

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

گروه مهندسی  
فراعمران  
ucivil.ir



### خدمات گروه مهندسی فراعمران

✓ تولید محتوا و مرجع دانلود رایگان کتاب، جزوه و پروژه های درسی

✓ آموزش تخصصی نرم افزارهای GeoStudio ، Abaqus و ...

✓ مشاوره انجام پایان نامه و پروژه های دانشجویی با کادری مجرب



# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

موضوع: سازه‌های فضاکار

صالح امانی

## فهرست:

- ۵.....تاریخچه سازه‌های فضا کار.....
- ۸.....مقدمه.....
- ۹.....تعریف سازه های فضاکار.....
- ۱۰.....دلایل شهرت ناگهانی سازه های فضا کار.....
- ۱۱.....انواع سازه فضاکار.....
- ۱۱.....انواع سازه‌های فضاکار از لحاظ مصالح.....
- ۱۳.....انواع سازه‌های فضاکار از لحاظ ساختار.....
- ۱۴.....اجزای تشکیل دهنده سازه فضا کار.....
- ۱۶.....انواع پوشش های سازه فضا کار.....
- ۱۷.....مزایای سازه فضاکار.....
- ۲۰.....کاربرد های سازه فضاکار.....
- ۲۱.....اتصالات سازه فضاکار.....
- ۲۱.....دسته بندی اتصالات.....
- ۲۲.....اتصال با عملکرد نزدیک به مفصل.....
- ۲۴.....اتصال با عملکرد نزدیک به صلب.....
- ۲۵.....اتصال با عملکرد نیمه صلب.....

۲۶	.....دسته بندی از دیدگاه روش اجرای اتصال
۲۶	.....اتصالات جوشی
۲۸	.....اتصالات پیچی
۲۹	.....اتصالات پرسی
۳۰	.....اتصالات کام و زبانه‌ای
۳۱	.....اتصالات ترکیبی
۳۳	.....دسته بندی از دیدگاه مدول های مبنا
۳۳	.....سیستم‌های پیونده‌ای
۳۴	.....سیستم‌های واحدی
۳۵	.....جزئیات اجرایی
۴۱	.....مراحل اجرای پروژه فضا کار
۴۳	.....نکات اجرایی سازه فضا کار
۴۴	.....اتصالات مرو
۴۴	.....مقدمه اتصالات مرو
۴۵	.....معرفی اتصال مرو مورد آزمایش
۴۷	.....تعیین رابطه نیرو- تغییر مکان اتصال
۴۸	.....تحلیل سازه های فضاکار با سیستم اتصالی نوع مرو با در نظر گرفتن اثر اتصال

۴۹	شبکه دو لایه مورد مطالعه.....
۵۱	تحلیل شبکه دو لایه با استفاده از مدل پیشنهادی.....
۵۲	نتایج تجربی و تحلیلی.....
۵۳	نتیجه گیری.....
۵۴	محاسبات اجزای سازه فضا کار.....
۵۴	محاسبات پیچ.....
۵۸	محاسبات اسلیو.....
۶۲	محاسبات لوله‌ها.....
۶۴	محاسبات بشقابک‌ها.....
۷۰	منابع.....

تاریخچه سازه های فضا کار:

تا اواسط قرن ۱۸ مصالح اصلی در دسترس برای معماران و مهندسان سنگ چوب و آجر بود. از آن مصالح سنگ و آجر در برابر فشار مقاوم ولی در برابر کشش ضعیف بودند به همین دلیل برای سازه های سه بعدی مثل گنبد ها و طاق ها مناسب بودند. از پیشرفت های قابل توجه در این زمینه اجرای طاق ها توسط کارگران قرون وسطی بود. بزرگترین دهانه ها در میان گنبدهای آجری کلیسای سنت پیترز در رم (۹۳-۱۵۸۸) و سانتاماریادل فیوره در فلورانس بودند که هر دو در پایه گنبد ، قطری معادل ۴۲ متر داشتند . چوب مقاومت زیادی در برابر کشش و فشار دارد ولی به صورت طبیعی تنها در طول ها و مقاطع عرضی محدود در دسترس است . با وقوع انقلاب صنعتی ، تولید آهن و سپس فولاد گسترش یافت و تولید مصالح با مقاومت زیاد ساختن ساختمان های با ارتفاع بیشتر و دهانه های وسیع تر را امکان پذیر ساخت . همزمان با توسعه راه آهن و صنعتی شدن تولیدات کالاها تقاضا جهت سازه های با دهانه وسیع برای پل ها ، ایستگاه ها ، ساختمان انبارها و کارخانه ها افزایش یافت . در ابتدا مجموعه ای از خرپاهای متنوع شکل گرفت و در مراحل بعد سازه های مشبک فضایی سه بعدی به وجود آمدند.

بسیاری از فرم های سازه ای به ویژه اغلب شبکه های فضایی از مدول هایی تشکیل شده اند . نظریه ساخت ساختمان های مدولار به صورت یک رویای تحقق یافته تقریباً ۱۵۰ سال قبل با طراحی ساخت و نصب قاب های فلزیکیستال پالاس درهاید پارک لندن (برای برگذاری نمایشگاه بزرگی در سال 1851 شکل عملی یافت و کارایی این روش به خوبی نشان داده شده سازه های نمادین مانند برج ایفل که از آهن شکل داده شده بین سال های ۱۸۹۷ و ۱۸۹۹ در شهر پاریس ساخته شد دلیلی برپایداری و دوام سازه های فلزی سه بعدی مدولار به شمار میروند شاید قدیمی ترین نمونه ها از آنچه امروزه به عنوان قاب فضایی می شناسیم ( که دارای امتیاز هایی نظیر سبکی ، مقاومت ، سه بعدی ، امکان تولید انبوه و اجرا به روش سازه های مدولار میباشد) در دهه اول قرن ۲۰ الکساندر گراهام بل خرپاهای فضایی مرکب از قطعات ۴ وجهی و ۸ وجهی را آزمایش کرد . گراهام بل خصوصیات دو گانه مقاومت بالا و سبکی وزن را با فرم های ۴ وجهی سه بعدی صلب به نمایش گذاشت و از آنها در بسیاری از پروژه هایش

استفاده کرد. یکی از اولین سازه های مشبک فضایی فولادی با استفاده از اتصالات ریخته گری شده و اعضای لوله ای، یک برج دیده بانی در بین بریگ ، آمریکا بود که در سال ۱۹۰۷ توسط گراهام بل ساخته شد.

در سال ۱۹۴۳ Mero (این خرپاها در معماری کاربردی نداشتند) اولین سیستم شبکه فضایی بود که به صورت گسترده در دسترس معماران ومهندسان قرار گرفت و توسط دکتر مکس منگرینگ هوسن ( ۸۸-۱۹۰۳ ) معرفی شد. این سیستم هنوز هم رایج ترین روش در ساخت خرپاهای فضایی است شامل اعضای لوله ای منفرد و اتصالاتی از نوع پیوندهای کروی (گوی سان) است.عمومیت استفاده از این سیستم تا به امروز ادامه دارد زیرا علاوه بر زیبایی سازه ای می تواند به اشکال گوناگون وبا سیستم های متنوع، متشکل از پیوند های کروی و لوله ها مورد استفاده قرار گیرد. یک نوع شناخته شده از این سیستم، شبکه های دو لایه با استفاده از مدول های پیشساخته است . در انگلستان، در دهه ۱۹۵۰، دنینگ آف چارد سیستم سقف فضایی را براساس مدول های هرمی فولادی پیش ساخته که به یکدیگر پیچ می شوند ( با ابعاد ۱٫۲۲\*۱٫۲۲ متر در پلان و ۱٫۰۵ متر یا ۰٫۶۱ متر در ارتفاع ) توسعه داد. با اندکی تغییرات در ابعاد مدول ها و مصالح سیستم سقف فضایی تا کنون به صورت گسترده وموفقیت آمیز برای سازه های کف وبام مورد استفاده قرار گرفته است .در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰،سیستم های مشبک فضایی در تمام دنیا مورد استفاده قرار گرفت در امریکا ریچارد باکمینستر فولر(۱۹۸۱-۱۸۹۵) (در پی مطالعاتی که در مورد نحوه اتصال تعدادی از کره ها به یکدیگر انجام داد، به سیستم خرپای هشت وجهی دست یافت ارائه طرحهای جدید ریچارد باکمینستر فولر و رشد قابل انتظار سازه های مشبک سبب به وجود آمدن ساختمان سه ربع کره ای به قطر ۷۶ متر بهصورت گنبد ژئودزیک ذبرای غرفه آمریکا در نمایشگاه اکسپو ۶۷ مونترال کانادا شد . این غرفه توسط فولر با همکاری شرکت های سادائو ، ژئومتریکس و سیمپسون، گامپرتزو هگرطراحی شد . گنبدها یک شبکه اتصالی دو لایه از لوله های فولادی بودند که یک شبکه ژئودزیک مثلثی برای لایه خارجی و یک شبکه شش ضلعی برای لایه داخلی داشتند.

به عنوان قدیمی ترین ساخت‌ها برای سازه‌های فضاکار می‌توان از داربست‌هایی که جهت نگهداری چادرهای انسانهای اولیه بکار می‌رفت نام برد. از جمله قدیمی ترین چادرهای انسان‌های اولیه که در مناطقی از چین باستان که در چند سال پیش کشف شده بود می‌توان اشاره کرد. کاربرد سازه‌های شبکه‌ای و سه بعدی در روم باستان و ایران کهن و نیز ایران دوره صفویه در ساخت سالن‌های تجمع، آمفی تئاترها، قصرها، مساجد اسلامی، اماکن متبرکه و غیره جلوه‌گر است.

اولین شبکه چند لایه توسط الکساندر گراهام بل در سال ۱۹۰۶ برای کایت پرواز ساخته شد. در این شبکه طول اعضاء یکسان، اتصالات ساده بود. او اولین مهندسی است که حدود ۹۰ سال پیش نشان داد که می‌توان با قرار دادن صحیح اعضاء سازه‌ای در کنار هم سازه‌هایی محکم و سبک ساخت. می‌توان گفت کاربرد عملی و توسعه یا فته سازه‌های فضاکار و طراحی اصولی این گونه سازه‌ها از سال ۱۹۵۰ شروع شده است. مهندسين سازه به دليل رفتار خوب اين نوع سازه‌ها در برابر بارهای مختلف و مهندسين معمار به علت زیبایی و یکنواختی خاصی که در هندسه آنها موجود است مجذوب این گروه از سازه‌ها شده و تحقیق و بررسی عمیقی در رفتار واقعی این سازه‌ها و کاربرد ساختار بهینه در تحلیل و طرح این سیستم‌ها آغاز گردید.

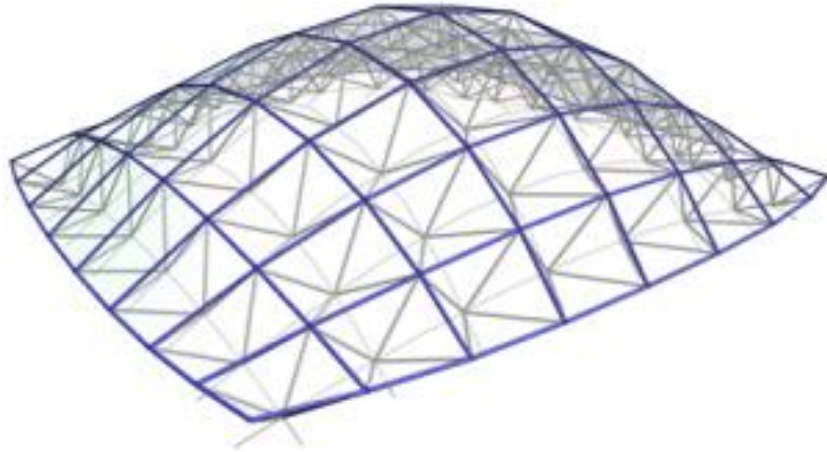




سازه های فضاکار گروهی از سازه ها می باشند که رفتار سه بعدی داشته و معمولا دارای فرمهای بدیع مستوی یا منحنی در فضا هستند که با مدولهای تکرار شونده و یکسان طراحی و احداث می گردند. این سازه ها معمولا در خور تولید صنعتی انبوه بوده و قیود فنی و اقتصادی را با تلفیق مناسبی از مفاهیم سازه ها، اصول ایمنی از طریق جلب دیدگاههای زیبایی شناسی، سرعت در نصب و دقت در اجرا را به ارمغان می آورند. متداولترین کاربرد سازه های فضاکار با تعریف فوق در طراحی و ساخت پوشش ساختمان هایی است که در آنها عملکرد ساختمان ایجاب می نماید که دهانه های بزرگ و وسیع در دو جهت متعامد توسعه یابند. بدیهی است این نوع سازه ها چند منظوره بوده و کاربرد های ویژه ای در استادیوم ها و سالنهای ورزشی دارند. از دیگر مکانهایی که از مزایای این نوع پوشش ها در آنها می توان بهره برد باید به سالنهای اجتماعات، نمایشگاههای چند منظوره، مراکز فرهنگی و هنری، مصلی ها و مساجد، آشیانه هواپیما ها، سالنهای صنعتی، انبارهای وسیع و انواع پایانه های مسافربری اشاره کرد.

این نوع سازه ها به دلیل فرمهای بسیار متنوع از جمله گنبدی، چلیکی، قوسی، شبکه ای مسطح دویا چند لایه و ... علاوه بر کاربرد وسیع دارای زیبایی های ویژه و جذابیت فراوان هستند که توام با دقت در اجرا و ارتقاء کیفیت فضا می باشند. در طول دهه های اخیر، دنیا شاهد رشد چشمگیر در تمایل به استفاده از سازه فضاکار در کاربردهای مختلف بوده است و در طی این سالها، سازه های بسیاری با استفاده از ترکیب های مختلف و سیستم های گوناگون اتصالات سازه فضاکار طراحی و ساخته شده است. این مقدار علاقه به استفاده از این نوع سازه تنها به دلیل معماری جالب و زیبایی های بصری آن نیست بلکه جنبه های دیگر نیز به این علاقه مندی افزوده است که می توان به مواردی مانند ارائه گزینه ای با صرفه اقتصادی در طراحی سازه های با دهانه های بزرگ بدون ستون و امکان توسعه آتی سازه به صورت نامحدود در جهات مختلف اشاره کرد. به عبارت دیگر سازه فضاکار یا سازه فضایی، سازه ای است که دهانه های آن در دو جهت گسترش یافته اند، به طوری که به هیچ ترتیبی نتوان رفتار کلی آن را با استفاده از یک یا چند مجموعه دو بعدی تقریب زد. این نوع سازه از واحدهایی تشکیل شده است که به صورت

شکل‌های هندسی منظم در کنار یکدیگر تکرار شده و با اتصال مکرر اجزا، شبکه‌ای مستحکم و یکپارچه با ساختاری سه بعدی به وجود می‌آورند. اعضای سازه فضاکار فقط در کشش یا فشار می‌باشند.



### تعریف سازه های فضاکار:

به سازه ای 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 می شود . با این تعریف طیف وسیعی از سازه ها یعنی حتی برخی از قوس ها و گنبدهای آجری گذشته نیز جزو سازه های فضاکار محسوب می شوند ، اما در اینجا منظور سازه های سه بعدی خاص هستند که معمولاً دارای اعضای مستقیم با اتصالات صلب یا مفصلی می باشند.

کلاً هر خرابایی که در تمام جهات پراکنده بشه بهش میگند سازه فضاکار یا همون Space Frame فقط نکته مهم قضیه توی هندسه این خراباها هستش که تا حدود ۹۹٪ کاملاً منظم هستند و از هندسه چندوجهی های افلاطونی طرح گیری میشند.

این سازه ها در مقابل سازه های صفحه ای (plane structure) مانند خرپاهای صفحه ای قرار می گیرند که بیش از دو بعد ندارند. بطور دقیق تر در حالت سازه صفحه ای بارهای خارجی و داخلی در صفحه ای منفرد وارد می شوند. که همان صفحه ای است که شامل خود سازه نیز می شود. در سازه های فضا کار ترکیبی از بارهای خارجی؛ بارهای داخلی و جابجایی های به مجموعه ای از سازه ها اطلاق می شود که شامل تیرها طاقهای گنبدی گنبدها برج ها شبکه های کابلی سیستم های پوسته ای ترکیبات تاشو و اشکال کششی است. سازه های فضا کار دامنه بزرگی از اشکال و سازه های ساخته شده با مواد مختلف مثل فولاد آلومینیوم، چوب، بتن، کامپوزیتهای مسلح فیبری، شیشه و یا ترکیبی از این موارد را شامل می شود.



### دلایل شهرت ناگهانی سازه های فضا کار:

۱. سازه های فضایی از قطعه های پیش ساخته استاندارد تشکیل می یابند که در صورت تولید انبوه، قیمت این قطعات بسیار پایین می آید.

۲. یکی از مهمترین خصوصیات سازه های فضاکار، قابلیت پوشش سطح های وسیع بدون ایجاد مانع و همچنین قابلیت پوشانیدن دهانه های بسیار بلند است.

۳. سادگی و در عین حال زیبایی ظاهری این سازه ها توجه بسیاری از مهندسين معمار را به سوی خود جذب می کند.

۴. با پیشرفت تکنولوژی مهندسين و طراحان انواع جدیدی از اتصال های ارزان قیمت را اختراع کرده اند.

۵. از آنجا که سازه های فضا کار از نظر استاتیکی نامنظم هستند بنابراین تحلیل دستی آنها با استفاده از روش های دقیق کار بسیار دشواری است که امروزه این مشکل هموار شده است.

۶. دانشمندان پس از آزمایش های فراوان به مقاومت بسار زیاد انواع سازه های فضا کار در مقابل بار گذاری های سنگین متمرکز یا نامتقارن پی برده اند.

### **انواع سازه فضاکار:**

سازه های فضاکار به دو روش دسته بندی می شوند:

#### **۱. انواع سازه های فضاکار از لحاظ مصالح:**

##### **شبکه های دو لایه:**

شبکه های دو لایه یکی از مهمترین و متداول ترین انواع سازه های فضاکار به شمار می روند. این نوع سازه ها از دو صفحه عناصر که این دو صفحه که با یکدیگر موازی و توسط عناصر میانی به یکدیگر متصل اند تشکیل شده است.

### شبکه‌های سه لایه:

شبکه‌های سه لایه از دو صفحه بالا و پایین و یک صفحه میانی تشکیل شده‌اند که هر یک از صفحات بالا و پایین توسط اعضای میانی به صفحه میانی متصلند. این شبکه‌ها در مواقعی به کار می‌روند که سازه دارای دهانه خیلی بزرگی باشد و ارتفاع شبکه دو لایه جوابگوی قیود آن نباشد

### سازه‌های چلیکی:

اگر شبکه‌ای در یک جهت دارای انحناء باشد سازه‌های چلیکی نامیده می‌شود. این بیشتر برای پوشش سطوح مستطیلی شکل بکاربرده می‌شوند.

### سازه‌های گنبدی:

در صورتی که شبکه‌ای در دو جهت دارای انحناء باشد، سازه گنبدی نامیده می‌شود. در ساخت گنبدها سعی بر آن است که اعضا دارای یک اندازه باشد اما به هر حال تعداد انواع اعضا زیاد خواهد بود. برای ایجاد ساختار گنبدی کافی است یک شبکه را (به هر شکل دلخواه) روی یک کره تصویر نمود.

### سازه‌های تاشو:

این نوع سازه‌ها مثل چتر قابلیت جمع شدن و انتقال دارند و کاربرد عمده آنها در مکانهایی است که به دلیل محدودیت‌های جوی، مکانی، زمانی و مصالح، ساخت دیگر سازه‌ها امکانپذیر نباشد. سازه‌های تاشو بیشتر برای اماکن موقت مانند سیرکها، نمایشگاه‌ها و مناطق سیل و زلزله زده بکار می‌رود.

### سازه‌های بادشو:

سازه‌هایی هستند که از مواد مخصوص لاستیکی و یا پلاستیکی ساخته می‌شوند و در مواقع استفاده با پمپ باد می‌شوند.

## سازه‌های ماهواره‌ای:

سازه‌هایی هستند که به صورت خرپاهای فضایی در ارتفاع ساخته می‌شوند و کاربرد آنها در سازه‌های ماهواره‌ای، خطوط انتقال نیرو و برج‌های مخابراتی است.

## سازه‌های پل‌های فضاکار:

پل‌هایی هستند که از خرپاهای مرکب فضایی ساخته می‌شوند. این نوع پل‌ها برای دهانه‌های بزرگ بعد از پل‌های کابلی در درجه اهمیت اند.

## ۲. انواع سازه‌های فضاکار از لحاظ ساختار:

### سازه‌های فضاکار فولادی:

فولاد پر کاربردترین ماده در ساخت سازه‌های فضاکار به شمار می‌رود. شاید مهمترین علت آن سختی و جوش پذیری بالای آن باشد. یکی دیگر از ویژگیهای مفید فولاد، تنوع پروفیل‌های فولادی و انبوه بودن در اکثر نقاط دنیا بخصوص در کشورهای صنعتی است.

### سازه‌های فضاکار آلومینیومی:

یکی از مصالحی که اکنون مورد توجه قرار گرفته است، آلومینیوم می‌باشد. از مزایای بارز آلومینیوم می‌توان به سبک بودن آن اشاره نمود. بطوریکه وزن آلومینیوم در حدود  $\frac{1}{3}$  وزن فولاد است. همچنین مقاومت خوردگی بیشتری نسبت به فولاد دارد. در نهایت آلومینیوم هنوز گرانتر از فولاد است.

## سازه‌های فضاکار چوبی:

چوب به عنوان یک ماده اولیه در قرون وسطی جهت پوشش سقف بکار می‌رفت. استفاده از چوب‌های ورقه‌ای جهت ساخت این سازه‌ها، یک روش اقتصادی فراروی ساخت این سازه‌ها قرار داد. گنبد‌های چوبی در پوشش سالنهای مدارس و سالنهای ورزشی بسیار متداول است.

## اجزای تشکیل دهنده سازه فضا کار:

### گره‌ها (پیوندها):

در سازه‌های فضا کار نزدیک به ۵۰٪ از کل هزینه‌ها صرف هزینه اتصالات می‌گردد. ازین رو مهمترین اجزای سازه فضا کار اتصالات آنها می‌باشد.

### گوی:

بدنه اصلی یک سازه فضاکار را اعضای آن سازه تشکیل می‌دهند. این اعضا در سازه‌های فضاکار، پروفیل‌هایی در اندازه و مقاطع مختلف می‌باشند. عمده ترین مقاطع بکار رفته در سازه‌های فضاکار مقطع دایره‌ای (گوی)، به صورت توپر یا توخالی و مقاطع نبشی یا قوطی است.

گوی یک کره فولادی توپر می‌باشد که چند وجهی بوده و جهت ارتباط بین اعضای سه بعدی استفاده می‌شود در سازه فضایی، گوی‌ها باعث می‌شوند که خود و اعضای مربوط به آنها در یک موقعیت ثابت قرار گیرند و باعث ایجاد تعادل بین نیروهای اعضای سازه شوند.



گوی می تواند از جنس آلومینیم 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 کمی بیشتر از ST52 می باشد. گوی استاندارد برای اتصال المان هایی با زوایای ۴۵ درجه بکار برده می شود. ضخامت معمولی خارجی گوی ها بطور استاندارد در اندازه های ۶۰-۹۰-۱۱۰-۱۳۰-۱۵۰ سانتی متری می باشد.

### بشقابک:

در محل اتصال المان به گوی از قطعه مخروطی شکل فولادی استفاده می گردد.



مخروط به لوله جوش داده می شود.

### اسلیو:

مهره ای است که جهت محکم نمودن پیچها در داخل گوی استفاده می شود.



اسلیوها توسط پین به پیچ متصل می گردند .



## لوله:

لوله ها جهت تحمل نیرو های محوری (کششی و فشاری) بکار می روند.

دو انتهای لوله بریده شده است و سر آن به وسیله قطعه مخروطی که اتصال آن را با سایر قطعات امکان پذیر می سازد، جوش می شود.



## پیچ:

پیچ ها در سایز های 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.

## انواع پوشش های سازه فضا کار:

۱. ساندویچ پنل

۲. ورق های دوزنقه

۳. ورق های سینوسی

۴. ورق های شادولان

۵. ورق های پلی کربنات

۶. ورق های گالوانیزه

۷. ورق خای UPVC

۸. پوشاننده پاشامی



پوشاننده پاشامی: 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.

### مزایای سازه فضاکار:

سازه های فضاکار مزیت هایی دارند که در ذیل به آنها اشاره می کنیم:

### زیبایی:

طراحی اجزاء سازه ای در این سیستم به گونه ای است که سیستم اجرا شده از چنان زیبایی برخوردار است که در اکثر پروژه های اجرا شده، سازه بصورت نمایان باقی می ماند، حتی در بسیاری از موارد جهت نماسازی ها از این سیستم استفاده می گردد.

امکان همزمانی اجرای سازه فضایی با عملیات ساختمانی دیگر از آنجایی که روش‌های مختلفی برای بافت در این سیستم وجود دارد، امکان همزمانی اجرای این سیستم با دیگر فعالیت‌های ساختمانی بطور همزمان و بدون مزاحمت وجود خواهد داشت.

### **عبور تاسیسات از داخل سازه اجرا شده:**

فضای موجود بین لایه‌های سازه فضایی اجرا شده محل مناسبی را جهت عبور تاسیسات برقی و مکانیکی که می‌بایستی در سطح سالن پراکنده شود فراهم می‌سازد با این مزیت که این تاسیسات از حداقل دید برخوردار می‌باشد و هم چنین اتصال این قطعات و قطعات الحاقی دیگر نظیر تابلوها، نور افکن‌ها و ... به راحتی و در تمامی سطح ایجاد شده وجود خواهد داشت.

### **عدم استفاده از عملیات جوشکاری در هنگام نصب:**

بواسطه پیش ساخته سازی اجزای سازه در کارخانه و پیچ و مهره‌ای بودن کلیه اتصالات هیچگونه عملیات جوشکاری در هنگام مونتاژ و نصب سازه بر روی قطعات انجام نمی‌پذیرد.

### **سبک بودن:**

علیرغم آنچه که از شکل ظاهری این سستم به نظر می‌آید سازه اجرا شده بسیار سبک می‌باشد بطوریکه در مقایسه با دیگر سازه‌های ساختمانی در شرایط مساوی ترجیح داده می‌شود و از این سیستم در اضافه اشکوب‌ها و در زمین‌های با مقاومت خاک پایین استفاده فراوانی صورت می‌گیرد.

### **سرعت:**

استفاده از نرم‌افزارهای مختلف کامپیوتری و هم چنین نرم‌افزارهای خاص این سیستم که توسط متخصصین این شرکت طراحی و آماده شده است در مرحله طراحی استفاده از ماشین آلات اتوماتیک و نیمه اتوماتیک در تولید

قعات در مرحله تولید و روش‌های متعددی که در زمان اجرای سازه فضایی توسط نیروهای مجرب این شرکت بکار گرفته می‌شود.

### **هزینه پایین در دهانه‌های بزرگ:**

ارزان تر بودن این سیستم در مقایسه با سایر سیستم‌های سازه‌ای به خصوص در سالن‌های با دهانه بالا این سیستم را تبدیل به تنها گزینه‌ای نموده که با توجه به سایر مزیت‌های آن دارای توجیه اقتصادی می‌باشد.

### **امکان بازکردن و بستن مجدد سازه:**

از آنجایی که رد طول عملیات نصب سازه هیچگونه عملیات جوشکاری صورت نمی‌گیرد و کلیه اتصالات در سازه اصلی و قطعات الحاقی بصورت پیچ و مهره‌ای صورت می‌گیرد لذا سازه اجرا شده این قابلیت را دارا می‌باشد که بطور کامل مونتاژ گردد و در محل دیگر به همان شکل دیگری تنها با تغییرات اندکی در قطعات سازه‌ای نصب شود.

### **تولید قطعات در کارخانه:**

ساخت و تولید قطعات سازه در کارخانه، کنترل کیفیت و دقت بسیار بالایی را موجب خواهد شد که این امر خود دقت و کیفیت بالا در کل سازه اجرا شده را به همراه خواهد داشت.

### **تغییر در فضای ایجاد شده:**

به واسطه قابلیت خاصی که این سیستم سازه‌ای دارا می‌باشد کاهش و یا افزایش سطح سازه فضایی اجرا شده از هر طرف و به هر شکل تغییر محل تکیه گاهها با حفظ سازه قبلی با رعایت نکات طراحی به راحتی امکان پذیر می‌باشد که این مطلب امکان فوق العاده‌ای را در سالن‌های تجاری و صنعتی جهت طرح‌های توسعه ایجاد می‌نماید که از این نظر با هیچ نوع از سازه‌های دیگر قابل مقایسه نیست.

## ضریب ایمنی بالا:

درجه نامعینی بالای این سیستم، ژپیچ و مهره‌های بودن اتصالات و سهولت کنترل کیفیت قطعات و اتصالات و ساخت کارخانه‌ای قطعات بصورت پیش ساخته عواملی است که ضریب اطمینان و ایمنی سازه را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

## ایجاد سقف افقی در فضایی داخلی:

ایجاد سقف افقی در داخل سالن‌ها از دیگر مزیت این سیستم می‌باشد که علاوه بر زیبایی نسبت به سیستم‌هایی نظیر سوله در مصرف انرژی جهت گرمایش و سرمایش فضای داخل حداکثر صرفه جویی را موجب می‌گردد.

## کاربرد های سازه فضاکار:

قاب‌های فضایی در ساختمان‌های مدرن کاربرد فراوانی دارند. این نوع از قاب‌ها بیشتر در سقف‌هایی با دهانه‌های بزرگ در ساختمان‌های مدرن تجاری و صنعتی دیده می‌شوند.

سیستم‌های سازه‌های فضاکار در سازه‌هایی که در آنها احتیاج به پوشش دهانه‌های بزرگ و بدون ستون است از قبیل: آشپزخانه‌ها، سالن‌های کارخانه‌ها، پوشش استادیوم‌های ورزشی، باشگاه‌های ورزشی، پارکینگ‌های طبقاتی، مراکز فرهنگی و تفریحی، تالارهای تجمع و سخنرانی، سالن اجتماعات، سینماها، آمفی تئاترها، مراکز خرید (بازارهای خرید)، ایستگاه‌های راه آهن، ترمینال‌ها و اهداف بسیار دیگر بکار می‌رود. سیستم‌های سازه‌های فضاکار در سازه‌هایی چون دکل‌های انتقال نیرو، برج‌های مخابراتی، برج‌های ذخیره آب، بشقاب‌های مخابراتی و رادیویی، نیز کاربرد دارند

## اتصالات سازه فضاکار:

الف) با توجه به آنکه رفتار سازه های فضاکار متأثر از نوع اتصالات و پیونده ها می باشد، در طراحی سازه های فضاکار فرض نیز فرضیات مدل سازی در ارتباط با رفتار اتصال و پیونده نقش بارزی در نتایج حاصله خواهند داشت. به منظور شناسایی رفتار سازه فضاکار و مدل سازی واقع گرایانه و تدقیق محاسبات سازه ای، لازم است دسته بندی مناسبی از اتصالات و پیونده ها بعمل آید.

ب) علی رغم تنوع اتصالات و پیونده ها در انواع سازه های فضاکار، دسته بندی آنها از سه دیدگاه اساسی زیر می تواند صورت گیرد:

۱. دسته بندی از دیدگاه میزان صلبیت (میزان انعطاف پذیری)

۲. دسته بندی از دیدگاه روش اجرای اتصال

۳. دسته بندی از دیدگاه سیستم های پیونده ها و شیوه های ساخت و مصالح مربوط

پ) فرضیات در نظر گرفته شده در مدل سازی اتصالات و پیونده ها برای تحلیل سازه، باید به گونه ای هماهنگ و سازگار در طراحی اتصالات و پیونده ها ارضا شوند. به این منظور خواصی مانند میزان صلبیت اتصالات و پیونده ها، تغییر شکل پیونده ها، میزان مقاومت اتصال، رفتار پسماند اتصال و میزان میرایی آن، که از عوامل اصلی و مبانی طراحی اتصال و پیونده به شمار می روند، باید متناسب با فرضیات مدل سازی اتصالات و پیونده ها در مرحله تحلیل، طراحی شوند.

### دسته بندی اتصالات:

میدان حاکم تنش ها در اتصالات سازه های فضاکار از تنوع خاصی برخوردار است. به نحوی که یک اتصال یا پیونده می تواند به تنهایی یا همزمان تحت اثر نیروهای محوری، برشی و لنگرهای خمشی و پیچشی چند محوری قرار گیرد. در تعیین نوع این نیروها و میزان آنها، میزان صلبیت اتصال، روش های اجرای اتصال و نوع سیستم های

پیونده تأثیر بسزایی در رفتار اتصال خواهد داشت. بنابراین به منظور دسته بندی جامع، در این آیین نامه اتصالات و پیونده ها در سازه های فضاکار از این سه دیدگاه دسته بندی می شوند.

### دسته بندی از دیدگاه میزان صلبیت:

یکی از معیارهای اساسی در طراحی اتصالات و پیونده ها در سازه های فضاکار، فرضیات به کار رفته در مدل سازی اتصالات در مرحله تحلیل سازه های فضاکار می باشد که مبتنی بر صلبیت اتصالات و پیونده ها می باشد. فرض میزان صلبیت اتصالات نه تنها بستگی به نوع اتصال، اجزا و مصالح آن دارد، بلکه به نوع تاشه و ابعاد سازه فضاکار نیز وابسته است. از سوی دیگر، صلبیت با توجه به تغییر شکل های ممکن در اتصال می تواند محوری، برشی، خمشی، پیچشی و یا ترکیبی از آنها (به صورت اندرکنش آنها) تعریف شود که بسته به پروژه مورد نظر باید مدنظر قرار گیرد. در این مرحله دسته بندی اتصالات و پیونده های سازه فضاکار براساس صلبیت خمشی در نظر گرفته شده است. براساس این اتصالات به سه نوع متفاوت دسته بندی می شوند:

۱. اتصال مفصلی

۲. اتصال صلب

۳. اتصال نیمه صلب

طراحی جزئیات انواع اتصالات با توجه به شاخص هایی که در بندهای زیر تعریف می شوند، باید به نحوی صورت گیرد، که رفتار اتصال با فرضیات تحلیل سازگار باشد.

### اتصال با عملکرد نزدیک به مفصل:

اتصال با عملکرد نزدیک به مفصلی تلقی خواهد شد که

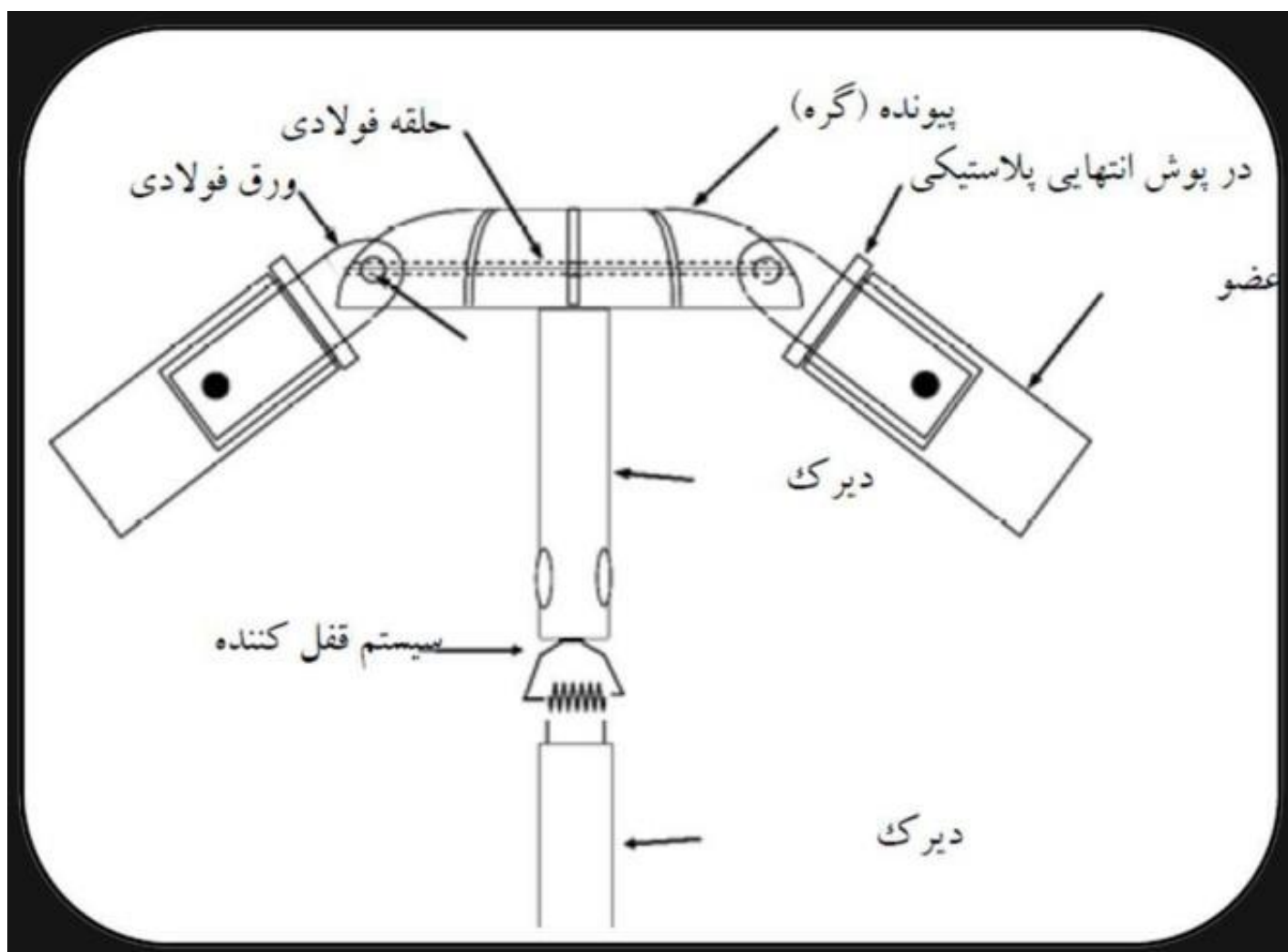
۱. قابلیت اندکی برای انتقال لنگر عضو داشته باشد. اتصالاتی که قادر به انتقال لنگر گیرداری عضو تا میزان حداکثر

۲۰٪ لنگر گیرداری عضو باشند به طور معمول در این دسته طبقه بندی می شوند.

۲. در میدان حاکم تلاش های اتصال مقدار لنگر ناچیز باشد.

شاخص اتصال در مورد این نوع از اتصالات کوچکتر یا برابر با  $0/2$  در نظر گرفته می شود.

در شکل نمونه ای از اتصال با عملکرد نزدیک به مفصل نشان داده شده است.





## اتصال با عملکرد نزدیک به صلب:

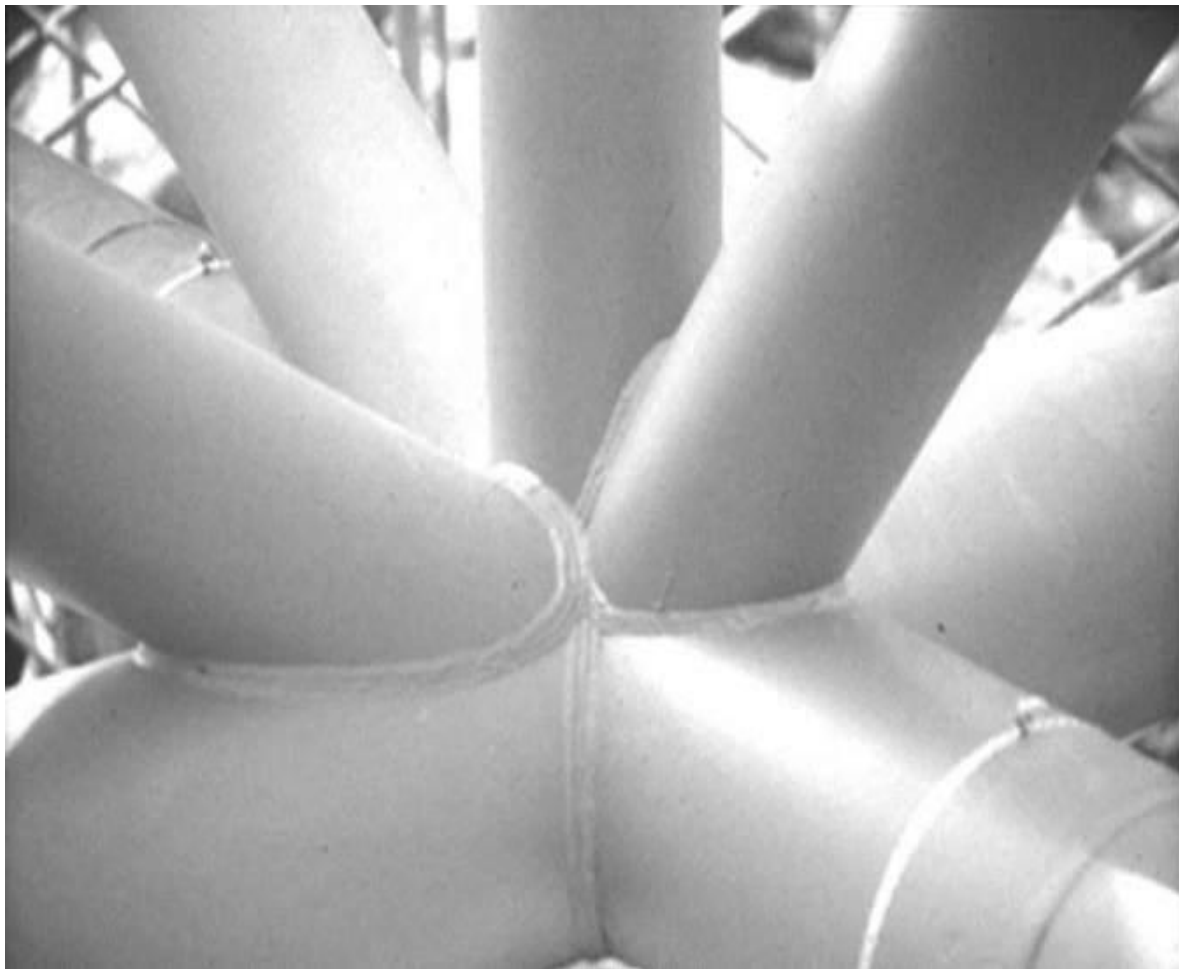
اتصال با عملکرد نزدیک به صلب تلقی خواهد شد که:

۱. قادر باشد حداقل ۹۰٪ لنگر عضو را انتقال دهد؛

۲. در صورت عدم وجود لنگر در اتصال، عملاً تغییر شکل های دورانی وجود نخواهد داشت و فرض رفتار صلب حتی برای یک اتصال مفصلی نیز صادق خواهد بود.

حداقل شاخص اتصال در این نوع اتصالات برابر با  $0/8$  و یا بزرگتر در نظر گرفته می شود.

در شکل نمونه ای از اتصال با عملکرد نزدیک به صلب نشان داده شده است.

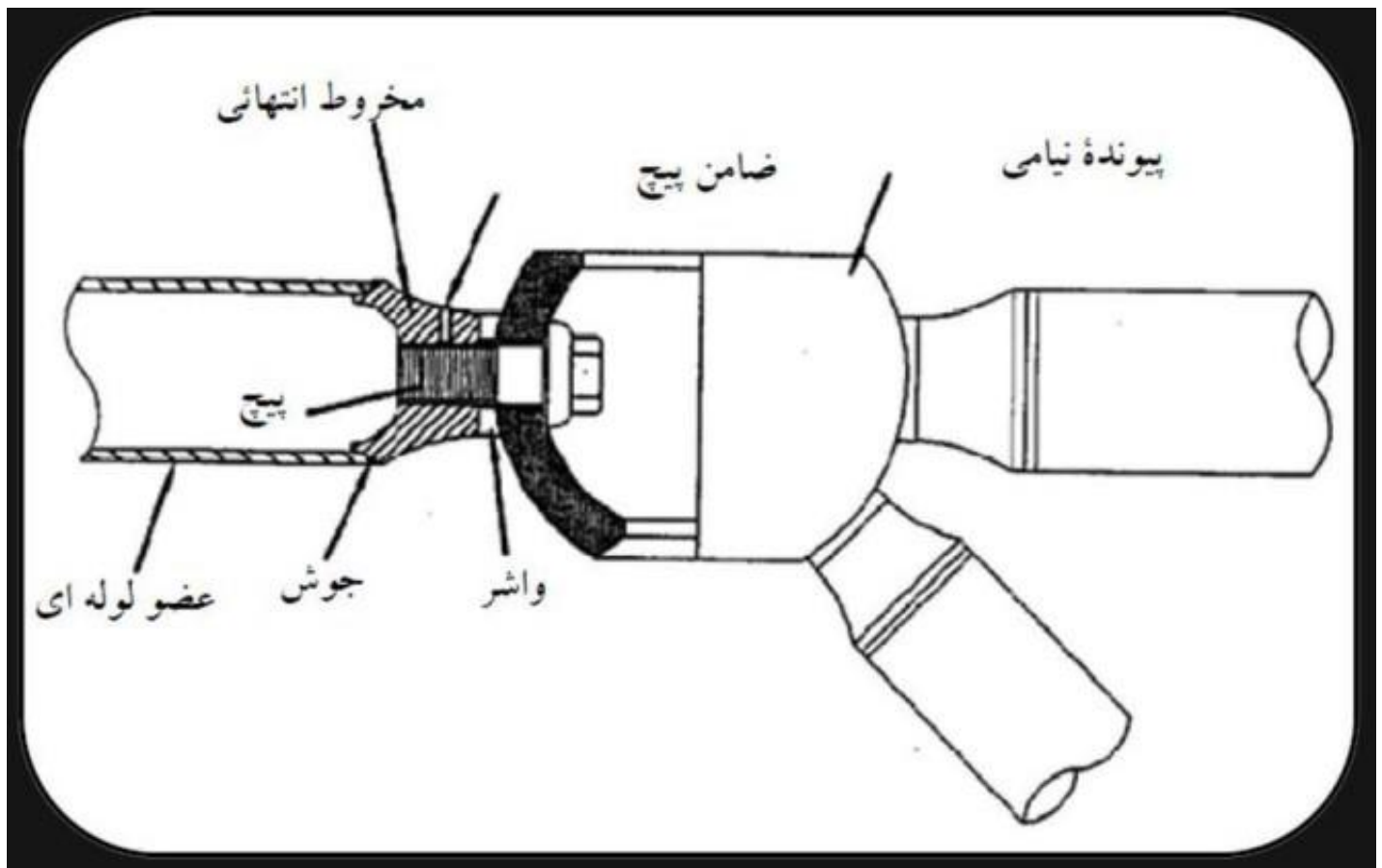


## اتصال با عملکرد نیمه صلب:

اتصال با عملکرد نیمه صلب تلقی خواهد شد که بتواند لنگری مابین مقادیر  $20\%$  و  $90\%$  لنگر عضو را تحمل و انتقال دهد.

شاخص اتصال در مورد این نوع اتصالات بسته به میزان قابلیت انتقال لنگر بین  $0/2$  و  $0/8$  می باشد.

در شکل نمونه ای از اتصال با عملکرد نیمه صلب نشان داده شده است.



## دسته بندی از دیدگاه روش اجرای اتصال:

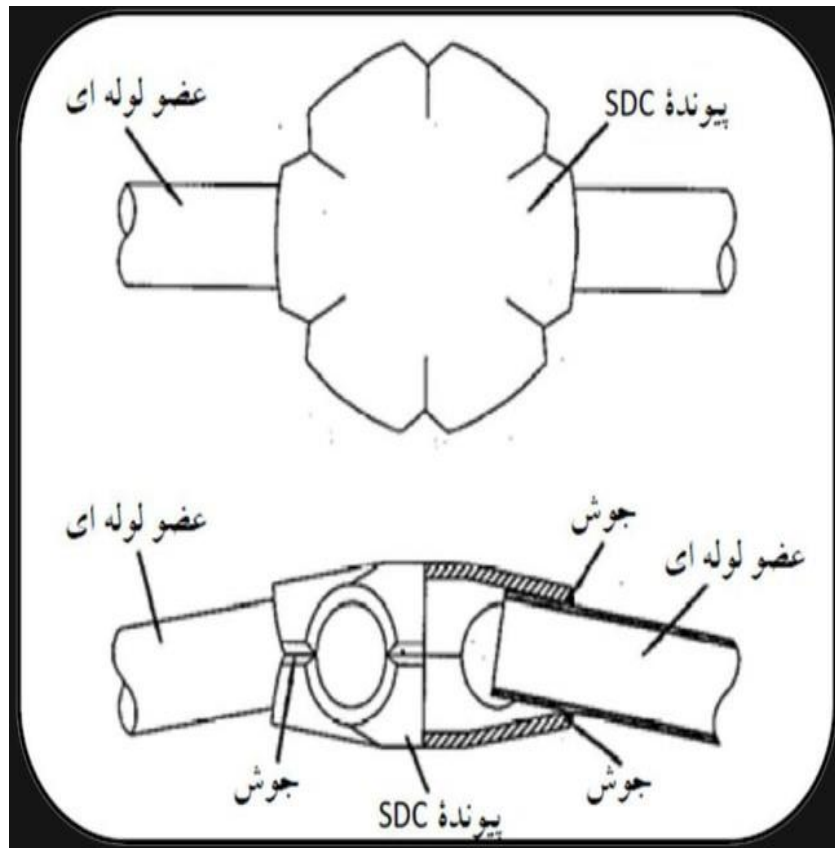
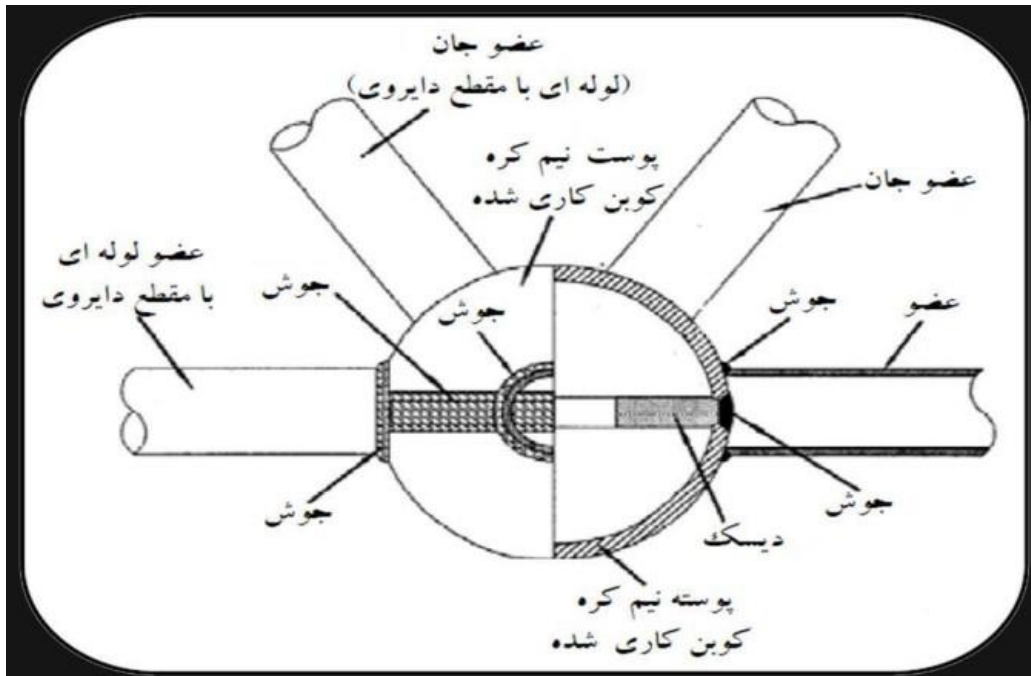
در طراحی اتصالات نه تنها فرضیات به کار رفته در ارتباط با صلبیت اتصالات باید واقع گرایانه و قابل حصول باشد، بلکه نحوه اجرا و ساخت اتصال در طراحی آن نقش اساسی دارد. با توجه به تنوع اتصالات و سیستم های پیونده در سازه فضاکار از دیدگاه شیوه ساخت از جمله اتصالات و پیونده های پیش ساخته یا به صورت ساخت درجا یا قابلیت یا فقدان قابلیت مونتاژ نمودن سازه در پای کار، طیف وسیعی از نوع اتصالات در سازه های فضاکار ابداع گردیده است. که از دیدگاه اجرای شامل اتصالات جوشی، پیچی، پرسی، کام و زبانه ای یا ترکیبی از این روش ها می گردد که در نحوه طراحی هر کدام از آنها معیارهای مربوط باید به کار گرفته شوند.

در دسته بندی اتصالات از نقطه نظر نحوه اجرای اتصال، نه تنها نحوه اتصال می تواند عامل اساسی در طراحی باشد، بلکه اجزای به کار رفته و شیوه اتصالات آنها نیز حائز اهمیت است. به عنوان مثال، در اتصال جوشی، جوشکاری ورق های مستوی، استوانه ای و کروی با شیوه های اجرایی متفاوت ولی متناسب با هندسه اتصال به کار گرفته می شود.

در صورت استفاده از اتصالات پرچی، معیارهای خاص آنها نیز باید ملحوظ گردند.

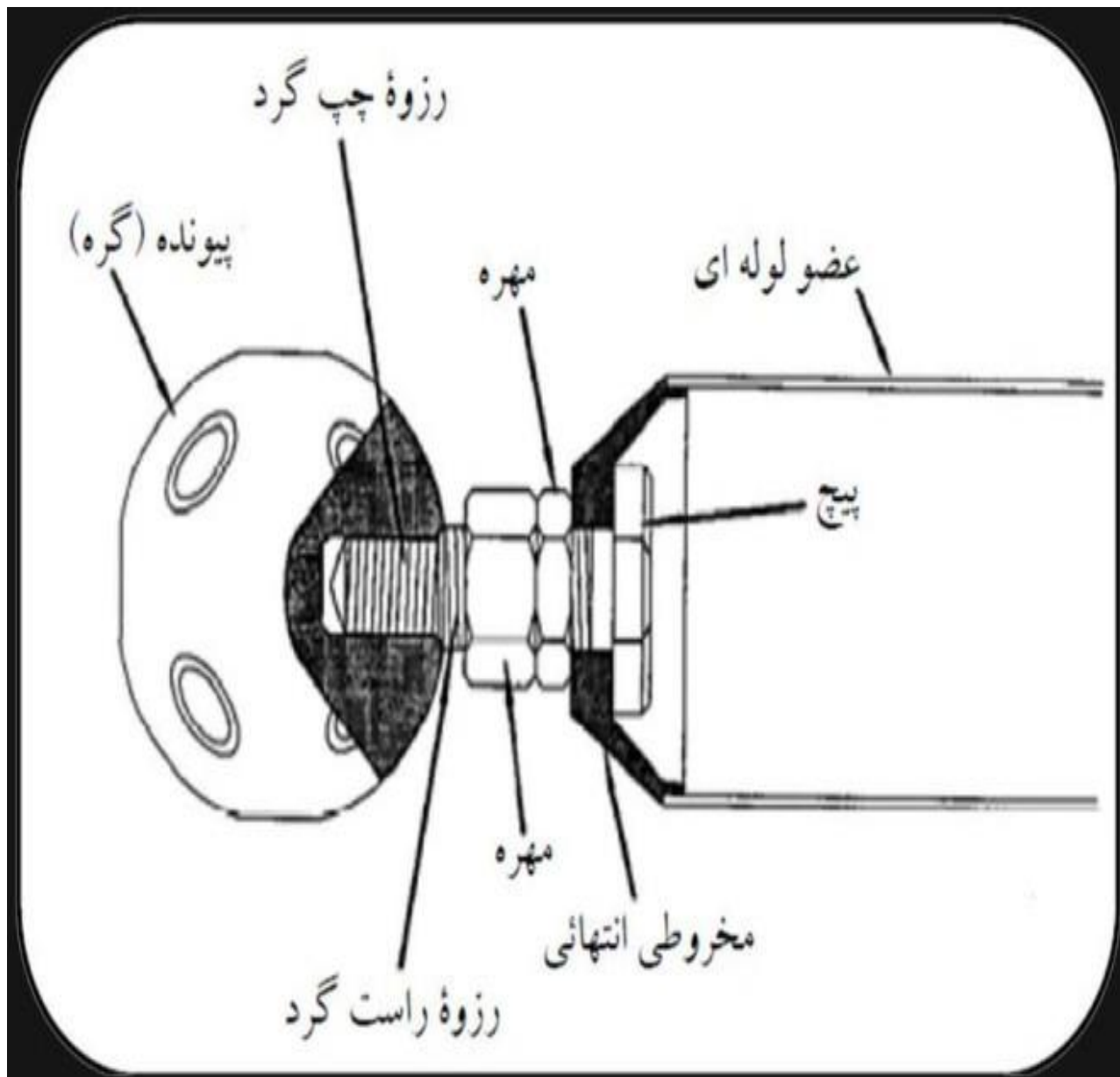
### اتصالات جوشی:

در اتصال جوشی همان گونه که از عنوانش نمایان است، از جوش برای اتصال اعضا به پیونده ها و یا کل اجزای اتصال و یا اتصال مستقیم اعضا به یکدیگر استفاده می شود. نمونه هایی از این نوع اتصالات سازه های فضاکار، در شکل ها نشان داده شده است.



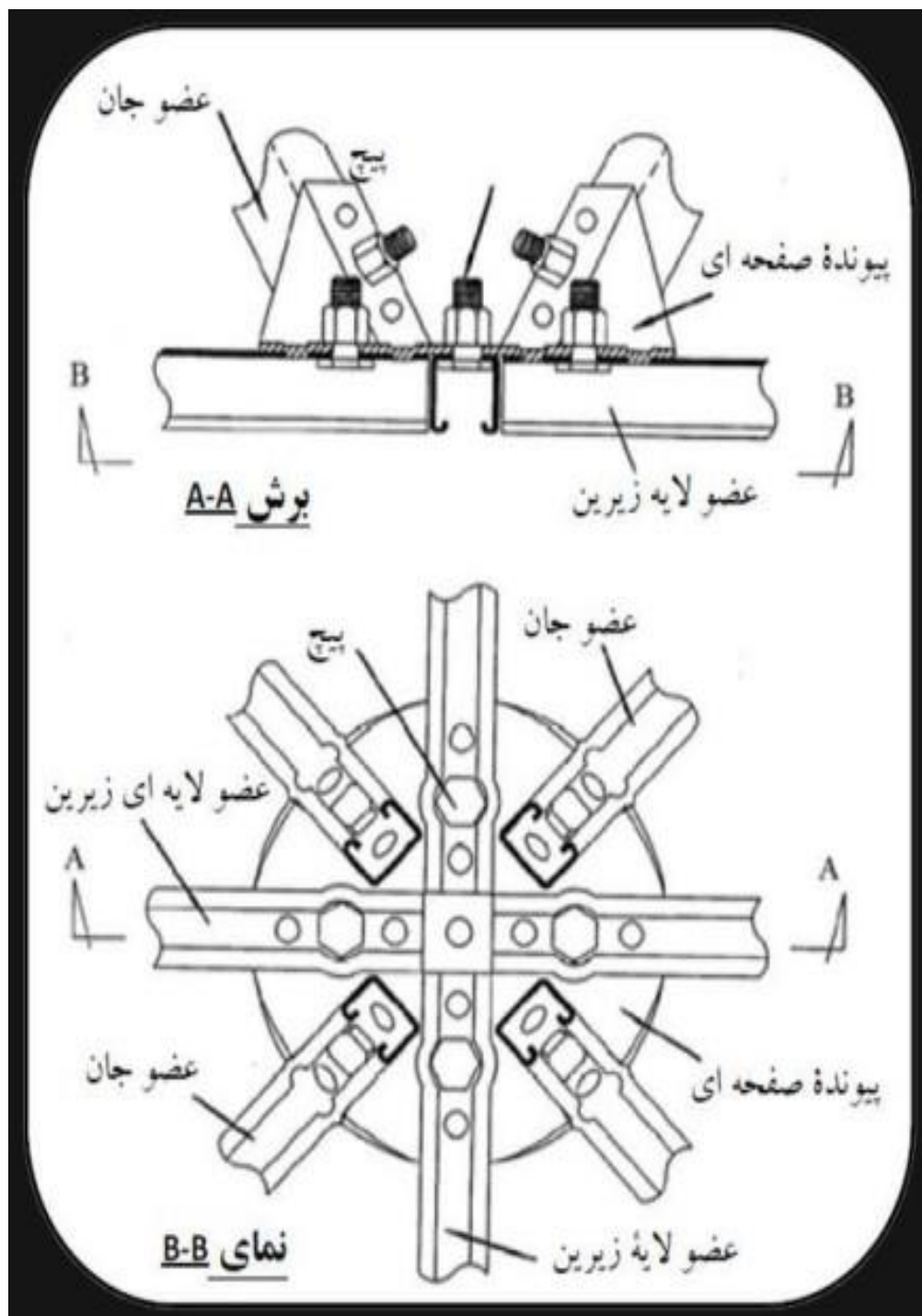
## اتصالات پیچی:

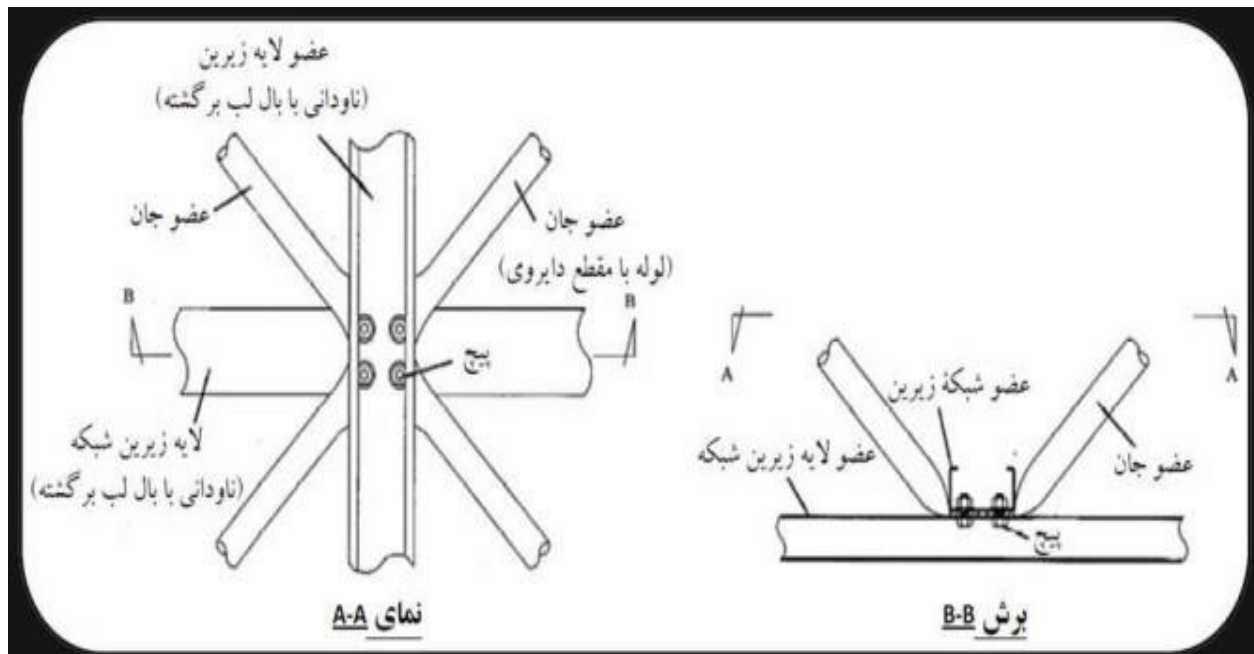
در اتصال پیچی همان گونه که از عنوانش مشخص است از پیچ به عنوان وسیله اتصال اعضا استفاده می شود. نمونه هایی از این نوع اتصالات در سیستم های متفاوت سازه های فضاکار در شکل ها نشان داده شده است.



## اتصالات پرسی:

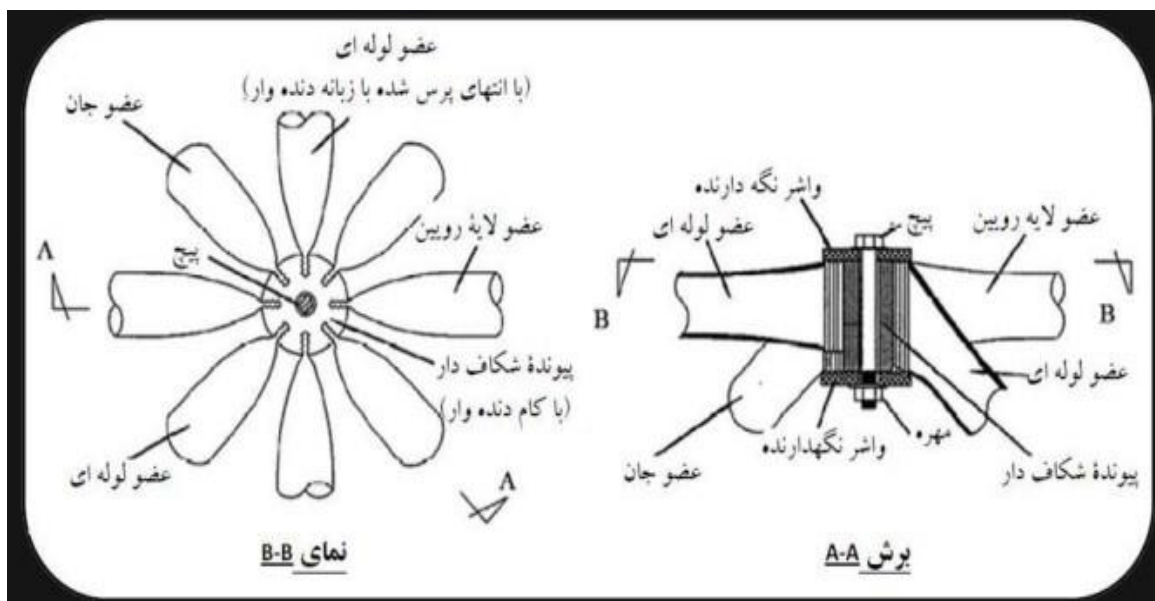
در اتصال پرسی برای اجرای اتصال، انتها یا قسمتی از اعضا پرس می شوند. در شکل نمونه ای از این نوع اتصال نشان داده شده است.

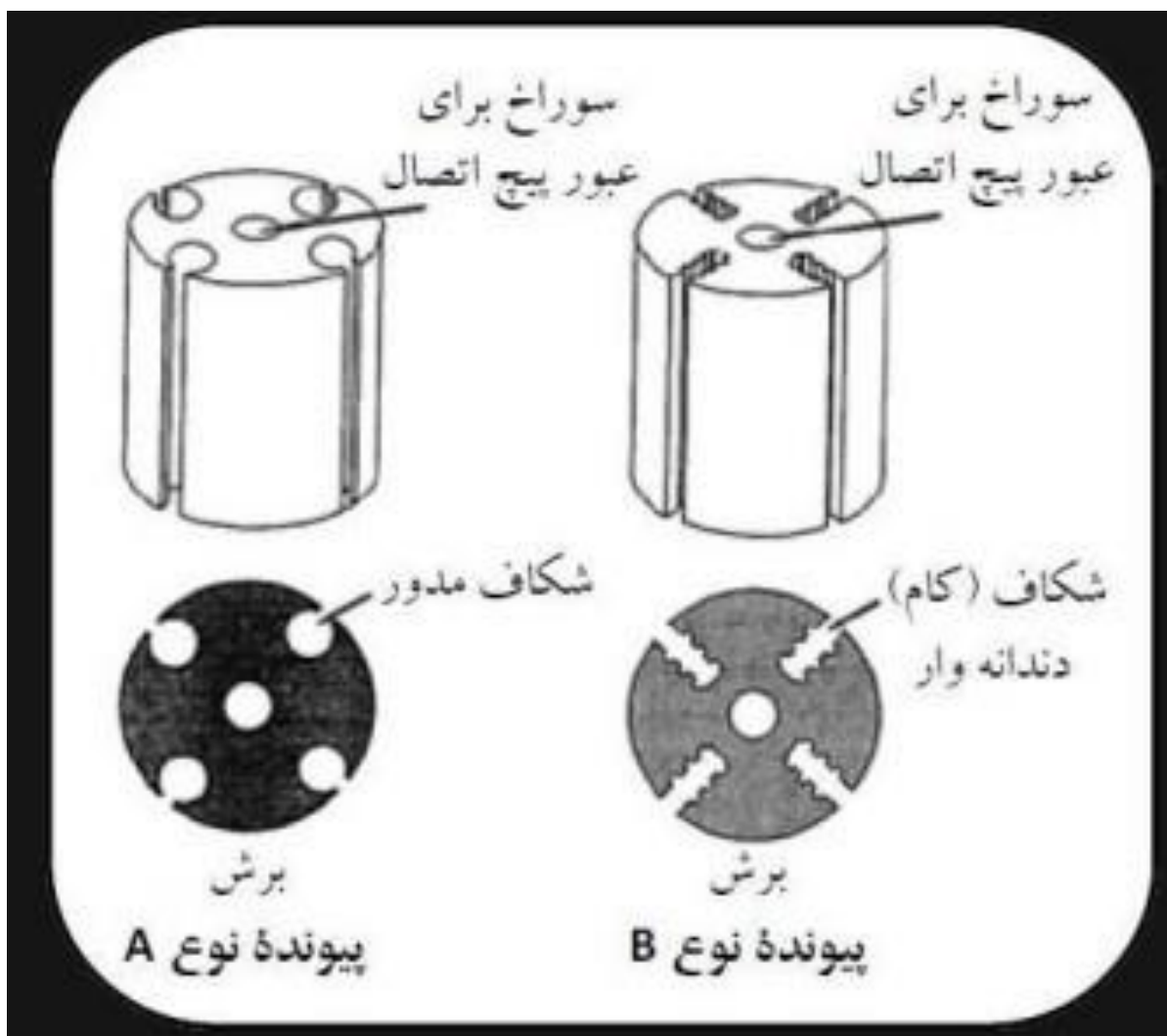




### اتصالات کام و زبانه ای:

در این نوع از اتصال از سیستم کام و زبانه برای تأمین اتصال استفاده می شود. در شکل نمونه ای از این نوع اتصال نشان داده شده است.

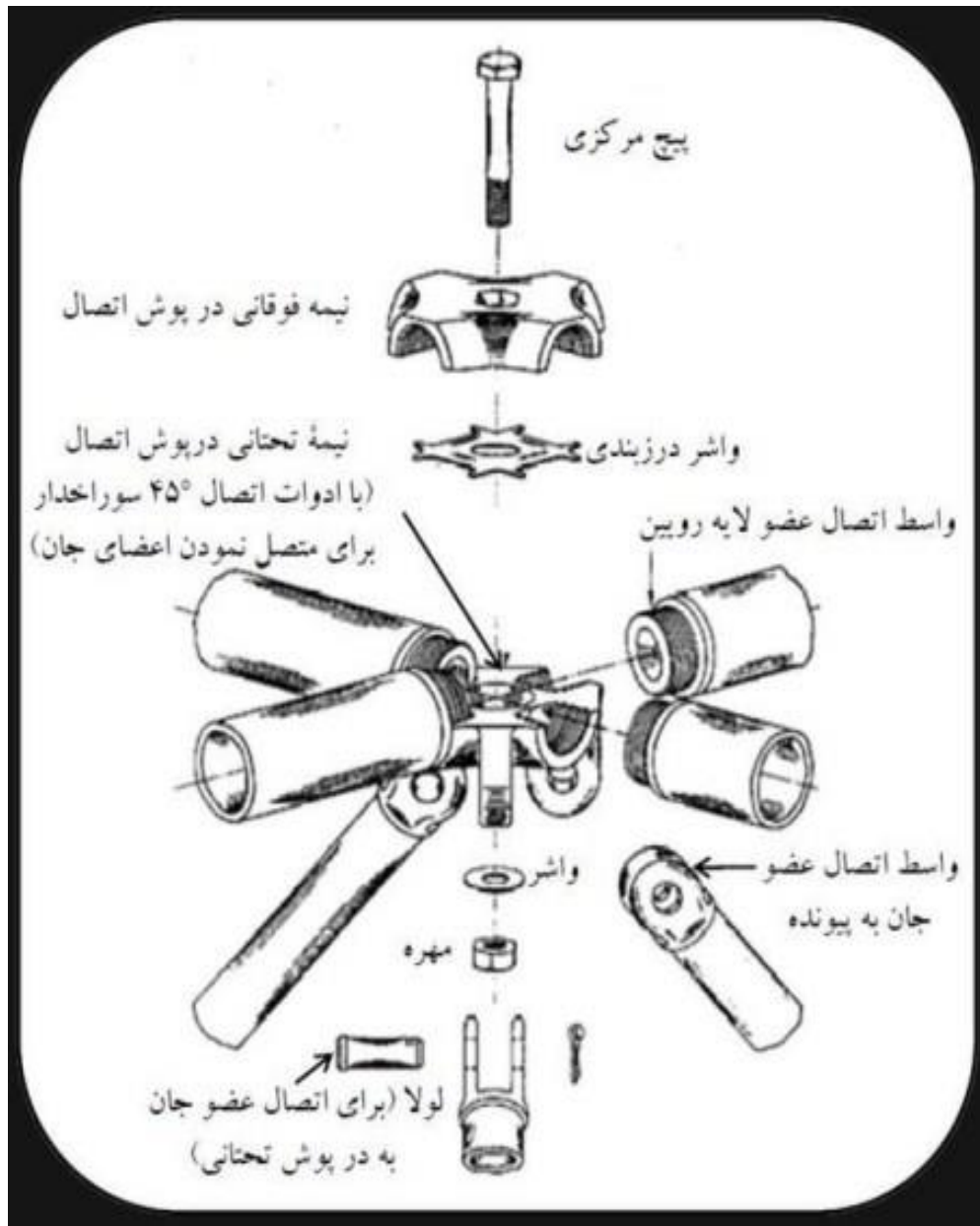




### اتصالات ترکیبی:

اتصالات ترکیبی اتصالاتی را شامل می شوند که ترکیبی متناسب از برخی از انواع اتصالات جوشی، پیچی، پرسی و یا کام و زبانه ای باشند. در شکل نمونه ای از این نوع اتصال نشان داده شده می شود.



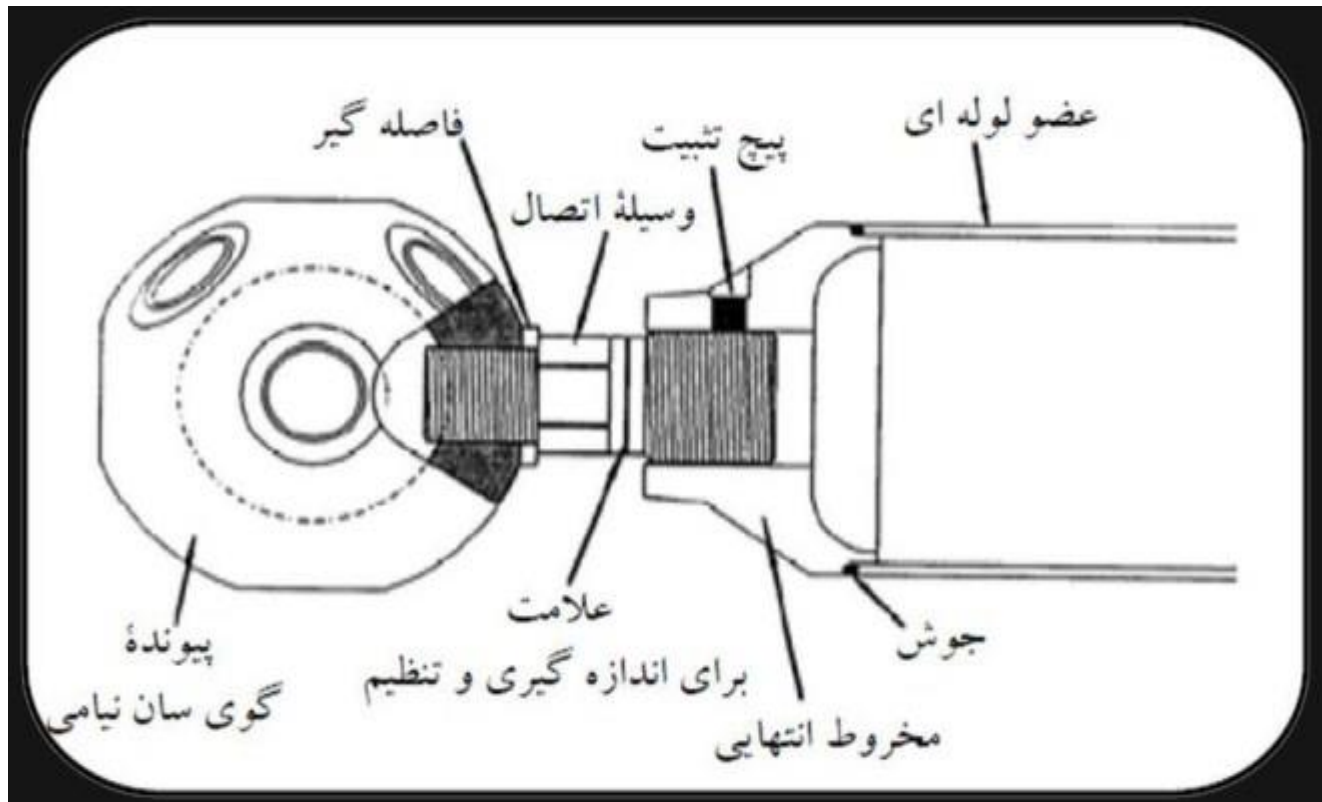


## دسته بندی از دیدگاه مدول های مبنا:

بسته به نوع اعضای سازه های فضاکار، ملاحظات صنعتی، تجاری و اقتصادی و همچنین جنبه های رفتاری سازه ای، انواع گوناگون سیستم های پیونده ها ابداع گردیده اند. در دسته بندی کلی، سیستم های متنوع مزبور را می توان در دو رده مهم سیستم های پیونده ای (گرهی) و سیستم های واحدی (مدوله) مورد بررسی قرار داد.

### سیستم های پیونده ای:

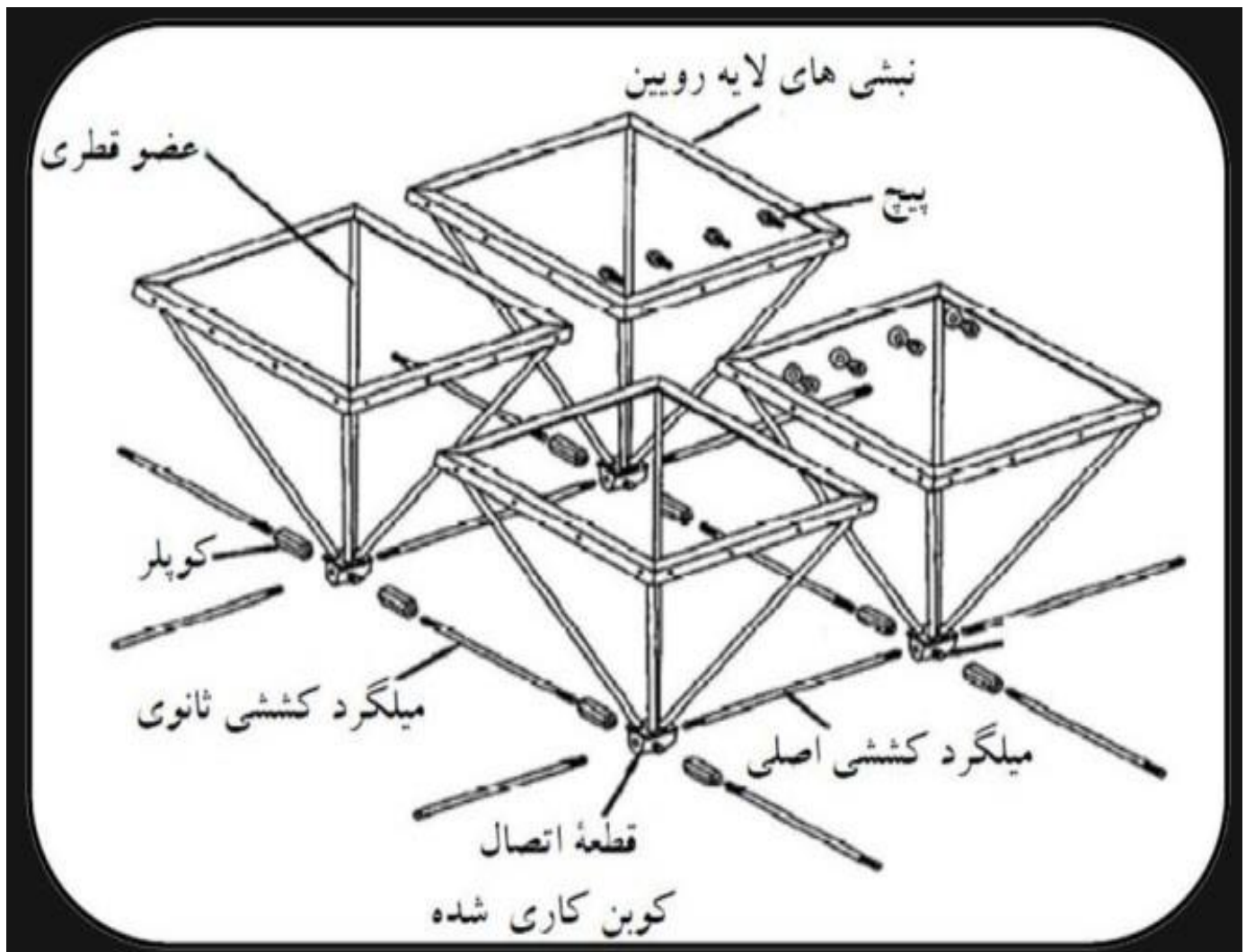
در این سیستم ها پیونده ها به صورت واسطه ای بین اعضا عمل می نمایند. این سیستم ها با توجه به نوع کاربرد آنها در سازه های فضاکار و اجزای تشکیل دهنده آنها به پنج گروه: پیونده های گوی سان، پیونده های نیامی، پیونده های صفحه ای، پیونده های شکافی و پیونده های پوسته ای تقسیم بندی می شوند. در شکل نمونه ای از سیستم های شامل پیونده های گوی سان نشان داده شده است.



## سیستم های واحدی:

این نوع سیستم ها، از مدول هایی تشکیل شده اند که شامل دو یا چند جزء متصل بهم می باشند. فرم های متنوع این مدول ها، انواع متنوعی از سیستم های واحدی را به وجود آورده اند. متداول ترین انواع این سیستم ها با توجه به کاربرد گسترده آنها در سازه های فضاکار شامل سیستم های موسوم به Space Deck Diamond, Cubic, Unibat, و Harley تقسیم بندی می گردند.

در شکل سیستم به عنوان نمونه ای از سیستم های Space Deck واحدی نشان داده شده است.



جزئیات اجرایی:

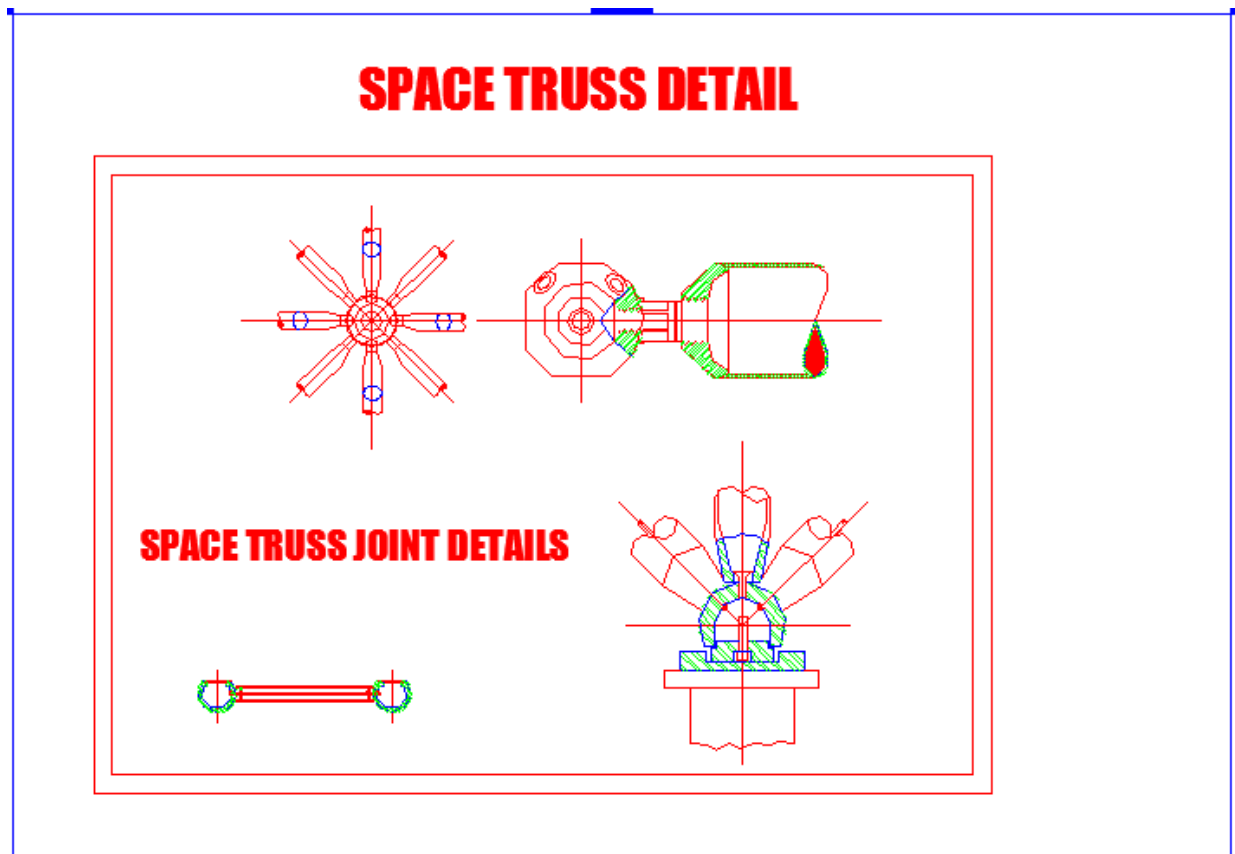
\*سیستم انگلیسی (Space Deck)

\*سیستم آلمانی (Mero Deck)

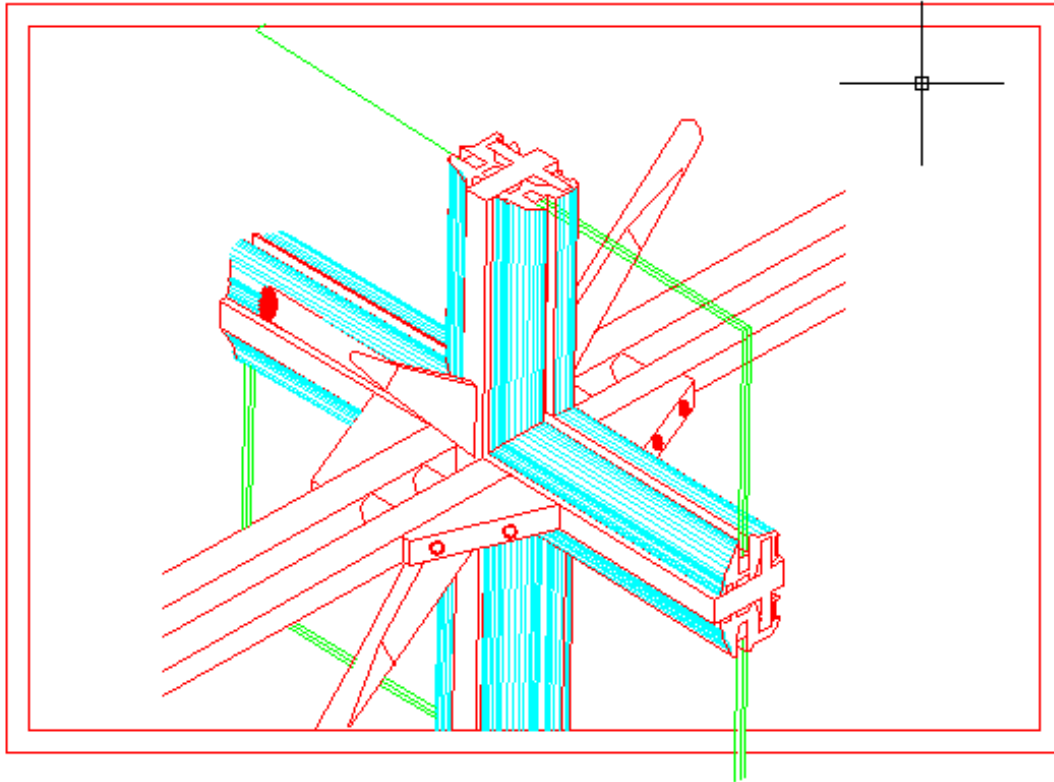
Diamonded Deck \*

در ایران نزدیک به ۴۰ شرکت طراح و سازنده سازه های فضا کار وجود دارد که همگی آنها از سیستم مرو (Mero) برای اتصالات بهره می برند.

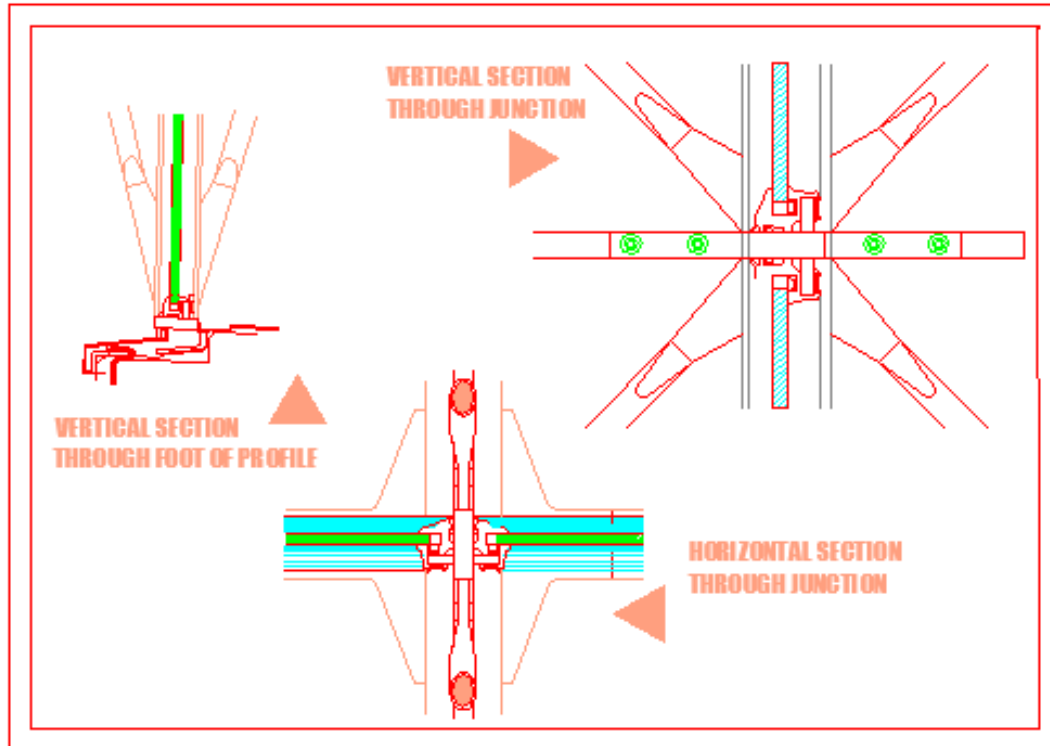
جزئیات خرپای فضایی:



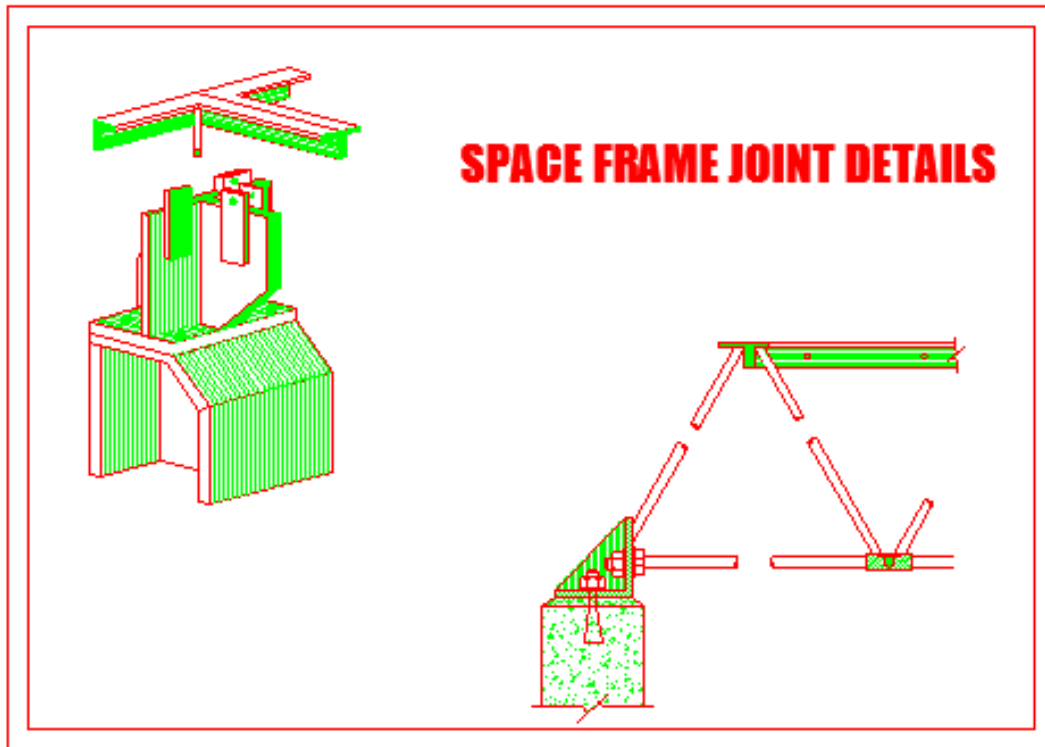
## PERSPECTIVE VIEW OF DETAIL FOR WINDOWS



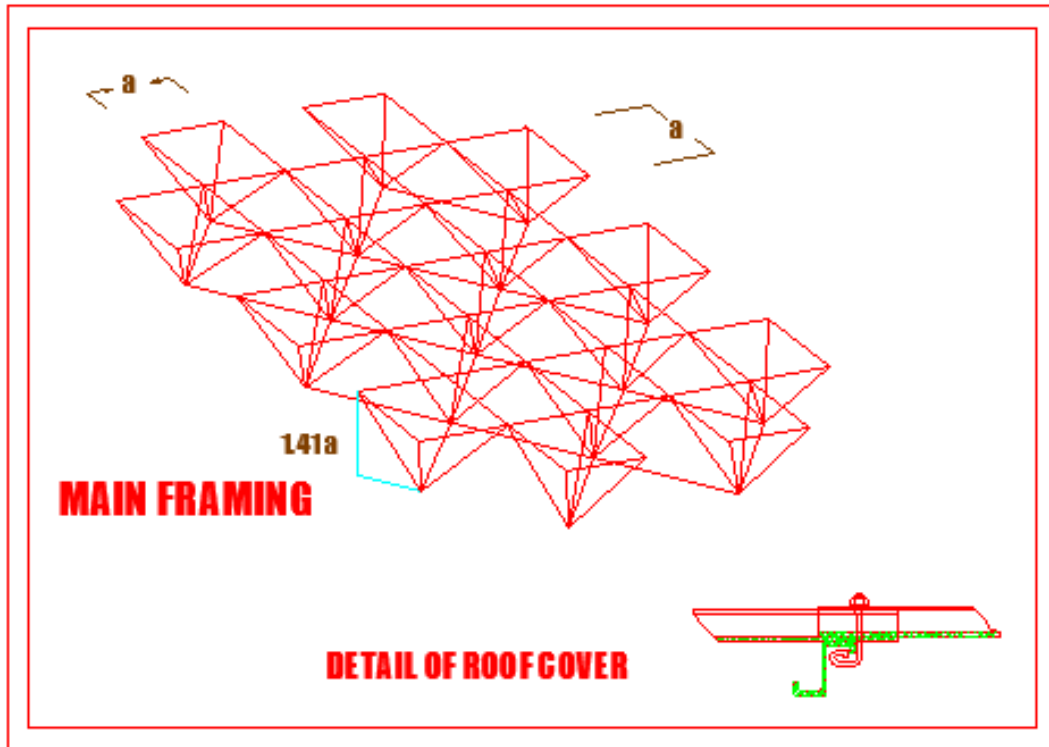
## PERSPECTIVE VIEW OF DETAIL FOR WINDOWS



## SPACE TRUSS DETAIL

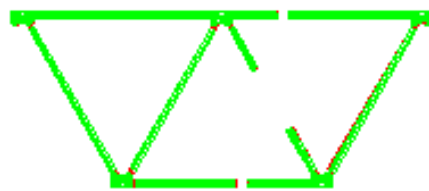


## SPACE TRUSS DETAIL

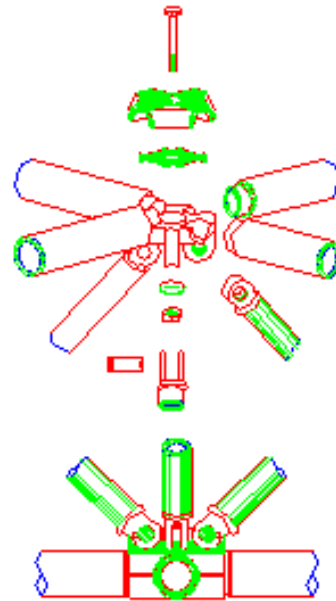




## SPACE TRUSS DETAIL



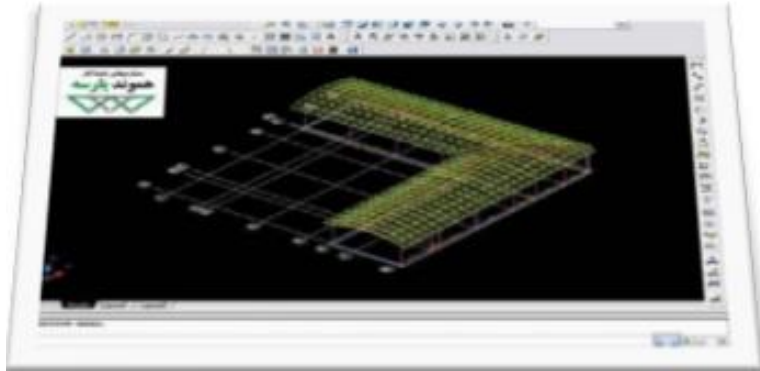
**MAIN FRAMING**



**DETAILS OF JOINTS**

## مراحل اجرای پروژه فضا کار:

۱. طراحی: مدلسازی در FORMIAN و انتقال و ویرایش آن در نرم افزار AUTO CAD



۲. محاسبات: با استفاده از نرم افزار SAP-AISC ASD 89

۳. تولید هموند های گویسان مرو

۴. رنگ آمیزی هموند ها

۵. ستون گذاری

۶. بافت سازه فضا کار

۷. نصب سازه فضا کار

۸. نصب پوشانه

معمولا یکی از ۴ روش ذیل در مونتاژ و نصب سازه های فضاکار استفاده می شود:

۱. مونتاژ کامل سازه بر روی تراز زمین و نصب کل سقف (بصورت یکجا) با استفاده از جرثقیل و یا جک های مستقر در بین سازه، که از مزایای این روش سرعت بسیار زیاد در بافت و نصب سازه فضایی می باشد .

۲. مونتاژ بخش هایی از سازه در غالب بلوک های مشخص و پس از آن مونتاژ بلوک ها به یکدیگر در ارتفاع و به کمک جرثقیل، که این روش در مقایسه با روش قبل از سرعت کمتری برخوردار است و در برخی از فرمهای معماری محدودیت های خاص مربوط به خود را دارا می باشد.

۳. مونتاژ پنجه ای ( عنكبوتی )، در این روش که از انواع بافت درجا محسوب میشود معمولاً قطعات عنكبوتی کوچک که از تعداد کمی اعضای لوله ای (معمولا بین ۳ تا ۵ المان) و یک گره (گوی) تشکیل شده و در سطح زمین بایکدیگر مونتاژ شده و به موقعیت خود در ارتفاع (با چرخ و قرقره یا جرثقیل های نسبتا سبک) منتقل شده و سپس این قسمت عنكبوتی در ارتفاع مورد نظر به بخش نصب شده قبلی شبکه سازه فضاکار (سقف اصلی) متصل می شود.

۴. در حین انجام عملیات مونتاژ به منظور محدود کردن تغییر شکل شبکه فضایی کامل نشده در طول محور اصلی مجموعه شمع های موقت در سطوح و موقعیت های از پیش تعیین شده و تحت بار مرده نصب شده و پس از تکمیل عملیات مونتاژ به منظور انتقال کامل بارها به تکیه گاههای اصلی شمع های موقت به تدریج برداشته شده تا سقف تغییر شکل طبیعی خود را داشته باشد.

## نکات اجرایی سازه فضا کار:

۱. به منظور 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 ۴ گره می‌باشد.



۲. سعی شود تکیه گاه های شبکه دو لایه در چهار گوشه نباشد.
۳. بهتر است مقاطع اعضای شبکه پایین کوچکتر از مقاطع بالا در نظر گرفته شود ، جز در حالتی که ستون در فاصله از لبه باشد.
۴. در شبکه های سه لایه ای لایه میانی ارزش چندانی ندارد.
۵. سازه فضا کار می‌بایست برای درجه حرارت معمول ۳۰ درجه سانتی گراد به منظور جلوگیری از قرار گیری درز انبساط حرارتی طراحی شود.
۶. حتماً بایستی اتصالات اعضای مورب به اعضای افقی جوش بخورد.

## اتصالات مرو:

### مقدمه:

سیستم مرو که زیر مجموعه سیستم پیونده گوی سان (Nodular systems) می باشد، اولین بار توسط

شرکت مرو آلمان در سال ۱۹۴۲ طراحی و به صورت تجاری عرضه شده است.

این سیستم شامل کره فولادی از جنس CK45 است که نقش اصلی آن درسازه های فضا کار ، به هم پیوستن اعضا و انتقال بین اعضا متصل شونده به آن پیونده (گوی) می باشد.

در این سیستم (و اکثر سیستم های گوی سان ) ، اعضای به شکل لوله ای بوده و محورهای مرکزی آنها از مرکز پیونده عبور می نماید، که این اعضا و پیونده ها به طور مجزا در کارخانه تولید شده و سپس در محل پروژه با اتصال اعضا به پیونده ها ، شبکه سازه فضایی برپا می شود.

سیستم اتصال پیونده ای تولید شده در کارخانه شرکت فضا سازه نقش جهان، از نوع سیستم اتصال پیونده های گوی سان نوع MERO آلمانی می باشد

امروزه سازه های فضاکار به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند که یکی از رایج ترین اتصالات در این نوع سازه ها اتصال نوع مرو می باشد. نتایج مطالعات نشان می دهد که پاسخ واقعی استاتیکی و دینامیکی سازه های دو لایه ساخته شده با این سیستم، با نتایج بدست آمده از تحلیل آن ها متفاوت است Boris. در سال ۱۹۹۱ با اندازه گیری تغییر مکان های گره های سقف ورزشگاهی در کرواسی و مقایسه آن با نتایج تحلیل استاتیکی نشان داد که در بعضی گره ها پاسخ واقعی سازه دو لایه ، با سیستم اتصال مرو تا ۷۰٪ بیشتر از پاسخ تحلیلی است.

داودی نیز با تحقیق مشابهی بر روی سازه فضاکار دو لایه ای نشان داد که پاسخ واقعی این سازه ها تفاوت قابل ملاحظه ای با نتایج تحلیلی دارد. پاشائی و داودی با مقایسه نتایج تجربی و نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی به تفاوت قابل ملاحظه ای در میرائی این سازه ها دست یافته اند. محققین فوق معتقدند دلیل اصلی اختلاف میان

نتایج تجربی و تحلیلی را باید در رفتار اتصال جستجو کرد. تعیین رابطه نیرو- تغییر مکان این اتصال بدلیل پیچیدگی اتصال به صورت تحلیلی امکان پذیر نیست. در کار حاضر رابطه نیرو-تغییر مکان یک اتصال مرو با انجام آزمایش کشش به صورت تجربی تعیین شده است. همچنین یک شبکه دو لایه که پاسخ واقعی آن در دسترس بود، با استفاده از رابطه نیرو- تغییر مکان بدست آمده، به صورت غیرخطی تحلیل گردید. نتایج بدست آمده از این تحلیل، تطابق خوبی با پاسخ تجربی نشان می دهد.

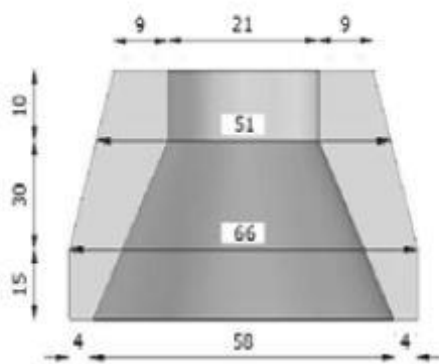
### معرفی اتصال مرو مورد آزمایش:

سیستم اتصالی مرو، سیستمی است که امکان اتصال چندین عضو لوله ای (که می تواند تا ۱۸ عضو نیز باشد) را به یکدیگر از طریق گوی کروی مقدور می سازد. این سیستم اتصالی از گوی فلزی آهنگری شده با تعداد سوراخ رزوه شده، مخروط ناقص آهنگری شده، پیچ های رزوه شده با مقاومت کششی زیاد و غلافی شامل دریچه و یک پین تشکیل شده است. گوی در محل تقاطع محورهای طولی لوله ها واقع است. عضو مخروطی به انتهای لوله جوش می شود. پیچ مقاومت بالا از داخل عضو مخروطی عبور کرده و به وسیله غلاف در داخل گوی محکم می شود. از پین جهت مقید کردن پیچ به غلاف استفاده می شود تا بتوان از طریق غلاف، پیچ را چرخاند. با استفاده از دریچه موجود در غلاف می توان میزان نفوذ پیچ در گوی را بررسی کرد (شکل ۱)



اجزاء اتصال MERO

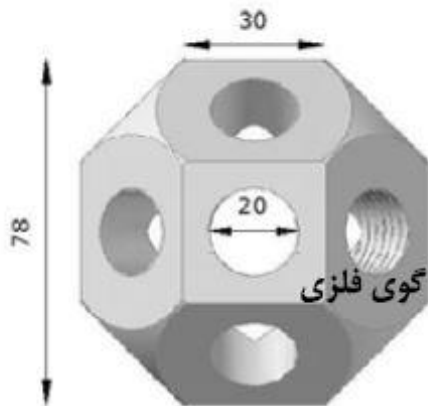
در سازه های فضا کار دو لایه نیروی غالب، نیروی محوری است و بقیه نیروها اثر ثانویه دارند. وقتی اعضای متصل به اتصال تحت کشش باشند، کشش از طریق مخروط و پیچ بر مقاومت گوی انتقال می یابد. در این حالت غلاف سهمی در انتقال کشش ندارد. در مقابل وقتی اعضا تحت فشار قرار می گیرند، فشار از طریق عضو مخروطی و غلاف به گوی منتقل می شود و پیچ سهمی در انتقال فشار ندارد. در کار حاضر به تعیین رابطه نیرو-تغییر مکان اتصال پرداخته شده است. ابعاد اجزاء تشکیل دهنده اتصال در شکل های زیر نشان داده شده است، کلیه ابعاد بر حسب میلی متر می باشد.



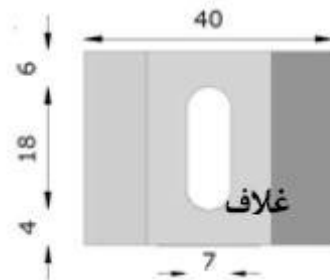
مخروط ناقص



پیچ



اجزاء اتصال

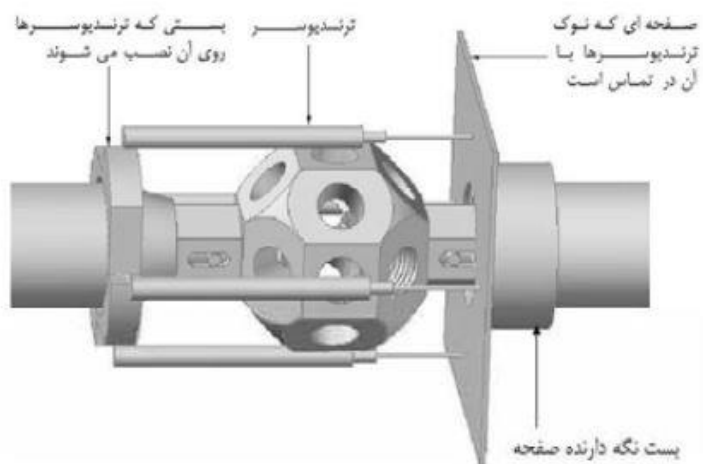


## تعیین رابطه نیرو- تغییر مکان اتصال:

برای دستیابی به تقریب مناسبی از پاسخ واقعی سازه های دو لایه، با اتصال نوع مرو، تعیین سختی محوری اتصال و در نظر گرفتن اثر آن در تحلیل سازه ضروری می باشد. منظور از اتصال، فاصله نقاط A و B در شکل ۱ است که شامل یک گوی فلزی در مرکز می باشد که در دو طرف آن، غلاف، پیچ، پین زبانه ای و مخروط ناقص قرار دارند. به عبارت دیگر فاصله بین جوش مخروط به لوله در یک سمت تا جوش مخروط به لوله در سمت دیگر می باشد. جهت تعیین رابطه نیرو-تغییر مکان اتصال، این سیستم تحت کشش قرار گرفت. نیروی کششی از طریق دستگاه یونیورسال بر نمونه اعمال گردید. برای اندازه گیری تغییر مکان بین دو نقطه A و B از ۴ عدد ترنسدیوسر (Transducer) نوع CDP50 که قادر به اندازه گیری تغییر مکان تا طول ۵ سانتی متر هستند، استفاده شد. استفاده از ۴ ترنسدیوسر به جهت افزایش دقت و اطلاع از وجود لنگر ناشی از خروج از مرکزیت احتمالی در اتصال بود. ترنسدیوسرها بر روی بستنی که در نقطه A به لوله پیچ شده بود نصب گردیدند. نوک ترنسدیوسرها با صفحه ای در طرف دیگر اتصال که به کمک بستنی در نقطه B به لوله پیچ شده بود، در تماس بودند.



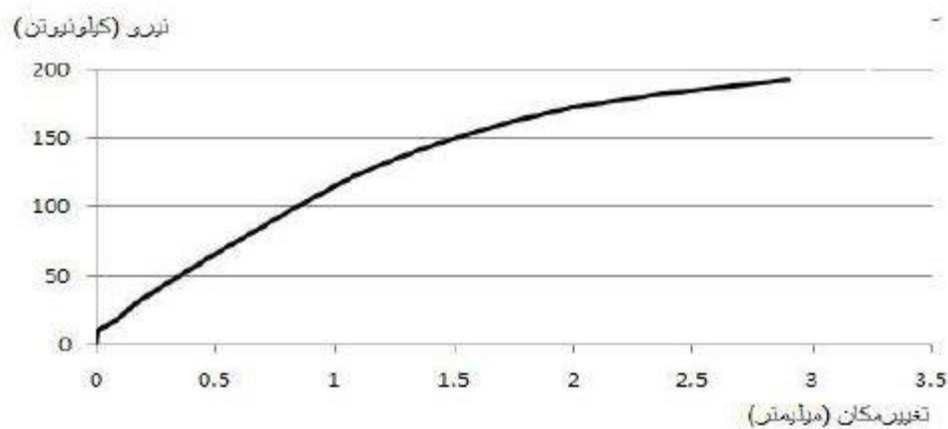
نمای کلی آزمایش



نحوه قرارگیری اجزاء وابسته به اتصال



با اعمال نیرو از طریق دستگاه یونیورسال و ایجاد کشش در اتصال، نقاط A و B از هم دور شده و میزان جابجایی نسبی این دو نقطه از طریق ترنسدیوسرها به دستگاه دیتالوگر و از آنجا به کامپیوتر منتقل شده و از صفحه نمایشگر قابل استخراج بود. برای جا افتادن اجزاء چند بار بارگذاری تا ۲۰ کیلونیوتن انجام گردید. همچنین میزان سفت شدگی برابر ۱۲۰ نیوتن متر بوسیله آچار پیچشی (Torque Wrench) به پیچ اعمال گردید. سپس نیروی کششی با بازه ۱۰ کیلونیوتنی تا لحظه گسیختگی بر اتصال وارد شد و تغییر مکان به ازای اعمال هر ۱۰ کیلونیوتن بار ثبت گردید. در نهایت نمودار نیرو- تغییر مکان مطابق شکل ۵ بدست آمد. برای رسم نمودار میانگین جابجایی بدست آمده از ۴ ترنسدیوسر مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که میانگین جابجایی ترنسدیوسرهای مقابل به هم دقیقاً یکسان بودند که نشان دهنده دقت محاسبات می باشد.



نمودار نیرو- تغییر مکان اتصال

تحلیل سازه های فضاکار با سیستم اتصالی نوع مرو با در نظر گرفتن اثر اتصال:

برای مدل کردن اتصالات و به حساب آوردن آنها در تحلیل سازه عمدتاً به دو روش زیر عمل می شود:

اثر اتصالات انتهایی هر عضو در ماتریس سختی آن عضو دخالت داده شده و در نتیجه سازه با ماتریس سختی اصلاح شده عضو تحلیل می گردد.

اتصالات مانند یک عضو سازه ای در تحلیل سازه در نظر گرفته می شوند و با شبیه سازی رفتار اتصالات بوسیله این اعضاء سازه تحلیل می گردد.

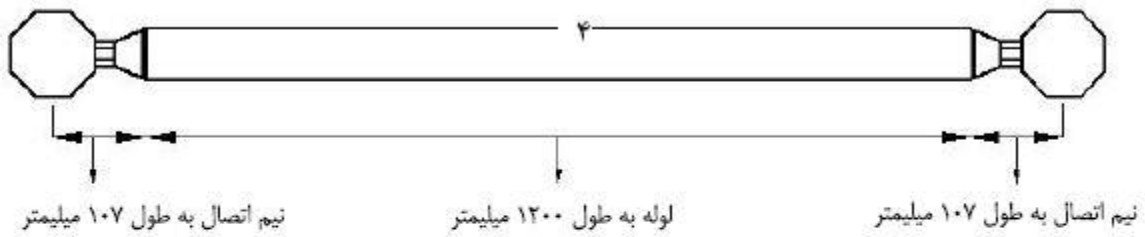
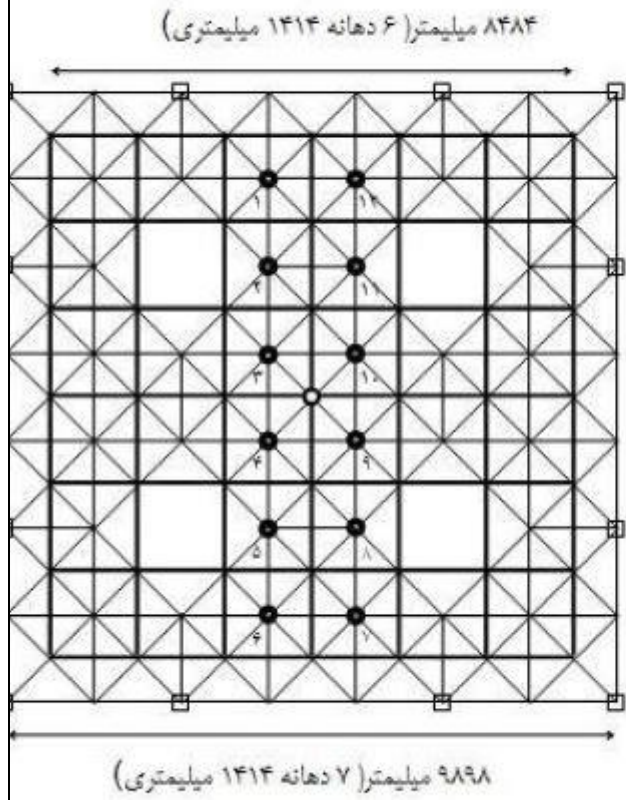
در روش اول، ماتریس سختی اتصال و ماتریس سختی عضو در یک ماتریس سختی مونتاژ شده و این ماتریس سختی اصلاح شده المان در تحلیل سازه مورد استفاده قرار می گیرد. در روش دوم اتصالات انتهایی نیز بوسیله اعضاء سازه ای متعارف شبیه سازی می گردند. به طوریکه مشخصات این اعضاء، بیان کننده رفتار واقعی اتصالات می باشد. در کار حاضر از روش دوم برای مدلسازی اتصال استفاده شده است.

#### شبکه دو لایه مورد مطالعه:

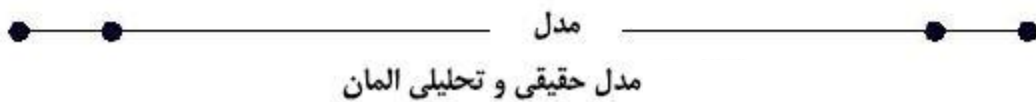
یک شبکه دو لایه به ابعاد ۱۰ متر در ۱۰ متر در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل مورد آزمایش قرار گرفت. شمای کلی شبکه در شکل ۶ و پلان آن در شکل ۷ نشان داده شده است. در شکل ۷ المان های لایه بالایی با خطوط ضخیم و المان های لایه پایینی و مورب با خطوط نازک نشان داده شده اند. فاصله مرکز تا مرکز لایه های بالا و پایین برابر با ۱۰۰۰ میلیمتر می باشد. زوایای المان های مورب با سطح افقی ۴۵ درجه است و همه المان ها دارای طول برابر می باشند. شبکه شامل ۸۴ المان در لایه بالایی، ۱۸۰ المان مورب و ۹۶ المان در لایه پایینی می باشد. المان ها توسط ۱۰۹ اتصال نووع مرو به یکدیگر متصل شده اند. کلیه اجزا شبکه مشابه هستند. المان های لوله شبکه، لوله های فولادی با قطر خارجی اسمی ۷۶/۴ میلیمتر و ضخامت ۳/۵ میلیمتر می باشند. ابعاد المان ها در شکل ۸ نشان داده شده اند.

نمای کلی شبکه دولایه

پلان شبکه



مدل حقیقی



برای بدست آوردن پاسخ سازه، باری در گره مرکزی لایه بالایی شبکه اعمال و جابجایی گره های ۱ تا ۱۲ از لایه پایینی اندازه گیری شد. بدلیل تقارن شکل و بارگذاری، جابجایی گره های ۱، ۲، ۳ به عنوان پاسخ سازه برای مقایسه با نتایج تحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

### تحلیل شبکه دو لایه با استفاده از مدل پیشنهادی:

در کار حاضر از یکی برنامه های کامپیوتری موجود برای تحلیل سازه استفاده گردیده است. براساس نتایج حاصل از آزمایش، رفتار اتصالات مرو غیرخطی می باشد. بنابراین برنامه مورد استفاده می بایستی قابلیت تحلیل غیرخطی را داشته باشد. از آنجا که برنامه کامپیوتری ANSYS دارای قابلیت های لازم برای تحلیل غیرخطی سازه ها بوده و دارای تعداد زیادی المان سازه ای متنوع از پیش تعریف شده است، در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است.

کلیه اعضاء شبکه مورد مطالعه مشابه هستند. هر عضو شامل یک لوله به قطر ۷۶/۴ میلیمتر و ضخامت ۳/۵ میلیمتر و طول ۱۲۰۰ میلیمتر در مرکز و دو نیم اتصال در طرفین آن می باشد. (شکل ۸) برای مدلسازی این عضو از المان های کتابخانه ای ANSYS بصورت زیر استفاده شده است:

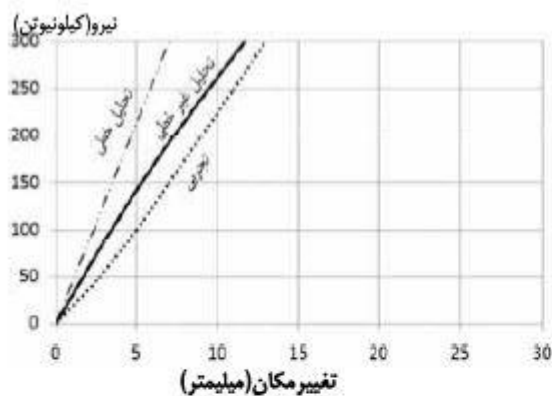
لوله مرکزی به طول ۱۲۰۰ میلیمتر، قطر خارجی ۷۶/۴ میلیمتر و ضخامت جدار ۳/۵ میلیمتر با المان PIPE 20 و نمودار تنش- کرنش فولاد ST 52

هرنیم اتصال به طول ۱۰۷ میلیمتر، قطر خارجی ۷۶/۴ میلیمتر و ضخامت جدار ۳/۵ میلیمتر با المان PIPE 20 و نمودار تنش - کرنش فولاد غیرخطی بدست آمده از نتایج تجربی نیرو- تغییر مکان اتصال

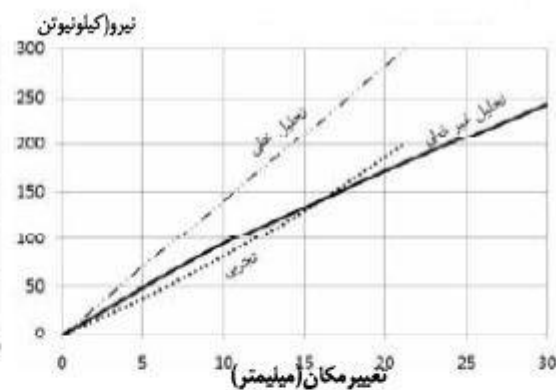
لازم به ذکر است که المان PIPE 20 یک المان لوله ای پلاستیک می باشد که در هر انتها دارای ۶ درجه آزادی است و برای مدلسازی لوله ها از آن استفاده می شود.

## نتایج تجربی و تحلیلی:

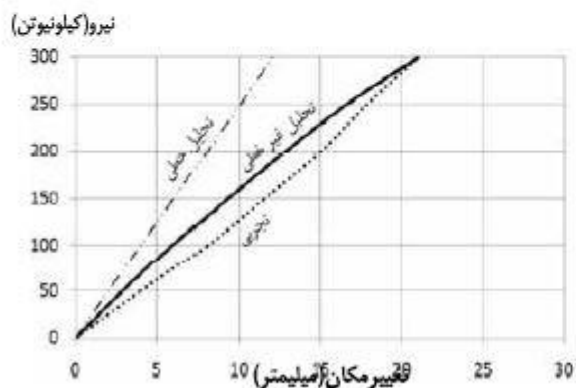
نتایج پاسخ بار-تغییر مکان گره های ۲، ۱ و ۳ در شبکه با دو نوع شرایط تکیه گاهی (۴ تکیه گاه و نیز ۱۲ تکیه گاه) در اشکال ۹ تا ۱۴ نشان داده شده اند. هر شکل متناظر با ۱ گره در شبکه با شرایط تکیه گاهی مشخص است و شامل پاسخ بار-تغییر مکان برای آن گره می باشد. نتایج تجربی با نقطه چین، نتایج تحلیل الاستیک خطی متعارف که در آن هر عضو با ۱ المان مدل شده با نقطه خط و نتایج تحلیل غیرخطی با خط ممتد نشان داده شده است.



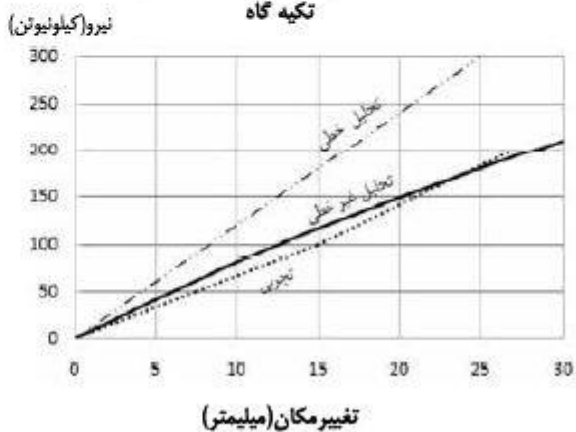
پاسخهای بار-تغییر مکان گره ۱ در شبکه با ۴ تکیه گاه



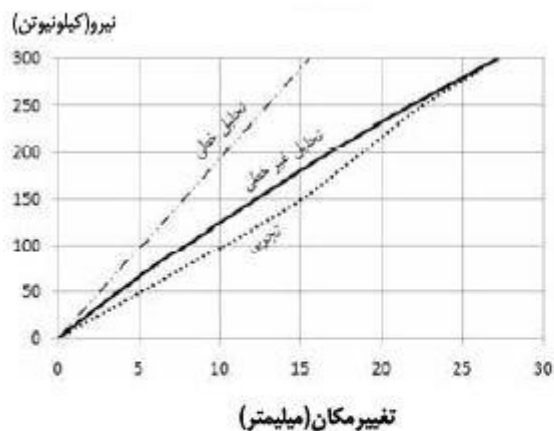
پاسخهای بار-تغییر مکان گره ۱ در شبکه با ۱۲ تکیه گاه



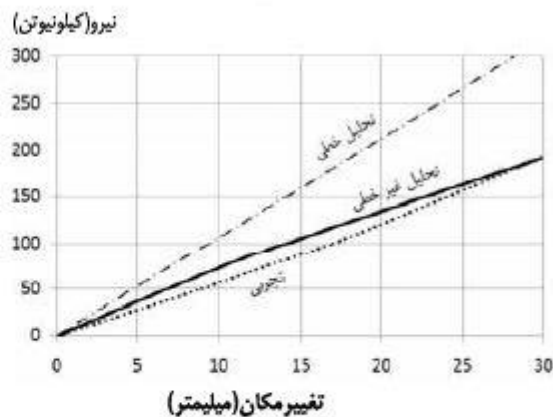
پاسخهای بار-تغییر مکان گره ۲ در شبکه با ۴ تکیه گاه



پاسخهای بار-تغییر مکان گره ۲ در شبکه با ۱۲ تکیه گاه



پاسخهای بار-تغییر مکان ۳ گره در شبکه با ۱۲ تکیه گاه



پاسخهای بار-تغییر مکان ۳ گره در شبکه با ۴ تکیه گاه

### نتیجه گیری:

با مشاهده کلی پاسخ های بار-تغییر مکان تجربی، تحلیل خطی و غیرخطی نتایج زیر حاصل می شود:

پاسخ های بار - تغییر مکان تجربی غیرخطی بوده و پاسخ های بار - تغییر مکان تحلیل غیرخطی نیز، به صورت غیرخطی می باشد. غیرخطی بودن پاسخ های بار-تغییر مکان تحلیل غیرخطی، به علت رفتار غیرخطی اتصال می باشد.

مقایسه پاسخ های بار-تغییر مکان تجربی با نتایج تحلیل خطی و غیرخطی نشان می دهد که اختلاف زیادی بین نتایج تجربی و تحلیل خطی وجود دارد در حالی که با لحاظ کردن رفتار غیرخطی اتصال، پاسخ ها به نتایج تجربی بسیار نزدیک شده اند.

تقعر منحنی پاسخ های تجربی به سمت بالا می باشد در حالیکه تقعر پاسخ های تحلیلی به سمت پایین است. به نظر می رسد که این اختلاف بدلیل یکسان فرض کردن رفتار اتصال در کشش و فشار است که بیانگر واقعی رفتار اتصال نمی باشد.

## محاسبات اجزای سازه فضا کار:

### ۱. محاسبات پیچ:

با توجه به جدول‌های زیر پارامترهای مورد استفاده بصورت زیر تعریف می‌شوند:

کلاسه سختی که بصورت  $a.b$  نشان داده می‌شود که در آن  $a=Su/10$  و  $a$  بعنوان عدد شناسایی برای استحکام نهایی و  $b=Sy/a$  و  $b$  عدد شناسایی برای حد تسلیم است. برای پیچ‌هایی که تحت تاثیر نیروی کششی قرار دارند، بار مجاز آنها از رابطه زیر بدست می‌آید:

سطح مقطع خالص  $S_v$  (تنش مجاز)  $P_b$  (نیروی مجاز)

که سطح مقطع خالص از کم نمودن مقطع سوراخ از سطح مقطع اصلی پیچ بدست می‌آید.

برای استفاده از جداول زیر توجه به پارامترهای زیر الزامی است:

۱. مبنای محاسبات پیچ بر اساس  $0.5Su$  و یا  $0.65Sy$  می‌باشد و از بین آنها مقدار کوچکتر انتخاب می‌شود.

۲. ستون دوازدهم سطح مقطع تنشی پیچ را بدست می‌دهد که از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$A = 3.14 * (dr)^2 / 400$$

که در آن  $A$  بر حسب سانتی متر مربع و  $dr$  قطر رزوه پیچ می‌باشد.

۳. ستون سیزدهم سطح مقطع پیچ را بدست می‌دهد که از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$Ad = 3.14 * d^2 / 400$$

۴. ستون چهاردهم سطح مقطع پیچ در محل سوراخ را بدست می‌دهد که برابر است با:

$$Ap = (ds * d) / 100$$

۵. ستون پانزدهم سطح مقطع خالص پیچ را بدست می‌دهد که برابر است با که از تفاضل سطح مقطع بدنه پیچ و سطح مقطع سوراخ پیچ بدست می‌آید.

۶. ستون شانزدهم سطح مقطع پیچ را بر اساس  $0.5Su$  و یا  $0.65Sy$  می‌باشد و از بین آنها مقدار کوچکتر انتخاب می‌شود

۷. ستون هفدهم نیروی مجاز ( $Fa$ ) برای حالت‌های بارهای اصلی و برای گوی از نوع  $C45$  را می‌دهد که برابر است:

$$Fa = 0.65Sy \text{ و یا } 0.5Su * A_{min}$$

۸. ستون هجدهم نیروی مجاز برای بارهای اصلی و برای گوی از نوع  $St52$  را نشان می‌دهد که یک ضریب  $0.85$  باید در بار مجاز متعلق به  $C45$  ضرب شود تا بار مجاز برای  $St52$  بدست آید.

۹. ستون نوزدهم محاسبه طول پیچ با توجه به ابعاد پیچ و ضخامت بشقابک و طول اسلیو را می‌دهد.

۱۰. ستون بیستم اندازه طول پخ انتهایی رزوه ( $x$ ) را نشان می‌دهد.

### پارامترهای پیچ

$M =$	قطر اسمی پیچ	$d =$	قطر بدنه	$d_s =$	قطر سوراخ بدنه
$d_{bk} =$	قطر کل پیچ	$k =$	طول کل پیچ	$b =$	طول رزوه خوار
$b_e =$	طول پیچیدگی	$x =$	طول پخ انتهایی رزوه	$z =$	طول پخ ابتدای رزوه
$r_b =$	شعاع راکورد	$m =$	طول انتهایی پیچ تا مرکز سوراخ پین	$\alpha =$	زاویه پخ



### اندازه پارامترهای پیچ های مختلف

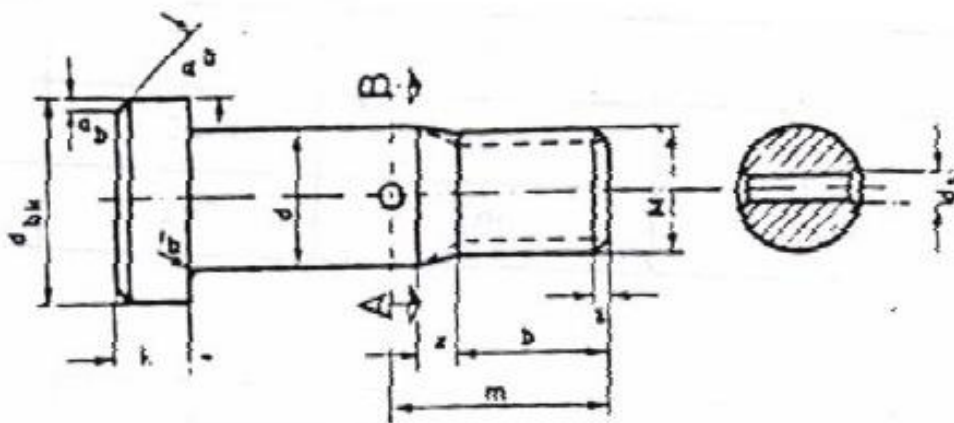
برای تمام پیچ ها	بر اساس DIN 76															
	$r_b > 0.5$															
	$\alpha_b > 0.5$															
برای هر کدام از پیچ ها	کلاس استحکام	5.6			8.8			10.9								
	M	20	12	20	48	52	56	27	30	33	36	42	48	52	56	
	d	21	12.4	21	48	52	56	27	30	33	36	42	48	52	56	
	d <sub>bk</sub>	27	16	29	72	76	85	44	48	51	54	63	72	76	85	
	b	16	12	20	53	57	62	30	33	36	40	46	53	57	62	
	m	24	20	28	73.5	79.5	84.5	52.5	55.5	58.5	62.5	68.5	73.5	79.5	84.5	
	k	8	5	10	30	33	35	17	19	21	23	26	30	33	35	
	d <sub>s</sub>	5	4	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	
	a <sub>b</sub>	2	1	2	5	5	5	2	2	2	2	5	5	5	5	
z	3	1	3	5	5	5.5	3	3.5	3.5	4	4.5	5	5	5.5		

### خواص مکانیکی و جنس پیچ ها

کلاس سختی مواد	بر اساس DIN شماره	حداقل تنش نهایی $S_u$ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	حداقل تنش تسلیم $S_y$ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	حداقل تغییر طول نسبی $\epsilon$ (%)
5.6	267	50	30	20
8.8	267	80	64	12
10.9	267	100	90	9

نتایج محاسبات پیچ‌ها

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ردیف	نوع بین	کلا سه پیچ	قطر ساق	قطر کل پیچ	طول کل پیچ	طول پیچ کل	شعاع راکورد پیچ	قطر سوراخ ساق	فاصله سوراخ نالتهای پیچ	طول مهره خور	طول قسمت انتهایی پیچ	سطح مقطع تنسی پیچ	سطح مقطع ساق پیچ	سطح مقطع سوراخ بین پیچ	سطح مقطع خالص	تنش مجاز	نیروی مجاز	نیروی مجاز	طول پیچها	طول (X)
			d	d <sub>b</sub> k	k	a <sub>b</sub>	r <sub>b</sub>	d <sub>s</sub>	n	b	z	A	Ad	Ap	An		C4 5	St5 2		(X)
1	M2 0	5.6	21	27	8	2	0.8	5	25	16	3.5	2.4 5	3.4 6	1.0 5	2.4 1	18	4.3 4	3.6 9	62	2.5
2	M1 2	8.8	12. 4	16	5	1	0.6	4	27	12	1	.84 3	1.2 1	0.5	0.7 1	38. 4	2.7 3	2.3 2	51	1.7 5
3	M2 0	8.8	21	29	10	2	0.8	5	28	20	3.5	2.4 5	3.4 6	1.0 6	2.4 1	38. 4	9.2 5	7.8 6	71	2.5
4	M2 0L	8.8	20	29	10	2	0.8	5	42. 5	20	3.5	2.4 5	3.4 6	1.0 6	2.4 1	38. 4	9.2 5	7.8 6	100	2.5
5	M1 2	10. 9	12. 4	20	8	1	0.5	4	27	14	1	.84 3	1.2 1	0.5	0.7 1	50	3.5 5	3.0 2	60	1.7 5
6	M1 6	10. 9	16	24	8	1	0.5	4	33	18	1	1.5 7	2.0 1	0.6 4	1.3 7	50	6.8 5	5.8 2	---	2
7	M2 0	10. 9	21	32	12	2	0.8	5	31	22	3.5	2.4 5	3.4 6	1.0 5	2.4 1	50	12. 05	10. 24	75. 5	2.5
8	M2 7	10. 9	27	44	17	2	1	5.1	52. 5	30	3	4.5 9	5.7 3	1.3 8	4.3 5	50	21. 75	18. 49	118	3
9	M2 7	10. 9	27	44	17	2	1	5.1	52. 5	30	3	4.5 9	5.7 3	1.3 8	4.3 5	50	21. 75	18. 49	125	3
10	M3 0	10. 9	30	48	19	2	0.5	5.1	55. 5	33	3.5	5.6 9	7.0 7	1.5 3	5.5 4	50	27. 7	23. 55	---	3.5
11	M3 3	10. 9	33	51	20	2	1	5.1	58. 5	36	3.5	6.9 4	8.5 5	1.6 8	6.8 7	50	34. 35	29. 2	127	3.5
12	M3 3L	10. 9	33	51	20	2	1	5.1	58. 5	36	3.5	6.9 4	8.5 5	1.6 8	6.8 7	50	34. 35	29. 2	151	3.5
13	M3 6	10. 9	36	54	23	2	0.5	5.1	62. 5	42	4	8.1 7	10. 18	1.8 4	8.3 4	50	40. 85	34. 72	---	4.5
14	M4 2	10. 9	42	63	26	5	1.2	6.1	68. 5	45	4.5	11. 2	13. 85	2.5 6	11. 29	50	56	47. 6	150	4.5
15	M4 8	10. 9	48	72	30	5	1.6	6.1	75. 5	53	5	14. 7	18. 1	2.0 2	15. 18	50	73. 6	62. 5	161	5
16	M5 2	10. 9	52	76	33	2	1	6.1	79. 5	57	5	17. 6	21. 24	3.1 7	16. 07	50	88	78. 8	---	5
17	M5 6	10. 9	56	86	35	5	2	6.1	84. 5	62	5.5	20. 3	24. 63	3.4 2	21. 21	50	101. .5	86. 3	182	5



پارامترهای پیچ

### محاسبات اسلیو:

معمولاً اسلیوهای مورد استفاده در این سیستم از دو نوع زیر می باشند:

۱. اسلیوهای شیاردار که برای پیچهای M12 - M16 - M20 مورد استفاده قرار می گیرند.

۲. اسلیوهای سوراخ دار که برای پیچهای M20 تا M56 استفاده می شوند.

اسلیوها را معمولاً با دو پارامتر ودر یک مورد ( اسلیو SM19/17/13 که قطر سر این اسلیو به علت پخ خوردگی از قطر آچار خور کمتر است.) مشخص می کنند و بصورت  $SMa/b/c$  و یا  $SMa/c$  که در آن  $a$  قطر آچار خور اسلیو بر حسب میلی متر و  $c$  قطر سوراخ داخلی که پیچ از آن میگذرد و بر حسب میلی متر و  $b$  قطر سر اسلیو یعنی جائیکه روی گوی می نشیند. اسلیوهایی که در عضوهای کششی استفاده می شوند، احتیاجی به محاسبه ندارند ولی پهنای آچارگیر ( $d_{sw}$ ) باید حداقل ۱،۲ برابر قطر بدنه ساق پیچ باشد.

برای عضوهای فشاری  $S_y = 2.5 \text{ ton/cm}^2$  (مجاز) و سطح مقطع خالص اسلیو از کم کردن سطح سوراخ (یا شیار) از سطح مقطع اصلی اسلیو بدست می آید.

نتایج محاسبات اسلیو در جدول زیر آمده است، برای استفاده از جدول توجه به نکات زیر الزامی است:

۱. ستون دوم اندازه طول اسلیو را نشان می‌دهد که برای پیچ‌های M12 و M20 از اسلیو شیاردار بطول ۲۸ میلیمتر و برای پیچ‌های M20 تا M56 از اسلیو سوراخدار بطول ۴۵ میلیمتر استفاده می‌شود.

۲. ستون پنجم مقدار قطر داخلی اسلیو ( $d_e = d+2$ ) را محاسبه می‌کند که در آن  $d$  قطر پیچی است که از داخل اسلیو عبور می‌کند.

۳. ستون ششم قطر آچار خور اسلیو که برابر  $d_{sw} = 1.2d$  است را نشان می‌دهد.

۴. ستون هشتم اندازه پین‌ها *DIN 267* استفاده می‌شوند

۵. ستون نهم سطح شش ضلعی را نشان می‌دهد که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$A_0 = 6(d_{sw}/2) * 0.577$$

۶. ستون دهم محاسبه سطح سوراخ یا شیاردار را نشان می‌دهد که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$A_1 = (d_{sw} - d_e)/10 * (d_h/10)$$

که در این رابطه  $d_h$  قطر سوراخ یا عرض شیار است.

۷. ستون یازدهم سطح مقطع سوراخی که پیچ از آن می‌گذرد را نشان می‌دهد که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = ((3.14 * d_e^2) / 4) / 100$$

۸. ستون دوازدهم سطح مقطع خالص اسلیو را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{N1} = A_0 - A_2 - A_1$$

۹. ستون سیزدهم سطح مقطع نشیمنگاه اسلیو را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_3 = (3.14 * d_{sw}^2) / 4$$

۱۰. ستون پانزدهم سطح مقطع خالص را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{N2} = A_3 - A_2$$

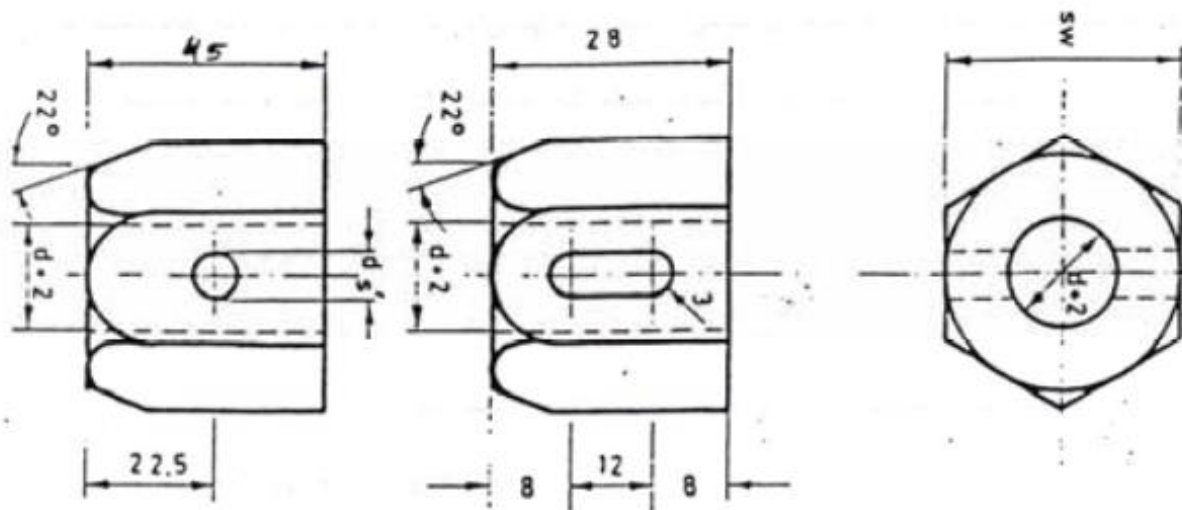
۱۱. ستون شانزدهم بار مجاز ( $Fa$ ) برای بارهای اصلی را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Fa = (\text{تنش مجاز فشاری}) S (\text{سطح مقطع خالص اسلیو})$$

ج محاسبات اسلیوها

ردیف	طول اسلیو	نوع پین	نوع اسلیو	قطر داخلی اسلیو	قطر آچار خور	قطر سوراخ یا عرض	اندازه پین	سطح شش ضلعی	سطح سوراخ یا شیار	سطح سوراخ پیچ	سطح مقطع خالص	سطح مقطع دایره آچارخور	سطح سوراخ پین	سطح مقطع خالص	بار مجاز اسلیو Ton
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
۱	28 mm	M	SM ۱۹/۱۷/۱۳	۱۳,۲	۱۹	۵	۴*۱۸	۳,۱۲	۰,۲۹	۱,۳۷	۱,۴۶	۲,۲۷	۱,۳۷	۰,۹	۲,۵۲
۲			SM ۱۹/۱۳	۱۳,۲	۱۹	۵	۴*۱۸	۳,۱۲	۰,۲۹	۱,۳۷	۱,۴۶	۲,۸۳	۱,۳۷	۱,۴۶	۳,۶۵
۳			SM ۲۴/۱۳	۱۳,۲	۲۴	۶	۴*۲۳	۴,۹۸	۰,۶۶	۱,۳۷	۲,۹۵	۴,۵۲	۱,۳۷	۳,۱۵	۷,۳۷
۴		M	SM ۳۶/۲۲	۲۲	۳۰	۶	۴*۲۹	۷,۷۹	۰,۸*۰,۶	۳,۸	۳,۵۱	۷,۷	۳,۸	۳,۲۷	۸,۱۸
۵			SM ۳۰/۲۲	۲۲	۳۶	۷	۵*۳۵	۱۱,۲۱	۱,۴*۰,۷	۳,۸	۶,۴۳	۱۰,۱۸	۳,۸	۶,۳۸	۱۵,۹۵
۶	45 mm	M	SM ۴۱/۲۲	۲۲	۴۴	۸	۵*۴۰	۱۴,۵۴	۱,۹*۰,۸	۳,۸	۹,۲۲	۱۳,۲۰	۳,۸	۹,۴۰	۲۳,۰۵
۷			SM ۴۶/۲۲	۲۲	۴۶	۸	۵*۴۵	۱۸,۳۰	۲,۴*۰,۸	۳,۸	۱۲,۵۸	۱۶,۶۲	۳,۸	۱۲,۸۲	۳۱,۴۵
۸			SM ۵۰/۲۲	۲۲	۵۰	۸	۵*۴۹	۲۱,۶۳	۲,۸*۰,۸	۳,۸	۱۵,۵۰	۱۹,۶۴	۳,۸	۱۵,۸۴	۲۸,۹۸
۹			SM ۶۰/۲۲	۲۲	۶۰	۸	۵*۵۹	۳۱,۱۴	۳,۸*۰,۸	۳,۸	۲۴,۳۰	۲۸,۲۷	۳,۸	۲۴,۴۷	۶۰,۷۵
۱۱	45 mm	M	SM ۴۱/۲۹	۲۹	۴۱	۸	۵*۴۰	۱۵,۵۴	۱,۲*۰,۸	۶,۶۱	۶,۶۷	۱۳,۲	۶,۶۱	۶,۵۰	۱۶,۴۸
۱۲			SM ۴۶/۲۹	۲۹	۴۸	۸	۵*۴۵	۱۸,۳۰	۱,۷*۰,۸	۶,۶۱	۱۰,۳۳	۱۶,۶۲	۶,۶۱	۱۰,۰۱	۲۵,۰۳
۱۳			SM ۵۰/۲۹	۲۹	۵۰	۸	۵*۴۹	۲۱,۶۳	۲,۱*۰,۸	۶,۶۱	۱۳,۳۴	۱۹,۶۴	۶,۶۱	۱۳,۰۳	۳۲,۵۸
۱۴			SM ۶۰/۲۹	۲۹	۶۰	۸	۵*۵۹	۳۱,۱۴	۳,۱*۰,۸	۶,۶۱	۲۲,۰۵	۲۸,۲۷	۶,۶۱	۲۹,۶۶	۵۴,۱۵
۱۵			SM ۷۰/۲۹	۲۹	۷۰	۸	۵*۶۹	۴۲,۳۹	۴,۱*۰,۸	۶,۶۱	۳۲,۵۰	۳۸,۴۸	۶,۶۱	۳۹,۸۷	۷۹,۶۸
۱۶			SM ۴۶/۳۲	۳۲	۴۶	۸	۵*۴۵	۱۸,۳۰	۱,۴*۰,۸	۸,۰۴	۹,۱۴	۱۶,۶۲	۸,۰۴	۸,۵۸	۲۱,۴۵
۱۷			M	SM ۴۶/۳۵	۳۵	۴۶	۸	۵*۴۵	۱۸,۳۰	۱,۱*۰,۸	۹,۶۲	۷,۸	۱۶,۶۲	۹,۶۲	۷,۰۰

	۳۰														
۱۸	M ۳۳L	SM۵۰/۳۵	۳۵	۵۰	۸	۵#۵۹	۲۱,۶۳	۱,۵#۰,۸	۹,۶۲	۱۰,۸۱	۱۹,۶۴	۹,۶۲	۱۰,۰۲	۲۵,۰۵	
۱۹		SM۶۰/۳۵	۳۵	۶۰	۸	۵#۵۹	۳۱,۱۴	۲,۵#۰,۸	۹,۶۲	۱۹,۵۲	۲۸,۲	۹,۶۲	۱۸,۶۵	۴۶,۶۳	
۲۰		SM۷۰/۳۵	۳۵	۷۰	۸	۵#۶۹	۴۲,۳۹	۳,۵#۰,۸	۹,۶۲	۲۹,۹۷	۳۸,۴۸	۹,۶۲	۲۸,۸۶	۷۲,۱۵	
۲۱		SM۸۵/۳۵	۳۵	۸۵	۸	۵#۸۴	۶۵,۵۰	۵#۰,۸	۹,۶۲	۴۸,۸۸	۵۶,۷۵	۹,۶۲	۴۷,۱۳	۱۱۷,۸۳	
۲۲		SM۹۰/۳۵	۳۵	۹۰	۸	۵#۸۹	۷۰,۰۷	۵,۵#۰,۸	۹,۶۲	۵۶,۰۵	۶۳,۶۲	۹,۶۲	۵۴,۰۰	۱۳۵,۰	
۲۳	M ۳۶	SM۵۰/۳۸	۳۸	۵۰	۸	۵#۴۹	۲۱,۶۳	۱,۲#۰,۸	۱۱,۳۴	۹,۳۳	۱۹,۶۴	۱۱,۳۴	۸,۳	۲۰,۷۵	
۲۴	M ۴۲	SM۶۰/۴۴	۴۴	۶۰	۸	۶#۶۹	۳۱,۱۴	۱,۶#۰,۸	۱۵,۲۹	۱۴,۶۵	۲۸,۲۷	۱۵,۲۹	۱۳,۰۶	۳۲,۶۵	
۲۵	M ۴۸	SM۶۰/۵۰	۵۰	۶۰	۸	۶#۶۹	۳۱,۱۴	۱,۶#۰,۸	۱۹,۶۴	۱۰,۱۷	۲۸,۲۷	۱۹,۶۴	۸,۶۳	۲۱,۵۸	
۲۶	M ۵۲	SM۷۰/۵۴	۵۴	۷۰	۸	۶#۶۹	۴۲,۳۹	۱,۶#۰,۸	۲۲,۹۰	۱۸,۲۹	۳۸,۴۸	۲۲,۹۰	۱۵,۵۸	۳۸,۹۵	
۲۷	M ۵۶	SM ۷۰/۵۸	۵۸	۷۰	۸	۶#۶۹	۴۲,۳۹	۱,۲#۰,۸	۲۶,۴۲	۱۵,۰۱	۳۸,۴۸	۲۶,۴۲	۱۲,۰۶	۳۰,۱۵	



پارامترهای اسلیو

## محاسبات لوله‌ها:

این اعضا از لوله‌های مستقیم درست شده که دو انتهای آن بریده شده و سر آن به بوسیله بشقابک جوش شده که این امر اتصال آن را به سایر قطعات امکان پذیر می‌سازد. جنس لوله‌ها از فولاد St52 یا St37 است.

اندازه لوله‌ها بصورت  $b \times a$  نشان داده می‌شود که در آن  $a$  قطر خارجی لوله بر حسب میل‌متر و  $b$  ضخامت لوله بر حسب میلی‌متر است. برای سدگی و اختصار، محاسبات لوله‌ها در جدول زیر خلاصه شده است. برای استفاده از جدول توجه به نکات زیر ضروری است:

۱. ستون چهارم بار تسلیم لوله در فشار را محاسبه می‌کند که از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Py = Sy \cdot A$$

که در آن  $Sy$  تنش تسلیم لوله و  $A$  سطح مقطع لوله است.

۲. ستون پنجم بار تسلیم لوله را در کشش مشخص می‌کند که از رابطه  $Py = Sy \cdot A$  بدست می‌آید.

۳. ستون ششم شعاع ژیراسیون مقطع را نشان می‌دهد که از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$R = (I / A)^{1/2}$$

جدول \_ محاسبات لوله ها

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
	لوله a*b (mm)	A(cm) <sup>2</sup>	I(cm) <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> (ton)	F <sub>t</sub> (ton)	r(cm)	جنس لوله
۱	۳۰*۱,۶	۱,۴۳	۱,۴۴	۲,۰۰	۲,۲۹	۱,۰۰	ST37
۲	۴۲,۴*۱,۶	۲,۰۵	۴,۲۷	۲,۸۷	۳,۲۸	۱,۴۴	"
۳	۴۲,۴*۲,۶	۳,۲۵	۶,۴۶	۴,۵۵	۵,۲۰	۱,۴۱	"
۴	۴۸,۳*۲,۹	۴,۱۴	۱۰,۷۰	۵,۸۰	۶,۶۲	۱,۶۱	"
۵	۶۰,۳*۱,۶	۲,۹۵	۱۲,۷۲	۴,۱۳	۴,۷۲	۲,۰۸	"
۶	۶۰,۳*۲,۹	۵,۲۳	۲۱,۵۹	۷,۳۲	۸,۳۷	۲,۰۳	"
۷	۷۶,۱*۲,۹	۶,۱۱	۳۴,۴۷	۸,۵۵	۹,۷۸	۲,۳۸	"
۸	۸۸,۹*۳,۲	۸,۶۲	۷۹,۲۰	۱۲,۱۰	۱۳,۷۹	۳,۰۳	"
۹	۸۸,۹*۴,۰	۱۰,۶۷	۹۶,۳۴	۱۴,۹۴	۱۷,۰۷	۳,۰۰	"
۱۰	۸۸,۹*۴,۵	۱۱,۹۳	۱۰۶,۵۴	۱۶,۷۰	۱۹,۰۸	۲,۹۸	"
۱۱	۱۰۸*۳,۶	۱۱,۸	۱۶۱,۰۶	۲۴,۸	۲۸,۳۲	۳,۶۹	ST52
۱۲	۱۲۱*۴,۰	۱۴,۷	۵۲۱,۸۷	۳۰,۹	۳۵,۲۸	۴,۱۴	"
۱۳	۱۳۳*۴,۵	۱۸,۲	۲۷۵,۴۲	۳۸,۲	۴۳,۶۸	۴,۵۴	"
۱۴	۱۵۹*۴,۵	۲۱,۸	۶۵۲,۲۷	۴۵,۸	۵۲,۳۲	۵,۴۷	"
۱۵	۱۵۹*۵,۶	۲۷	۷۹۴,۸۸	۵۶,۷	۶۴,۸	۵,۴۳	"
۱۶	۱۵۹*۸,۰	۳۸	۱۰۸۷,۶۷	۷۹,۸	۹۱,۲	۵,۳۴	"
۱۷	۱۶۸,۳*۱۰,۰	۴۹,۷۳	۱۵۶۳,۹۸	۱۰۴,۴	۱۱۹,۴	۵,۶۱	"
۱۸	۱۷۷,۸*۱۷,۵	۸۸,۱۳	۲۸۶۴,۴۷	۱۸۵,۱	۲۱۱,۵	۵,۷۰	"
۱۹	۷۶,۱*۲,۹	۶۰,۶۷	۴۴۴۴,۷۴	۹۳,۳۷	۱۰۶,۷	۲,۵۹	ST37
۲۰	۱۲۷*۳,۶	۱۴,۰	۲۶۵,۸۷	۲۹,۴۰	۳۳,۶	۴,۳۶	ST52
۲۱	۱۳۹,۷*۴,۰	۱۷,۱	۳۹۲,۸۶	۳۵,۹۱	۴۱,۰۴	۴,۷۹	"
۲۲	۲۱۹,۱*۷,۱	۴۷,۳	۲۶۵۹,۵۸	۹۹,۲۳	۱۱۳,۵	۷,۴۹	"
۲۳	۲۱۹,۱*۱۰,۰	۶۵,۷	۳۵۹۸,۴۴	۱۳۷,۹۷	۱۵۷,۷	۷,۴	"
۲۴	۱۷۷,۸*۸,۸	۴۶,۷	۱۶۷۲,۵۵	۹۸,۰	۱۱۲,۱	۵,۹۸	"
۲۵	۱۷۷,۸*۱۲,۵	۶۴,۹	۲۲۲۹,۷۹	۱۳۶,۰	۱۵۵,۸	۵,۸۶	"
۲۶	۱۷۷,۸*۱۶	۸۱,۳	۲۶۸۷,۴۶	۱۷۰,۷	۱۹۵,۱	۵,۷۵	"



## محاسبات بشقابک‌ها:

محاسبات بشقابک‌ها برای اختصار در جدول زیر خلاصه شده است. برای استفاده از جدول توجه به نکات زیر ضروری است:

۱. ستون پنجم قطر  $D$  بشقابک را نشان می‌دهد که با توجه به قطر داخلی لوله انتخاب می‌شود.

۲. ستون ششم قطر  $D_a$  بشقابک را نشان می‌دهد که با توجه به قطر  $D$  بشقابک و ضخامت لوله انتخاب می‌شود:

$$D_a < D - 2t$$

۳. ستون هفتم قطر آچار خور اسلیو را نشان می‌دهد.

۴. ستون هشتم قطر  $d$  بشقابک را نشان می‌دهد که با توجه به رابطه زیر انتخاب می‌شود:

$$D > 1.15 d_{sw}$$

۵. ستون نهم قطر کل پیچ ( $d_{bk}$ ) را مشخص می‌کند.

۶. ستون دهم قطر  $D_b$  بشقابک را نشان می‌دهد که با توجه به رابطه زیر انتخاب می‌شود:

$$D_b > 1.15 d_{bk}$$

۷. ستون یازدهم قطر  $d_a$  بشقابک را نشان می‌دهد که با توجه به رابطه زیر انتخاب می‌شود:

$$d_a < d + 2$$

۸. ستون دوازدهم ضخامت  $H_b$  بشقابک را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H_b < 3.5 \sqrt{A_u}$$

۹. ستون سیزدهم ارتفاع  $H_a$  بشقابک را نشان می‌دهد.

۱۰. ستون چهاردهم ارتفاع  $H$  بشقابک را نشان می‌دهد.

۱۱. ستون پانزدهم شعاع  $r_1$  را نشان می‌دهد که شرط  $r_1 > 1$  را ارضا می‌کند.

۱۲. ستون شانزدهم شعاع  $r_k$  را با شرط  $r_k > 1$  را بدست می‌دهد.

۱۳. ستون هفدهم زاویه  $\alpha$  را با شرط  $\alpha < 6$  بدست می‌دهد.

۱۴. ستون هجدهم قطر  $dA_u$  را با توجه به هندسه شکل بدست می‌دهد.

۱۵. ستون نوزدهم ضخامت  $tA_u$  را با توجه به هندسه شکل بدست می‌دهد.

۱۶. ستون بیستم سطح مقطع  $A_u$  در آن قسمت را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_u = 3.14 tA_u \cdot dA_u$$

۱۷. ستون بیست و یکم قطر  $dA_0$  را با توجه به هندسه شکل بدست می‌دهد.

۱۸. ستون بیست و دوم ضخامت  $tA_0$  را با توجه به هندسه شکل بدست می‌دهد.

۱۹. ستون بیست و سوم سطح مقطع  $A_0$  در آن قسمت را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_u = 3.14 tA_0 \cdot dA_0$$

۲۰. ستون بیست و چهارم نیروی مجاز بشقابک در مقطع  $A_u$  را بدست می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{سطح مقطع بحرانی } A_u * Sy (\text{تنش تسلیم}) = Fu (\text{نیروی مجاز})$$

که در آن  $A_u$  سطح مقطع محاسبه شده از ستون بیستم است و  $S_y$  تنش تسلیم بشقابک با توجه به جنس آن می‌باشد.

۲۱. ستون بیست و پنجم تیروی مجاز  $F_0$  در سطح مقطع  $A_0$  را با توجه به رابطه زیر بدست می‌دهد:

$$F_u = S_y * A_0 \text{ (تنش تسلیم) (نیروی مجاز)}$$

که در آن  $A_0$  سطح مقطع محاسبه شده از ستون بیست و سوم است و  $S_y$  تنش تسلیم بشقابک با توجه به جنس آن می‌باشد.

۲۲. تعدادی از بشقابک‌ها مطابق شکل بصورت شیاردار انتخاب میشوند که در این صورت لازم است دو پارامتر  $D_0$  و  $H_0$  انتخاب شود که ستون بیست و ششم قطر  $D_0$  برای بشقابک فوق از رابطه زیر تعیین می‌شود:

قطر داخلی لوله  $D_0 <$

۲۳. ستون بیست و هفتم پارامتر ارتفاع شیار  $H_0$  را بدست می‌دهد.

۲۴. ستون بیست و هشتم نام بشقابک را براساس قطر خارجی لوله و ضخامت آن می‌دهد و بوسیله  $Ca*b$  مشخص می‌شود که در آن  $C$  بیانگر بشقابک و  $a$  قطر خارجی لوله و  $b$  ضخامت لوله می‌باشد.

			SM						
AA903Y	M <sub>Y</sub>	AA	Y /YY SM	A10	YF	Y	FA	YQ	YY
AA9030	M <sub>Y</sub>	1 9	YF/YY SM	YQ	YY	YF	FA	YY	YY
1Y903F	M <sub>Y</sub> L	AA	YF/YY SM	119	1 9	F1	00	YQ	0A
1Y903F	M <sub>YY</sub>	1 9	F1/YQ SM	119	1 9	F1	00	YF	0A
1Y9Y0F	M <sub>Y</sub> L	AA	YF/YY SM	1Y1	1Y1	YF	F	YQ	0A
1Y9Y0F	M <sub>YY</sub>	1 9	F /YQ SM	1Y1	1Y1	F1	F	YF	0A
109030	M <sub>Y</sub> L	AA	0 /YY SM	1Y9	1YV	0	F0	YQ	0A
109030	M <sub>YY</sub>	1 9	F /YQ 0 /YQ SM	1Y9	1YV	0 F	F0	YF	0A
109030	M <sub>YY</sub>	1 9	0 /YQ SM	1Y9	1YV	0	F0	01	0A
10900F	M <sub>Y</sub> L	1 9	F /YQ 0 /YQ SM	1YV	1YF	0 F	A0	YF	YF
10900F	M <sub>YY</sub>	1 9	F /YF SM	1YV	1YF	F	A0	FY	YF
10900F	M <sub>Y</sub> L	AA	0 /YY F1/YQ SM	1Y9	1YV	F1 0	F0	YQ	0A
10900F	M <sub>YY</sub>	1 9	0 /YQ F1/YQ YF/YQ SM	1Y9	1YV	YF F1 0	F0	YF	0A
10900F	M <sub>YY</sub>	1 F	0 /YQ SM	1Y9	1YV	0	F0	01	F0
10900	M <sub>Y</sub> L	1 9	F /YF SM Y /YQ	109	1Y0	F Y	AZ	YF	YF
10900	M <sub>Y</sub> L	1 9	F /0 SM	109	1Y0	F	AZ	YF	YF
Y19 10Y1	M <sub>Y</sub> L	1 9	Y /YQ SM	Y19	1YF	Y	1	YF	AA
Y19 10Y1	M <sub>Y</sub> L	1 9	F /0 SM	Y19	1YF	F	1	YF	AA
Y19 101	M <sub>Y</sub> L	1 9	A0/YQ SM	Y19	1Y1	A0	1Y	01	1 A
Y19 101	M <sub>Y</sub> F	1 9	Y /0A SM	Y19	1Y1	Y	1Y	AF	1 A
Y19 101	M <sub>0</sub> F	1 9	Y /0A SM	Y19	1Y1	Y	1	AF	1 A

۱۳۳۰۲۵	M <sub>۱۲</sub>	۱۹	۵ / ۲۶ ۲۶/۲۶ SM	۱۲۲	۱۱	۲۶ ۵	۵۶		۵۲
۱۳۳۰۲۵	M <sub>۲۲</sub>	۱۹	۵ / ۲۵ SM	۱۲۲	۱۱	۵	۵۶		۵۲
۱۳۳۰۲۵	M <sub>۲</sub> L	۱۹		۱۲۲	۱۱		۵۶		۵۲

محاسبات بشقابک ها

۱	۲	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
نوع لول	نوع $\alpha$	$d_0$ (mm)	$H_0$ (mm)	$H_1$ (mm)	$H$ (mm)	$r1$ (mm)	$r2$ (mm)	$\alpha$	$dA_0$ (mm)	$tA_0$ (mm)	$A_0$ (cm) <sup>2</sup>
۳۰۱۶	M <sub>۱۲</sub>	13	6	5	13	1	1	6	22.5	4	2.83
۳۲۳۰۱۶	M <sub>۱۲</sub>	13	6	17	23	1	1	6	23	4	2.89
۳۲۳۰۲۶	M <sub>۱۲</sub>	13	10	12	20	1	1	6	29	5	4.55
۳۸۳۰۲۹	M <sub>۱۲</sub>	13	10	19	27	1	1	6	33	6	6.22
۶۳۰۱۶	M <sub>۱۲</sub>	13	10	22	32	1	2	6	34	7	7.48
۶۳۰۲۹	M <sub>۱۲</sub>	13	10	22	32	1	2	6	34	7	7.48
۳۸۳۰۲۹	M <sub>۲</sub>	22	10	17	27	1	2	2	33	5	5.18
۷۶۱۰۲۹	M <sub>۲</sub>	22	13	29	39	2	2	2	40	8	10.05
۸۸۹۰۲۲	M <sub>۲</sub>	22	13.5	40	55	2	2	2	46	11	15.29
۸۸۹۰۲۵	M <sub>۲</sub>	22	13.5	40	55	2	2	2	46	11	15.89
۱۲۷۰۲۶	۲ L M	22	26	55	70	4	4	2	68	12	25.64
۱۲۷۰۲۶	M <sub>۲۲</sub>	29	26	55	70	4	4	2	68	12	25.64
۱۲۹۷۰۴	۲ L M	22	26	70	85	4	3	3	68	13	27.77
۱۲۹۷۰۴	M <sub>۲۲</sub>	29	26	70	85	4	3	3	68	13	27.77
۱۵۹۰۲۵	۲ L M	22	26	69	85	3	3	3	77	16	38.70
۱۵۹۰۲۵	M <sub>۲۲</sub>	29	26	69	85	3	3	3	77	16	38.70
۱۵۹۰۲۵	M <sub>۲۲</sub>	35	26	69	85	3	3	3	77	16	38.70
۱۵۹۰۲۶	۲۲ L M	29	33	70	90	3	3	3	92	19	54.92
۱۵۹۰۲۶	M <sub>۲۲</sub>	44		70	90	3	3	3	92	19	54.92
۱۵۹۰۲۶	۲ L M	22	26	69	85	3	3	3	77	16	38.7
۱۵۹۰۲۶	M <sub>۲۲</sub>	29	26	69	85	3	3	3	77	16	38.7
۱۵۹۰۲۶	M <sub>۲۲</sub>	35	26	69	85	3	3	3	77	16	38.7
۱۵۹۰۲۶	۲۲ L M	29	33	49	75	3	3	6	99	22	68.42
۱۵۹۰۲۶	M <sub>۲۲</sub>	50	33	49	75	3	3	6	99	22	68.42
۲۱۹۱۰۷۱	۲۲ L M	29	33	75	100	4	4	5	108	25	84.82
۲۱۹۱۰۷۱	M <sub>۲۲</sub>	50	33	75	100	4	4	5	108	25	84.82
۲۱۹۱۰۱	۲۲ L	35	50	75	100	4	4	5	136	32	93.99

	M										
٢١٩ ١٥١	M <sub>٢٢</sub>	66	50	75	100	4	4	5	136	32	93.99
٢١٩ ١٥١	M <sub>٥٢</sub>		40			4	4	5	120	27	101.79
١٣٢٥٢٥	M <sub>٢٧</sub>	29	26	55	70	3	3	3	69	14	80.35
١٣٢٥٢٥	M <sub>٢٢</sub>	35	26	55	70	3	3	3	69	14	80.35
١٣٢٥٢٥	٢ L M	22	26	55	70	3	3	3	69	14	80.35

محاسبات بشقابک ها

١	٢	٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	
نوع لول	نوع ج	d <sub>AO</sub> (mm)	t <sub>AO</sub> (mm)	A0 (Cm) <sup>2</sup>	F <sub>u</sub> (ton)	F0 (ton)	D0 (mm)	H0 (mm)	نام بشقابک	
٢ ٥١٢	M <sub>١٢</sub>	٢٢٣	٢٢	٢٢٢	٢٩٢	٢٢٨			C30*1.6	
٢٢٢٥١٢	M <sub>١٢</sub>	٢٥	٢	٢٢٩	٤٥	٤			C42*1.6	
٢٢٢٥٢٢	M <sub>١٢</sub>	٢٢	٥	٥٢	٢٢٨	٢٢			C42*2.6	
٢٨٢٥٢٩	M <sub>١٢</sub>	٢	٥	٢٢٨	٨٧١	٧٢			C48*2.9	
٢٢٥١٢	M <sub>١٢</sub>	٥	٢	٩٢٢	١٢٧	٨٧٩			C60*1.6	
٢٢٥٢٩	M <sub>١٢</sub>	٥	٢	٩٢٢	١٢٧	١٢١٩			C60*2.9	
٢٨٢٥٢٩	M <sub>٢</sub>	٢	٥	٢٢٨	٧٢٢	١٢١٩			C48*2.9	
٧٢١٥٢٩	M <sub>٢</sub>	٢٢	٧	١٢٨٥	١٢٧	٨٧٩			C76*2.9	
٨٨٩٥٢٢	M <sub>٢</sub>	٢٩	٩	١٩٥١	٢٢٢٢	١٩٢٩			C89*3.2	
٨٨٩٥٢٥	M <sub>٢</sub>	٢٢	٨٥	١٩٢٢	٢٢٢٢	٢٧٢١			C89*4.5	
١٢٧٥٢٢	M <sub>٢</sub> L	١٨	١٢	٢٧٢	٥٢٨٢	٢٢٩٢			C127*3.6	
١٢٧٥٢٢	M <sub>٢٧</sub>	١٨	١٢	٢٧٩	٥٢٨٢	٨٥٥			C127*3.6	
١٢٧٥٢٢	M <sub>٢</sub> L	١١٨	١١	٢٧٨	٥٨٢٢	٨٥٥			C140*4	
١٢٧٥٢٢	M <sub>٢٧</sub>	١١٨	١١	٢٧٩	٥٨٢٢	٨٥٢٢			C140*4	
١٥٩٥٢٥	M <sub>٢</sub> L	١٢٢	١١	٢٥٩٢	٨١٢٨	٨٥٢٢			C159*4.5	
١٥٩٥٢٥	M <sub>٢٧</sub>	١٢٢	١٢	٥١٢	٨١٢٨	٩٢٥٢			C159*4.5	
١٥٩٥٢٥	M <sub>٢٢</sub>	١٢٢	١٢	٥١٢	٨١٢٨	١٥٢٩			C159*4.5	
١٥٩٥٢٢	M <sub>٢٧</sub> L	١٢٢	١٢	٥٢٧٢	١١٥٢٢	١٥٢٩			C159*5.6	
١٥٩٥٢٢	M <sub>٢٢</sub>	١٢٢	١٢	٥٢٧٢	١١٥٢٢	١١٢٩٢			C159*5.6	
١٥٩٥٢٢	M <sub>٢</sub> L	١٢٢	١١	٢٥٩٢	٨١٢٨	١١٢٩٢			C159*5.6	
١٥٩٥٢٢	M <sub>٢٧</sub>	١٢٢	١٢	٥١٢	٨١٢٨	٩٢٢			C159*5.6	
١٥٩٥٢٢	M <sub>٢٢</sub>	١٢٢	١٢	٥١٢	٨١٢٨	١٥٢٩			C159*5.6	
١٥٩٥٥	M <sub>٢٧</sub> L	١٢٧	٢٢	٩٢٢٩	١٢٢٢٩	١٩٨٨٩	١٢٢٥	١٢	C159*8	
١٥٩٥٥	M <sub>٢٨</sub>	١٢٧	٢٢	٩٢٢٩	١٢٢٢٩	١٩٨٨٩	١٢٢٥	١٢	C159*8	
٢١٩ ١٥٧١	M <sub>٢٧</sub> L	١٢٨	٢	١٢٢٢١	١٧٨١٢	١٢٢٢٥	٢٢	١٢	C219*7.1	
٢١٩ ١٥٧١	M <sub>٢٨</sub>	١٢٨	٢	١٢٢٢١	١٧٨١٢	١٢٢٢٥	٢٢	١٢	C219*7.1	
٢١٩ ١٥١	M <sub>٢٧</sub> L	١٨٨	٢	١٧٧١٨	١٩٧٢٩	٢٧٢٢٩	١٨٥	١٢	C219*10	
٢١٩ ١٥١	M <sub>٢٢</sub>	١٨٨	٢	١٧٧١٨	١٩٧٢٩	٢٧٢٢٩	١٨٥	١٢	C219*10	
٢١٩ ١٥١	M <sub>٥٢</sub>	١٩٢	٢٥	١٥٢٢٧	٢١٢٢٥	٢١٩٩٧			C219*10	
١٢٢٥٢٥	M <sub>٢٧</sub>	١٨	١١	٢٧٢٢	٢٢٧٢	٧٨٢٨			C133*4.5	
١٢٢٥٢٥	M <sub>٢٢</sub>	١٨	١١	٢٧٢٢	٢٢٧٢	٧٨٢٨			C133*4.5	
١٢٢٥٢٥	M <sub>٢</sub> L	١٨	١١	٢٧٢٢	٢٢٧٢	٧٨٢٨			C133*4.5	

## منابع:

۱. دکتر محمود گلابچی، درک رفتار سازه‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۱
۲. رهایی، " استراتژی‌های پایدار در زراحی سازه‌های فضاکار"، دومین کنفرانس ملی سازه‌های فضاکار، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹
۳. کاوه، علی \_ ثروتی، همایون، شبکه‌های عصبی مصنوعی در بهینه سازی سازه‌ها، مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن، چاپ اول ۱۳۷۹
۴. تحقیقات گروه سازه‌های فضاکار دانشگاه علم وصنعت ایران دانشکده عمران
۵. عشقی سنتی، "ح، نگاهی به فناوری‌های جدید"، نشریه آبادی، شماره. ۶۶، ۱۳۸۹
۶. ستوده بیدختی، امیرحسین، ۱۳۹۳، مقدمه ای بر کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM در مدیریت پروژه های ساخت، اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار، تهران، موسسه ایرانیان، انجمن معماری ایران
۷. مجموعه مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷
۸. آئین‌نامه حداقل بارهای وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی (استاندارد ۵۱۹)
۹. آئین‌نامه سازه‌های فضاکار کشور (نشریه شماره ۴۰۰ سازمان مدیریت)
۱۰. آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)
۱۱. چوپانی نقدعلی طراحی و محاسبات اجزای سازه‌های فضاکار مرو، گروه سازه‌های فضاکار خودکفایی، تهران، ۱۳۷۱