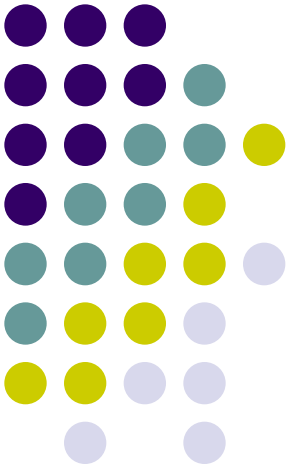
سازه های نو

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه سوره

سازه های فضاکار

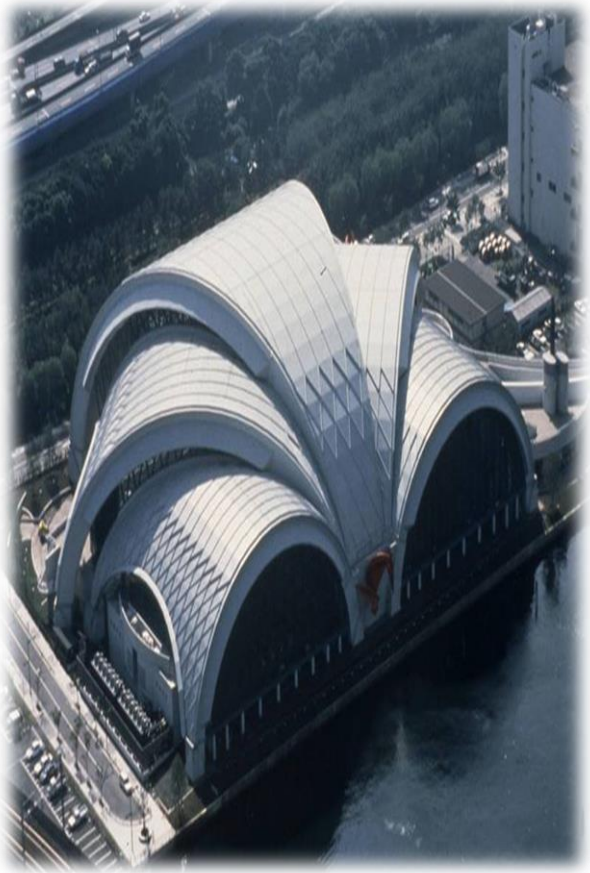
Spatial Structures



مقدمه

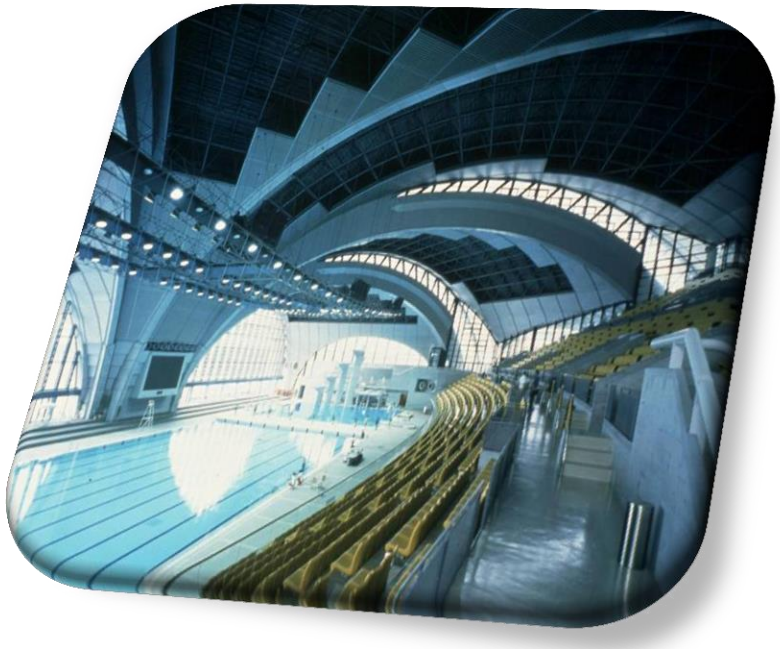
امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی ، نیازها و خواسته های جدیدی در زمینه مهندسی سازه رخ داده است. عامل زمان در ساخت سازه ها اهمیت دو چندان یافته و این امر گرایش به سازه های پیش ساخته را افزایش داده است. همچنین با افزایش جمعیت بشری علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون حضور ستون های میانی خواهان بسیاری پیدا کرده است. در این راستا از اوایل قرن حاضر تعدادی از متخصصین ، مجذوب قابلیت های منحصر بفرد سازه های فضاکار شدند. با انتشار این نتایج روز به روز این عرصه با اقبال بیشتری مواجه گردید به گونه ای که با گذشت چندین دهه هنوز هم مطالعه سازه های فضاکار در کانون متخصصین و دانشجویان عمران قرار دارد.

سازه فضاکار



سازه های فضایی شکلهای هندسی منظمی هستند که در کنار یکدیگر تکرار شده و با اتصال مکرر این اجزا ، شبکه ای مستحکم و یکپارچه با ساختاری سه بعدی ایجاد می شود. این اجزا از المان های طولی و همچنین اتصال هایی که هر روز بر انواع آنها افزوده می شود تشکیل می شوند. پس در حالت کلی به سازه ای که اصولا رفتار سه بعدی داشته باشد ، به طوریکه به هیچ ترتیبی نتوان رفتار کلی آن را با استفاده از یک یا چند مجموعه مستقل دو بعدی تقریب زد ، سازه فضاکار گفته می شود.

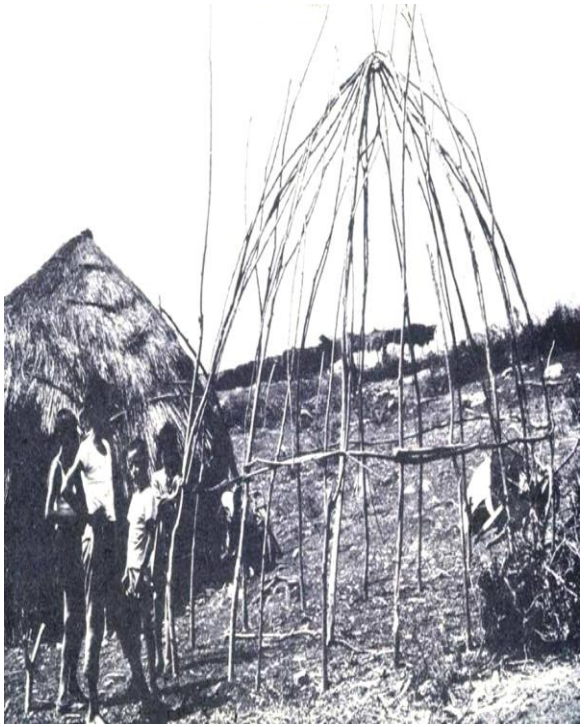
تعریف سازه فضاکار



با استناد به گزارشی که در رابطه با " وضعیت موجود سازه های فضا کار" توسط انجمن بین المللی پوسته ها و سازه های فضایی (IASS) در سال ۱۹۸۴ انتشار یافت ، می توان تعریف زیر را درباره سازه های فضایی ارائه کرد :

یک سازه فضایی را می توان بصورت یک سیستم سازه ای درنظر گرفت که از عضوهای خطی تشکیل شده است و طرز قرارگیری آنها به گونه ای است که بارها به صورت سه بعدی منتقل می شوند.

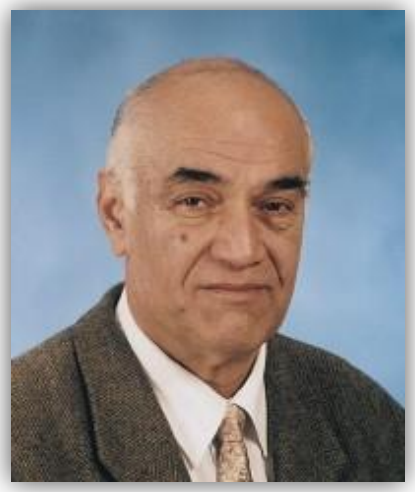
تاریخچه سازه فضاکار



سازه های مشبک فضایی از اوایل قرن ۲۰ میلادی هنگامی که اولین نمونه های این نوع سازه ها در سال ۱۹۰۳ توسط الکساندر گراهام بل ساخته شد همواره با فرم های متنوع تاکنون مورد استفاده قرار گرفته اند. رفتار سه بعدی ، پیش ساخته بودن و امکان تولید انبوه آن سبب شد شبکه های فضایی به عنوان یکی از موثرترین روش ها برای پوشش سقف ها و اجرای ساختمان های با دهانه های زیاد ، مورد توجه معماران و مهندسان باشد.

در دهه ۶۰ میلادی بود که این نوع سازه ها به صورت موضوعی بین اللملی و قابل بحث مطرح شد به طوری که اولین کنفرانس بین اللملی سازه های فضایی در سال ۱۹۶۶ برگزار شد و تکنولوژی سازه های فضاکار جنبه جهانی پیدا کرد.

پدر علم نوین سازه های فضاکار



پروفسور هوشیار نوشین بی شک یکی از افتخارات ایران در عرصه سازه به ویژه سازه های فضاکار می باشد. شاید ایشان را بتوان از نظر خدمات گسترده پژوهشی در زمینه سازه های فضایی ، پدر علم نوین سازه های فضاکار در جهان به شمار آورد.

از خدمات استاد نوشین می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تدوین نرم افزار بی نظیر فرمین Formian
- سردبیر ژورنال بین المللی Space Structures
- چاپ کتب و مقالات متعدد در زمینه جبر فرمکسی در ترسیم سازه های فضاکار
- رئیس پژوهشگاه سازه های فضاکار دانشگاه ساری انگلستان

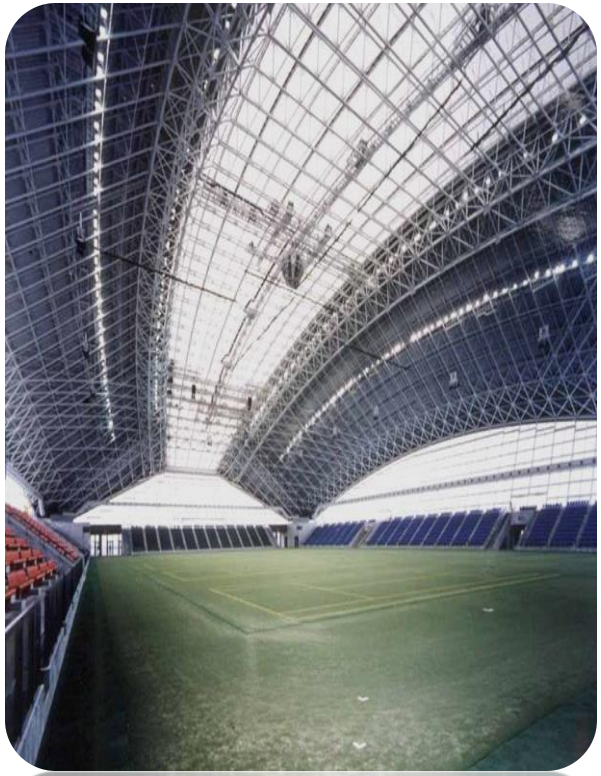
شهرت ناگهانی سازه های فضاکار

به راستی دلیل شهرت ناگهانی سازه های فضایی چیست ؟

این سوال از چند جنبه قابل بحث است:

- سازه های فضایی از قطعه های پیش ساخته استاندارد تشکیل می یابند که در صورت تولید انبوه ، قیمت این قطعات بسیار پایین می آید .
- یکی از مهمترین خصوصیات سازه های فضایی ، قابلیت پوشش سطح های وسیع بدون ایجاد مانع و همچنین قابلیت پوشانیدن دهانه های بسیار بلند است.
- سادگی ولی در عین حال زیبایی ظاهری این سازه ها توجه بسیاری از مهندسین معمار را به سوی خود جلب کرده است.
- با پیشرفت تکنولوژی ، مهندسین و طراحان ، انواع جدیدی از اتصالهای ارزان قیمت را اختراع کرده اند.

شهرت ناگهانی سازه های فضاکار



- از انجا که سازه های فضایی از نظر استاتیکی نامعین هستند بنابراین تحلیل دستی آنها با استفاده از روشهای دقیق ، کار بسیار دشواری است که امروزه این مشکل هموار شده است.
- دانشمندان پس از آزمایشهای فراوان ، به مقاومت بسیار زیاد انواع سازه های فضایی در مقابل بارگذاری های سنگین متمرکز یا نامتقارن پی برده اند .

مزایای سازه فضاکار

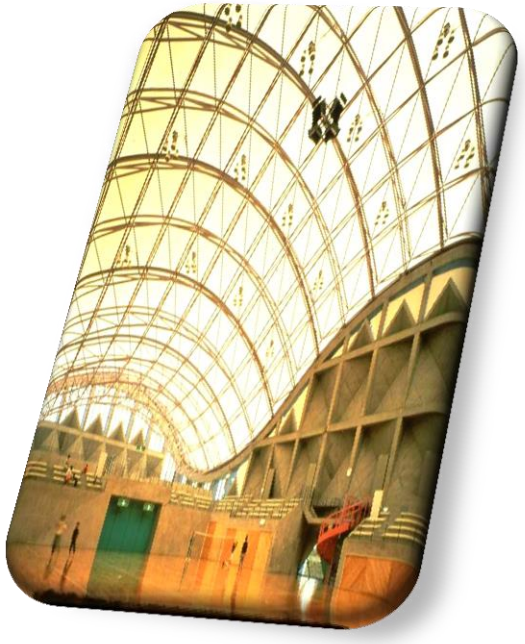
- ✓ قابلیت ساخت با دهانه بزرگ
- ✓ استفاده از قطعات از پیش ساخته شده
- ✓ صرفه جویی در زمان
- ✓ قابلیت انعطاف در شکل
- ✓ آسانی در تثبیت سقف های ناهموار ، نصب وسایل روشنایی و عبور لوله های تهویه
- ✓ مقاومت در برابر زلزله
- ✓ مقاومت در برابر زنگ خوردگی
- ✓ زیبایی و جذابیت
- ✓ تنوع در کاربرد سازه فضاکار
- ✓ امکان همزمانی اجرای سازه فضاکار با سایر عملیات های ساختمانی

مزایای سازه فضاکار

- ✓ صرفه جویی اقتصادی سازه فضاکار
- ✓ تعدد گره ها
- ✓ امکان مونتاژ و دمونتاژ سازه فضایی در هر مرحله از اجرا و پس از اجرا
- ✓ عدم انحدام ناگهانی
- ✓ سهولت در بسته بندی و بارگیری و حمل و نقل سازه فضاکار به کلیه نقاط
- ✓ امکان رنگ آمیزی دلخواه الکترو استاتیک تمامی قطعات سازه فضایی
- ✓ بهترین سازه جهت نورپردازی
- ✓ وزن کم عناصر سازه فضاکار
- ✓ ایمنی سازه
- ✓ قابلیت تقسیم بار
- ✓ سختی زیاد

مزایای سازه فضاکار

- ✓ بالا بودن درجه نامعینی سازه فضایی
- ✓ توزیع تنش در تمام جهات
- ✓ ضریب ایمنی بالای سازه فضاکار دربرابر طوفان ، زلزله و آتش سوزی
- ✓ راندمان بالای ایجاد فضا



محدودیت های سازه فضاکار

۱) هزینه :

هزینه این سازه ها گاهی می تواند در مقایسه با سیستم های سازه ای دیگر مثل قاب مسطح بیشتر باشد .

۲) هندسه منظم :

با وجود اینکه هندسه منظم شبکه های فضایی اغلب به عنوان یکی از مزایای آن ها در نظر گرفته می شود ، ولی از برخی زوایا بسیار پیچیده و در هم به نظر می رسد .

۳) زمان نصب :

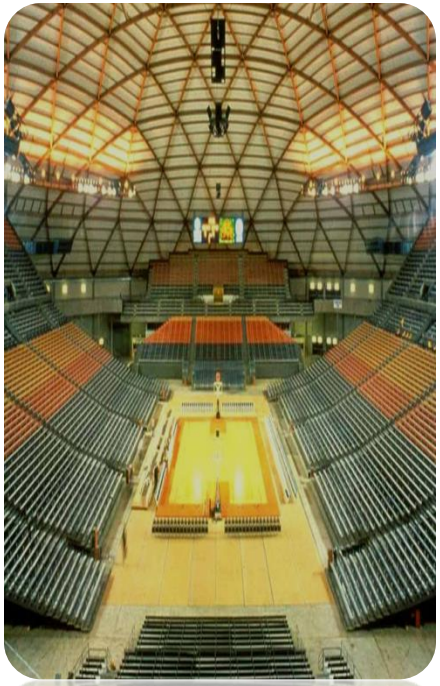
این خصوصیت نیز از مزایای شبکه های فضایی است ، اگر چه یک نگاه منتقدانه به شکل های فضایی بیان می کند که تعدد و پیچیدگی گره ها ممکن است سبب طولانی شدن زمان نصب در محل اجرا شود.

۴) مقاومت در برابر آتش سوزی :

شبکه های فضایی اغلب در ساخت بام مکان هایی که به مقاومت در برابر حریق نیا زی ندارند ، به کار می روند .

۵) ا نتخاب نادرست قطعا ت مربوطه :

انتخاب قطعات در جوشکاری مخروط ها ، انتخاب پیچ و اسلیو یک عامل تاثیر گذار است که انتخاب نادرست آن تاثیر منفی بر عملکرد سازه خواهد گذاشت.



کاربردهای سازه فضاکار

- سالن نمایشگاه: استفاده جهت سقف سالن های نمایشگاهی و سقف غرفه

- سالن کارخانجات و انبار کالا ها: استفاده جهت سقف سالن های تولیدی

- سالن ورزشی و استخر: استفاده جهت سقف سالن بدنسازی

کاربردهای سازه فضاکار

- ساختمان و سالن های پایانه ای: استفاده جهت سقف سالن فرودگاه و راه آهن

- ایستگاه های پمپ بنزین و گازوئیل

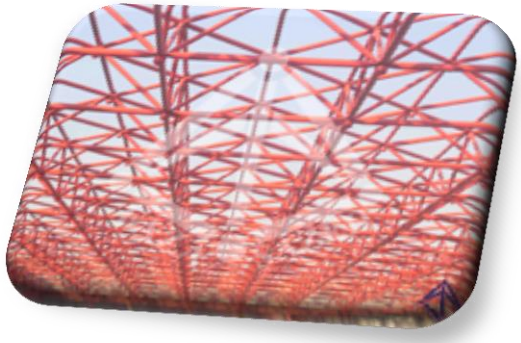
- گلخانه های صنعتی و تزئینی

معماری سازه فضاکار

- **تخت:**
  - شبکه های تخت یک لایه اي
  - شبکه های تخت دو لایه ای و چند لایه ای
  - شبکه هاي دو یا چند صفحه موازي

در این نوع معماری پس از انجام مراحل مشاوره و طراحی ، سازه فضایی بصورت تخت ، مونتاژ و در محل نصب شده و با استفاده از پایه های نصب شده بر روی سازه ، شیب بندی مورد نظر بر روی سقف ایجاد می شود.

معماری سازه فضاکار



❑ شیب دار:

در این نوع معماری سازه بصورت کاملا تخت مونتاژ شده و با تغییر ارتفاع ستون ها ، شیب لازم برای سقف ایجاد می شود.

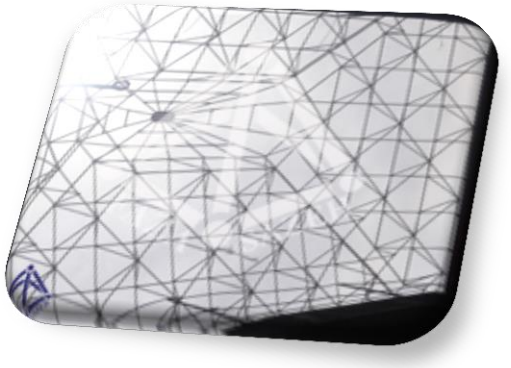
❑ قوسی:

در این نوع معماری ، سازه فضایی به گونه ای طراحی و تولید می شود که پس از اجرا ، نمای بیرونی و داخلی سازه بصورت کمانی از دایره می باشد.

معماری سازه فضاکار

❑ گنبدی:

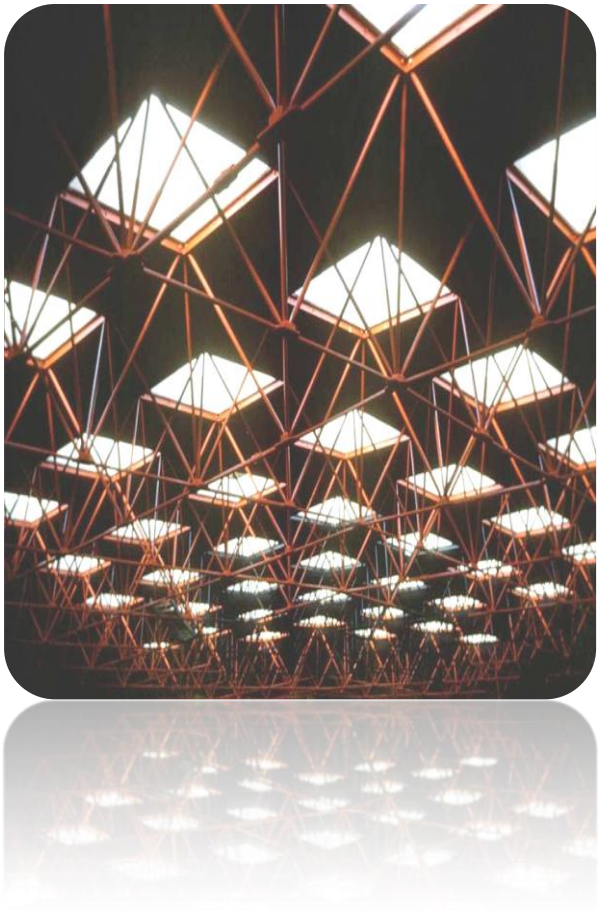
در این نوع معماری سازه فضایی برای مسقف نمودن فضاهای وسیع و بدون استفاده از ستون در میانه ها مورد استفاده قرار می گیرد.



❑ هرمی:

در این نوع معماری سازه فضایی بصورت نیمه هرم اجرا می گرد.

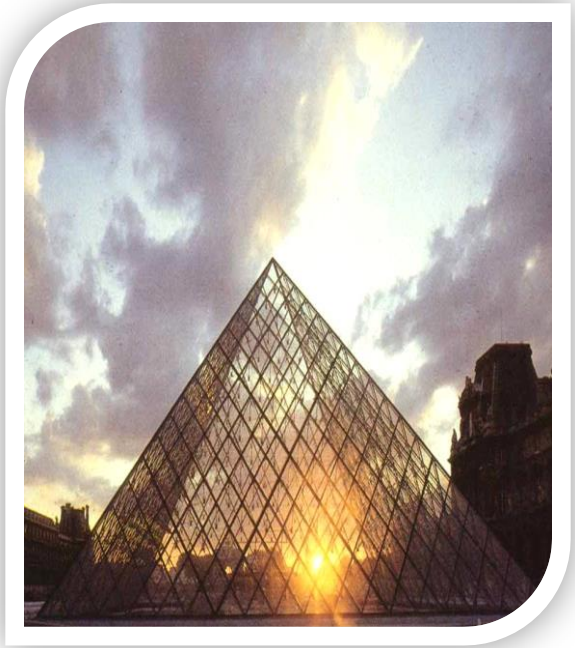
طبقه بندی بنیادی سازه فضاکار



از آغاز پیدایش سازه های فضایی اشکال بسیار گوناگونی به انواع آن افزوده شده که دارای طبقه بندی جامع زیر است :

- داربست های اسکلتی (Skeleton Frameworks)
- سیستم های پوسته تحت تنش (Stressed Skin Systems)
- سازه های معلق (Suspended Structures)
- سازه های هوای فشرده (Pneumatic Structures)

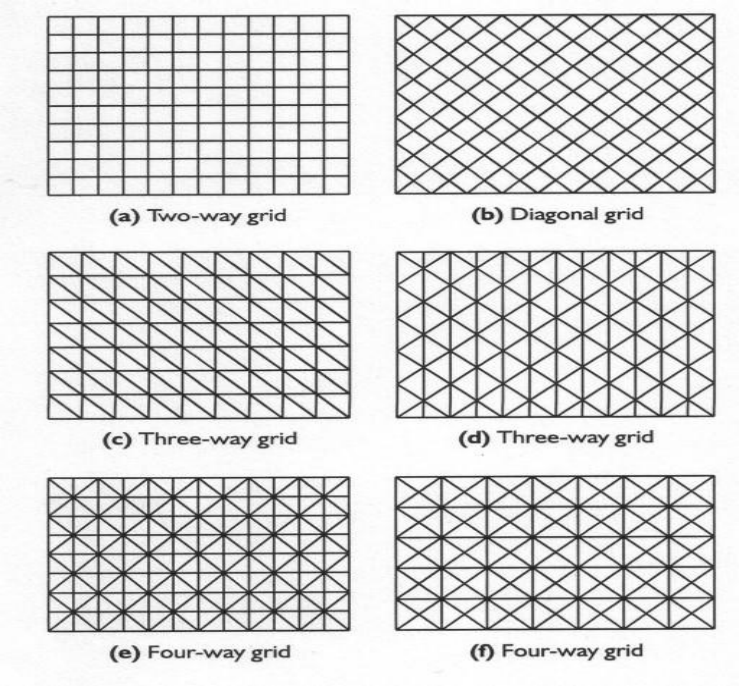
طبقه بندی اسمی سازه فضاکار



سازه هاي فضا كار از نظر اسمي به سه گروه تقسيم مي شوند:

- سازه هاي فضا كار شبكه اي (Lattice Space Structures)
- سازه هاي فضا كار پيوسته (Continuous Space Structures)
- سازه هاي فضا كار دو وجهي (Biform Space Structures)

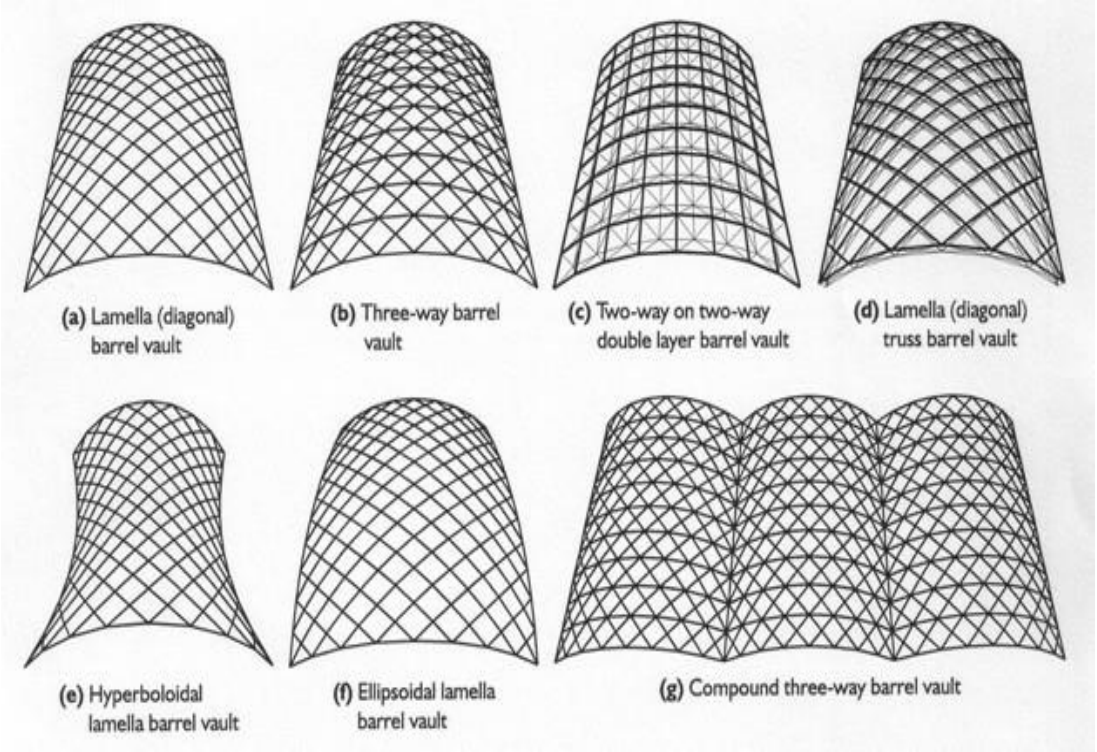
انواع مدل های هندسی سازه فضاکار



الف) شبکه های تخت یا لایه ای (Layer):

به ترکیب یک سیستم یک یا چند وجهی با لایه های واحد شبکه گفته می شود. شبکه مسطح ترکیبی از یک دو وجهی است که به تیرهای واحد متصل شده است. شبکه های تخت می توانند دارای یک ، دو یا سه و حتی چند لایه باشند. شبکه های دو لایه از دو صفحه موازی که بوسیله عناصری به هم متصل گردیده اند تشکیل می شوند. زمانی که اعضا در شبکه دو لایه طویل شوند از شبکه های سه لایه استفاده می شود.

انواع مدل های هندسی سازه فضاکار



ب) شبکه های چلیک (Barrel) :

به شبکه ای که در یک جهت دارای انحنا باشد ، چلیک می گویند. این سازه بیشتر برای پوشش سطوح مستطیلی دالان مانند استفاده می شود. اگر چلیک یک لایه باشد اتصالات به شکل صلب است. چلیک ها اغلب به شکل ترکیبی استفاده می شوند. انواع چلیک ها عبارتند از : چلیک اریبی ، چلیک لملا با مقاطع بیضی گون ، سهمی گون ، هذلولی گون و... .

انواع مدل های هندسی سازه فضاکار

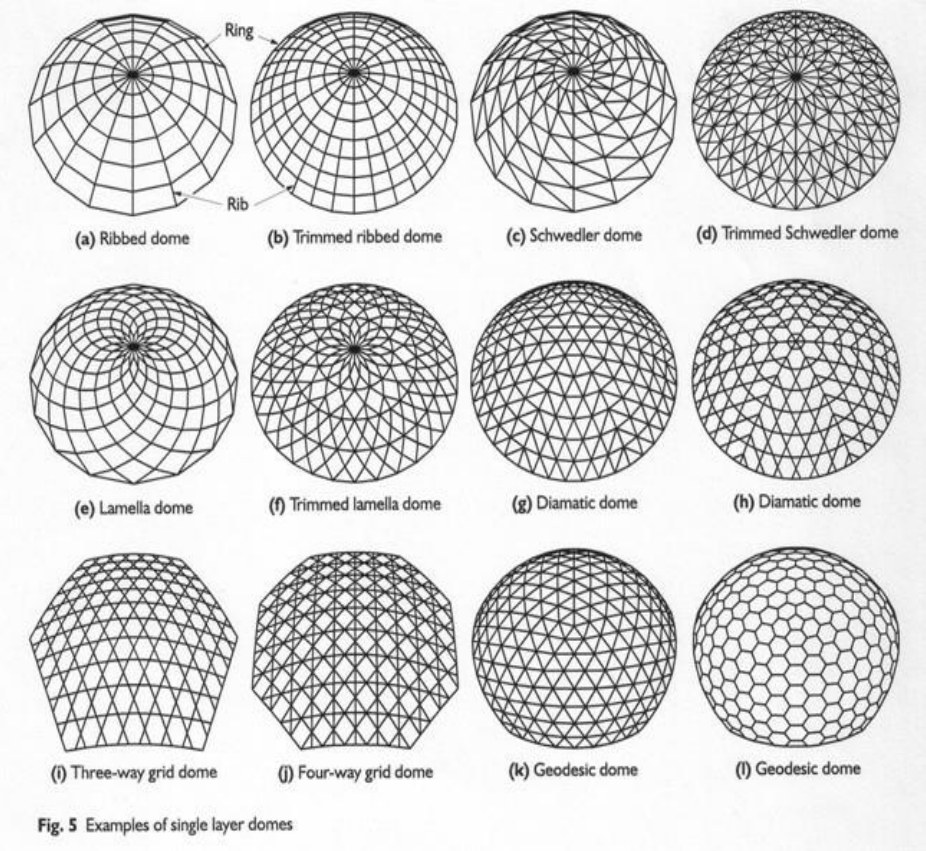


Fig. 5 Examples of single layer domes

ج) گنبدها (Dome) :

اگر شبکه ای در دو جهت دارای انحنا باشد ، گنبد نامیده می شود. شاید رویه یک گنبد ، بخشی از یک کره یا یک مخروط با اتصال چندین رویه باشد. گنبدها سازه هایی با صلبیت بالا می باشند. از انواع گنبدها می توان به گنبد از نوع دنده ای ، گنبد اشفدلر و گنبد لملا اشاره کرد. گنبد لملا را می توان به نوعی ترکیبی از یک یا چند حلقه که با یکدیگر متقاطع هستند ، دانست. از نمونه دیگر گنبدها می توان به گنبدهای دیامتیک و ژیودزیک اشاره کرد.

اتصالات در سازه فضاکار

تا کنون انواع متنوعی از اتصالات در سازه های فضاکار معرفی گردیده اند که عبارتند از:

- ✓ سیستم اتصال گوی سان
- ✓ سیستم سوکتی
- ✓ سیستم صفحه ای

معمول ترین اتصالی که در اکثر سازه های فضاکار مورد استفاده قرار می گیرد نوعی از اتصال گوی سان می باشد.

انواع سیستم های اتصال سازه فضاکار

- **سیستم های واحدی:**

در سیستمهای واحدی ، واحدهای تکرار شونده که شبکه را تشکیل می دهند جداگانه در کارخانه تولید می شود.

- **سیستم های پیونده ای:**

در سیستم های پیونده ای اعضا و پیوندها بطور مجزا در کارخانه تولید شده و سپس در محل کارگاه با اتصال اعضا به پیونده ها شبکه سازه فضایی بر پا می شود.

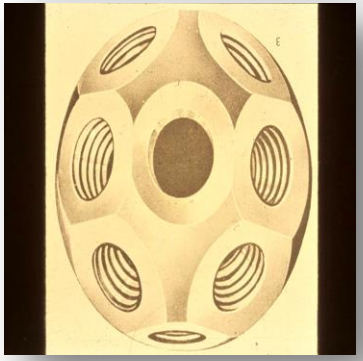
- **سیستم های ترکیبی:**

سیستم هایی هستند که جزء سیستم های واحدی نباشند یا از ترکیب چند نوع سیستم اتصال بوجود آمده باشند.

اجزای سازه فضاکار

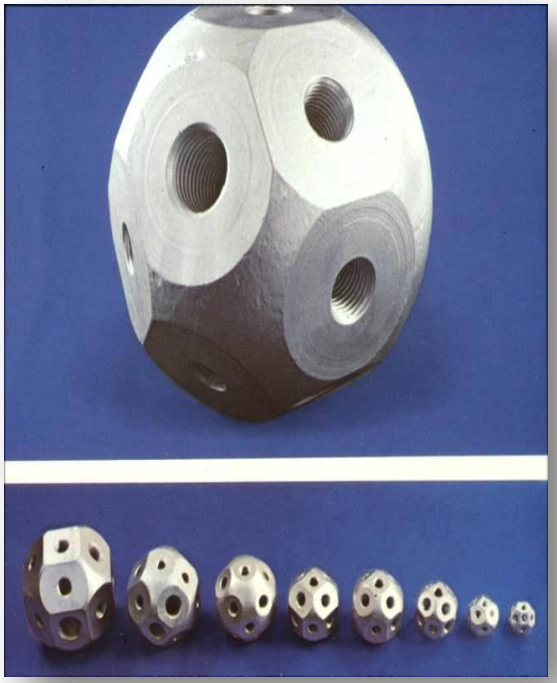
در سازه های فضاکار نزدیک به ۵۰٪ درصد از کل هزینه ها صرف هزینه اتصالات می گردد. از این رو مهمترین اجزای سازه فضاکار اتصالات آنها می باشد.

انواع اجزای سازه فضاکار عبارتست از :



- **گوی** : یک کره فولادی تو پر می باشد که چند وجهی بوده و جهت ارتباط بین اعضای سه بعدی استفاده می شود. در سازه فضایی ، گوی ها باعث می شوند که خود و اعضا مربوط به آنها در یک موقعیت ثابت قرار بگیرند و باعث ایجاد تعادل بین نیروهای اعضا سازه شوند.

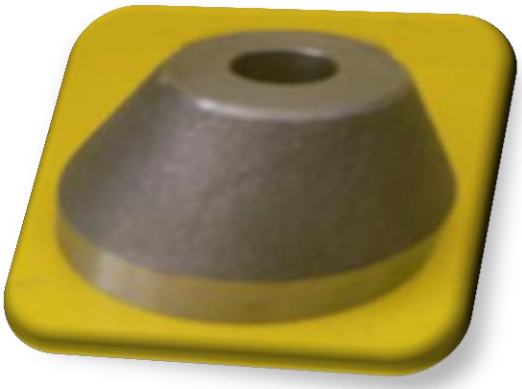
اجزای سازه فضاکار



گوی 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.

گوی متداول در کشور ما از جنس آلیاژ فولادی سیکا ۴۵ با مقاومت Fy , Fu کمی بیش از St52 می باشد. گوی استاندارد برای اتصال المان هایی با زوایای ۴۵ درجه بکار برده می شود. ضخامت معمول خارجی گوی ها به طور استاندارد در اندازه های ۶۰-۹۰-۱۱۰-۱۳۰-۱۵۰ سانتی متری می باشد .

اجزای سازه فضاکار



- **بشقابک** : در محل اتصال المان به گوی از قطعه مخروطی شکل فولادی استفاده می گردد. مخروطی به لوله جوش داده می شود.

- **اسلیو** : مهره ای است که جهت محکم نمودن پیچ ها در داخل گوی استفاده می شود. اسلیوها توسط پین به پیچ متصل می گردند.

اجزای سازه فضاکار

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

- **پیچ** : پیچ ها در سایزهای متفاوتی هستند و یک اتصال جدا شدنی بوده که جهت انتقال نیرو از آن کمک گرفته می شود .پیچ ها در حالت کششی عمل می کنند و نیروی کششی از گل پیچ به نشیمنگاه مخروطی انتقال پیدا می کند.

اجزای سازه فضاکار

انواع پوشش های سازه فضاکار:

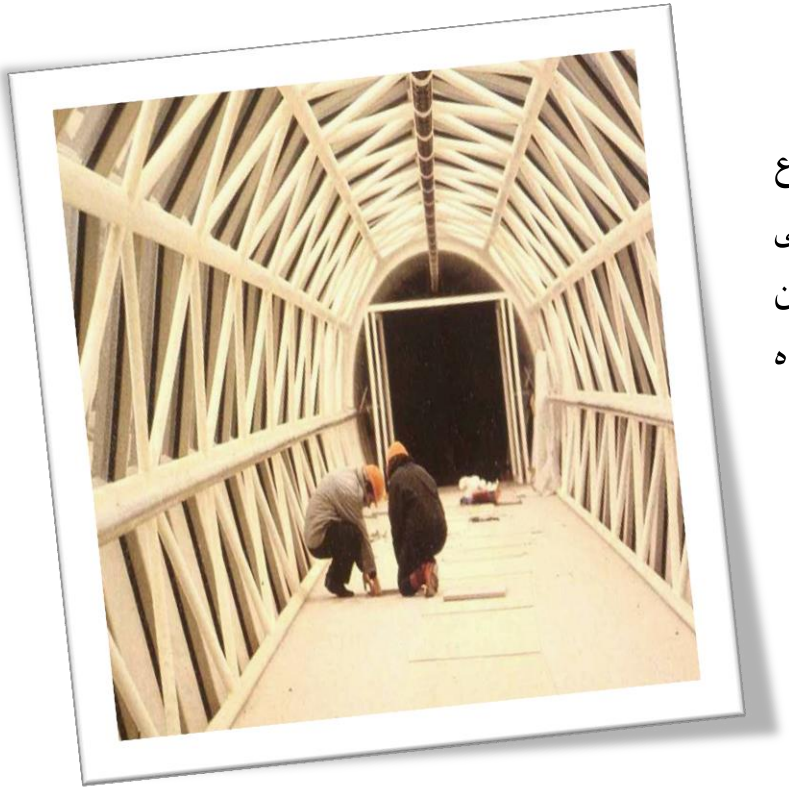
انواع پوشش های سازه فضاکار عبارتند از:

- ✓ ساندویچ پانل
- ✓ ورق های ذوزنقه
- ✓ ورق های سینوسی
- ✓ ورق های شادولان
- ✓ ورق های پلی کربنات
- ✓ ورق گالوانیزه
- ✓ ورق upvc
- ✓ پوشاننده پاشامی

پوشاننده های پاشامی (membrane) :

این نوع پوشاننده ها معمولا از جنس تفلون ،پلی اتیلن ، PVC و فایبرگلاس با الیاف شیشه می باشد. اما جنس معمول این نوع سازه های پارچه ای از نوع پلی اتیلن می باشد.

اجزای سازه فضاکار



پوشاننده سازه فضاکار : Cladding

سقف یا پوشش رویی سازه فضاکار معمولا از جنس آلومینیوم و از نوع صفحه (membrane) با ضخامت و سختی بسیار پایین است که در طراحی سازه های فضاکار می بایست برای تعریف این پوشش روی سازه از المان صفحه ای با سختی پایین ، ضخامت بسیار کم و نیز جرم و وزن کم استفاده نمود .

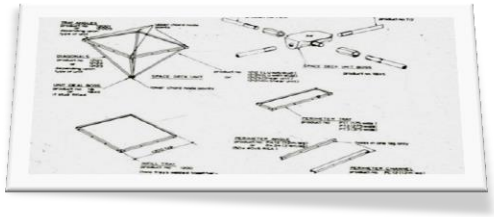
مصالح سازه فضاکار

برای سازه فضاکار اغلب از مصالح فولادی با مقاطع لوله به عنوان اعضای افقی ، مایل و عمودی استفاده می کنند.

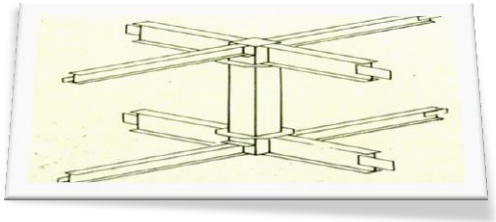
در این میان مصالحی چون پوسته ،آلومینیوم ،چوب و مخلوط آن ها و حتی بتن هم در بعضی موارد استفاده شده است. اما نوع متداول مصالح سازه فضا کار در کشور ما فولادی می باشد

انواع دیتایل های اتصالات سازه فضاکار

- سیستم انگلیسی (Space Deck)
- سیستم آلمانی (Mero Deck)
- Diamond Deck

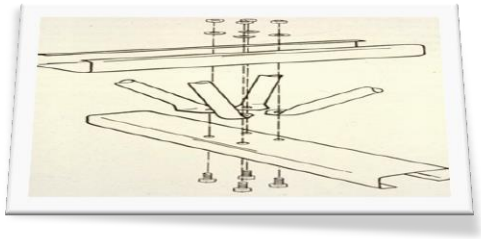


در ایران نزدیک به ۴۰ شرکت طراح و سازنده سازه های فضاکار وجود دارد که همگی آنها از طرح مرو mero برای اتصالات بهره می برند .



نسل جدید اتصالات گرهی MERO

در سال های اخیر ، MERO چهار ا تصال گرهی جدید معرفی کرده است که برا ی سازه های فضا یی تک لایه و پوسته گونه منا سب است . این اتصالات عبا رتند از :

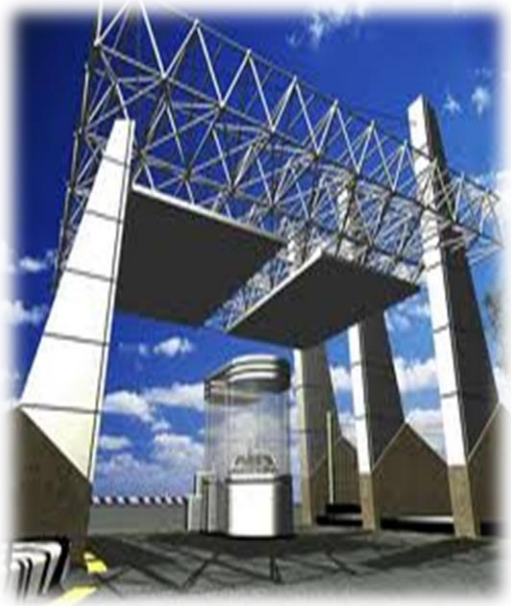


- ا تصال گرهی استوا نه ای ZK
- ا تصال گرهی صفحه – د یسک TK
- ا تصال گرهی نیمکره توخا لی NK
- ا تصال گرهی بلوک BK

تحلیل و طراحی سازه فضاکار

تحلیل و طرا حی سا زه ها ی فضایی شا مل مرا حل متوا لی زیر ا ست:

الف) پیش پردازش :



- انتخاب یک واحد (مدول) مناسب
- انتخاب طرح های هندسی برا ی لایه ها ی مختلف
- تعیین شرایط تکیه گاهی
- معرفی بارها و ترکیبات بار و تعیین بارهای وارد شونده به گره ها
- انتخاب ابعاد عضوها به منظور پردازش اولیه
- تولید توپولوژی هر لایه و تعیین مختصات گره ها
- شماره گذاری گره ها و عضوها

تحلیل و طراحی سازه فضاکار

ب) تحلیل تنش و بهینه کردن :

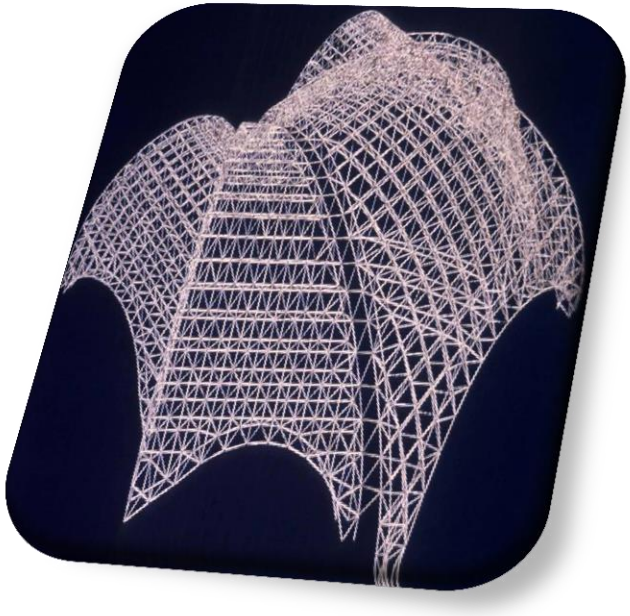
انتخاب ابعاد عضوها برا ی هماهنگی با نیروهای د اخلی

بهینه کردن طراحی برای رسیدن به حداقل وزن

ج) پس پردازش :

نشان دادن نیروهای داخلی و هندسه تغییر شکل یا فته به صورت گرا فیکی

آشنایی با نرم افزار Formian

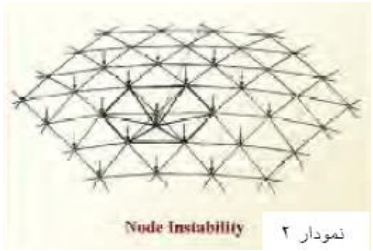


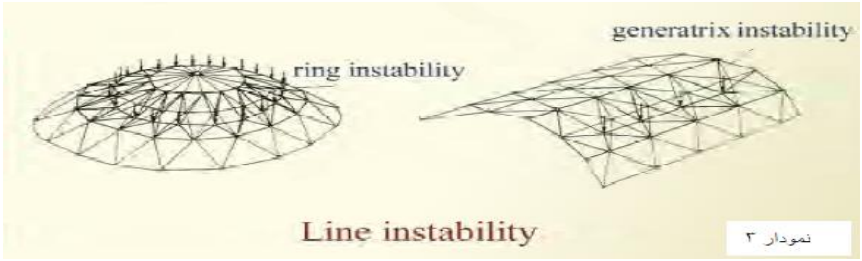
برای ترسیم هندسه سازه های فضاکار بخصوص برای سازه های چلیک و نیم استوانه و کروی هر چند در نرم افزار Sap قابلیت هایی برای ترسیم در نظر گرفته شده اما بخصوص برای سازه های طویل با هندسه پیچیده ، ترسیم اینگونه سازه ها به روش معمول در Sap تقریبا غیر ممکن می باشد که باید از نرم افزار Formian استفاده کرد.

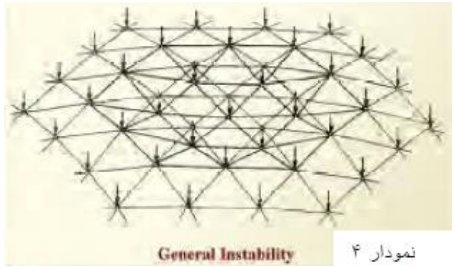
مود های ناپایداری در سازه فضاکار

مود های ناپایداری در سازه فضاکار به صورت زیر می باشد:

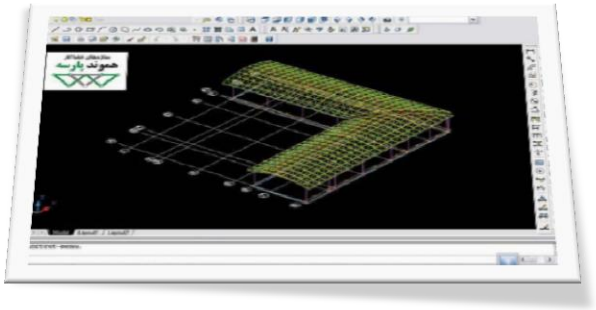
- ناپایداری عضوی (Member Instability):
- ناپایداری گرهی (Node Instability):
- ناپایداری در امتداد محور (Line Instability):
- ناپایداری عمومی (General Instability):







مراحل عملی اجرای پروژه سازه فضاکار



- طراحی: (مدل سازی در Formian و انتقال و ویرایش آن در Auto Cad)
- محاسبات: (توسط نرم افزار Sap-AISC ASD 89)
- تولید هموندهای گویسان مرو:
- رنگ آمیزی هموندها:
- ستون گذاری:
- بافت سازه فضاکار:
- نصب سازه فضاکار:
- نصب پوشانه:

نکات اجرایی سازه فضاکار

تکیه گاه ها در سازه فضاکار:

در سازه فضاکار ستون های مورب به عنوان مهاربند هایی در برابر بار جانبی زلزله شناخته می شود.

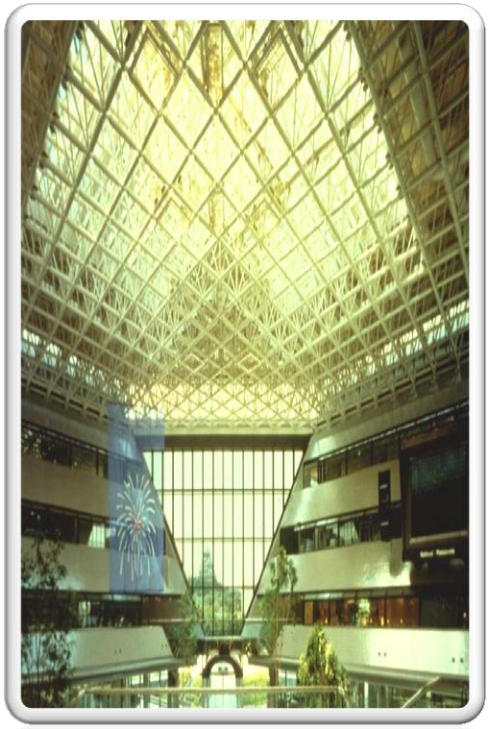
محل قرار گیری تکیه گاه ها:

- سعی شود تکیه های شبکه دو لایه در چهار گوشه نباشد.
- بهتر است مقاطع اعضای شبکه پایین ، کوچکتر از مقاطع بالا در نظر گرفته شود ، جز در حالتی که ستون در فاصله از لبه باشد.
- در شبکه های سه لایه لایه میانی ارزش چندانی ندارد.
- سازه فضاکار می بایست برای درجه حرارت معمول ۳۰ درجه به منظور جلوگیری از قرارگیری درز انبساط حرارتی طراحی شود.
- حتما بایستی اتصالات اعضای مورب به اعضای افقی جوش بخورد.

نحوه مونتاژ سازه فضاکار

به منظوری جلوگیری از تنش وارده به گره خرپا و نیز احتیاط لازم به منظور جلوگیری از واژگونی سازه در حین بالا بردن نیاز به زنجیر کردن سر جرثقیل به چهار گره می باشد.

بازرسی فنی برای خوردگی سازه فضاکار



نقاط حایز اهمیت در بازرسی فنی از این دیدگاه عبارتند از:

- مراکز تمرکز تنش و نقاط حاد
- در مواضع محتمل بروز نارسایی های ناشی از جوشکاری
- مواضع تحت تنش کششی در شرایط در معرض خوردگی
- در مواضع سوراخکاری به روش پانچ و برشکاری از طریق گیوتین
- در اعضا ، اجزا ، اتصالات و پیونده هایی که تحت تأثیر خستگی به ویژه در محیط خورنده قرار دارند

آیین نامه ملی سازه های فضاکار

از حدود ۷ سال پیش بحث تدوین آیین نامه ملی سازه های فضاکار با توجه به نیاز حال حاضر جامعه مهندسین سازه در دوره های سالانه کارگاه سازه های فضاکار قوت گرفت بطوریکه پروفسور نوشین به همراه شاگردانشان این بحث را پیگیری کردند و برای نحوه چاپ و فصول آن برنامه ریزی نمودند. سرانجام پس از تدوین ، این نشریه از تاریخ ۱۳۸۸/۷/۱ به اجرا درآمد.

در شماره ای از ASCE2005 یک شماره مختص طراحی سازه های فولادی آمده است و همچنین در کشور آلمان شرکت مرو Mero خود برای طرح انواع سازه های فضاکار استاندارد هایی دارد که به تصویب شورای مهندسین این کشور می رسد.

آیین نامه ملی سازه های فضاکار

اما در انتهای این نشریه دو پیوست و یک لغت نامه سازه های فضاکار می باشد که کاربرد فوق العاده ای دارند:

-پیوست آیین نامه سازه فضاکار:

این پیوست که شامل انواع هندسه های متداول سازه های فضاکار می باشد شامل انواع کدهای فورمینی مربوط به هر کدام از قالب هاست .

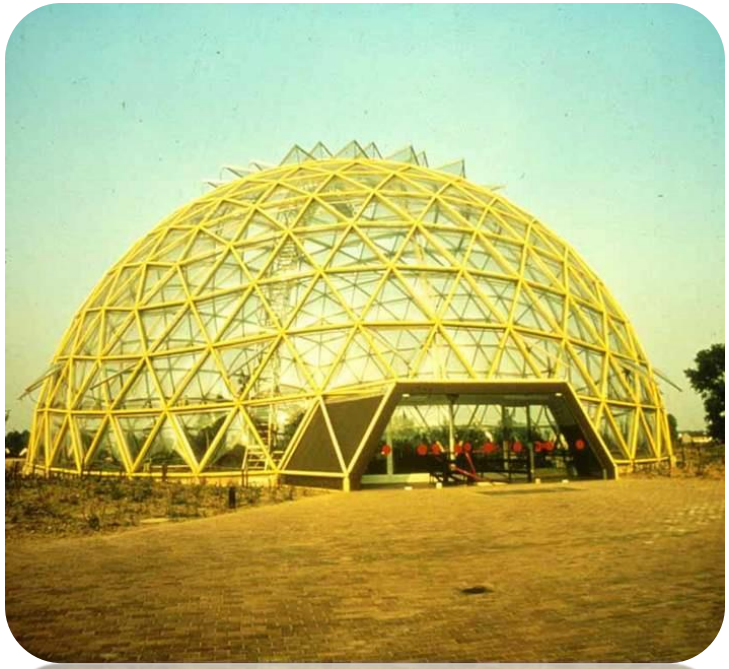
-لغت نامه سازه های فضاکار:

در این لغت نامه پروفسور نوشین در سال ۱۳۷۳ با معادل یابی برای تک تک ۲۰۰ لغت تخصصی سازه های فضاکار برای آنها معادل هایی از ریشه های فارسی اصیل پیدا نمودند.

محدودیت آیین نامه ملی سازه های فضاکار

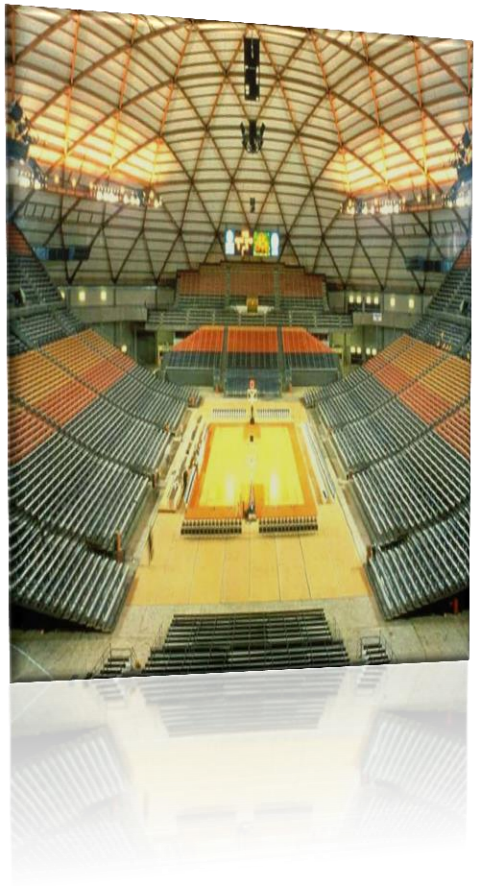
آیین نامه سازه های فضاکار محدودیت هایی هم دارد. از جمله آنکه فعلا تنها در این آیین نامه به سازه های فضاکار فلزی اشاره شده و تنها بحث طراحی آن اشاره می گردد و سایر مباحث مربوط به نحوه کنترل و نصب فعلا در آن نیست .ضمن اینکه از مهمترین معضلات سازه های فعلی کشور ما این است که آیین نامه مرو با روش حالت حدی دتایل اتصالات را پیشنهاد نموده ولی ما طبق روش تنش مجاز سازه را طراحی می کنیم.

بارهای وارده بر سازه فضاکار



- بارهای ثقلی:
  - بارهای مرده:
  - بارهای زنده:
  - بار برف:
- بارهای ناشی از ضربه و بارهای ناشی از ماشین آلات دوار:
- آثار ناشی از ارتعاش:
- بارهای اجرایی:
- بار باد:
- آثار ناشی از تغییرات دما:
- بارهای ناشی از کنش های مرتبط با شرایط جوی:

نیروهای دینامیکی در طراحی سازه فضاکار



در آیینامه سازه فضاکار ، ملزومات و شیوه های محاسبه بارهای ناشی از باد و زلزله بر انواع سازه های فضاکار ارایه گردیده است. این ملزومات عمدتاً در مورد سازه های فضاکار دارای انتظام هندسی و تقارن در توزیع سختی و جرم صادق بوده و با انحراف از این ویژگی ها ، میزان دقت در کاربرد این ملزومات نیز کاهش می یابد .در مورد سازه های نامنظم یا مواردی که نوع و رفتار پوشانه ها به گونه ای است که تخمین پاسخ دینامیکی سیستم به آثار ناشی از باد مستلزم بررسی های ویژه است ، باید از مطالعات عددی و آزمایشگاهی متناسب با نوع و میزان اهمیت پروژه بهره گیری شود.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه سوره
سازه‌های نو

منابع و مراجع

- مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران ، مبحث دهم ، ویرایش ۱۳۸۷
- آیینامه حداقل بارهای وارده بر ساختمان ها و ابنیه فنی (استاندارد ۵۱۹)
- آیین نامه سازه هاي فضاکار کشور (نشریه شماره ۴۰۰ سازمان مدیریت)
- آیینامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (آیینامه ۲۸۰۰)
- نوشین ، هوشیار(۱۳۸۰) ، جزوه آموزش نکات پیشرفته تحلیل و طراحي سازه هاي فضاکار
- پاولی مارتین ، سیستم های ساختمانی آینده ، دکتر محمود گلابچی ، چاپ اول ، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

- Proceedings of the First International Conference on Space Structures, University of London, Battersea College, Edited by: Z. S.Makowski, 1966.
- Proceedings of the Second International Conference on Space Structures , University of Surrey, Edited by: W. J. Supple, 1975.
- Proceedings of the Third International Conference on Space Structures, University of Surrey, Edited by: H. Nooshin, 1984.
- Analysis, Design and Construction of Double Layer Grids, Edited by : Z. S. Makowski, Applied Science Publishers, London, 1981.
- Analysis, Design and Construction of Braced Barrel Vaults, Edited by : Z. S. Makowski, Applied Science Publishers, London, 1983.