

سازه های فضاکار

							۰۳
							۰۲
							۰۱
						سازه های فضاکار	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

سازه های فضاکار									
صفحه: ۲	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳							۰۱		

فهرست مطالب

۳	مقدمه.....
۳	تعریف سازه های فضاکار.....
۴	انواع سازه های فضا کار.....
۶	مزایای کاربرد گنبد های فضاکار.....
۷	اجزای سازه فضاکار.....
۷	گوی:
۸	مخروطی:.....
۹	لوله:
۱۰	پیچ:
۱۱	اسلیو(غلاف):
۱۲	طراحی سازه های فضایی
۱۲	بارهای موثر در طراحی سازه های فضاکار
۱۲	بار مرده
۱۲	بار زنده (سر بار برف)
۱۳	بار باد
۱۴	بار زلزله
۱۵	اثر حرارتی
۱۶	بار جرقه یل
۱۶	نحوه طراحی المانهای سازه های فضایی
۱۶	نرم افزارهای کاربردی درمدلسازی و تحلیل گنبدها

سازه های فضاکار								گروه مهندسی دانا
صفحه: ۳	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳							۰۱	

مقدمه

امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی نیازها و خواسته‌های جدیدی در زمینه مهندسی سازه رخ نموده است. عامل زمان در ساخت سازه‌ها اهمیت دو چندان یافته و این امر گرایش به سازه‌های پیش ساخته را افزایش داده است. همچنین با افزایش جمعیت جوامع بشری، علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون حضور ستون‌های میانی خواهان بسیار پیدا کرده است. 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 جستجو کرده و البته به نتایج بسیار مهم و مثبتی نیز دست یافتند. با دست‌یابی به این نتایج علاقه محققین نیز بیشتر شد و هنوز هم که چندین دهه از این امر می‌گذرد مطالعه روی سازه‌های فضاکار مورد توجه کانونهای متخصصین و محققین است.

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 نهایتاً یک سیستم سبک و با صلیبت زیاد را ایجاد می‌کنند.

سازه‌های فضاکار دارای اشکال بسیار متنوعی می‌باشند که مهمترین آنها عبارتند از: شبکه‌های مسطح دو یا چند لایه، چلیک‌ها، گنبدها و قوس‌ها، همچنین، سازه‌های فضاکار دارای بافتار متنوعی نیز می‌باشند بدین ترتیب که با تغییر در آرایش المان‌ها می‌توان بافتار جدید ایجاد کرد و بدیهی است که کارآیی هر بافتار باید در مقایسه با بافتارهای دیگر سنجیده شود.

سازه‌های فضاکار متعددی در دنیا و ایران ساخته شده است و از جمله آنها می‌توان به استادیوم‌های ورزشی، مراکز فرهنگی، سالن‌های اجتماعات، ایستگاه‌های قطار، آشیانه‌های هواپیماها، مراکز تفریحی و... اشاره کرد.

تعریف سازه های فضاکار

بر اساس گزارش انجمن بین المللی پوسته ها و سازه های فضایی (IASS) که در سال ۱۹۸۴ م. در رابطه با وضعیت موجود سازه های فضاکار انتشار یافت، می توان تعریف زیر را برای این سازه ها پذیرفت:

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.

سازه های فضاکار								 گروه مهندسين ISSE
صفحه: ۴	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳							۰۱	

همچنین در گزارش انجمن مهندسان راه و ساختمان آمریکا (ASCE) در مورد سازه های شبکه ای که با عنوان وضعیت موجود، در سال ۱۹۷۶ م. انتشار یافت، سازه های فضایی را بعنوان دسته ای از سازه های شبکه ای معرفی و بصورت زیر تعریف نمود:

سازه های فضایی بصورت مجموعه ای از اعضای بهم پیوسته هستند (نه بصورت یک صفحه پیوسته) که مکانیزم انتقال بار آنها در حالت طبیعی، بصورت سه بعدی می باشد.

برخی اوقات بین قاب فضایی و خرپای فضایی نیز تمایز قائل می شوند. مطابق تعریف، خرپای فضایی سیستمی است که اتصالات آن مفصلی بوده در حالیکه واژه قاب فضایی مخصوص سازه هایی است که اتصالات صلب دارند، لذا اعضای آنها علاوه بر تحمل نیروهای محوری بصورت کشش و فشار، تحت خمش نیز قرار دارند. اما از طرفی بر اساس گزارش مهندسین IASS، سازه های فضایی بصورت یک واژه کلی بکار گرفته شده و خرپای فضایی تنها یکی از زیر مجموعه های آن بحساب می آید.

انواع سازه های فضا کار

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

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 دو گانه 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:

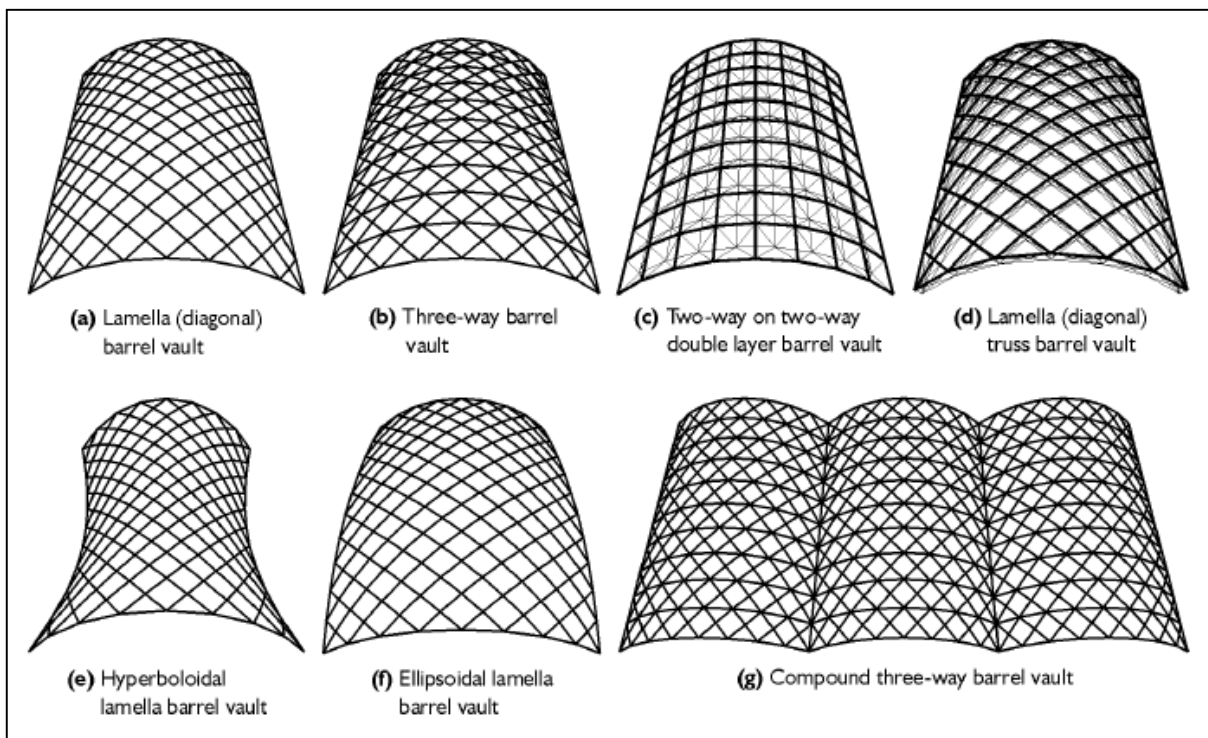
۱. سازه های تخت (شکل ۱)
۲. سازه های با انحای یک جهتی (چلیک ها یا استوانه ها) (شکل ۲)
۳. سازه های با انحای دو جهتی (گنبدها) (شکل ۳)
۴. سازه های قابل انبساط
۵. سازه های چادری
۶. سازه های مشبک چند جانبه (Nexorades)

سازه های فضاکار								گروه مهندسين دانا
صفحه: ۵	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳							۰۱	

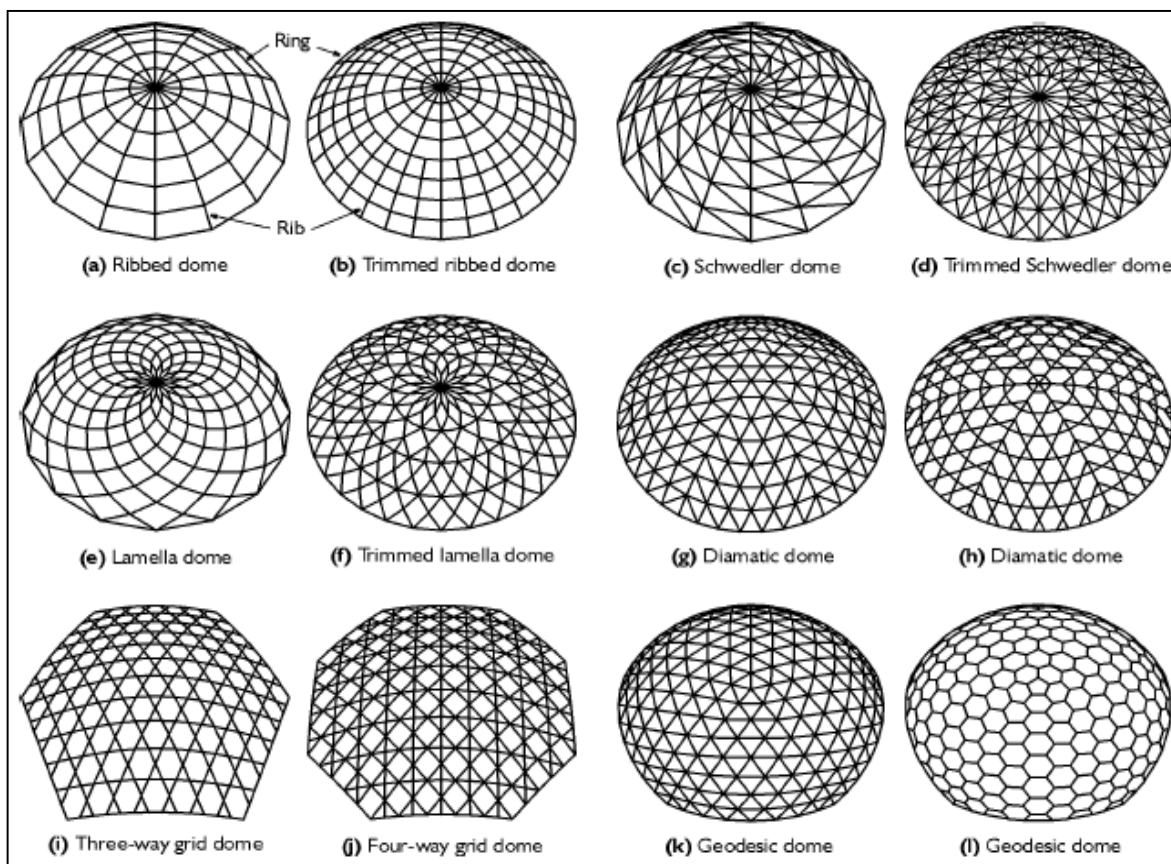
باید توجه داشت که سازه های فضا کار علاوه بر پوشش دهانه ها، برای انواع زیر سازه ها، دکل ها و ستون ها نیز کاربرد داشته که در این تحقیق مورد نظر نمی باشند.



شکل ۱: یک نمونه شبکه تخت



شکل ۲: انواع چلیک ها



شکل ۳: انواع گنبد

مزایای کاربرد گنبدهای فضاکار

- گنبدهای فضایی مشبک در مقایسه با سازه های متداول مورد استفاده در پوشش دهانه ها، دارای مزایای بسیاری بوده، که در این بخش به برخی از این موارد اشاره شده است:
- زیبایی و قابلیت پوشش دهانه های بزرگ با حجم زیاد، با استفاده از حداقل مساحت بدون نیاز به تکیه گاه میانی.
- وزن کم این سازه ها (در برخی موارد کمتر از ۵۰ کیلوگرم بر متر مربع) و بازده بسیار مناسب.
- استفاده بهینه از مصالح بدلیل عملکرد معمولاً محوری (کشش و فشار) اعضا.
- قابلیت انتقال بار سه بعدی و در نتیجه پخش نیروهای وارده بین اعضای متعدد، لذا امکان بارگذاری های سنگین به صورت متمرکز گرهی.
- سختی زیاد و در نتیجه کنترل تغییر مکان ها در بازه های کوچک.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۷	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳								۰۱	

- امکان اجرا و مونتاژ این سازه ها با استفاده از کارگران نیمه متخصص، بدلیل بکارگیری اعضای پیش ساخته کارخانه ای با دقت بالا.
- قابلیت مونتاژ این سازه ها بر روی زمین و در نتیجه کاهش خطرات کار در ارتفاع.
- سبکی اعضای تشکیل دهنده سازه و سهولت حمل و نقل آنها و همچنین صرفه جویی در ستون ها و تکیه گاه های نگهدارنده.
- درجه نامعین بالای این سازه ها که موجب می شود در صورت خرابی بخشی از سازه یا اعضا، در اثر عوامل مختلفی همچون آتش سوزی پایداری کلی گنبد تهدید نگردد.

اما از طرفی این سازه ها دارای معایبی چون، طراحی و تحلیل پیچیده، هندسه نامتعارف، نصب تقریباً مشکل این سازه ها و نیاز به جرثقیل های بزرگ و امکانات ویژه، عدم دقت در ساخت بعضی از اعضا و مشکلات اجرایی ناشی از قرار نگرفتن آنها در جای خود و در نتیجه تنش ها و نیروهای ایجاد شده در سازه و ... هستند که با توجه به مزایای ذکر شده قابل چشم پوشی می باشند.

اجزای سازه فضاکار

سازه های فضاکار بطور کلی از سه جزء تشکیل شده اند: اتصالات (پیونده)، المان (همبند) و پوشش. در سازه های فضاکار نزدیک به ۵۰٪ درصد از کل هزینه ها صرف هزینه اتصالات میگردد در حالیکه در سازه معمولی هزینه اتصالات نزدیک به ۲۰٪ کل هزینه میباشد. از این رو مهمترین اجزای سازه فضاکار اتصالات آنها میباشد.

گوی: عبارت است از یک کره فولادی تو پر که به منظور ایجاد پایداری و ارتباط بین اعضای سه بعدی بکار می رود. گویها خود و اعضا مربوطه شان را در یک موقعیت ثابت نگه می دارند و باعث ایجاد تعادل بین نیروهای اعضا می شوند. گویها همچنین دارای سوراخهای رزوه دار شعاعی نیز می باشند که عضوهای سازه توسط انتهای مخروطی خود تحت زوایای مشخصی بر روی این سوراخها که دارای سطح ماشین کاری شده می باشند، می نشینند و پیچ می شوند .

گوی پیچ ها می تواند از جنس آلومینیوم یا فولاد باشد. اما اگر فولادی باشد باید برای تغییر شکل های موجود کنترل گردد که در این صورت اتصالات بزرگتری خواهیم داشت. آلومینیوم علاوه بر اینکه وزن ومدول الاستیسیته یک سوم فولاد دارد، مقاومت کششی بالاتری نیز دارد.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۸	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳							۰۱		

گوی متداول در کشور ما از جنس آلیاژ فولادی سیکا ۴۵ با مقاومت F_y و F_u کمی بیش از $St52$ میباشد که گوی ها، مخروطی ها و همه اجزای سازه فضاکار به صورت طرح مرو $Mero$ از آلیاژ فولاد و توسط برخی شرکت داخلی در خود کشور تولید می گردد.



شکل ۴: انواع متداول گوی

گوی های اتصال مرو از جنس آلیاژ فولاد فرچ شده کوبین کاری شده سیکا ۴۵ میباشد. مهمترین عیب سیکا ۴۵ اینست که چنانچه نیاز به جوش روی آن باشد، جوش پذیری خوبی ندارد و باید با پیش گرمایش امکان جوش روی گوی را فراهم نمود. گوی استاندارد با زوایای مابین پیچ برابر ۴۵ درجه میباشد.

ضخامت های معمول گوی ها از ۶۰-۹۰ میلیمتر تا ۳۰ سانتیمتر متغیر می باشد. قطر معمول خارجی گوی ها به طور استاندارد در اندازه های ۶۰-۹۰-۱۱۰-۱۳۰-۱۵۰ سانتی متری میباشد. آنچه در طراحی اتصالات بخصوص طراحی گوی ها حائز اهمیت است بررسی عدم تداخل بولت های درون آن می باشد که این مورد می تواند با نرم افزار های جانبی یا بصورت دستی کنترل گردد. همچنین اگر در محل اتصال پیچ ها از داخل بسته و محکم شوند اتصال انعطاف پذیری بیشتری خواهد داشت.

مخروطی: جهت ملاحظات هندسی در محل اتصال المان به گوی از قطعه مخروطی شکل فولادی که به لوله جوش می شود استفاده می گردد. این قطعه دارای دو نوع کششی و فشاری می باشد. مهمترین نقش آن جلوگیری از تراکم لوله ها در نزدیکی گوی میباشد.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۹	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳							۰۱		



شکل ۵: مخروطی

لوله: عضو دیگر سازه ها که جهت تحمل نیروهای محوری (کششی، فشاری) بکار می رود لوله ها می باشند که دو انتهای آن بریده شده و سر آن بوسیله قطعه مخروطی که اتصال آن را با سایر قطعات امکان پذیر می سازد، جوش می شود.

لوله هایی که در خرپای سازه فضاکار استفاده میشود ۶ متری میباشد که برای جلوگیری از هدر رفتن مصالح در قطعات ۲ و ۳ متری برش داده میشود. لذا برای اعضای سازه های فضاکار اعضای با طول و مقاطع یکسان و در طول ۲ یا ۳ متر پیشنهاد شده است. توصیه شده است تمامی لوله های یک سازه فضاکار تا حد امکان با طول مساوی انتخاب شود و تنها نقطه تمایز آنها در نواحی پر تنش، افزایش ضخامت درونی فولاد لوله باشد. چنانچه برای یک شبکه تخت دولایه از لوله های به اندازه ۳ متر استفاده شود ارتفاع شبکه برابر ۲٫۱ متر خواهد بود که بیشتر نمونه های اجرایی مخصوصا برای سالن های صنعتی به این تیپ میباشد.



شکل ۶: لوله

سازه های فضاکار								گروه مهندسين دانا
صفحه: ۱۰	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳							۰۱	

پیچ: یک اتصال جدا شدنی بوده و جهت انتقال نیرو از آن کمک گرفته می شود. نیروی کششی از گل پیچ به نشیمن گاه مخروطی انتقال پیدا می کند. پیچ های این سیستم دارای کلاس سختی بالا (۸,۸ و ۱۰,۹) می باشند.

بولت های رایج از نوع های خاص $M12-M20-M24-M27-M32-M64$ میباشد که به طور اختصاصی برای سازه های فضاکار همراه با تعبیه پین های کنترل کننده با طول های متفاوت ساخته میشود که طول بولت ها بستگی به نیروهای کششی طرح دارد. در طراحی اتصالات مهمترین نکته بررسی هندسه گوی و عدم تداخل طول رزوه پیچ های درون گوی میباشد.



شکل ۷: پیچ

معمولاً قطر گوی ها را دست بالا انتخاب میکنند تا تعداد تپ های موجود کاهش یابد. همچنین در لوله های اتصال مرو (*MERO*) (شکل ۸) برای ورود پیچ در محل اتصال پس از میزان نمودن لوله سوراخی در نقاط انتهایی لوله ها تعبیه شده است که اگرچه مقاومت هم وند ها را می تواند تا حدی کاهش دهد اما برای خروج و تبخیر آب میتواند مفید باشد. اگر هم وند در فشار باشد: نیرو از عضو مخروطی و از آن به وسیله اسلیو و از طریق سطح صاف به گوی منتقل میگردد. اما اگر هم وند ها در کشش باشند: پیچ ها و طول رزوه شده درون گوی بیشترین تاثیر را در انتقال نیرو دارند.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۱۱	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳							۰۱		



شکل ۸: اتصال MERO

اسلیو (غلاف): مهره ای می باشد که در فشار عمل می کند و جهت محکم نمودن پیچ ها در داخل گوی نیز استفاده می شود. اسلیوها به دو شکل شیاردار و سوراخ دار تولید می شوند که توسط پین به پیچ متصل می گردند. جهت محکم کردن و اطمینان از ورود کافی بولت درون رزوه از اسلیو یا غلاف استفاده میکنند که طول آن بستگی به نیروی موجود در اتصال و طول بولت دارد. پین روی اسلیو (غلاف) برای کنترل میزان فرورفتگی پیچ درون گوی تعبیه گردیده است. غلاف ها در دو نوع فرج کاری یا نوع استفاده از دستگاه تراشکاری اتوماتیک CNC تولید می شود.



شکل ۹: اسلیو (غلاف)

سازه های فضاکار									
صفحه: ۱۲	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳								۰۱	

طراحی سازه های فضایی

بارهای موثر در طراحی سازه های فضاکار

بارهای مختلفی در طراحی سازه های فضاکار تاثیر گذارند که طراحان بدلائیل متعدد به طرق مختلف این بارها را به سازه ها وارد می کنند و علت اصلی تفاوت در عملکرد طراحان نبودن یک آئین نامه منسجم و کامل در زمینه طراحی این گونه سازه ها است. ما در این قسمت به اختصار بارهای وارد بر سازه فضاکار را شرح می دهیم.

بار مرده

بار مرده وارد بر سقف برابر مجموع وزن لوله های سازه فضایی، پوشش سقف و تاسیسات ملحق به سازه می باشد. جزئیات احتساب بار مرده سقف با توجه به بار پوشش و تاسیسات احتمالی متصل به سقف بصورت ذیل می باشد:

- وزن پوشش و زیر سازی مربوطه
 - وزن شبکه سقف
 - بار تاسیسات ملحق به سقف
- بارهای فوق به نسبت مساحت سهم هر گره به گره های لایه فوقانی سقف تخصیص داده می شود.

بار زنده (سر بار برف)

نحوه بدست آوردن بار برف از طریق آئین نامه های ساختمانی ایران به شرح زیر می باشد:

از آنجایی که بار زنده حاکم بر طرح بار برف است که با توجه به شدت سرمای منطقه و آئین نامه های طراحی برای هر متر مربع تصویر افقی سطح از رابطه ذیل محاسبه می شود.

/

در این رابطه:

P_s : بار مبنای برف

C_s : ضریبی است بنام ضریب اثر شیب که بصورت مقابل محاسبه می شود.

سازه های فضاکار										
صفحه: ۱۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
بهمن ۹۳								۰۱		

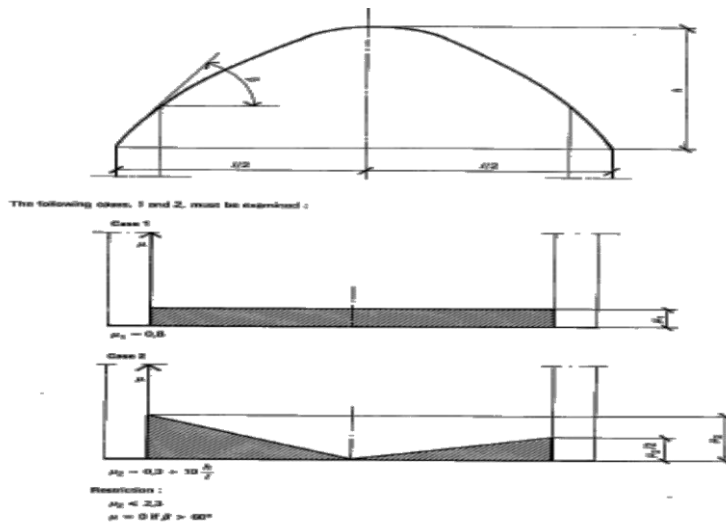
$$0^\circ < \alpha < 15^\circ \Rightarrow C_s = 1.0$$

$$15^\circ < \alpha < 60^\circ \Rightarrow C_s = \left[1 - \frac{\alpha - 15}{60} \right]$$

A: مساحت بارگیر سهم گره بر سطح افقی

P: سر بار زنده برف سهم گره های لایه فوقانی

در نظر گرفتن اثرات ناشی از بارگذاری نامتقارن طبق آیین نامه های طراحی در صورتی که $\alpha \geq 150$ الزامی است و بار برف نامتقارن در محاسبات باید منظور شود. نحوه اعمال برف نامتقارن بدین صورت است که بار برف نیمی از سقف حذف و نیمه مقابل ۲۰٪ افزایش داده می شود.

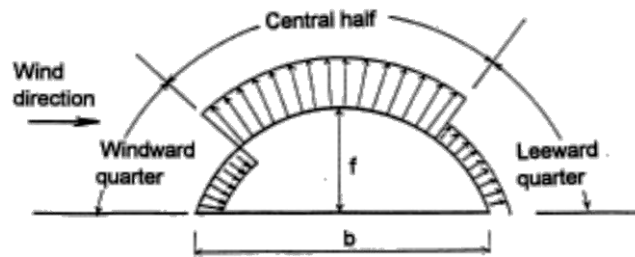


شکل ۱۰: نحوه بارگذاری بار برف روی یک منحنی ساده

بار باد

با در نظر گرفتن شکل خاص سازه، ارتفاع آن و محصور بودن یا نبودن بین ساختمانهای مجاور مقدار نیروی باد را از روابط مربوطه بدست آورده و با نیروی ناشی از زلزله مقایسه می کنند، از این دو نیرو هر کدام حاکم باشد بعنوان نیروی طراحی در نظر گرفته می شود.

سازه های فضاکار								گروه مهندسين D&I
صفحه: ۱۴	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳							۰۱	



شکل ۱۱: اثر باد روی گنبدها

جدول ۱: جداول اعمال ضرایب

Ground				
Country code	Windward quarter	Central half	Leeward quarter	Rise/span r
U.S. ANSI A 58.1-1982	$1.4r$	$-0.7 - r$	-0.5	$0 < r < 0.6$
U.S.S.R. BC&R 2.01.07-85	0.1 0.3 0.4 0.6	-0.8 -0.9 -1.0 -1.1	-0.4 -0.4 -0.4 -0.4	0.1 0.2 0.3 0.4
China GBJ 9-87-1987	0.7	-1.2	-0.4	0.5
	0.1 0.2 0.6	-0.8 -0.8 -0.8	-0.5 -0.4 -0.4	0.1 0.2 0.5

بار زلزله

طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران به ترتیب:

A : شتاب مبنای طرح

B : ضریب بازتاب ساختمان و برابر است با:

$$C = \frac{ABI}{R}$$

$$B = 2.5 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \leq 2.5 \Rightarrow B = 2.5$$

I : ضریب اهمیت ساختمان

R : ضریب رفتار ساختمان

توضیح:

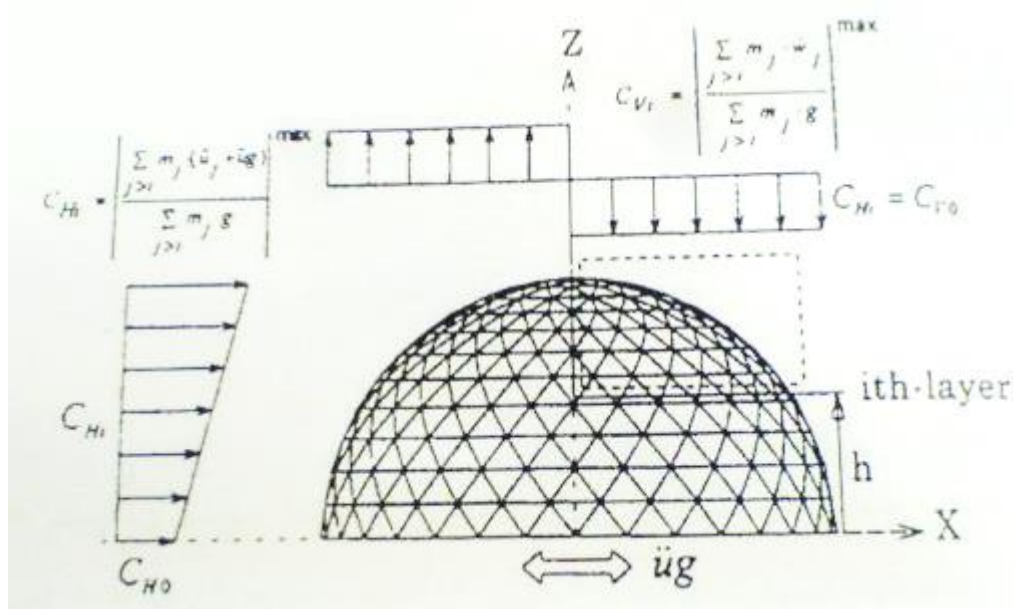
از آنجا که آئین نامه مدونی در مورد سازه های فضاکار وجود ندارد، طراحان معمولاً رفتار سازه را حالتی مابین رفتار قاب خمشی و پاندول وارونه فرض می کنند که در اینجا از نتایج تحقیقات آقای *kato* استفاده شده است که شرح مختصری از این نتایج بصورت ذیل می باشد.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۱۵	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳								۰۱	

براساس نتایج حاصل از مطالعات *Kato*، توزیع برش در ترازهای مختلف گنبد بررسی شده است. در سازه های بلند معمولی، ضرایب برش در اغلب حالات در راستای افقی در نظر گرفته می شوند. در صورتی که در سازه های گنبدی تنها با تکانهای افقی زمین لرزه، سازه تغییرشکلهای بزرگی پیدا می کند. بدین جهت ضرایب برش نه تنها در راستای x ، بلکه در راستای z در نظر گرفته می شوند. دو ضریب C_{Vi} و C_{Hi} بصورت زیر تعریف کردند.

$$C_{Hi} = \left| \frac{\sum_{j>1} m_j (\ddot{w}_g + \ddot{u}_g)}{\sum_{j>1} m_j \cdot g} \right|^{max}$$

$$C_{Vi} = \left| \frac{\sum_{j>1} m_j \cdot \ddot{w}_g}{\sum_{j>1} m_j \cdot g} \right|^{max}$$



شکل ۱۲: تعریف ضرایب برش طبقات C_{Vi} و C_{Hi} برای گنبدها تحت شتابهای افقی

اثر حرارتی

با توجه به ابعاد بزرگ سازه های فضایی و نیز فلزی بودن المانها اثرات حرارتی بصورت تنشهای ناشی از انقباض و انبساط ظاهر شده که این نیروها در تحلیل سازه بصورت اختلاف دما برابر $\pm \theta$ منظور شده است.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۱۶	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
بهمن ۹۳							۰۱		

بار جرثقیل

در نظر گرفتن نحوه نصب سازه های فضاکار در محل اجرا یکی از وظایف طراحان است با توجه به وزن قابل قبول و نسبتاً زیاد این سازه‌ها هنگام نصب باید نیروهای ناشی از وزن این سازه‌ها که در اثر بالا کشیدن آنها با جرثقیل یا هر وسیله دیگری که انجام می‌گیرد در طرح در نظر گرفته شود و نقاط اتکایی حتماً مشخص گردد. هنگام نصب بهتر است که از پیوندها برای بالا کشیدن سازه گرفته شود نه از المانها، زیرا المانها ضعیف‌تر بوده و امکان کماتش در آنها زیاد است.

نحوه طراحی المانهای سازه های فضایی

طراحی المانهای سازه فضاکار بصورت المان خرابایی و بر اساس نیروهای خروجی آنالیز انجام می‌پذیرد، ترتیب که در مرحله اول سایز دلخواهی برای المانها حدس زده و بر اساس آن سازه آنالیز می‌گردد. سپس از نتایج آنالیز نیروهای ماکزیمم کششی و فشاری مربوط به هر عضو استخراج شده و توسط نرم افزارهای مربوطه سایز مناسب جدیدی برای المانها تعیین می‌گردد با جایگذاری سایز جدید اعضا در فایل ورودی مجدداً سیکل آنالیز-طراحی تکرار شده و این عمل تا حصول تشابه قابل قبول بین نتایج دو سیکل متوالی ادامه داده می‌شود، نهایتاً توسط نرم افزار نقشه‌های اجرایی و لیستوفر مصالح تهیه می‌گردد.

نرم افزارهای کاربردی در مدلسازی و تحلیل گنبدها

نرم افزار *Formian V 2.0*

این نرم افزار جهت بدست آوردن مدل اولیه سازه به کار رفته است. این نرم افزار بصورت اولیه طراحی از سازه را به ما می‌دهد که این طرح بعنوان فایل ورودی نرم افزار اتوکد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نرم افزار اتوکد *Auto cad*

نرم افزار بسیار قوی جهت ترسیم سازه هاست. اتوکد توانایی لازم برای دریافت و ارسال فایل از نرم افزارهای مختلف مدلسازی و طراحی را دارد. فایل خروجی حاصل از نرم افزار *Formian* در این برنامه دقیقاً مطابق آنچه مورد نظر است مدلسازی و اصلاح شده و پس از کامل شدن قالب فایل و طرح اتوکد بصورت فایل *dxf* جهت ورود به نرم افزار *SAP2000* درآورده میشود.

سازه های فضاکار									
صفحه: ۱۷	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمن ۹۳							۰۱		

نرم افزار SAP2000

جهت طراحی و تحلیل اغلب سازه ها از این نرم افزار استفاده می گردد. حتی طراحی های اکثر سازه های فضاکار توسط این نرم افزار صورت میگیرد. فایل ورودی از اتوکد در این نرم افزار بارگذاری شده و با اختصاص دادن شرایط طراحی، مقاطع المانها شرایط بارگذاری و همچنین شرایط تحلیل و طراحی مطابق با آیین نامه 2800 و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران، تحلیل اولیه ای روی گنبدها صورت گرفته و مقاطع اولیه طراحی بدست آمده و جهت استفاده نرم افزار *OpenSees* مورد استفاده قرار می گیرد.

نرم افزار OpenSees

فایل ورودی این نرم افزار می تواند در فرمت های مختلف از جمله فرمت *text* و از خروجی نرم افزارهای مختلف همچون *SAP2000* باشد. خروجی حاصل از نرم افزار *SAP2000* در برنامه *Excel* دسته بندی شده و موقعیت دقیق گره ها و المانها و همچنین مقاطع و بارهای وارده بر سازه مشخص شده و در قالب فایل ورودی *OpenSees* ذخیره گشته تا مورد استفاده این نرم افزار قرار گیرد.