاسخ کمانشی عضو)..... ٥۷
۳-۳ ارزیابی صحت مدل‌سازی..... ٥۸
۳-۳-۱- دقت سنجی در تعیین رفتار عضو فشاری..... ٥۹
۳-۳-۲ دقت سنجی در تعیین رفتار گنبد با گنبد ساده..... ٦۰
۳-٤- مدل‌سازی گنبدهای دو لایه مورد مطالعه..... ٦۲
۳-٤-۱- مشخصات هندسی مدل ها..... ٦۲
۳-٤-۲- مدل‌سازی هندسی..... ٦۳
۳-٤-۳-طراحی مدلها..... ٦۳

۳-٤-٤- بارگذاری سازه..... ٦٣
۳-٤-٤-۱- بار مرده طراحی ٦٥
۳-٤-٤-۲ - بار طراحی برف..... ٦٥
۳-٤-٤-۳- بار طراحی باد..... ٦٦
۳-٤-٥- مقایسه وزن سه مدل گنبد..... ٦٩
۳-٥- مکانیزم‌های مورد مطالعه و پارامترهای مورد بررسی..... ۷۰
۳-٦- بررسی پایداری مدل ها تحت اثر بارهای ثقلی..... ۷۱
۳-٦-۱ - مقایسه رفتار مدلها و نحوه گسترش خرابی تحت اثر بارهای ثقلی..... ۷۲
۳-۷- بررسی پایداری مدلها تحت اثر بار باد..... ۷۷
۳-۷-۱- مقایسه رفتار پایداری مدلها و نحوه گسترش خرابی تحت اثر بار باد..... ۷۸
۳-۷-۲ بررسی واکنشهای تکیه گاهی تحت اثر بار باد..... ۸٥
۳-۸- نتیجه‌گیری:..... ۸۸

فصل چهارم: نتایج

٤-۱- نتیجه‌گیری..... ۹۱
٤-۲- توصیه‌های طراحی..... ۹۲
٤ -۳-پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۹۳

پیوست‌ها

پیوست I : : برنامه formian برای ایجاد هندسه مدل h12..... ۹۷
پیوست II : فایل متنی برنامه محاسبه بار باد در گره‌های لایه بالای مدل h12 به زبان pascal..... ۹۸
پیوست III : خلاصه فایل متنی مربوط به مدل h12 در نرم‌افزار ABAQUS..... ۱۰۳

فهرست شکل‌ها و جداول

شکل‌ها:

شکل (۲-۱): نمونه‌هایی از شبکه‌های تخت دولایه[۱]..... ۹

شکل (۲-۲): انواع متداول شبکه‌های چلیکی[۱]..... ۹

شکل (۲-۳): انواع گنبدها [۱]..... ۱۱

شکل (۲-٤): نمونه‌های ساخته شده گنبدهای فضاکار با کاربردهای متنوع [۱و۳و٤]..... ۱۳

شکل (۲-۵): انواع رایج پوشانه شبکه‌های دولایه فضاکار [٤]..... ۱٤

شکل (۲-٦): نمونه اتصالات اجرا شده در شبکه‌های دولایه فضاکار [٤]..... ۱٦

شکل (۲-۷): نمونه‌ای رایج از جزئیات اجرایی اتصالات پوشانه به شبکه دو لایه[٤]..... ۱۷

شکل (۲-۸): جزئیات اجرایی تکیه‌گاه یک گنبد دو لایه فضاکار[٤]..... ۱۸

شکل (۲-۹): انواع مختلف ناپایداری که در سازه‌ها رخ می‌دهند [٦]..... ۲۰

شکل (۲-۱۰): مودهای ناپایداری در سازه‌های فضاکار [۸]..... ۲۱

شکل (۲-۱۱): پدیده فروجهش دینامیکی [۸]..... ۲۳

شکل (۲-۱۲): فروجهش دینامیکی در ناپایداری نقطه دو شاخگی متقارن ناپایدار[٦]..... ۲۳

شکل (۲-۱۳): خرابی پیشرونده [۸]..... ۲۵

شکل (۲-۱٤): روشهای خطی سازی پاسخ عضو [٦]..... ۲۸

شکل (۲-۱۵): سه مشخصه پاسخ سازه های فضاکار دو لایه ناشی از اثرات رفتار اعضای فشاری [۹]..... ۳۰

شکل (۲-۱٦) : توزیع ضریب فشار بر روی سطح گنبد بدست آمده از تونل باد [۱۰]..... ۳۳

شکل (۲-۱۷): هندسه مدلهای تونل باد [۱۱]..... ۳۵

شکل (۲-۱۸): توزیع تنش محوری در هر عضو در لحظه‌ای که هر کدام از پاسخهای a تا d حداکثر می‌شود: [۱۱]..... ۳٦

شکل (۲-۱۹):توزیع تنش خمشی در هر عضو در لحظه‌ای که هر کدام از پاسخهای a تا d حداکثر می‌شود: [۱۱]..... ۳۷

شکل (۲-۲۰) : ضریب فشار باد بر روی گنبد نیمکره با تکیه‌گاه استوانه‌ای (A.R. = 6/24) [۱۲]..... ۳۹

شکل (۲-۲۱): ضریب فشار باد بر روی گنبد نیمکره با تکیه‌گاه استوانه‌ای (A.R. = 3/12) [۱۲]..... ۳۹

شکل (۲-۲۲): ضریب فشار بر روی گنبد کروی با تکیه‌گاه استوانه‌ای[۱۲]..... ٤۰

شکل (۲-۲۳): ضریب فشار بر روی گنبد نیمکره با تکیه‌گاه استوانه‌ای [۱۲]..... ٤۰

شکل (۲-۲٤): ضریب فشار بر روی گنبد با تکیه‌گاه استوانه‌ای با پوشش تخته چندلا (plywood) براساس رابطه(۲-۲)[۱۲]..... ٤۱

شکل (۲-۲۵): ضریب فشار بر روی گنبد با تکیه‌گاه استوانه‌ای با پوشش تخته چندلا (plexiglass) بر اساس رابطه (۲-۲) [۱۲]..... ٤۱

شکل(۲-۲٦): روش نیوتن – رافسون[۲۰]..... ٤٦

شکل(۲-۲۷): روش نموی نیوتن- رافسون[۲۰]..... ٤٦

شکل(۲-۲۸): روش نیوتن- رافسون اصلاح شده[۲۰]..... ٤۷

شکل(۲-۲۹): روش طول کمان[۲۰]..... ٤۸

شکل۲-۱۳- روشهای خطی سازی پاسخ عضو- تکراری..... ۵۵

شکل (۳-۱): پوش پاسخ کمانشی محوری پیش فرض(a) و در این تحقیق (b)[۲۱]..... ۵۷

شکل (۳-۲): رفتار کمانشی و پس‌کمانشی خطی‌سازی شده یا المان frame section در عضو اول..... ۵۹

شکل (۳-۳): رفتار کمانشی و پس کمانشی خطی سازی شده یا المان frame section در عضو دوم..... ٦۰

شکل (۳-٤): مشخصات سازه گنبد ساده جهت ارزیابی دقت نرم افزار [۸]..... ٦١
شکل (۳-٥): نمودار بار- تغییرمکان رأس گنبد ساده [۸]..... ٦١
شکل (۳-٦): مقایسه نمودار بار- تغییرمکان رأس گنبد ساده شکل (۳-٤)..... ٦٢
شکل (۳-۷): مشخصات مدلها و دسته بندی اعضا..... ٦٤
شکل (۳-۸): شماره‌گذاری گره‌های لایه بالا..... ٦٦
شکل (۳-۹): بار باد..... ٦٨
شکل (۳-۱۰): بارگذاری تناسبی با پاسخ ناپایدار در روش modified riks [۲۱]..... ۷۱
شکل (۳-۱۱): کانتور برآیند تغییرمکان مدل h12 تحت اثر بارهای ثقلی..... ۷۲
شکل (۳-۱۲): کانتور برآیند تغییرمکان مدل h7 تحت اثر بارهای ثقلی..... ۷۲
شکل (۳-۱۳): کانتور برآیند تغییرمکان مدل h4 تحت اثر بارهای ثقلی..... ۷۳
شکل (۳-۱٤): موقعیت اعضای کمانش یافته در مدلها تحت اثر بارهای ثقلی ۷۳
شکل (۳-۱٥): مقایسه نمودار تغییرمکان قائم - ضریب بار مدلها برای گره بالایی (رأس گنبد) تحت اثر بارهای
ثقلی ■ و● علائم به ترتیب کمانش دسته‌های اول و دوم را نشان می‌دهند..... ۷٥

شکل (۳-۱٦): موقعیت اعضای کمانش یافته و کانتور کرنشها تحت اثر بارهای ثقلی برای مدل h12 در آستانه خرابی..... ۷٦
شکل (۳-۱۷): موقعیت اعضای کمانش یافته و کانتور کرنشها تحت اثر بارهای ثقلی برای مدل h7 در آستانه خرابی..... ۷٦
شکل (۳-۱۸): موقعیت اعضای کمانش یافته و کانتور کرنشها تحت بارهای ثقلی برای مدل h4 در آستانه خرابی..... ۷۷
شکل (۳-۱۹): موقعیت اعضای کمانش یافته و کانتور کرنش عضوی تحت اثر بار باد برای مدل h12 در آستانه
خرابی ۷۹
شکل (۳-۲۰): موقعیت اعضای کمانش یافته و کانتور کرنش عضوی تحت بار باد برای مدل h7 در آستانه خرابی..... ۸۰
شکل (۳-۲۱): موقعیت اعضای کمانش یافته و کانتور کرنش عضوی تحت اثر بار باد برای مدل h4 در آستانه خرابی..... ۸۱
شکل (۳-۲۲): کانتور برآیند تغییرمکان برای مدل h12 تحت اثر بار باد درآستانه خرابی..... ۸۱
شکل (۳-۲۳): کانتور برآیند تغییرمکان برای مدل h7 تحت اثر بار باد درآستانه خرابی..... ۸۲
شکل (۳-۲٤): کانتور برآیند تغییرمکان برای مدل h4 تحت اثر بار باد درآستانه خرابی..... ۸۲
شکل (۳-۲٥): نمودار مؤلفه‌های تغییرمکان- ضریب بار باد برای گره ۳٦ در مدل h12 که دارای حداکثر تغییرمکان است..... ۸۳
شکل (۳-۲٦): نمودار مؤلفه‌های تغییرمکان- ضریب بار باد برای گره۹ در مدل h7 که دارای حداکثر تغییرمکان است..... ۸۳
شکل (۳-۲۷): نمودار مؤلفه‌های تغییرمکان- ضریب بار باد برای گره۱٥۱در مدل h4 که دارای حداکثر تغییرمکان است..... ۸٤
شکل (۳-۲۸): مقایسه نمودار تغییرمکان برآیند- ضریب بار مدلها برای گرهی که حداکثر تغییرمکان را دارد تحت
اثر بار باد علائم ■ و● و▲ و□ به ترتیب کمانش دسته‌های اول، دوم، سوم و چهارم را نشان می‌دهند..... ۸٥
شکل (۳-۲۹): شماره گذاری و موقعیت تکیه‌گاهها (برای تمامی مدلها یکسان است)..... ۸٦
شکل (۳-۳۰): نمودار تغییرات مؤلفه‌های عکس العمل تکیه‌گاهی- ضریب بار باد در تکیه‌گاه ۱٦٦ برای مدل h12
(که دارای حداکثر واکنش تکیه‌گاهی است)..... ۸٦
شکل (۳-۳۱): نمودار تغییرات مؤلفه‌های عکس العمل تکیه‌گاهی- ضریب بار باد در تکیه‌گاه ۱٦٦ برای مدل h7
(که دارای حداکثر واکنش تکیه‌گاهی است)..... ۸۷
شکل (۳-۳۲): نمودار تغییرات مؤلفه‌های عکس العمل تکیه‌گاهی- ضریب بار باد در تکیه‌گاه ۱٦٦ برای مدل h4
(که دارای حداکثر واکنش تکیه‌گاهی است)..... ۸۷
شکل (۳-۳۳): نمودار مقایسه تغییرات مؤلفه قائم عکس العمل تکیه‌گاهی- ضریب بار باد در تکیه‌گاه ۱٦٦
(که دارای حداکثر واکنش تکیه‌گاهی است) ۸۸

جداول:

جدول (۳-۱): بار محاسباتی برف در گره‌های لایه بالا قطاع اول (بارها برحسب نیوتن است)..... ٦٦
جدول (۳-۲): مقادیر محاسبه شده بار باد برحسب نیوتن، در گره‌های لایه بالا برای مدل h12..... ٦٧
جدول (۳-۳): مشخصات مقاطع طراحی شده مدل h12..... ٦٨
جدول (۳-٤): مشخصات مقاطع طراحی شده مدل h7..... ٦٩
جدول (۳-٥): مشخصات مقاطع طراحی شده مدل h4..... ٦٩
جدول (۳-٦): مقایسه مشخصات کلی مدلها ٧٠
جدول (۳-۷) : ترتیب کمانش اعضا در مدلها تحت اثر بارهای ثقلی..... ٧٤
.جدول (۳-۸) : ترتیب کمانش اعضا در مدلها تحت اثر بار باد..... ٧٩

چکیده:

سازه‌های فضاکار برای پوشش فضاهای وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزایای این سازه‌ها می‌توان به وزن کم، سختی بالا، راحتی حمل ونقل، راحتی نصب و زیبایی جنبه معماری آنها اشاره کرد. با توجه به سبکی این سازه‌ها و سطح وسیع بارگیرشان، بار باد و بویژه اثر مکشی آن در بخش عمده‌ای از سطح گنبد، معمولاً بر رفتار خرابی گنبدهای شبکه‌ای دولایه اثر تعیین‌کننده دارد. بررسی منابع موجود نشان می‌دهد مطالعات کافی در زمینه رفتار خرابی این سازه‌ها در مراحل پس از کمانش اعضای فشاری و تسلیم اعضای کششی گزارش نشده است؛ و از اینرو تعیین حداکثر ظرفیت باربری و بررسی رفتار خرابی این سازه‌ها تحت اثر بار باد، از اهمیت زیادی برخوردار است. گنبدهای شبکه‌ای دولایه، تحت اثر بارهای وارده اغلب رفتار غیرخطی هندسی شدیدی از خود نشان می‌دهند، همچنین، به دلیل امکان وقوع پلاستیسیته در اعضا، در تحلیل این سازه‌ها عامل‌های غیرخطی هندسی و مصالح لازم است در نظر گرفته شود.

در این تحقیق، به ازای نسبت‌های مختلف عمق به دهانه، رفتار خرابی گنبدهای دولایه فضاکار، با مقادیر متداول ناکاملیهای اولیه و لاغری اعضای فشاری، مورد مطالعه قرار گرفته است. رفتار پایداری استاتیکی چندین مدل گنبد دو لایه ازنوع دیامتیک، تحت اثر بارهای ثقلی و باد، با استفاده از روش المان محدود بررسی شده است. بار باد طبق آیین‌نامه eurocode۱ محاسبه شده و به گره های بالایی گنبد اعمال شده است. با انجام تحلیلهای غیرخطی هندسی و مصالح، رفتار سازه تحت اثر بارهای ثقلی و باد تا مرحله خرابی کلی تعیین شده است. در این مطالعه همچنین اعضای بحرانی سازه تحت اثر بارگذاریهای ثقلی و بار باد تعیین شده‌اند و اثرات مکشی بار باد بر روی واکنشهای تکیه‌گاهی بررسی شده است. در پایان نیز توصیه‌هایی برای انتخاب مناسب نسبت عمق به دهانه در طراحی گنبدهای دو لایه فضاکار و مقاوم‌سازی آنها در برابر بار باد ارائه شده است. در این مطالعه نرم افزار المان محدود ABAQUS، به دلیل دارا بودن کتابخانه‌ای وسیع از المان‌ها و توانایی تحلیل‌های غیرخطی انتخاب شده است.

نتایج بررسیها در محدوده این تحقیقات نشان می‌دهد که نسبت عمق به دهانه متوسط (حدود ۰/۱۲)، برای گنبدهای فضاکار دولایه، می‌تواند یک نسبت مطلوب باشد. این نسبت علاوه بر اقتصادی بودن، عملکرد سازه‌ای مطلوبی نیز تحت اثر بارهای ثقلی و باد از خود نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصله در محدوده مورد بررسی نشان می‌دهند که در طراحی فنداسیون شبکه‌های دولایه فضاکار و محاسبات تکیه‌گاهها می‌بایست توجه ویژه ای به اثر مکشی بار باد نموده و برای جلوگیری از کنده شدن تکیه‌گاه و به تبع آن کنده‌شدن سازه تمهیداتی را در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: بارباد، پایداری،گنبد دولایه، سازه های فضاکار، المان محدود

فصل اول

مقدمه

۱-۱- آشنایی با سازه‌های فضاکار[1]

سازه‌ای که اصولاً رفتار سه بعدی داشته باشد، به طوری‌که به هیچ ترتیبی نتوان رفتار کلی آن را با استفاده از یک یا چند مجموعه مستقل دوبعدی تقریب زد، سازه فضاکار نامیده می‌شود. با این تعریف طیف وسیعی از سازه‌ها یعنی حتی برخی از قوس‌ها و گنبدهای آجری گذشته نیز جزو سازه‌های فضاکار محسوب می‌شوند، اما در اینجا منظور سازه‌های سه بعدی خاص هستند که معمولاً دارای اعضای مستقیم با اتصالات صلب یا مفصلی می‌باشند.

امروزه با توجه به استفاده روز افزون از سازهای فضاکار و با بوجود آمدن نرم‌افزارهای پیشرفته تحلیل و طراحی در عرصه مهندسی عمران (سازه)، نوآوری‌هایی در زمینه طراحی و ساخت سازه‌های فضاکار صورت گرفته به نحوی که امروزه در دنیا شاهد محبوبیت روزافزون این نوع سازه‌ها هستیم و این محبوبیت ناشی از قابلیت‌های منحصر بفرد این سازه‌ها است که عبارت است از پوشش دهانه های بزرگ با جلوه های زیبا، وزن کم، سادگی تولید، سرعت نصب و... است. از طرفی با پیشرفت علم و تکنولوژی نیازها و خواسته های جدیدی در زمینه مهندسی سازه پدید آمده است، عامل زمان اهمیت بیشتری یافته و باعث روی آوردن به سازه‌های پیش ساخته شده است، همچنین با افزایش جمعیت، جوامع بشری علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون حضور ستون های میانی از جمله مراکز خرید و سوپرمارکت‌ها، مساجد، پل ها و سازه‌هایی که در مدار زمین قرار می‌گیرند نظیر بشقاب مخابراتی اشاره کرد. سازه‌های فضاکار بدلیل اشکال بسیار متنوع و جالب از جمله گنبدی، چلیکی، قوسی، شبکه‌ای مسطح دو یا چند لایه و .... دارای جذابیت فراوان هستند.[۱]

در این راستا از اوایل قرن حاضر تعدادی از متخصصین مجذوب قابلیت‌های منحصر بفرد سازه‌های فضاکار گشته و پاسخ بسیاری از نیازهای جدید را در این سازه‌ها جسته‌اند و البته به نتایج بسیار مثبتی نیز دست یافته‌اند. با انتشار این نتایج روز به روز این عرصه با اقبال بیشتری مواجه گردید به گونه‌ای که با گذشت چندین دهه هنوز هم مطالعه سازه‌های فضاکار در کانون توجه متخصصین و دانشجویان قرار دارد. در این تحقیق منظور از عبارت سازه فضاکار سیستم های اسکلت فلزی بوده که از بافت تعداد زیادی المان یا مدول با شکل‌های استاندارد به یکدیگر تشکیل می‌شوند و در نهایت یک سیستم سبک و با صلبیت زیاد را ایجاد می‌کنند. سازه‌های فضاکار در اشکال بسیار

---

[1]-Space Structures

متنوعی ساخته می‌شوند که مهمترین آنها عبارتند از[۲]: شبکه های مسطح دو یا چند لایه، چلیک ها، گنبدها و قوس‌ها. علاوه بر این، سازه‌های فضاکار دارای بافتارهای متنوعی نیز می‌باشند، بدین ترتیب که با تغییر در آرایش المان‌ها می‌توان بافتارهای جدیدی ایجاد کرد و بدیهی است که کارایی هر بافتار باید در مقایسه با بافتارهای دیگر سنجیده شود. مثالهای متعددی از سازه‌های فضاکاری که در دنیا و ایران ساخته شده است وجود دارد ؛ استادیوم‌های ورزشی، مراکز فرهنگی، سالن‌های اجتماعات، مراکز خرید، ایستگاه‌های قطار، آشیانه‌های هواپیماها، مراکز تفریحی، برجهای رادیویی و .....

ساخت سازه‌های فضاکار[1] به صورت مدرن و صنعتی آن دارای سابقه‌ای در حدود شصت سال است و در خلال چهار، پنج دهه گذشته سازه‌های فضاکار متعدد بزرگ و بسیاری در کشورهای صنعتی ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

سازه‌های فضاکار از جملهٔ سازه‌هایی می‌باشند که دارای عملکرد سه بعدی هستند. به عبارت دیگر مجموعه بافتار[2]، بارهای وارده، جابجایی‌ها و... همگی در فضای سه بعدی قابل بیان هستند. این سازه‌ها بسته به نوع المان‌های تشکیل دهندهٔ آنها و نیز نوع اتصال عضوها به یکدیگر، به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند[۱]:

۱. سازه‌های فضاکار مشبک که دارای المانهای منفصل می‌باشند؛
۲. سازه‌های فضاکار پیوسته نظیر دال‌ها و پوسته‌ها که دارای المانهای پیوسته می‌باشند؛
۳. سازه‌های فضاکار ترکیبی که ترکیبی از سازه‌های فضاکار پیوسته و مشبک می‌باشند.

در این پروژه سازه‌های فضاکار دولایه از گروه سازه‌های فضاکار مشبک با المانهای منفصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این سازه‌ها به خاطر سبکی و در عین حال سختی بالایشان، می‌توانند برای پوشش سطوح بزرگ استفاده شوند. از مزایای این سازه‌ها وزن کم، سختی بالا، راحتی حمل و نقل، راحتی نصب و زیبایی از جنبه معماری می‌باشد.

تعیین رفتار ناپایداری گنبدها مشکلات قابل ملاحظه‌ای را دارد، دانش امروزه فقط به طور تقریبی این معیار بسیار مهم را ارزیابی می‌کند. هر چند که مسئله کمانش اعضای منفرد به صورت گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و منتشر شده است، سایر انواع کمانش و به ویژه به اصطلاح فروجهش کمانشی[3] امروزه در حیطه توجه کارهای تحقیقاتی محققان بیشتر دانشگاههای کشورهای مختلف قرار گرفته است. متاسفانه بیشتر نتایج بر پایه شکلهای خاص و وضعیت‌های تکیه‌گاهی در حالت خاص قرار دارند و به سادگی نمی‌توان برای طراحی‌های دیگر نتیجه‌گیری و برون یابی کرد [۲و۶].

۱-۲- پایداری[4] شبکه‌های دولایه فضاکار

مطالعه پایداری سازه‌ها برای تعیین حداکثر ظرفیت باربری سازه، شکل پذیری سازه و... به منظور جلوگیری از خرابی آن از اهمیت زیادی برخوردار است.

تنوع زیاد بافتارهای این سازه‌ها، لزوم انجام مطالعات پایداری برای بافتارهای مختلف سازه‌های فضاکار را که دارای رفتارهای متفاوتی می‌باشند، ایجاب می‌کند.

---

[1]- Space structures

[3] - snap-through buckling
[4] -Stability

با توجه به مطالب مطرح شده فوق و کاربردهای رو به افزون سازه‌های فضاکار و بویژه شبکه‌های دولایه فضاکار، لزوم مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود.

در شبکه‌های دولایه فضاکار، رفتار اعضا تأثیر اساسی در رفتار کلی سازه دارد. چرا که در این سازه‌ها، اعضا تحت نیروهای محوری قرار گرفته و امکان خرابی عضو در اثر گسیختگی عضوهای کششی و یا کمانش عضوهای فشاری وجود دارد.

با خرابی یک عضو سازه‌ای، رفتار آن عضو از مشخصه‌های پس بحرانی تبعیت می‌کند که ممکن است این حالت ناپایداری محلی، موجب خرابی بخش کوچکی از سازه گردد. یا به عبارت دیگر خرابی موضعی باشد و یا اینکه انتشار یافته و به بقیه قسمتهای سازه گسترش یابد، یعنی خرابی پیشرونده باشد. در مبحث تحلیل ایستایی خرابی با در نظر گرفتن پدیده کمانش عضوی، مکانیزم خرابی به مشخصه فرو ریزی بار در ناحیه پس کمانشی بستگی دارد. بطوریکه اگر سختی پس کمانشی منفی عضو فشاری بزرگ باشد (یعنی فروریزی بار سریع باشد) و عضوهای مجاور عضو کمانش یافته ضعیف باشند، در این حالت پس از باز توزیع نیرو، عضوهای فشاری شاید نتوانند بارهای اضافی را تحمل نمایند؛ در نتیجه همراه با کمانش، باز توزیع مجدد نیروصورت می‌گیرد. در این صورت، خرابی پیشرونده در سازه منتشر خواهد شد. اگر مشخصه فرو ریزی اعضای فشاری سریع و ناگهانی نباشد، به هنگام فرایند بازتوزیع نیرو، سایر اعضا می‌توانند بارهای باز توزیع شده را تحمل و جذب نمایند. لذا حالت تعادل سازه پایدار می‌باشد و سازه می‌تواند بارهای اضافی دیگر را تحمل نماید تا سایر اعضا کمانش کنند و خرابی کلی پیش آید[٦].

تعیین رفتار ناپایداری گنبدها مشکلات قابل ملاحظه ای را دارد، دانش امروزه فقط به طور تقریبی این معیار بسیار مهم را ارزیابی می‌کند. هر چند که مسئله کمانش اعضای منفرد به صورت گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و منتشر شده است ولی سایر انواع کمانش و به ویژه به اصطلاح فروجهش کمانشی[1]، امروزه در حیطه توجه کارهای تحقیقاتی محققان بیشتر دانشگاههای کشورهای مختلف قرار گرفته است. متاسفانه بیشتر نتایج بر پایه شکلهای خاص و وضعیت‌های تکیه‌گاهی در حالت خاص قرار دارند و به سادگی نمی‌توان برای طراحی‌های دیگر نتیجه‌گیری و برون‌یابی کرد. [٢]

بارهای ناشی از وزش باد، تابعی از سرعت باد، دانسیته هوا، محلی که ساختمان در آن بنا شده، ارتفاع، صافی سطح زمین منطقه، توپوگرافی منطقه و شکل سازه می‌باشند. به خاطر سبکی سازه‌های فضاکار نسبت به سایر انواع سازه‌ها و معمولا بزرگ بودن سطوحی که با این نوع سازه‌ها پوشانده می‌شود، بار باد در طراحی این سازه‌ها تعیین کننده می‌باشد. بارهای ناشی از وزش باد ممکن است باعث پدیده **flutter** و ارتعاش در اجزای سازه شوند. برای تعیین احتمال وقوع پدیده رزنانس و تعیین راههای کاهش احتمال وقوع پدیده رزنانس نیاز به انجام تحلیل دینامیکی سیستم می‌باشد.

جنبه تصادفی بار باد ایجاب می‌کند که تئوری ارتعاشات تصادفی در تعیین رفتار سازه‌ها اعمال شود. لازم به ذکر است که با پیشرفت علم سازه و با وجود وسعت پلان سازه‌های فضاکار و گنبدهای دولایه، لزوم انجام آزمایش تونل باد و انجام مطالعات اتمسفریک باد، بسیار لازم می‌نماید، چرا که این سازه‌ها به بارهای دینامیکی حساس می‌باشند.

---

[1] - snap-through buckling

با توجه به مطالب اشاره شدهٔ فوق، نتیجه گرفته می‌شود که مطالعات بیشتری در زمینهٔ رفتار پایداری شبکه-های دولایه فضاکار تحت انواع مختلف بارگذاری‌های ممکن باید صورت گیرد، یکی از انواع مهم بارگذاری که با توجه به سطح وسیع و وزن کم این سازه‌ها، در طراحی سازه می‌تواند نقش اساسی ایفا نماید بار باد است و از اینروست که در تحقیق حاضر، رفتار پایداری گنبدهای فضاکار دولایه تحت نیروی جانبی باد مورد بررسی و توجه قرار گرفته است.

۱-۳- اهداف پروژه

در این پایان‌نامه سعی شده است به سؤالات زیر در خصوص پایداری استاتیکی شبکه‌های دولایه فضاکار از نوع گنبدی پاسخ داده شود:

۱. نسبت عمق به دهانه چه نقشی در رفتار پایداری این سازه‌ها دارد؟
۲. با تغییر دادن نسبت عمق به دهانه، چه تغییراتی در رفتار گنبدهای دولایه فضاکار تحت اثر بارهای افزاینده ثقلی و بار باد رخ می‌دهد؟
۳. با بارگذاری گنبدهای دولایه فضاکار تا مرحله خرابی کلی، چه نوع خرابی‌هایی در سازه رخ می‌دهد؟
٤. در طراحی گنبدهای دولایه فضاکار، نسبت عمق به دهانه مناسب طراحی در چه حدودی می‌باشد؟
۵. چه اعضایی نقش اساسی در ظرفیت باربری گنبدهای فضاکار دولایه، با مکانیزم کمانش عضوهای فشاری و مکانیزم تسلیم عضوهای کششی، تحت اثر بار باد را دارند؟
٦. برای مقاوم‌سازی گنبدهای دولایه فضاکار در برابر بار باد چه تدابیری را می‌توان اندیشید؟
۷. نسبت عمق به دهانه در سختی سازه در برابر بارهای ثقلی و بار باد چه نقشی دارد؟
۸. اثر مکشی بار باد بر واکنشهای تکیه‌گاهی به چه شکلی است؟
۹. روند گسترش خرابی و موقعیت خرابی‌های گنبدهای دو لایه فضاکار تحت اثر بار باد و بارهای ثقلی چه تفاوتهایی دارند.

با توجه به ماهیت خاص سازه‌های فضاکار و نیز با توجه به دلایلی که گنبدهای دولایه فضاکار را از دیگر سازه‌های فضاکار متمایز می‌نماید، لزوم تحقیق بیشتر در زمینه پایداری و رفتار خرابی این سازه‌ها تحت اثر بارهای ثقلی، بارهای دینامیکی و بار باد، احساس می‌شود. گنبدهای دولایه فضاکار را می‌توان کاربرد موفق سازه‌های فضاکار دانست. تا به امروز چندین گنبد دولایه فضاکار در دنیا طراحی و ساخته شده است. رفتار گنبدهای ساخته شده در محدوده بارهای خدمت، توسط طراحان تعیین شده است و جای دارد مطالعاتی برروی رفتار پایداری این سازه‌ها تا مرحله خرابی کلی، تحت اثر بارهای ثقلی و بار باد انجام گیرد. لذا در این پایان نامه سعی بر این است که با معرفی این سازه‌ها، پایداری استاتیکی گنبدهای دولایه فضاکار، با در نظر گرفتن حالات غیر خطی هندسی و مصالح، مورد مطالعه قرار گیرد.

بعد از انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی روی مدل سازه‌ای مورد نظر، رفتار بار- تغییر مکان آن تحت اثر بارهای ثقلی و بار باد، به ازای پارامتر مهم و مؤثر نسبت عمق به دهانه تعیین می‌شود و تأثیر مقادیر مختلف این پارامتر روی رفتار پایداری سیستم بررسی می‌شود. همچنین انواع خرابی ممکن در این بافتار معرفی می‌شود و در

نهایت توصیه‌های لازم جهت طراحی بهینهٔ این نوع گنبد بیان می‌شود. بطور خلاصه مراحل انجام تحقیق در این پایان نامه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. مدل‌سازی عناصر محدود گنبدهای دولایه فضاکار
۲. تحلیل پایداری استاتیکی گنبدهای دولایه فضاکار
۳. ارائهٔ نتایج مربوط به تأثیر پارامترهای مؤثر در پایداری استاتیکی این سازه
٤. تعیین مکانیزم‌های مختلف خرابی شامل خرابی موضعی و خرابی کلی
۵. ارائه نتایج مربوط به اثرات مکشی بار باد بر واکنشهای تکیه‌گاهی
٦. ارائهٔ توصیه‌های طراحی برای سازه مورد بررسی

۱-٤- رئوس مطالب پایان نامه

مطالب این پایان نامه در چهار فصل تنظیم شده است. در فصل اول همانگونه که ملاحظه شد به عنوان مقدمهٔ کار، به معرفی اجمالی شبکه‌های دولایه فضاکار و بویژه گنبدهای دولایه و توضیح اهداف و مراحل انجام این تحقیق پرداخته شده است.

در فصل دوم به آشنایی با شبکه‌های فضاکار دولایه و بررسی منابع موجود پرداخته شده است. در این فصل مطالعات استاتیکی و دینامیکی موجود در زمینه رفتار پایداری و بهینه‌سازی آنها مورد بررسی اجمالی قرار گرفته و گزیده‌ای از این تحقیقات و نتایج آنها آورده شده است. همچنین در این فصل مطالعات انجام گرفته در رابطه با بار باد، نحوه محاسبه ومدلسازی آن و نیز کارهای تحلیلی و آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی گنبدها بررسی شده است.

در فصل سوم مطالعه تحلیلی رفتار خرابی گنبدهای دولایه فضاکار تحت اثر بارهای ثقلی و بار باد بررسی شده است. در این فصل رفتار عضو فشاری مورد بررسی قرار گرفته و برای اطمینان از صحت مدل‌سازی انجام گرفته بر روی سیستم، یک نمونه گنبد مشبک مدلسازی و تحلیل شده و نتایج آن با نتایج تحقیقات قبلی مقایسه شده است که تطابق خوبی میان نتایج حاصل از مدل‌سازی عناصر محدود توسط **ABAQUS** در این پایان نامه، و نتایج حاصل از تحقیقات معتبر موجود، دیده می‌شود. در ادامه این فصل مدل‌سازی المان محدود گنبدهای دولایه فضاکار توسط نرم‌افزار عناصر محدود **ABAQUS** معرفی شده است. ابتدا نحوهٔ ایجاد ساختار هندسی این مدل سازه‌ای آورده شده و سپس نوع تحلیل‌هایی که باید بر روی سازه انجام شود، معرفی شده است. در ادامه نتایج حاصل از تحلیل‌ها آورده شده است و تأثیر پارامتر نسبت عمق به دهانه روی ظرفیت باربری سیستم، سختی سیستم و مکانیزم‌های مختلف خرابی سیستم بررسی شده است. همچنین در ادامه این فصل، روند گسترش خرابی و اثرات مکشی بار باد بر واکنش‌های تکیه‌گاهی بررسی شده و در نهایت توصیه‌های طراحی برای دستیابی به رفتاری مطلوب در بافتار مورد مطالعه، ارائه شده است.

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

فصل دوم

آشنایی باشبکه‌های فضاکار دولایه و بررسی منابع موجود

۲-۱- مقدمه

اصطلاح سازه‌های "فضاکار" یا "فضایی" برای اکثر مهندسان عمران، سازه‌های مشبک با اتصالات، اعضا و هندسه‌های خاص متفاوت از اسکلت ساختمان‌های معمولی شهری را تداعی می‌کند. با توجه به اینکه تعریف‌های مهندسی حتی اگر ریشه ریاضی هم داشته باشد، مثل تعاریف ریاضی " محکم" و دقیق نیستند، بنابراین طبیعی است که بیشتر، کاربرد متعارف و معمول یک اصطلاح مطرح باشد تا معنی یا معانی دقیق آن.

در طبیعت، سازه‌های فضایی (سه بعدی) به فراوانی در حد ریز و درشت موجود است. ساخت سه بعدی یا فضایی توسط بشر دارای سابقه طولانی بوده و در تمدن‌های مختلف و در ادوار گذشته از آنها استفاده شده است. چوب‌بستهای چادری همراه با پوشانه‌های رویی آنها، گنبدهای بناهای مساجد، معابد، بازارچه‌ها، برج‌های گوناگون و ... در سطح کشور یا جهان را می‌توان از جمله "سازه‌های سه‌بعدی " تلقی کرد.

امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی، نیازها و خواسته‌های جدیدی در زمینه مهندسی سازه رخ نموده است. عامل زمان در ساخت سازه‌ها اهمیت دوچندان یافته و این امر گرایش به سازه‌های پیش ساخته را افزایش داده‌است. همچنین با افزایش جمعیت بشری علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون حضور ستون‌های میانی، خواهان بسیاری پیدا کرده است. در این راستا از اوایل قرن حاضر تعدادی از متخصصین، مجذوب قابلیت‌های منحصر بفرد سازه-های فضاکار گشته و پاسخ بسیاری از نیازهای جدید را در این سازه‌ها جسته‌اند و البته به نتایج بسیار مثبتی نیز دست یافته‌اند. با انتشار این نتایج روز به روز این عرصه با اقبال بیشتری مواجه گردید به گونه‌ای که با گذشت چندین دهه هنوز هم مطالعه سازه‌های فضاکار در کانون متخصصین و دانشجویان قرار دارد. در این تحقیق منظور از عبارت سازه فضاکار سیستم‌های اسکلت فلزی بوده که از بافت تعداد زیادی المان یا مدول با شکلهای استاندارد به یکدیگر تشکیل می‌شوند و نهایتا یک سیستم سبک و با صلبیت زیاد را ایجاد می‌کنند. سازه‌های فضاکار در اشکال بسیار متنوعی ساخته می‌شوند که مهمترین آنها عبارتند از : شبکه‌های مسطح دو یا چندلایه، چلیک‌ها، گنبدها و

قوس‌ها. علاوه بر این، سازه‌های فضاکار دارای بافتار متنوعی نیز می‌باشند، بدین ترتیب که با تغییر در آرایش المان-ها می‌توان بافتار جدیدی ایجاد کرد و بدیهی است که کارایی هر بافتار باید در مقایسه با بافتارهای دیگر سنجیده شود. مثالهای متعددی از سازهای فضاکاری که در دنیا و ایران ساخته شده است وجود دارد ؛ استادیوم‌های ورزشی، مراکز فرهنگی، سالن‌های اجتماعات، مراکز خرید، ایستگاه‌های قطار، آشیانه‌های هواپیما ها، مراکز تفریحی، برجهای رادیویی و .....

سازه‌های فضاکار، از حد بسیار بالایی از پیش ساختگی و تولید انبوه و خودکار، حمل و نقل نسبی آسان و روش‌های نصب صنعتی برخوردار هستند و می‌توانند با حداکثر استفاده از مصالح، سرعت بالای عملیات اجرایی، کمترین آسیبهای زیست محیطی را نیز به همراه داشته باشند.

نظر به اینکه یک سازه فضاکار دارای رفتار سه‌بعدی بوده و بارهای وارده بر آن توسط عملکرد مشترک چندین عضو مختلف پخش می‌شود، بنابراین رفتار سازه‌ای (مکانیکی) با کارایی بالاتری را داشته و در سایه همین کارایی بالا، سازه‌های فضاکار برای پوشش دهانه‌های بدون ستون و آزاد بزرگ به طور جدی به کار رفته است. دهانه‌های بزرگ آزاد (بدون ستون) در موارد بسیاری نسبت به " دهانه‌های با ستون" دارای امتیاز و برتری هستند. مثلاً سالن‌های ورزشی، سالن‌های اجتماعات، سالن‌های نمایشی و آشیانه هواپیماهای پهن پیکر نیاز بیشتری به دهانه‌های باز و حجم وسیع دارند.

امروزه در سراسر دنیا سازه‌های فضاکار به سرعت در حال پذیرش و مقبولیت در بین طراحان و مهندسین سازه می‌باشند، این امر را نمی‌توان فقط مرهون جذابیت و زیبایی بیشتر این سازه‌ها دانست، بلکه دلایل متعددی که در ذیل به پاره ای از آنها اشاره می‌شود در گسترش محبوبیت این سازه‌ها مؤثر بوده است :

۱. جذابیت و زیبایی بیشتر و قابلیت ساخت انواع فرم‌های دلخواه.
۲. ذخیره مقاومتی بیشتر به دلیل داشتن درجات نامعینی بالا در مقایسه با سایر سازه‌های متداول.
۳. سختی و صلبیت زیاد این سقف‌ها قابلیت استثنایی برای حمل بارهای بزرگ متمرکز و غیر متقارن بوجود می‌آورد.
٤. اکثر سیستم‌های فضاکار پیش‌ساخته بوده و قطعات مورد نیاز آنها انبوه‌سازی می‌شوند؛ به همین دلیل این سیستم‌ها معمولاً به سادگی و در زمان کوتاهی تولید و نصب می‌شوند.
۵. در مقایسه با سایر انواع سازه‌ها با مقاومت یکسان، بسیار سبک می‌باشند. به عبارت دیگر می‌توان گفت نسبت به سازه‌های با وزن یکسان دارای سختی بیشتری می‌باشند.
٦. همه اعضای شبکه‌های دولایه فضاکار به صورت مناسب و یکنواخت در توزیع بارهای خارجی شرکت می‌کنند.
۷. اجزای شبکه‌های دولایه فضاکار را می‌توان به صورت نامحدودی به هم متصل کرد و سازه‌های با هندسه مورد نظر ساخت.
۸. اعضای شبکه‌های دولایه فضاکار در معرض نیروهای پیچشی قرار نمی‌گیرند.
۹. هر کدام از اجزای سازه سبک بوده و این امر حمل و نقل ساده آنها را ممکن می‌سازد.
۱۰. زمان ساخت شبکه‌های دولایه فضاکار کوتاه است، زیرا اجزای آنها در کارخانه و با روش‌های سریع تولید می‌شوند، و پس از حمل به کارگاه به راحتی نصب می‌شوند.