سازه های غشایی و نقش گنبد در معماری ایرانی اسلامی

ایمان الیاسیان،دانشجوی دکترای عمران سازه eiman.elyasian@gmail.com
حسین میسمی،دکترای عمران h.mesam@gmail.com

گنبد،یک اثر هنری واقعی است.آمیزه ای عالی از مجسمه سازی و معماری در فضا. گنبد طبیعی ترین فرم نسبت به بقیه می باشد،یک طاق ایجاد شده به وسیله انسان که تداعی کننده طاق بهشت است.

"میکل آنژ"

یکی از کلیشه‌های رایج در مورد معماری ایرانی، توصیفاتی است که در مورد گنبدهای زیبا آن وجود دارد. در این که گنبد به عنوان یکی از فرم‌های مورد استفاده در معماری، تا چه حد می‌تواند زیبا و موزون باشد بحثی نیست، اما مشکل آن است که در اکثر اوقات این توصیفات، به استعاره‌هایی ادبی تبدیل می‌شوند که شاید ربطی به دلایل پدید آمدن این فرم معماری در طول تاریخ و نحوه تکامل آن نداشته باشد. حتما شنیده‌اید که بسیاری از کسانی که شیفته هنر ایران هستند، گنبدها را نمادی از آسمان می‌دانند. اما آیا گنبد در معماری گذشته فقط کارکردی نمادین داشته و یا ضرورت‌های ساختاری و نیازهای ساختمانی باعث به وجود آمدن این فرم معماری شده‌است؟

نیازهای ساختمانی

گنبد، یکی از انواع پوشش‌هایی است که برای پوشاندن سقف یک مکان می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. پس در درجه اول، کاربردی کاملا ساختمانی دارد. اگر بخواهیم بحث را ساده کنیم باید بگوییم سقف یا پوشش یک فضای معماری، می‌تواند تخت یا منحنی (قوس دار) باشد. پوشش تخت یا مسطح، همین پوششی است که هم اکنون به طور معمول در ساختمان‌های مسکونی عادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوشش غیر تخت، انواع گوناگونی دارد، مثل گنبد و انواع دیگر پوشش‌هایی که در آن از قوس‌ها و منحنی‌های دیگر استفاده می‌شود.گنبد از نظر هندسی از دوران یک قوس حول محور عمود به وجود می‌آید. اما ضرورت استفاده از این نوع پوشش در گذشته چه بوده‌است .

گنبد فیروز آباد

کمبود مصالح مناسب

همان طور که گفتیم برای پوشاندن یک فضا، یا باید از پوشش‌های تخت استفاده شود و یا پوشش‌های منحنی. معمار برای استفاده از پوشش تخت به تیر که عنصری افقی برای انتقال نیروهای سقف است احتیاج دارد و این دقیقن همان نکته‌ای است که باعث شد در مناطقی خاص، گنبد رواج پیدا کند.

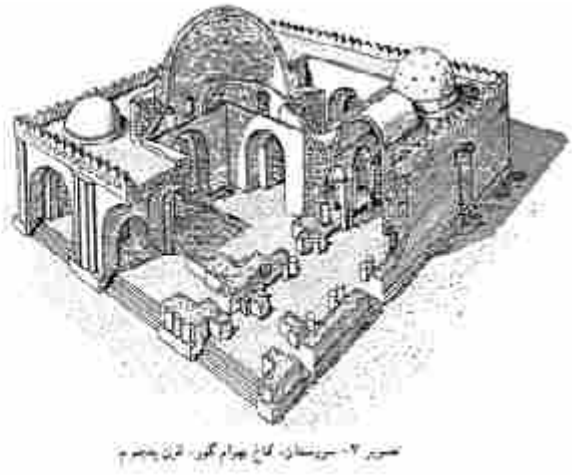
از چند محل متفاوت به عنوان نخستین مکان‌هایی که پوشش‌های منحنی شکل در آنجا به کارفته، نامبرده می‌شود. ازجمله روستایی هشت هزارساله و مربوط به دوران نوسنگی در قبرس ، کلده در میانرودان و عراق امروزی و همچنین مناطقی در مصر و جنوب ایران در حوالی شوش و هفت تپه.

کاخ سروستان

پلان آزاد

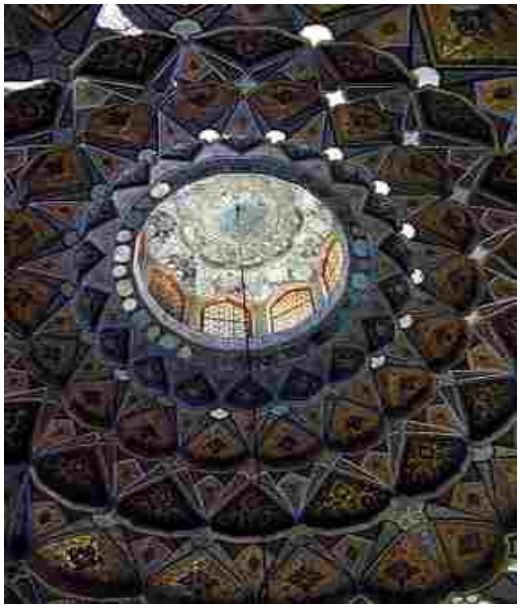
تااق و گنبد در معماری ایرانی توانست به عنوان پوشش اصلی فضای معماری، به تکامل برسد. در حقیقت استفاده وسیع از پوشش‌های تخت، مانند نمونه تخت جمشید در دوران هخامنشی یک استثناء در این زمینه محسوب می‌شود.

در آن دوران به دلیل وسعت و توانایی فراوان امپراتوری هخامنشی، چوب لازم برای استفاده در تیرهای سقف از نقاطی دیگر مانند لبنان به ایران آورده می‌شد.اما در دوره‌های دیگر، استفاده از مصالح بومی مانند خشت و آجر، بیشتر به صرفه بود و بنابراین فرم گنبد توانست رشد کند و به تکامل برسد.



نقشه و طرح سه بعدی کاخ سروستان

به جز قابلیت‌های ساختمانی گنبد، که می‌تواند در مناطقی که مصالح لازم مانند چوب در اختیار نیست در پوشش فضاهای معماری به کار رود؛ می‌توان به قابلیت آن در ایجاد فضاهای داخلی آزاد و گسترده اشاره کرد. استفاده از تیرهای چوبی برای پوشش سقف، این محدودیت را نیز به همراه داشت که می‌بایست از ردیف ستون‌های نزدیک به یکدیگر برای عبور تیرها استفاده شود. یعنی چون طول تیرهای چوبی نمی‌توانست بیش از حد معینی باشد بنابراین لازم بود تعداد زیادی ستون برای نگهداری آنها برپا شود. به عنوان مثال اگر به معماری تخت جمشید دقت کنید، در کاخی مانند صد ستون، تعداد ستون‌ها، ده ردیف در ده ردیف است که خواه ناخواه فضای داخل ساختمان را محدود می‌کند، گرچه باعث عظمت آن می‌شود. اما در مقابل آن، استفاده از پوشش گنبد باعث می‌شود تا فضای باز و آزادتری در داخل ساختمان در اختیار باشد.

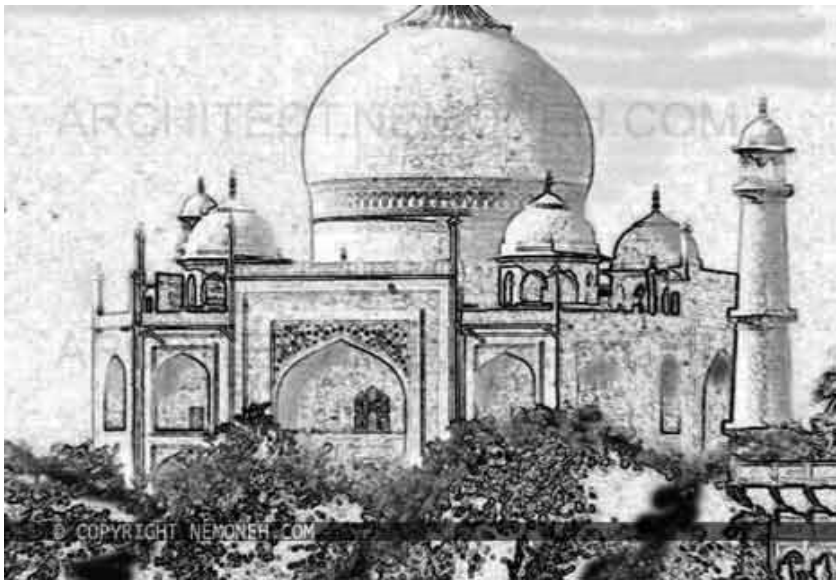


هشت بهشت، اصفهان

رشد گنبد در دوران ساسانی

در دوران اشکانی و سپس ساسانی، استفاده از تاق وگنبد رواج بیشتری پیدا کرد و ابداعات مهمی در این زمینه صورت گرفت. در کاخ فیروز آباد استان فارس، که ساخت آن را به اردشیر بابکان نسبت می‌دهند، سه تالار بزرگ با استفاده از گنبد ساخته شده‌اند که قطر دهانه

هرکدام از این گنبدها کمی بیش از سیزده متر است. از دیگر نمونه‌های مهم گنبدهای ساسانی می‌توان از گنبد کاخ سروستان نام برد که مربوط به دوران بهرام گور پادشاه ساسانی است و از آن به عنوان قدیمی‌ترین گنبد آجری در ایران نام می‌برند.
در دوران ساسانی گنبدسازی آنچنان رواج می گیرد و تکامل می یابد که از آن پس تا امروز پوشش گنبدی از نظر ساخت به صورت الگو و دستور العمل کلی مورد بهره برداری قرار می گیرد.
دقیق ریاضی در شکل بندی و ساختمان و با کاربست شیوه های صحیح صورت می گیرد که در همه انواع، گنبدها بدون احتیاج به گاه بست و کالبد و قالب در برابر همه نیروهای فشاری و رانشی به خوبی مقاومت می کنند، گرچه در گوشه سازی ها از اوایل دوران اسلامی تاکنون تحولاتی چند صورت گرفته است اما روش گنبدسازی در ایران همواره ویژگی اجرائی و فرهنگی خاص خود را دنبال کرده است.
آنچه قابل ذکر است آنکه این ویژگی چه در شکل چه در اجرا (نداشتن قالب) آن را با گنبدهای مشرق زمین همواره متفاوف می کند.



گنبد نظام‌الملک

مقصورهٔ گنبد نظام‌الملک یکی از اولین نمونهٔ بناهایی است که‌در آن خط نسخ در کنار خط کوفی در کتیبه‌ها به کار رفته است.نماهای خارجی شرقی و غربی مقصوره و سطوح زیرین طاق‌های‌ورودی آن در ارتفاع کتیبه‌های یاد شده به وسیلهٔ لوحه‌های مشابه،ولی با گچ‌بری لب پخ با نقوش گیاهی هندسی‌وار به سبکC سامره تزئین شده است. بررسی‌های انجام یافته در قسمت فوقانی‌این نماها آثار یک نوار تزئینی دیگر را در ارتفاع حدود ۱۰ متر ازسطح زمین در حد فاصل بین پایهٔ مربع و منطقهٔ انتقالی بنا آشکارنموده است. پوشش راهروهای جانبی گنبد نظام‌الملک در قرن ۸ ق‌آسیب فراوانی به این نواز تزئینی وارد کرده، و تشخیص محتوای آن‌را امروزه غیرممکن ساخته است. اما تزئینات شامل نقوش گیاهی‌که متأسفانه مقدار کمی از آن باقی مانده است، در سطح گسترده‌ای‌به صورت نیم برجسته تمامی سطوح لچک طاق‌ها و طاق نماهای‌منطقهٔ انتقالی مقصوره را می‌پوشانده است. سطح زیرین ترک‌بندی‌های گنبد نیز با نقوش گیاهی گچ‌کاری شده است. تزئین‌بندهای عمودی آجر از نوع تزئینات گچی با اشکال هندسی است.گرچه ساختمان گنبد نظام‌الملک در محوطهٔ مقصوره به طور کلی‌سنت دیرینهٔ معماری مسلمانان را از زمان امویان به بعد، در جلوه‌دادن هرچه بیشتر به این قسمت مهم از مساجد بزرگ، دنبال‌می‌کرده است . اولین بنایی که به تقلید از گنبد نظام‌الملک ساخته شد،گنبدی است که در منتهی‌الیه شمالی مسجد جامع اصفهان و برمحور شمالی-جنوبی آن احداث شد. این بنا که امروزه به گنبدتاج‌الملک یا گنبد خاکی معروف است، به استناد کتیبهٔ داخل آن‌به وسیلهٔ ابوالغنائم مرزبان ابن‌خسرو فیروز شیرازی ملقب به‌تاج‌الملک، رقیب نظام الملک و جانشین وی، برپا گردیده است وساخت این گنبد را دومین مرحله از تغییرات اساسی مساجد در دورهٔسلجوقی می‌توان به شمار آورد. این بنا بر سطحی مربع با اضلاع‌داخلی ۹/۸۰ الی ۱۰ متر و اضلاع خارجی ۱٤ متر و به ارتفاع‌تقریبی ۲۰/٦۰ متر ساخته شده است و گرچه از گنبد نظام‌الملک‌کوچک‌تر است، ولی از لحاظ تناسب و ظرافت بر آن

برتری دارد ویکی از شاهکارهای معماری ایران محسوب می‌شود .فرضیه‌های‌مختلفی دربارهٔ نقش و عملکرد این گنبد که نمونهٔ منحصر به فردی‌از وجود گنبد دومی در ساختمان مسجدی است عنوان شده است.

از نظر معماری، این بنا با ساختمانی مشابه مقصورهٔنظام‌الملک در مقطع عمودی از ۳ قسمت مختلف، یعنی پایهٔ مربع‌شکل، منطقهٔ کثیرالاضلاع دو طبقهٔ انتقالی بین مربع پایه و گنبد وپوشش گنبدی تشکیل شده است. فقدان راه پلهٔ ارتباطی از پایین‌به بالا نشان می‌دهد که دسترسی به پشت بام گنبد در ابتدا از طریق‌ساختمانی که بنای تاج‌الملک بخش الحاقی آن بوده، انجام‌می‌گرفته است و این مسأله، فرضیهٔ وجود مجموعهٔ بزرگ‌تری را دراین قسمت مسجد، تأیید می‌کند. از ٤ نمای خارجی بنا، تنها دونمای جنوبی و شرقی که در ابتدا آزاد بوده، دارای تزئینات مهمی‌است. ورودی اصلی گنبد در میان جبههٔ جنوبی بنا با دو ورودی‌جانبی کوچک‌تر در طرفین آن روبه‌روی جبههٔ اصلی مقصوره واقع‌شده است. ورودی‌ها و طاق نماهای مشابه با همین ترتیب سه گانه‌به طور منظم بر دیوارهای شرقی، شمالی و جنوبی قرار گرفته‌اند.درگاه‌ها، گوشه‌سازی‌ها و طاق‌نماها از نوع جناغی چهارکمانهٔ سه‌مرکزی (لاله، ٦) به همراه ستون‌های ظریف تزئینی با ترتیب‌موزون و متقارنی تمامی سطوح بنا را از سطح زمین تا زیر گنبد در بر گرفته اند.

علاوه بر کاربرد عناصر معماری، وجود کتیبه‌ها و نقوش مختلف‌هندسی از آجر نیز در تزئین گنبد تاج‌الملک نقش مهمی را ایفا کرده‌است. بنا دارای چند کتیبهٔ آجری به خط کوفی است. کتیبهٔ واقع برقاعدهٔ گنبد شامل آیهٔ ٥٤ از سورهٔ اعراف است که با نام بانی‌ساختمان و سال احداث آن پایان می‌گیرد. ۳۲ کتیبه واقع برلچک‌های ١٦ طاق نمای طبقهٔ دوم منطقهٔ انتقالی، ۳۲ اسم ازاسماءالله را دربر دارد. ۸ ورودی فرعی و طاق‌نمای تزئینی جانبی‌واقع در ٤ دیوار داخلی گنبد شامل آیات ۷۸ و ۷۹ از سورهٔبنی‌اسرائیل است. آیات ٢٦ و ۲۷ از سورهٔ آل‌عمران بر سطح زیرین‌طاق مدخل اصلی بنا بر دیوار جنوبی آن نقش بسته است نمای‌خارجی طاق‌نمای جنوبی دیوار شرقی گنبد دارای کتیبه‌ای حاوی‌بخشی از آیهٔ ۹۷ از سورهٔ آل‌عمران است. تزئینات هندسی که از ۳طریق مختلف - یعنی بند و بست آجرها و ردیف‌کاری آنها،نقشه‌های مختلف از ترکیب آجرهای تراشیده، و مهرهای گچی دربندهای عمودی آجرها - به دست آمده، کلیهٔ سطوح بنا را مزین‌کرده است. یکی از معروف‌ترین و زیباترین تزئینات هندسی آجری‌که بر داخلی سطح کروی انجام یافته، بر زیر این گنبد نقش بسته‌است. در پی عملیات مرمتی سال‌های١٩٤٨-١٩٤٩م/١٣٢٧-١٣٢٨ شمسی و پیگردی‌های اخیر در زیرلایه‌های تزئینی کاشی‌کاری که جبههٔ اصلی ایوان را به طرف‌صحن می‌پوشاند، آثاری از نمای سلجوقی از جمله چند طاق‌نمای‌منقش با آجرچینی و مهرهای تزئینی در بندهای آجرها آشکارگردید. همچنین به دنبال حذف لایه‌های سطوح گچی از روی‌نماهای خارجی دیوارهای شرقی و غربی ایوان، طاق نماهای‌اصلی سلجوقی بر آنها مشخص گردیدند .ایوان‌های غربی و شرقی‌به نوبهٔ خود با دهانه‌هایی که در دیوارهای طرفین آنها قرار داشتند،با راهروهای جانبی ارتباط داشته‌اند. در انتهای ایوان شرقی که به‌جای دیوار خشتی قدیمی مسجد متعلق به دورهٔ عباسی قرار گرفته،فضای تو رفته‌ای به شکل شاه‌نشین و دو فضای کوچک‌تر دراطراف آن که با شاه‌نشین و با ایوان هر دو مرتبط بوده است، وجود دارد.

گنبد در معماری ایران

پوشش گنبد در ایران پیشنه ای دیرینه دارد . کمبود چوبهای استوار و کشیده که در حقیقت عنصر اصلی پوشش تخت است ، سبب شده است که پوشش سغsagh و گنبد روایی پیدا کند و بخصوص در دهانه های وسیع ترجای پوشش تحت را بگیرد . قدیمیترین شکل های منحنی در پوشش زیرین چغازنبیل متعلق به هزاره دوم دیده شده است.

با وقفه طولانی در دوران هخامنشی معماری درخشانی با پوشش مرتفع و مسطح در اوج قدرت و کارائی جلوه دارد ولی چه قبل و چه بعد از آن بعلت فراهم نبودن شرایط خاص اقتصادی در این دوران آوردن چوب سدر از جبل عامل و ساج از گنداره همیشه میسر نبوده و در جنگل ها و جلگه های این سرزمین هم چوب مناسب پوشش پرورش نمی یافته است لذا طاقهای منحنی و گنبد جای اصلی خود را به عنوان یک پدیده ساختاری و اقلیمی در معماری ایران به آسانی پیدا می کنند.

در متون موجود ، دیرینه ترین گنبدی که به آن اشاره می شود مربوط به دوران اشکانی و اوایل ساسانی است . این گنبد در شهر فیروز آباد و به قطر ١٦/١٠ متر بنا شده است . چنانچه ابن البلخی در توصیف شهر فیروز آباد و گنبدی که در میانه شهر برپا شده می گوید : اردشیر شهر فیروزآباد ، که اکنون هست بنا کرد و شکل آن مدور است چنانک دایره پرگار باشد . در میان شهر آنجا که مثلاً نقطه پرگار باشد دکهٔ انباشته برآورده است و نام آن ایوان کرده و عرب آنرا طربال گویند و بر سر آن دکه سایها ساخته و در میان گاه آن گنبدی عظیم برآورده و

آنرا گنبد کیرمان گویند و طول چهار دیوار این گنبد تا زیر قبه آن هفتاد و پنج گز است و این دیوارها از سنگ خارا برآورده است و پس قبه عظیم از آجر بر سر آن نهاده و آب از یک فرسنگ از سر کوه رانده و به فواره بر این سر بالا آورده و دو غدیر است که یکی بوم پیر گویند و دیگر بوم جوان و بر هر غدیری آتشگاهی کرده است .

در دوران ساسانی گنبدسازی آنچنان رواج می گیرد و تکامل می یابد که از آن پس تا امروز پوشش گنبدی از نظر ساخت و افزیر بصورت الگو و دستور العمل کلی مورد بهره برداری قرار می گیرد .

روش گنبدسازی چه در دوران ساسانی چه در دورهٔ اسلامی آنچنان با استفاده از نظم دقیق ریاضی در شکل بندی و ساختمان و با کاربست شیوه های صحیح صورت می گیرد که در همه انواع ، گنبدها بدون احتیاج به گاه بست و کالبد و قالب در برابر همه نیروهای فشاری و رانشی به خوبی مقاومت می کنند ، گرچه در گوشه سازیها از اوایل دوران اسلامی تاکنون تحولاتی چند صورت گرفته است اما روش گنبدسازی در ایران همواره ویژگی اجرائی و فرهنگی خاص خود را دنبال کرده است . آنچه قابل ذکر است آنکه این ویژگی چه در شکل چه در اجرا (نداشتن قالب) آنرا با گنبدهای مشرق زمین همواره متفاوف می کند.

در ایران به ندرت روی زمینه مستطیل نزدیک به مربع هم اجرا شده است در این صورت مستطیل تبدیل به ۶ و ۱۲ و سپس بیضی نزدیک به دایره می شود و گنبد روی بیضی قرار می گیرد. به این نوع گنبد که مقطع افقی آن به جای دایره بیضی است کمبیزه گفته اند. از نمونه های این نوع گنبد با ته رنگ بیضی مسجد حاج رجبعلی تهران و امامزاده زید بن علی در ورامین قابل ذکرند.

تعریف هندسی گنبد

در تعریف هندسی ، گنبد مکان هندسی نقاطی است که از دوران چِفدی مشخص حول یک محور قائم به وجود می آید . اما در زبان معماری : گنبد پوششی است که بر روی زمینه ای گرد برپا شود.

گنبد در زبان معماری:

گنبد پوششی است که بر روی زمینه ای گرد برپا شود.

تقسیم بندی گنبد:

گنبد از سه قسمت تشکیل شده است :

۱ـ گنبد خانه یعنی زمینه گنبد

۲ـ بَشن = هیکل یعنی قسمتی که روی زمینه ته رنگ به صورت مکعب بالا می آید و یک یا دو طرف آن باز است (در گنبدهای قبل از اسلام هر چهار طرف به دهانه های باز منتهی می شد .)

۳ـ چپیره = جمع شده

از آنجائیکه در معماری ایرانی به ندرت به ته رنگ گرد بر می خوریم و معمولاً قسمت انتهائی بشن به شکل ، مربع و گاهی مستطیل است با چپیره کردن آنرا تبدیل به دایره می کنند بعد گنبد روی آن سوار می شود . به همین دلیل مرحله چپیره شدن در گنبدسازی شایان توجه است زیرا امکان داشتن زمینه گرد است که اجرای نهایی پوشش گنبد را میسر می سازد

.

معمولاً در نقشه هائی که پوشش به صورت گنبد طراحی می شود زمینه را به شکل مربع در نظر می گیرند تا به سادگی بتوان آنرا تبدیل به ۸ و ۱۶ و ۳۲ و بالاخره دایره کرد .

گنبد سازی در ایران به ندرت روی زمینه مستطیل نزدیک به مربع هم اجرا شده است در این صورت مستطیل تبدیل به ٦ و ۱۲ و سپس بیضی نزدیک به دایره می شود و گنبد روی بیضی قرار می گیرد . به این نوع گنبد که مقطع افقی آن به جای دایره بیضی است کمبیزه گفته اند . از نمونه های این نوع گنبد با ته رنگ بیضی مسجد حاج رجبعلی تهران و امامزاده زید بن علی در ورامین قابل ذکرند .

چپیره :

چپیره سازی در گنبد به دو بخش عمده تقسیم می شود :

ـ گوشه سازی = گوشه بندی

ـ شکنج = چین و چروک

ـ گوشه سازی یا گوشه بندی یعنی ساختن و تبدیل کردن شکل چهار گوشه بشن به هشت گوشه و به ترتیب ۱٦ و ۳۲ و ٦٤ گوشه و بالاخره دایره و با تبدیل کردن شکل مستطیل نزدیک به مربع به ٦ و ۱۲ گوشه و بالاخره بیضی است . در حالت اخیر مستطیل بشن باید نسبت اندازه های اضلاعش طوری باشد که به راحتی قابل تبدیل به شش گوشه شود مثلاً نسبت ٤ و ۳/٤ قابل تقسیم است . البته با استفاده از کاربندی انواع زمینه های مرسوم در معماری ایرانی را می توان به نحو مطلوب تبدیل به دایره کرد که در مباحث آینده جداگانه بررسی خواهد شد .

گوشه سازی خود شامل دو بخش است :

۱- اسکنج یا سِکُنج

۲- ترمبه یعنی جمع شده

اولین گوشه سازیها توسط چوب انجام شده و حتی خود گنبد هم با چوب اجرا گشته است . بهترین موارد مثال را در ابیانه می توان دید .

دراراک هم در کاروانسرای حاج علیقلی نمونه دیگریست . کاروانسرای کاشانی هم (در اراک) به همین طریقه ساخته شده است . طرز اجرا چنین بوده که چوبها را در گوشه های بشن سوار می کردند و همین طور روی هم می چیدند تا مثل سبد جمع می شد و به صورت گنبد چوبی در می آمد .

در معماری ارمنی از این نوع گنبد زیاد به چشم می خورد . فضای زیر این گنبدها را معمولاً بزرگترین اطاق تشکیل می دهد . در خانه های روستائی نیز پوشش بزرگترین اطاق که معمولاً تنور هم در آن قرار دارد به صورت گنبد چوبی است . چوبهای موجود در ایران از استحکام کافی برخوردار نیست و معمولاً برای پوشش دهانه های ۲/۵ تا ۳ متر به کار می رود به همین دلیل در معماری پیشین ایران در زمان هخامنشیان برای پوشش تخت جمشید از جبل عامل لبنان درختهای کنار بسیار قطور و مرتفع را آوردند . چون این حمل و نقل چوبها مستلزم هزینه ای سنگین بود در دوران اشکانی این کار متروک شد و به جای پوشش تخت از پوشش سغ استفاده کردند .

متاسفانه از معماری دوران اشکانی که در واقع پوشش سغ آغاز می شود در داخل ایران نمونه ای بجای نمانده است . در خارج از محدوده ایران کنونی به یکی دو نمونه از پوشش سغ بر می خوریم که یکی hattra یا الحضر است و دیگری کاخ آشور و ایندو نیز چهره روشنی از چگونگی پوشش به دست نمی دهند .

در بازه هور خراسان بین خواف و نیشابور گنبدی دیده می شود که گوشه سازیهای آن با چوب ساخته شده و خود گنبد با سنگ لاشه . بنا متعلق به اواخر دوران اشکانی یا اوایل ساسانی است و در مجموع ناچیزتر از آنست که ما را به قضاوتی کلی در این باب رهنمون شود . لذا از گنبدهائی که همه مصالح آن از چوب بوده فقط خاطره هائی باقیست . شاید ابیانه بهترین تجلی گاه آن باشد .

گوشه سازی با چوب نیز به تدریج در بسیاری از نقاط ایران متروک شد و علت عمده و اصلی آن موریانه خیز بودن زمین های ایران داخلی (ایرانشهر) بوده و هست .

قدیمیترین نمونه بجای مانده از گوشه سازی با چوب در بازه هور است .
در فهرج یزد هم با اینکه منطقه به شدت موریانه خیز است (احتمالاً به علت رواج چوب در منطقه شهدای فهرج) زیارتگاهی به چشم می خورد که گوشه سازی پوشش آن ، از چوب بوده است . چوب گوشه ها توسط موریانه به کلی از بین رفته ولی خشت های پشت آن به نحو معجزه آسایی باقی مانده است و از خود گنبد نشانی دیده نمی شود .
در اواخر قرن هشتم و اوایل قرن نهم در منطقه خراسان حدود مشهد و طوس و اطراف آن و در مناطق کوهستانی کرمان که موریانه کمتر است استفاده از پوشش چوبی رواج می یابد .
نمونه این گوشه سازی با چوب بقعه شاه نعمت الله ولی در کرمان است و در این بنا برای گوشه سازی با یک تخته ، شانزده ضلعی را به ۳۲ ضلعی تبدیل کرده اند . در گنبد هارونیه طوس نیز همین عمل تکرار شده است . در مسجد جامع قزوین از تخته استفاده کرده اند (گنبد قدیمی مسجد) .

۱-اسکنج:

اسکنج متشکل از دو طاق اریب است که همدیگر را در یک نقطه قطع کرده باشند . شیوه زدن طاق ممکن است بصور مختلف رومی ، ضربی ، چپیله (لاپوش و تیغه ای) باشد در هر حال تقاطع دو طاق این نوع گوشه سازی را به وجود می آورد . ذکر این نکته ضروری است که بارهای وارد بر گنبد به این گوشه ها منتقل نمی شود . به همین دلیل هم ، نوع اجرای گوشه سازی تأثیری در چگونگی افزیر گنبد ندارد

۲-ترمبه = سرمبه = سلمبه:

نوع دوم گوشه سازی به صورت ترمبه است در هیچ یک از لغت نامه های ایرانی به کلمه ترمبه بر نمی خوریم . لغتی به صورت ترکیب طاق و طرمب آمده است که معنای آنرا پشت هم اندازی و طاق روی طاق سوار کردن نوشته اند حال آنکه خود لغت ترمبه به معنی ، یک چیز جمع شده ، عمده ، پیش آمده ، تریده (به طرف جلو سریده شده) است . در واقع ترمبه همان معنی اسکنج را دارد که کنج پیش آمده باشد ترمبه بر عکس سکنج به چهار طریقه پوشش می شود : ۱ـ گوشه سازی با چوب به شکل جلو آمده که حالت خاص و استثنائی ترمبه تلقی می شود . و سه طریق دیگر به شکل سغ یعنی پوشش منحنی شکل است که شامل فرمهای زیر می شود :

۱ـ فیلپوش

۲ـ ترمبه پتگین = پتکین patkin

۳ـ ترمبه پتگونه یا پتکانه (پتکانه صحیح تر است)

فیلپوش:

برای اجرای فیلپوش مثل صدف حلزون از گوشه (نقطه صفر) شروع می کنند و لایه های طاقی را روی همدیگر می پوشانند و سوار می کنند تا به حد مطلوب برسد (یعنی منتهی به جائی شود که مربع را تبدیل به هشت ضلعی می کند) .
در واقع فیلپوش به پوشش گوشهٔ دیوار که از کنج شروع می شود و بین دو دیوار متقاطع قرار می گیرد اطلاق می شود . در قلعه دختر فارس ترمبه گنبد را به شکل فیلپوش زده اند ، نمونه خوب دیگر که هم اکنون نیز قابل مشاهده است ، گنبد کوچک بی بی شهربانو نزدیک ری است ، بنا تعلق به دوران آل بویه دارد . زیر گنبد کوچک را با لایه های آجری مثل چپیره روی هم چیده اند تا به نقطه مورد نظر برسند .
نمونه دیگر به صورت چهار تا چفته در قسمت روبروئی شبستان مسجد جامع فهرج متعلق به نیمه اول قرن اول هجری است . گوشه سازی ترمبه است و اجرای روشنی است بر اینکه چگونه خشت ها را رویهم چیده اند تا شکل فیلپوش بدست آید .
پیش از اسلام ترمبه ها و سکنج ها را به صورت ((نماندن)) اجرا می کردند به این ترتیب که گوشه ها را می نماندند تا به حد دایره قاعده گنبد مورد نظر برسد . در این صورت ارتفاع خیلی زیاد می شد ولی از آنجائیکه در آن دوران معماران ابائی نداشتند که بلندای گنبد از حد مقیاس دید انسانی بیشترباشد مشکلی پیش نمی آمد . ولی بعد از اسلام که سعی در کوتاه کردن پوشش می شد ، گوشه سازی به گونه ای اجرا شد که بتوان شکل چهار گوش بشن را به هشت گوش تبدیل کرد بدون آنکه ارتفاع پوشش از حد مطلوب بالاتر رود . از نمونه بناهای پیش از اسلام که مربع بشن را به هشت ضلعی تبدیل کرده اند تنها کاخ بیشابور برجای مانده است که از چگونگی پوشش گنبد این تنها نمونه هم ، نشانی در دست نیست .

در قلعه دختر و آتشکده فیروزآباد هیچ یک از بشن های مربع تبدیل به هشت گوش نشده است . در آتشکده فیروزآباد گنبدهای طرفین بنا کومبیزه است ولی بجای تبدیل شش ضلعی به دوازده ، تنها گوشه ها را نمانده اند تا به دایره رسیده اند و در این تبدیل با بالا رفتن ارتفاع فضا باشکوه تر جلوه گر شده است.

گاهی در بناهای قبل از اسلام شکل بشن را هشت و نیم هشت می کردند و بعد آنرا می نماندند تا به دایره تبدیل شود . ولی در بنای بیشابور شکل دقیق هشت ضلعی را می بینیم . در تالار تشریفات بنا برای بدست آوردن هشت کامل دوتا مربع را در هم تقاطع داده اند بدین ترتیب که از ادامه اقطار مربع اول مربع دوم را ساخته اند این تداخل شکل دقیق هشت گوش را به وجود آورده است (این شکل امروزه بنام ستاره محمدی مشهور است) . چون در محاسبات ریاضی رادیکال ۲ عدد دقیقی نیست تنها به صورت ترسیم هندسی امکان دست یابی به هشت ضلعی دقیق میسر است لذا معماران نیز از طریقه ترسیم استفاده کردند.

ترمبه پتگین = پتکینpatkin :

پتکین نوعی گوشه سازی است که فرانسویها به آن Encorbellement گویند . به معنی پیش آوردن تدریجی دیوار.

در خوزستان به خصوص دزفول برای این نوع گوشه سازی لغت زیبای (تونگان) یا) تونجه) را به کار می برند این کلمه معمولاً بجای بالکن می آید اما برای گوشه های دیوار که شکلی پیش آمده دارند نیز مصطلح است.

در خوزستان گوشه های دیوار را اول پخ می کنند (برای ایجاد سایه بیشتر این گوشه ها معمولاً تنگ هم است) تا رفت و آمد در کنار آنها بخصوص در کوچه ها آسانتر باشد بعد از بالا آمدن دیوار از ارتفاع معینی که موجب اختلال در رفت و آمد نشود دوباره آجرها را پیش می کنند تا به صورت مکعبی که در نقشه اصلی لازم آمده در آید . به این پیش آمدگی تونگان (تونگون) می گویند.

در مناطق دیگر ایران به نعلبکی زیر گلدسته مناره ها هم تونگان می گویند) جائیکه قطر مناره زیاد می شود و گلدسته را روی آن سوار می کنند) در اینجا تونگون یا تونگه به معنی طبق است . اصطلاح دیگر این شکل به طور عام پتکین است به معنی پیش نشاندن.

بهترین نمونه های گوشه سازی پتگین را در ناحیه کُمش ، سمنان ، دامغان ، بسطام و قسمتهائی از غرب خراسان می توان دید . مثال روشن امامزاده جعفر دامغان است (در نزدیکی بنای چهل دختران دامغان . (این زیارتگاه را به اشتباه متعلق به قرن ششم یا هفتم هجری دانسته اند در صورتی که قدمت بنا خیلی بیشتر است و باید آنرا همزمان با بنای اولیه آستانه حضرت رضا (ع) دانست . گنبد امامزاده و پتکانه اش هر دو از خشت ساخته شده اند گنبدهای زنگوله درکُمش دامغان هم با خشت درست شده و ترمبه پتگین دارد . یکی دیگر از پتکانه های زیبا و نمایان که هنوز شکل خود را حفظ کرده است در گوشه سازی گنبد خانقاه شیخ علاء الدوله بیابانکی واقع در صوفی آباد سمنان به چشم می خورد . گنبد بنا فرو ریخته و یکی از پتکانه ها محفوظ مانده است . ترمبه فیلپوش را در همه جای ایران می توان دید ولی فراوانی این نوع پتگین در ناحیه کمش است . در خنج و لارستان فارس هم نمونه هائی موجود است.

ترمبه پتگونه یا پتکانه (پتکانه صحیح تر است):

شکل پتکانه به چند ردیف طاقچه می گویند که روی هم سوار شده و جلو آمده باشند تا ترکیب گوشه بندی را کامل کنند . مثلاً در صفه صاحب مسجد جامع اصفهان چند ردیف طاقچه روی هم سوار شده اند که شبیه به مقرنس شده اند ولی در واقع مقرنس نیستند .

اغلب ترمبه ها را تا قرن چهارم هجری پتکانه می کردند . پتکانه معنی کانه یا طاقچه روی طاقچه را می دهد . (که به آن طاقچه بندی هم می گویند) سر در گنبد قابوس را قدیمیترین مقرنس نامیده اند ولی بجای مقرنس پتکانه است .

برای ساختن پتکانه در محل مورد نظر ابتدا یک تویزه می سازند به این تویزه کوزه بند یا دوره بند (دوره = کوزه) و هم وزن با آن گویند که در لبه کار گذاشته می شود بعد در داخل ، طاقها را روی هم سوار می کنند .

از دوره تیموری به بعد بسیاری از پتکانه ها را با روسازی کاشی و غیره ساختند ولی نوع زیبای آن بافت پتکانه با خود آجر است . در نظر اول پتکانه بسیار شبیه مقرنس است و با آن اشتباه می شود تفاوت عمده این دو در نوع آجر است . مقرنس از سقف آویخته می شود به همین مناسب به آن چفت آویز هم می گویند ولی پتکانه روی پای خودش می ایستد و آویخته نمی شود برای ساختن آن اول طاقچه های پائینی را درست می کنند و طاقچه های بالائی روی سری پائینی می نشیند ولی مقرنس از سقف شروع به تدریج پائین می آید . از قرن چهارم تا اوایل قرن پنجم هجری پتکانه ها شکلهای بسیار متنوعی پیدا کردند.

یکی از قدیمیترین ترمبه های پتکانه در بناهای دوازده امام یزد دیده می شود که توسط سرهنگان ابوجعفر کاکویه که شیعی مذهب بود ساخته شد کتیبه بنا ، نقاشی آنجا را پانزدهم رمضان ٤٢٩ هجری معرفی می کند . لذا ساخت بنا قطعاً تاریخی متأخرتر دارد . در گنبد تاج الملك یا گنبد خاکی مسجد جامع اصفهان نیز ترمبه ها پتکانه هستند . ضمناً در اجرای پتگانه بدون اجرای دوره بند ابتدا طاقها را روی هم سوار کرده اند و در پایان کار یک طاق روی همه زده اند که گنبد نهائی روی آن آمده است.

شکنج = چین و چروک:

بگونه ای که ذکر آن گذشت چپیره شامل دو قسمت است :

۱ـ گوشه سازی که شرح آن آمد ۲ـ شکنج که به چین و چروکهائی که در گوشه گنبد ایجاد می کنند اطلاق می شود این چین ها جهت تبدیل زمینه مربع ، به دایره یا زمینه مربع نزدیک به مستطیل ، به بیضی است .

شکنج به دو گونه اجرا می شود :

۱ـ طاق بست یا طاق بندی ۲ـ کاربست یا کاربندی

طاق بندی و کاربندی از لحاظ قدمت تاریخی مثل سکنج و ترمبه مشابه همدیگرند و هر دو در یک دوره و در کنار هم معمول شده اند .

قبل از اسلام چون در بناها محدودیت ارتفاع مطرح نبود شکنج تنها به این صورت اجرا می شد که در گوشه های مربع بشن ، دیوار را پیش می نشستند تا تدریجاً قاعده گنبد به دایره یا بیضی نزدیک به دایره تبدیل شود پس از آن خطی کمربندی مثل گریوار روی آن قرار می دادند این گریوار معمولاً با آجر دندانه موشی اجرا می شد سپس گنبد روی آن قرار می گرفت ولی پس از اسلام به منظور دست یابی به ارتفاع کوتاهتر و کاربرد مصالح کمتر ، چپیره گنبد را با استفاده از طاق بندی یا کاربندی به دایره تبدیل کردند .

گنبدهای دوپوسته میان تهی:

در این وضعیت آهیانه و خود تا ناحیه شکرگاه یعنی زاویه ۲۲/۵ درجه نسبت به سطح افقی کاملاً به هم پیوسته اند و از این قسمت به بعد دوپوسته تدریجاً از هم فاصله می گیرند و جدا از هم کار می کنند. اما در کرمان اکثراً بین دوپوسته صندوقه شده است . برای صندوقه کردن چهار تا آجر را به صورت عمودی کنار هم می گذارند و روی آن ها با آجر دیگری می پوشانند این صندوقه ها را در چند جا بین خود و آهیانه ایجاد می کنند. در این حالت گنبد از لحاظ افزیر مثل گنبد دوپوسته پیوسته است فقط سبک تر اجرا شده است. در واقع فضاهای خالی بین صندوقه ها از بار اضافه گنبد می کاهد . گنبدهای دوپوسته کاملا از هم گسسته یا گسیخت :در چنین ترکیبی خود و آهیانه کاملاً از هم جدا هستند

آهیانه:

در این وضعیت آهیانه و خود تا ناحیه شکرگاه یعنی زاویه ۲۲/۵ درجه نسبت به سطح افقی کاملاً به هم پیوسته اند و از این قسمت به بعد دوپوسته تدریجاً از هم فاصله می گیرند و جدا از هم کار می کنند. اما در کرمان اکثراً بین دوپوسته صندوقه شده است . برای صندوقه کردن چهار تا آجر را به صورت عمودی کنار هم می گذارند و روی آن ها با آجر دیگری می پوشانند این صندوقه ها را در چند جا بین خود و آهیانه ایجاد می کنند. در این حالت گنبد از لحاظ افزیر مثل گنبد دوپوسته پیوسته است فقط سبک تر اجرا شده است. در واقع فضاهای خالی بین صندوقه ها از بار اضافه گنبد می کاهد . گنبدهای دوپوسته کاملا از هم گسسته یا گسیخت :در چنین ترکیبی خود و آهیانه کاملاً از هم جدا هستند.

در ایران چفد یا طاق یا گنبد را از شروع منحنی (پا کارقوس) روی پایه قرار نمی دادند بلکه تا حد معقولی که نوع و اندازه دهانه آن را تعیین می کرد لبه منحنی را بطور قائم پائین می آوردند بعد روی پایه قرار می دادند این کمکی بود که نیروی رانش طاق بهتر در مرکز ثقل پایه قرار گیرد. این فاصله عمودی از پائین ترین نقطه منحنی تا پایه را پاراستی یا پاراسته گفته اند. پاراستی در اجرای چفد پاشنه نامیده می شود.برای ساختن آهیانه معمولاً از شکلهای مازه دار استفاده می شده است و فقط در دهانه های بزرگ به منظور تحمل بار بیشتر گاه چفدهای تیزه دار به کار می برده اند .اما در پوشش رویی گنبد (خود) همیشه چفد، تیزه دار است.

انواع پوسته های آهیانه :

۱ـ پوسته خاگی

۲ ـ پوشش چیله ـ چیلو ـ سیلو

۳ ـ پوشش بَستو (بَستو ـ کوزه)

۴ ـ پوشش سَبوئی

طرز چیدن مصالح گنبد:

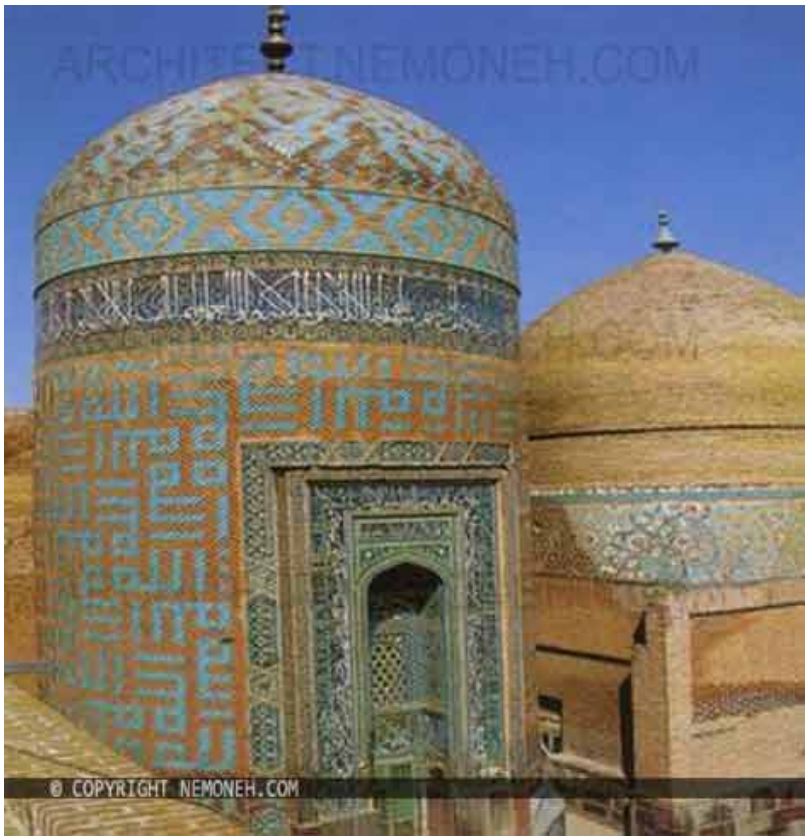
گنبدها معمولاً آجری یا خشتی هستند و به سه ترتیب چیده می شوند.

۱ ـ گِرد چین Gerd. ـ .chin

۲ ـ رَگچین Rag ـ chin

۳ ـ تَرکین Tarkin

طاق ها و گنبدهای ایرانی هیچ کدام قالب ندارند حال آنکه اکثراً گنبدها در غرب توسط قالب زده می شوند.



گنبدها و بقعه های کرمان '''گنبد جبلیه'''

در منتهی الیه شرقی [[کرمان]] گنبد بزرگ و عجیبی از سنگ و گچ بنا گردیده که دست تطاول روزگار در تخریب آن کوتاه آمده‌است . این گنبد هشت ضلعی تماما از سنگ است و عرض پی آن نیز در پایه به ۳ متر می‌رسد.در هشت طرف آن هشت در بعرض ۲متر قرار گرفته که اخیرا برای مستحکم ساختن بنا و جلوگیری از تخریب آن درگاهها را با سنگ مسدود کرده‌اند و فقط یکی را باز گذاشته‌اند . قسمت بالای گنبد از آجر ساخته شده‌است و در داخل گنبد ظاهرا گچ بری‌ها و تزئین کاریهایی وجود داشته که قسمت بالا ریخته و قسمت پائین را تخریب کرده‌اند.از تاریخ بنا و منظور از ساختمان این گنبد مطلبی ذکر نشده سر پرسی سایکس در کتاب هشت سال در ایران می‌نویسد : از قبرستان که رد می‌شوید یک ساختمان هشت ظلعی سنگی خواهید دید که گنبدی به شکل دو هلال برآن قرار گرفته و قطر داخل آن ۱۸ فوت و هر طرفی نیز ۱۸ فوت و نوک آن اجری و منتهی الیه آن دایره می‌باشد . این محل را جبلیه می‌نامند و تنها ساختمان سنگی کرمان همین گنبد جبلیه‌است.ایرانیان معتقدند که این محل مقبره یکی از زرتشتیان بوده و برخی نیز عقیده دارند که مزار سید محمد تباشیری است .ولی نسبت اخیر را در بعضی نقاط تکذیب می‌کنند . بدیهی است در زمانی که این قبرستان را ویران کرده‌اند سنگ این مقبره را برداشته‌اند و برای نمایی بکار برده‌اند برخی این گنبد را متعلقبه سلجوقیان می‌دانند . ولی این ادعا درست نیست . "جبلی " تحریف یافته کلمه " گبری "

است و برطبق قواعد اشتقاقهای فارسی ″ گ ″ به ″ج″ بدل شده‌است قدمت این گنبد را از این کلمه که آن را گنبد ″گبر ″ نیز گفته‌اند می‌توان حدس زد که شاید مربوط به پیش از اسلام باشد و از بناهای زرتشتی و گبری است گرچه استیل آن با استیل آتشکده تطابق ندارد .
از سبک معماری آن نیز استنباط می‌شود بنای مذکور مربوط به اواخر دوره ساسانی می‌باشد که اوائل اسلام تعمیر و مرمت شده‌است و یا اینکه در اوائل اسلام با الهام از معماری ساسانی بنا گردیده‌است .در ساخت این گنبد به جای آب از شیر شتر استفاده شده است که مورخان ومعماران دلیل استحکام این بنا را همین امر میدانند.

آب و هوا

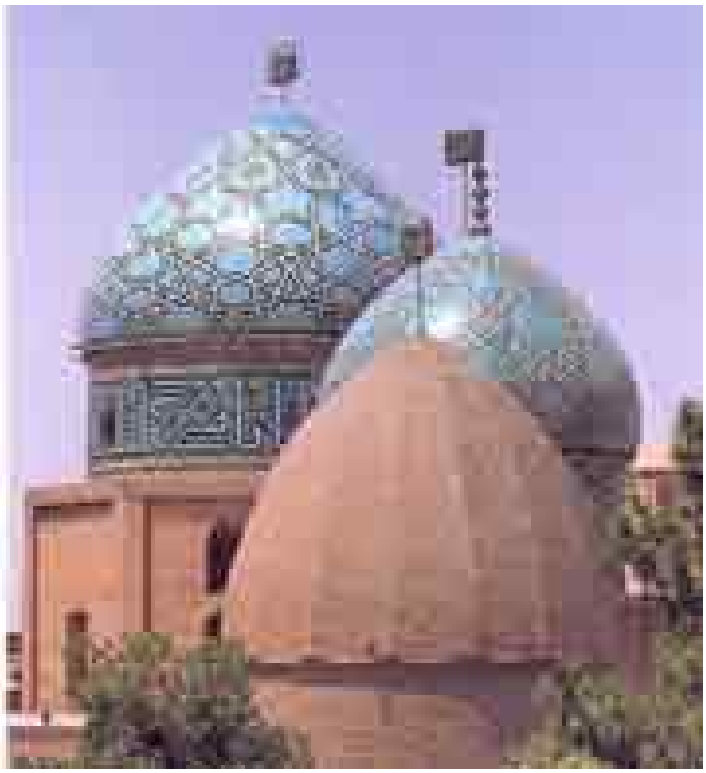
آب و هوای این منطقه نیز مانند کرمان نیمه بیابانی و البته در بسیاری فصول سال تا حد زیادی معتدل می باشد . اقلیم کرمان را اقلیم نیمه بیابانی به شمار می آورند.

قبه سبز- گنبد سبز - گنبد ترک آباد مدرسهٔ عصمتیه- مدرسهٔ قطبیهٔ

در زمان حکومت قراختاییان ، ترکان خاتون که همسر براق حاجب حاکم قراختایی بود ، پس از فوت همسر و در زمان حکومت پسرش حجاج کارهای نیک بسیاری در کرمان انجام داد. از آن جمله ساخت مساجد ومدارس است که یکی از آنها همین مدرسهٔعصمتیه است که دستور داد مرقد شوهرش سلطان قطب الدین را تعمیر کردند و همان جا مدرسه ای بنا کردند و از اموال و املاک خود موقوفاتی بر آن مدرسه وقف کرد و نام آن را قطبیه گذاشت و استادانی بر آن گماشت. زیبا ترین قسمت ایوان کاشیکاری معرق آن است که در نوع خود بی نظیر است. دو ستون دو طرف ایوان نیز زیبا و جالب توجه است.

مشتاقیهٔ

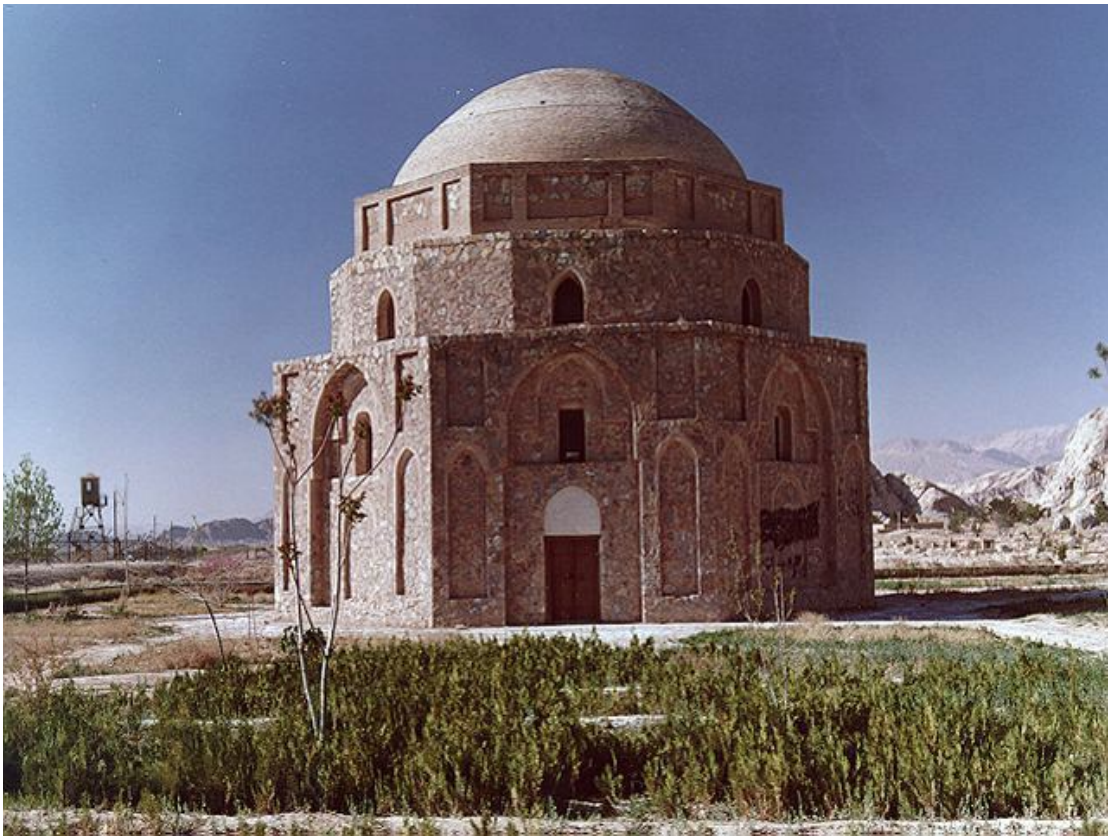
از بناهای دوره قاجاریهٔ در کرمان بنای مشتاقیهٔ است. مشتاقیهٔ محلی در شرق مسجد جامع و مزار یکی از پیشوایان صوفیه موسوم به مشتاق علیشاه است. در طرف شمال بنا در ساختمان ،مقبره مشتاقیه کوثر علیشاه و میر حسن خان قراردارد.میر حسن خان در زمان زندیه و پس از فوت کریم خان زند چندی فرماندار کرمان بود و این محوطه را برای آرامگاه خود انتخاب کرده بود.پس از قتل مشتاق، نعش او را نیز در مقبره میر حسین خان دفن کردند و اینک معروف به مشتاقیه است.

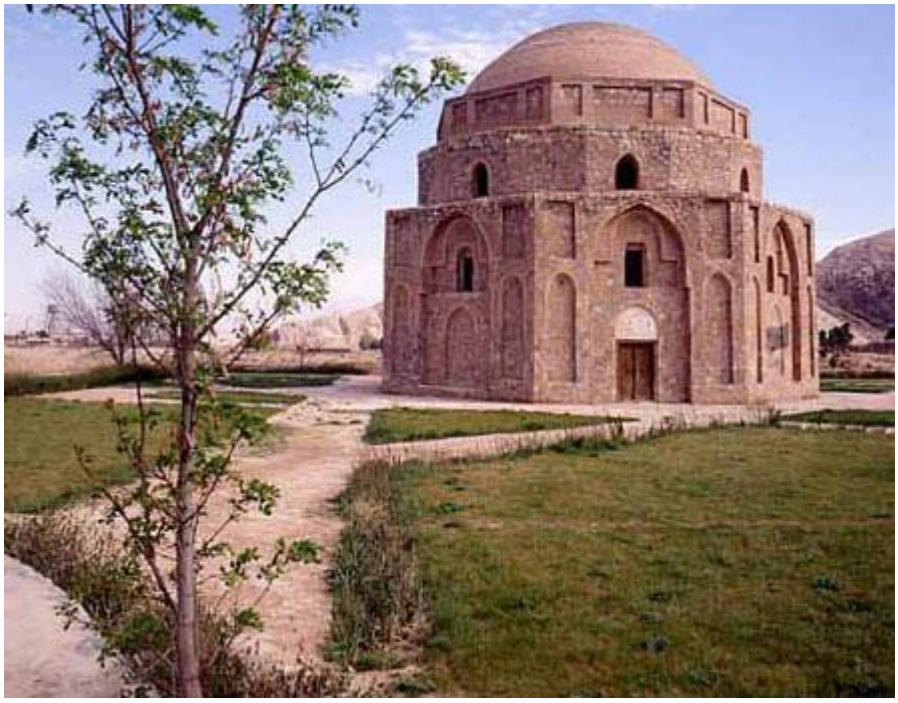


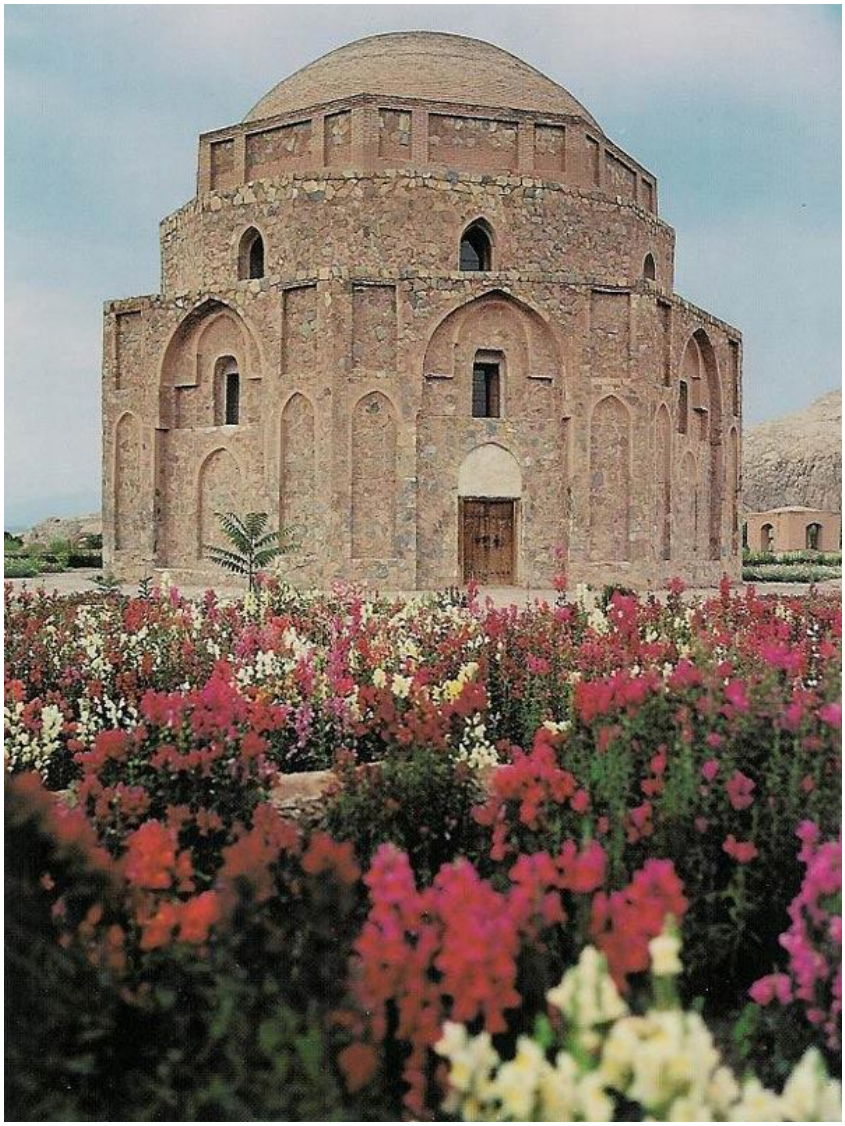
بقعه شاه فیروز و پوزه کوه تنبور

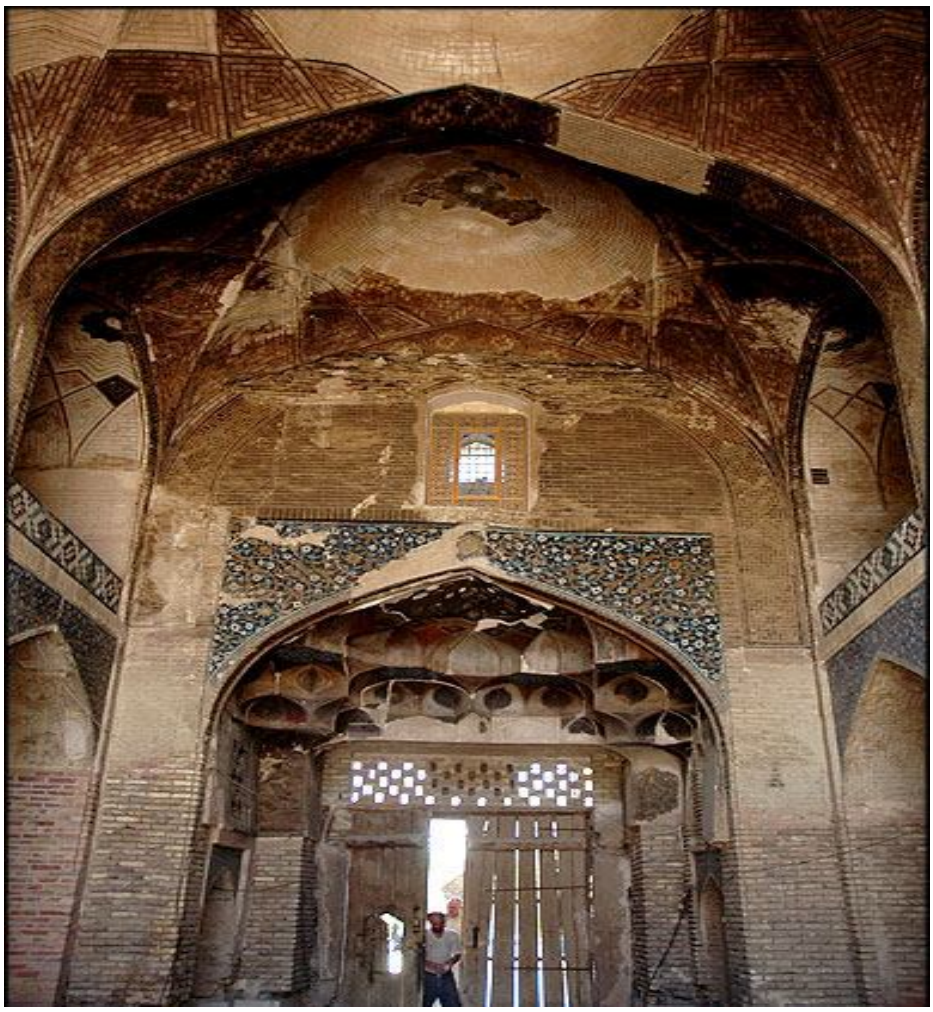
بقعه شاه فیروز تپه ای سنگی و منفرد است که در میان دشتی بین تپه ها و کوههای جنوب شرقی سیرجان و کوههای شمال شرقی آن واقع شده است . این تپه در ١٤ کیلومتری جنوب شرقی سیرجان و در سه کیلومتری قلعه سنگ و در کنار روستای شاه آباد قرار گرفته است .

جنس سنگ این تپه به گفتهٔ محلی ها سنگ "ساو" است که در گذشته با آن ابزارهای آهنی همچون داس ، کارد، چاقو و شمشیر را تیز می کرده اند . فرهنگ جغرافیایی ایران و نویسنده تاریخ سیرجان به احتمال زیاد آن را آتشکده دانسته اند . همانطور که استاد ایرج افشار نیز اشاره کرده اند ، سبک بنا و لندازه های آجر و بخش گورمانندی که در کف کنده شده .است، نشان می دهد که این بنا آرامگاه یا خانقاه و از این قبیل بوده است









با توجه به گسترش مساجد و بناهای مذهبی در کشور و توسعه شهرها خصوصاً در چند ساله اخیر، ضرورت استفاده از مصالح نوین ساختمانی در بخش بناهای اسلامی شدیداً احساس می شد. شرکت مهندسی بناهای نوین آرمان (مبنا) با هدف گسترش بکارگیری و استفاده از مصالح نوین ساختمانی در ایران تأسیس گردید و با توجه به احساس وظیفه نسبت به معماری اسلامی، در قدم اول بومی سازی فنآوری گنبدهای کامپوزیتی را در دستور کار خود قرار داد .در این گزارش به منظور آشنایی مخاطبین محترم با این فنآوری، گنبدهای سنتی مختصراً مورد مداقه قرار گرفته و پس از معرفی اجمالی فنآوری کامپوزیت، این نوع گنبدها که امروزه در اکثر کشورهای اسلامی مورد استفاده قرار می گیرند معرفی خواهد شد.

گنبد های متحرک مسجد النبی، مدینه، قطر گنبد ۲۱ متر، ساخت کشور آلمان

مسجدی در سنگاپور، ساخت شرکت بحرن فایبر گلاس

گنبد مسجد جامع منامه، بحرین، قطر گنبد ۲۵ متر، ساخت شرکت بحرین فایبرگلاس

مسجد البخاری، مالزی، ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۱۴ متر

مسجد الولایه، مالزی، ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۳۰ متر

مسجد جامع پوتراجایا، مالزی ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۳۸ متر.

وزارت دفاع ترکمنستان، ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۲۸ متر.

مجموعه هتل کنفرانس ابوظبی، ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۱۷ متر

وزارت دادگستری مالزی، ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۳۲ متر

محل اقامت نخست وزیر مالزی، ساخت شرکت DK Composites ، قطر گنبد ۲۶ متر.

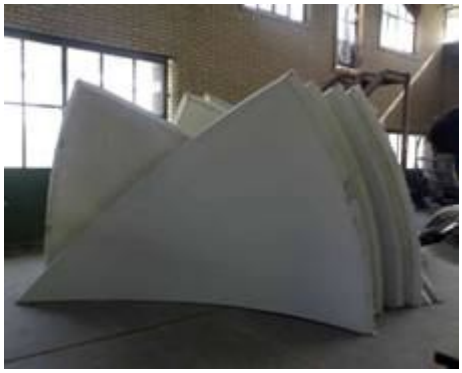
ساخت مدل گنبد

ساخت قالب قطعات داخلی

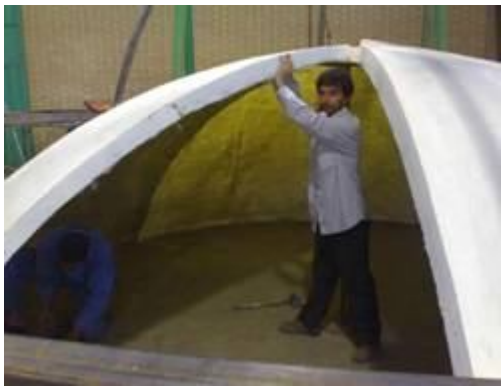
ساخت قالب قطعات خارجی

ساخت سازه مشابه

ساخت قطاعهای خارجی



ساخت قطاعهای داخلی



مونتاژ قطعات خارجی

مونتاژ قطعات داخلی

مونتاژ قطعات خارجی

نصب گنبد در حرم مطهر

امروزه در اکثر کشورهای اسلامی از سازه های کامپوزیتی برای ساخت بناهایی همچون گنبدها استفاده می کنند. از آنجا که گنبدها فقط فرم دهنده فضا بوده و ضرورت باربری ندارند به راحتی می توان از مواد کامپوزیت برای ساخت گنبدها استفاده کرد. جالب توجه آن است که نه تنها در کشورهای اسلامی بلکه در اغلب کشورهای غیر اسلامی نیز از مواد مرکب برای ساخت چنین بناهایی همچون کلیساها و امثال آن استفاده می شود.طراحی و ساخت گنبدهای کامپوزیتی بر طبق اصول مهندسی و با استفاده از نرم افزار های مدرن انجام می شود. در ابتدا نقشه و جزئیات سازه کامپوزیتی با درنظر گرفتن دقت کار و ابعاد سازه به کمک کامپیوتر تهیه می شود. پس از تحلیل بارگذاری و بهینه سازی لایه چینی الیاف در سازه به کمک روش اجزاء محدود نقشه های مورد نیاز برای کارگاه مدل سازی

تهیه شده و یا برنامه لازم برای دستگاه تراش CNC استخراج می گردد.پس از ساخت مدل دقیق از قطعات، قالبهای مورد نیاز تهیه می شود. سپس قطعات گنبد به صورت پیش ساخته و از مواد کامپوزیت در محل کارخانه و با دقت مورد نیاز ساخته می شود. این قطعات پس از آماده سازی و در صورت نیاز ، نصب طرح بر روی آن مطابق در خواست کارفرما، به محل ساخت بنا منتقل شده و به سهولت مونتاژ می شود.در صورت نیاز قطعات گنبد به گونه ای ساخته می شود که بتواند وزن خود و بارهای وارده را تحمل نماید. در صورتی که گنبد، قطر بیشتری داشته باشد از سازه فضایی برای تحمل بار استفاده شده و قطعات گنبد به روی آن نصب می شوند. به این ترتیب می توان گنبدهایی با قطر بالا و وزن بسیار اندک طراحی و اجرا نمود.

کامپوزیت در لغت به معنی آمیخته و مرکب است. مواد کامپوزیت (مرکب) از کنار هم قرار گرفتن چند ماده (بدون ترکیب شیمیایی) تشکیل می شوند. کاه گل، بتن آرمه، فایبرگلاس و ... از انواع مواد کامپوزیت هستند. البته عامه مردم تنها فایبرگلاس را به عنوان ماده کامپوزیت می شناسند.

اکثر مواد کامپوزیت از آمیخته شدن الیاف با رزین بدست می آید. الیاف شیشه، الیاف کربن، الیاف آرامید و رزینهایی مانند پلی استر و اپوکسی بیشترین مصرف را در ساخت مواد کامپوزیت دارند. الیاف شیشه یکی از متداول ترین الیاف بکار رفته در مواد کامپوزیت می باشد که در صنایع مختلف بکارگرفته می شود. وزن بسیار اندک این مواد و استحکام قابل قبول آنها، مواد کامپوزیت را گزینه مناسبی برای استفاده در صنعت ساختمان قرار داده است به گونه ای که مصرف مواد مرکب امروزه در صنعت ساختمان رشد چشمگیری داشته و قسمتهای زیادی از بنا را از فایبرگلاس می سازند.

استفاده از گنبد کامپوزیتی مزایای بی شماری در پی خواهد داشت. عمده این مزیت ها عبارتند از:

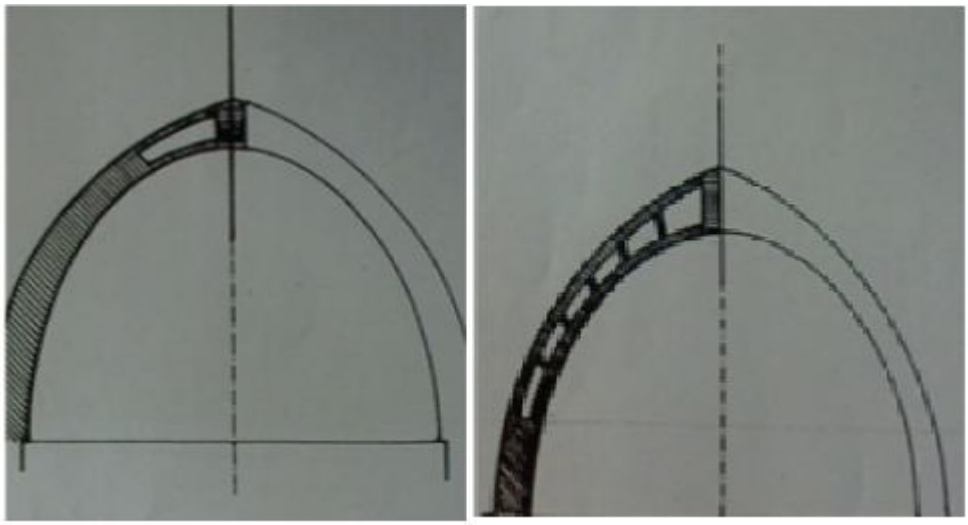
- گنبد کامپوزیتی بسیار سبک تر از گنبدهای سنتی هستند. این گنبدها حدود ۱۰ تا ۱۵ درصدِ وزن گنبد سنتی مشابه را خواهند داشت.
- کاهش وزن گنبد باعث کاهش وزن سازه و بالطبع، کل بنا خواهد داشت.
- کاهش وزن بنا، کاهش هزینه ساخت و اجرا را در پی خواهد داشت.
- کاهش وزن گنبد منجر به کاهش وزن سازه بنا و فونداسیون تا حدود ۱۵٪ خواهد شد که کاهش هزینه های آن در کل ساخت بنا چشمگیر است.
- کاهش زمان ساخت، مزیت دیگر استفاده از گنبدهای کامپوزیت است که تأثیر زیادی بر کاهش خواب سرمایه، هزینه های بالاسری و ... دارد.
- قابلیت ایجاد فرم در بنا و ساخت گنبدهایی با شکل قوس های مختلف به سهولت در این روش امکان پذیر است.
- کاهش وزن گنبد و بار مرده آن منجر به کاهش بار زلزله نزدیک ۶۰٪ و کاهش خطر آن می شود.

اصولاً با توجه به اینکه صنعت کامپوزیت در دنیا سابقه ای بیش از ۶۰ سال ندارد، نمی توان انتظار داشت که سابقه این فعالیت در کشور قدمت زیادی داشته باشد. ساخت گنبد کامپوزیت به این شکل در ایران سابقه این ندارد و تنها در چند محل به صورت محدود و غیرمهندسی فعالیتهای اندکی صورت گرفته است.

خدای منان را شاکریم که توفیق ساخت گنبد های متحرک کامپوزیتی حرم مطهر سیدالشهداء (علیه السلام) را به ما ارزانی داشت. این برای نخستین بار در کشور است که این دانش بومی شده و شرکت مبنا موفق به طراحی و ساخت چنین گنبدهایی از مواد کامپوزیت شده است. در این پروژه صحن حرم مطهر مسقف شده و به منظور گردش هوا تعداد ۱۴ گنبد متحرک بر فراز آن نصب می شود. یک گنبد به قطر۱۲ متر (به نیت حضرت رسول اکرم صلی ا... علیه و آله و سلم)، سه گنبد به قطر ۹ متر (به نیت حضرت امیر، حضرت زهرا و حضرت حجت علیهم السلام) و ۱۰ گنبد دیگر به قطر ۶ متر (به نیت سایر ائمه اطهار علیهم السلام) خواهد بود. به علت عرض زیاد حیاط ضروری است گنبدها از مواد کامپوزیت ساخته شود تا وزن آن کاهش یافته و سازه امکان تحمل بار آنرا داشته باشد. این گنبدها به صورت دو پوش (گنبد داخلی و خارجی) ط

گنبدهای دو پوسته کاملاً به هم پیوسته : در این حالت آهیانه و خود تا قسمت بالای گنبد، یعنی تیزه کاملاً به هم پیوسته اند و هیچ گسستگی به جز سر گنبد وجود ندارد.

۲- گنبدهای دوپوسته میان تهی : دراین وضعیت آهیانه و خود تا ناحیه شکرگاه یعنی زاویه ۲۲/۵ درجه نسبت به سطح افقی کاملاً به هم پیوسته اند و از این قسمت بعد دو پوسته تدریجاً از هم فاصله می گیرند و جدا از هم کار می کنند . گنبد مسجد جامع اردستان (۵۵۵هجری) یکی از قدیمی ترین گنبدهای دوپوسته میان تهی است .



دو پوسته میان تهی نظیر گنبد مسجد جامع اردستان (قرن ششم هجری)

شکرگاه : زاویه ۲۲/۵ درجه روی پوسته گنبد را نسبت به مرکز دهانه شکرگاه می گویند .

برای پرکردن فضا بین خود و آهیانه در گنبدهای دوپوسته میان تهی :

الف)صندوقه کردن

ب) کنوبندی

ج) ایجاد دندانه روی آهیانه

د) خود و آهیانه از شکرگاه به بعد جدا باشند

الف) صندوقه کردن : برای صندوقه کردن چهار تا آجر را به صورت عمودی کنار هم می گذارند و روی آنها را با آجر دیگری می پوشانند این صندوقه ها را در چند جا بین خود و آهیانه ایجاد می کنند در این حالت گنبد از لحاظ ساخت مثل گنبد دو پوسته پیوسته است فقط سبک تر اجرا شده است . در واقع فضاهای خالی بین صندوقه ها از بار اضافی گنبد می کاهد .

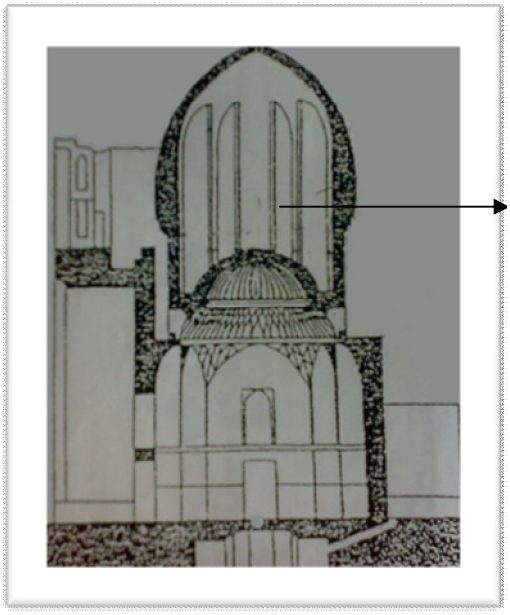
ب) کنوبندی : نمونه آن در گنبد مسجد جامع یزد است که از شکرگاه تا تیزه دیوارک هایی به صورت چند دایره متحدالمرکز روی آهیانه سوار کرده و خود را روی آن تکیه داده اند . به این نوع ساخت کنوبندی گویند . (این دیوارک ها حدود یک تا ۱/۵ آجر است) .

ج) ایجاد دندانه روی آهیانه : در گنبد سلطانیه برخلاف مسجد جامع یزد که پس از ساختن آهیانه دیوارک ها را ساختند همزمان با ساختن آهیانه دنده هایی در قسمت های مختلف آن ایجاد کرده سپس خود را روی آن بنا داشته اند .

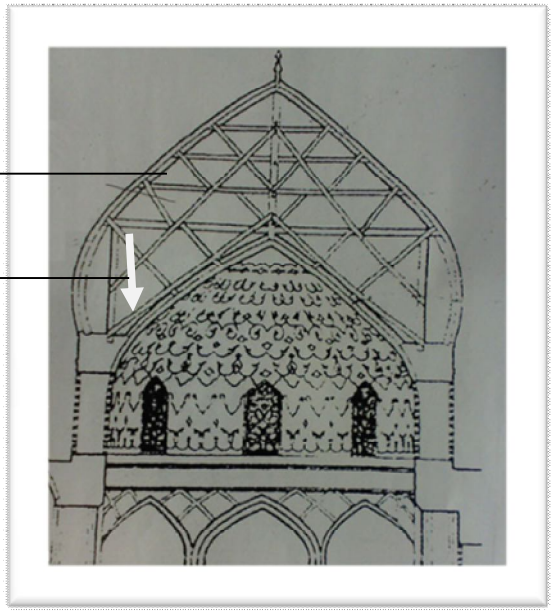
زنجان – سلطانیه – دنده های روی آهیانه

د)خود و آهیانه از شکرگاه به بعد جدا باشند : یک نمونه خوب ، گنبد سیدرکن الدین یزد است که در ساخت آن از ناحیه شکرگاه تا تیزه گنبد هیچ گونه پیوندی بین دوپوسته دیده نمی شود .

۳-گنبدهای دوپوسته کاملاً از هم گسسته یا گسیخته : در چنین ترکیبی خود و آهیانه کـاملاً از هـم جـدا هسـتند . از نمونه های اجرای خوب ، گنبد حضرت رضا (ع) و گنبد مسجد امام اصفهان است . در هر یک از این بناها خود و آهیانه فاصلـــه نسـبتاً زیـــــادی از همدیگر دارند



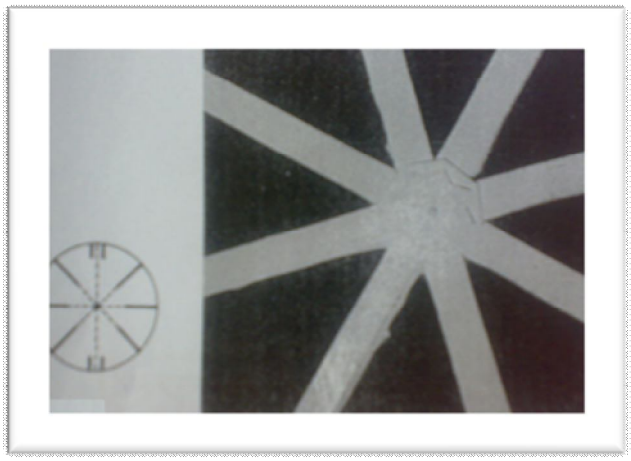
مقطع گنبد مسجد امام



مقطع گنبد حضرت رضا(ع)

خشخاشی یا پره : برای نگه داشتن خود روی آهیانه که گنبدهای دوپوسته کاملاً از هم گسسته دیوارک هایی روی آهیـــــانه مـی سازند تا خود روی آن سوار شود این دیوارک ها به نام خشخاشی معروف است . در اصفهان اصطلاح پره را بـه کـار مـی برنـد . طریقـه وصـــل کردن و مهره کردن خشخاشی ها یا پره ها : هر دو پره مقابل را به هم وصل می کنند و در آخر همه را در مرکز مهر می کننـد . تا از نظـر تقسیم بارها و نیروهای وارد بر گنبد دوپوسته با هم کار کنند و در مجموع گنبد یک پارچه شود . اگـر یـک پـره در جـایی قرار گیرد که مانعی برای ایجاد روزن در همان نقطه باشد به جای یک پره دوپره کـوچکتر در دو طـرف روزن قـرار مـی گیـرد . تعـداد خشخاشی ها معمولاً ۸ تا است .

مهر کردن گنبد



یک نمونه از اجرای پره روی آهیانه (خشخاشی)

گریو: در حدفاصل بین خود و آهیانه در گنبدهای دوپوسته کاملاً گسسته یک گردن قرار می گیـرد کـه در صـورت زیـاد بـودن ایـن گـــــردن گریو نامیده می شود . گریو مخروطی ناقص نزدیک به استوانه است .

اربانه : در صورتی که حدفاصل بین خود و آهیانه در گنبدهای دوپوسته کاملاً گسسته یک گردن باریک قرار گیرد یعنی دو پوشش به هم نزدیک باشد این گردن به صورت یک دیسک در می آید که به آن اربانه گویند . اربانه یک گریو کوتاه است .

پاراسته یا پاراستی : در ایران چفت یا طاق یا گنبد از شروع منحنی (پاکارقوس) را روی گریو یا ارابه قرار نمی دادند بلکه تـا حـد معقولـی کـــــــه نوع و اندازه دهانه آن را تعیین می کرد لبه منحنی را به طور قائم یا منحنی پایین آورده و بعد روی گریو یـا اربانـه

قرار می دادند پاراسته را بـــــه این علت اجرا می کرده اند که از نیروی رانش طاق که به پایه ها فشار می آورد جلوگیری می کنند . تـا حد زیادی جلوی رانش و لگدزدن طاق گرفته می شود .

پاراسته بر ۲ نوع است :

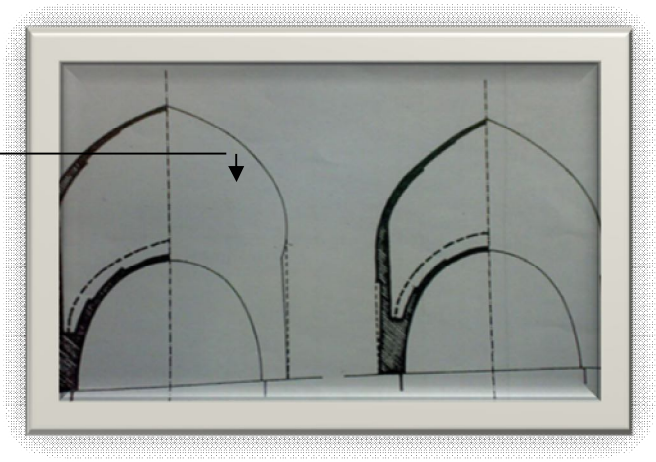
الف)شلال

ب)آوگون

الف)شلال: صورتـــی از اجرا که پاکار قوس مستقیماً به صورت خط قائم کمی پایین کشیده می شود و بعد سوار گریو می گردد که به آن شلال می گویند . مثل گنبد حضرت رضا (ع) .

ب)آوگون: صورتـی دیگر که دنباله خود از پاکار به طرف داخل متمایل و بعد سوار گریو می شود که آن را آوگون می نامند . به ایـن شکل خود نیز آوگونه مـــی گویند . مثل مسجد امام اصفهان یا مدرسه چهارباغ اصفهان که آوگون روی گریو است . از نمونه های گنبـد آوگون را روی اربانه ، گنبد سلطان بخت آغا در اصفهان است .

دوپوسته گسسته (شلال)



دوپوسته گسسته (آوگون)

قزوین – بقعه امامزاده حسین یک نمونه گنبد آوگون دار

پوشش زیرین گنبد از نظر شکل ظاهری

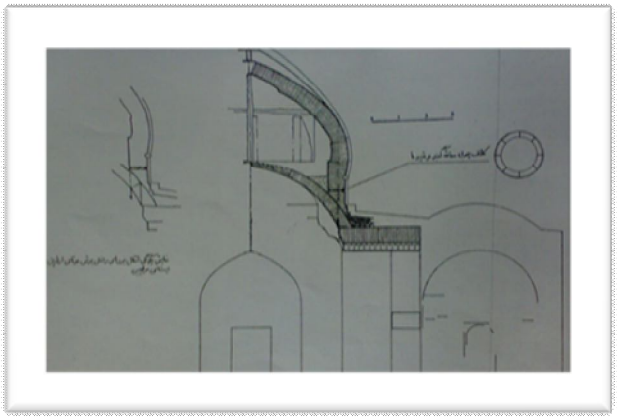
الـــف)قـــوس بـــا ارتفـــاع و خیـــز زیـــاد :در ایـن حالـت وقتـی مـا از داخـل بنـا زیـر گنبـد مـی ایسـتیم و پوشـش زیرین گنبد را نگاه می کنیم پوشش آهیانه را می بینیم .

ب)قوس با خیز کم به علت چفد تشتک یا تاوه

ج)قوس با خیز کم به علت اجرای کمر پوش

چفد تشتک یا تاوه : کـــه معمولاً برای آهیانه به کار میرود چفدهایی که برای آهیانه در نظر می گیرند معمولاً بیضـی هسـتند در اصطلاحی عامیانه تر می گویند که آهیـانه نباید از نصف تخم مرغ کوتاه تر باشد معهذا گاهی پوشش زیرین گنبد را با چفدی بسیار کم خیز مشاهده می کنیم به این چفدها تشتک یـــا تاوه می گویند و از دوران هر یک حول محور قائمی که از رأس آن می گذرد پوشـش مطلوب به دست می آید . اما این پوسته را دیگر نبایـــد آهیانه نامید چه معمولاً نهنبن یا عـرق چـین کاربنـدی هسـتند . مثـل ورودی مدرسه چهارباغ اصفهان ،گنبد ابونصرپارسا در بلخ،گنبد عشرت خانه سمرقند متعلق به عهد تیمور و مسجد شاه ملک .

نمونه کاملی از سه پوسته مجزا در زیر گنبد (امامزاده اسماعیل-قزوین)

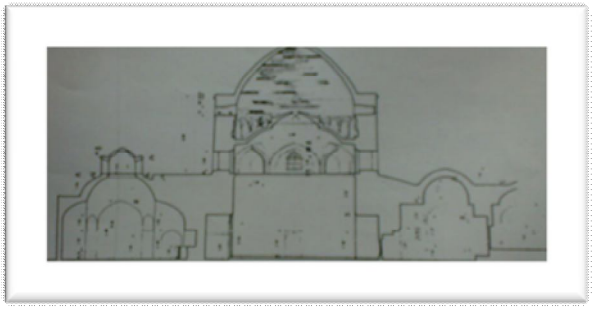


نمونه کاملی از سه پوسته مجزا در زیر گنبد(ملاحسن کاشی)

نهنبن (عرق چین کاربندی): پوشش بسیار کم خیزی که روی تیزه های کاربندی می زنند .

ج)کمرپوش: گاهی نیز از داخـــل پوشش زیرین گنبد را بسیار کم خیز می بینیم ولی این پوشش به جای آنکه آهیانه باشد پوسـته سومی است که در زیر آهیانه اجرا کرده انـــد و کمرپوش گفته می شود . کمرپوش ها را به دلایل گوناگون از جمله کوتاه کردن ارتفاع در فضای زیرین گنبد بنا کرده اند در بعضی از بنـــاها زمان اجرای کمرپوش با ساخت اولیه گنبد دوپوش (خـود و آهیانـه) چنـد قـرن فاصله دارد مثلاً درچینی خانه اردبیل که گنبدی دوپوش متعلق به قرن هشتم هجری دارد . در زمان صفویه یک کمرپـوش اجـرا کـرده اند . گنبد دیگری که کمرپوش بسیار کم خیز دارد گنبد مقبـــره قطب الدین حیدر در تربت حیدریـه اسـت . از نمونـه هـای دیگـر ، کمرپوش مسجد جامع نائین است . در مسجد جامع نائین و مسجد خسرو اردستان کمرپوش را به این علت زده اند کـه قسـمت بـالای فضای بالای مسجد را زنانه کنند . پوشش های با خیز کم در جاهایی قابلیت اجـــرا دارد که اولاً فشار زیـادی روی پایـه هـا باشـد تـا اصطلاحاً پایه ها درنرود ثانیاً شانه های بنا گرفته شده باشد و این در صورتی میسر است که ارتفـــاع سـاختمان بـالاتر از سـطح تـراز پوشش تاوه باشد مثلاً اجرای تاوه در طبقه زیرین انجام گیرد و روی آن طبقه دیگری بنـا گـردد و دیگـر آن کـــــه پایـه هـا نیـز از ضخامت کافی برخوردار باشند تا مانع رانش نیروها به خارج گرداند .

تربت حیدریه – بقعه قطب الدین حیدر



نائین- کمرپوش مسجدجامع

کمرپوش مسجدجامع نائین

چفدهای خود ، آهیانه طاق ها و گنبدها بر ۲ دسته اند :

الف)مازه دار (نار): در انواع فرم های مازه دار قله قوس منحنی است ، معمولاً برای ساختن آهیانه معمولاً از شکل های مازه دار استفاده می شده است .

ب)تیزه دار (رک): در اشکال تیزه دار قله به صورت جناغی و تیزه است . در پوشش روی گنبد (خود) همیشه چند تیزه دار است .گاهی نیز برای ساختن آهیانه در دهانه های بزرگ به منظور تحمل بار بیشتر چفدهای تیزه دار به کار می برده اند .

انواع پوسته های آهیانه :

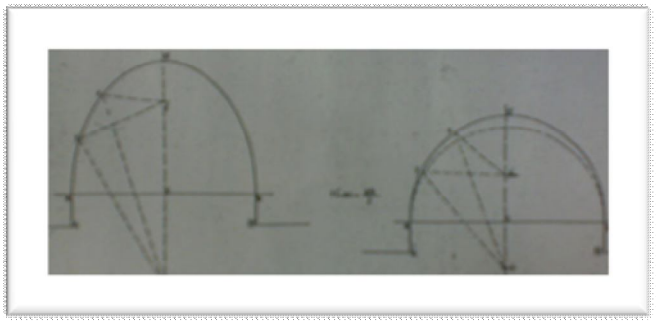
الف)پوسته خاکی

ب)پوشش چیله ، چیلو ، سیلو

ج)پوشش بستو یا کوزه

د)پوشش سبویی ، سه و چهار ، بیان

الف)پوسته خاکی: پوسته خاکی از دوران چفدهلوچین کند حول محور قائمی که از رأس آن می گذرد به دست می آید. چفدهلوچین کند بیضی است که فاصله کانونی آن برابر نصف دهانه است یعنی اگر فاصله کانونی را ff فرض کنیم و دهانه را AB در این صورت $FF=\frac{AB}{2}$. این بیضی خیزی نزدیک به دایره دارد لذا در دهانه های کمتر از ۱۶ گز از آن استفاده می شود . این پوسته قبل از اسلام بسیار رایج بود بعد از اسلام نیز کمابیش در بناهای گوناگون به کار گرفته شد . بهترین نمونه آن گنبد تاج الملک در مسجد جامع اصفهان است .



چفد هلوچین کند　　چفد هلوچین تند

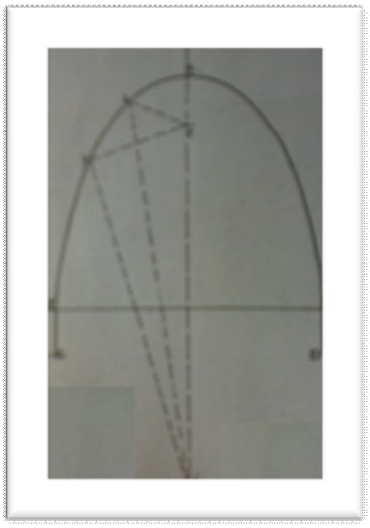
ب)پوشش چیله،چیلو،سیلو: این پوسته از دوران چفدبیز یا هلوچیـــن کند حول محور قائمی که از رأس آن می گذرد به دست می آید . و به علت داشتن خیز کافی قابلیت تحمل بار بیشتری نسبت به پوشش خاکی دارد . بنابراین در دهانه های بالاتر از ۱۶ گز هم کاربرد دارد . این پوشش از قبل از اسلام تاکنون در ایران رایج بوده است . دریـــــزد و کرمان و جنوب خراسان و سایر نـواحی کـویری به علت دارا بودن مصالح است و ناگزیری استفاده از خشت خام پوسته درونی گنبد معمـــــولاً چیله است . در این نمونه فاصله کانونی یعنی ff برابر طول دهانه یعنی AB است . AB=ff نمونه های این پوشش را در سید رکن الدین و مدرسـه ضـیاییه یـزد مـی تـوان دید .

ج)پوشش بستو،کوزه:این پوشش از دوران چفد بستو حول محور قائمی کـــــه از رأس آن مـی گـذرد بـه دسـت مـی آیـد ایـن پوشش از سایر پوشش های بیضی که در معماری ایران به کار رفته است خیز بیشتری دارد و معمـــــــولاً در آهیانـه گنبـدهایی دیـده می شود که پوشش خارجی (خود) آن رک باشد.پوشش یخچال ها در اکثر نقاط ایران بسـتو اسـت. پوشـش بستـــو بـه علـت داشـتن قابلیت تحمل بسیار در مقابل بارهای وارد بر آن در وسیع ترین دهانه های معمول در معماری ایران به کار می رود .

در این پوشش نسبت کانـــــونی بیضی یعنی $\frac{FF}{CB}$ به حلول دهانه یعنی AB هشت به شش است. $\frac{8}{6}=$ از نمونه هـای موجـود در این نوع آهیانه مدرسه ملا عبدالله نائیـــن و گنبد قابوس را باید نام برد . پوشش بیرونی گنبد قابوس (خود) رک است و به علت داشـتن خیز مرتفع نیروهای رانشی بسیار زیـــــاد است و در اصطلاح بنایان (بیشتر لگد می زند) . لذا مناسب ترین شکلی که برای آهیانه ایـن برج در نظر گرفته شده همان پوشش بستو است .

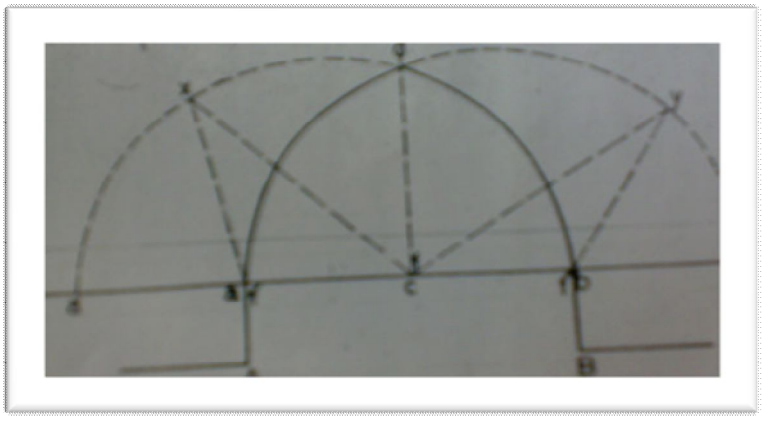
یزد- گنبد یخچال میبد – گنبد بستو یا کوزه

گنبد کاووس – گنبد قابوس (پوشش بستو یا کوزه)



پوشش بستو یا کوزه

د)پوشش سبوئی (سه و چهار- بیان) :این پوشش از دوران چفدچمانه حول محـور قـائمی کـه از رأس آن مـی گـذرد بـــــه دست می آید . چفد چمانه از تقاطع دو بیضی به دست می آید به این چفد سه وچهار- بیان هم می گویند در این نـوع پوشـش نسـبت افـــــزارCd (ارتفاع کل سقف) به نصف دهانه ac مساوی $\frac{4}{3}$ است . $\frac{ac}{c\square} = \frac{3}{4}$ یعنی نام گذاری چفد سه و چهار با توجه بـه همـین نسبت بـوده است . این چفد از ترکیب دو بیضی به دست می آید قابلیت باربری فوق العاده دارد . در ایـوان پیشـان بسـیاری از مسـاجد جامع از این چفـد استفاده شده است که نمونه قابل ذکر آن پیشان مسجد جامع یزد است . آهیانه گنبدهایی که از دوران این چفـد بـه دست می آید برخلاف آهیـــــــانه اکثراً گنبدها تیزه دار است . بهترین مثال را باید آهیانه گنبد سلطانیه دانست .



چمانه یا بیان

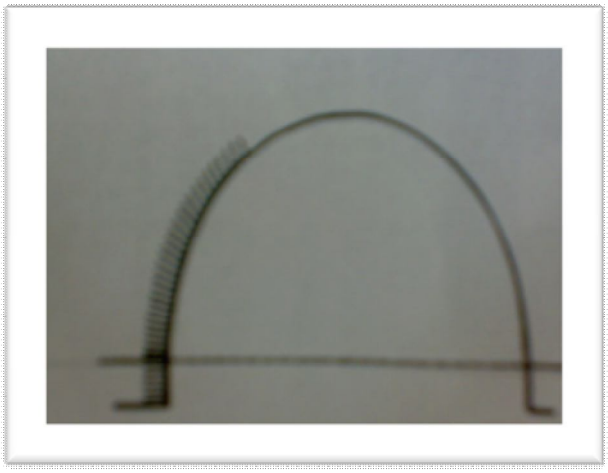
طرز چیدن مصالح گنبد :

الف)گردچین

ب)رگ چین

ج)ترکین

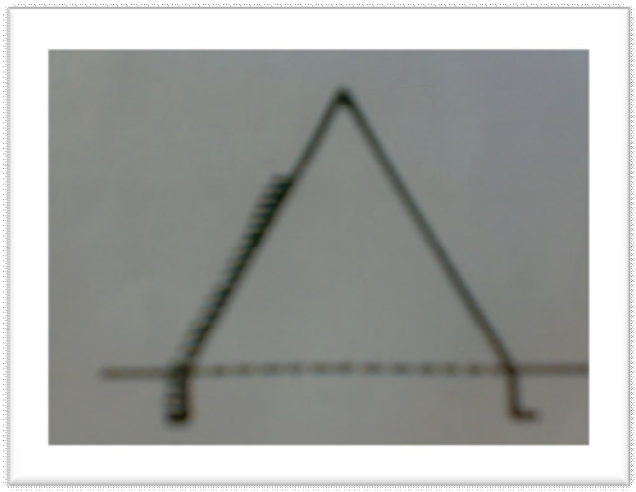
الف)گردچین:در این طریقه رگ های آجر متمایل به مرکز گنبد استن و به صورت شعاعی چیده می شود .



گردچین

ب)رگچین:در این طریقه رگهای آجر یا خشت موازی خط افق چیده می شود . گنبدهای رک را نمی توان گردچین کرد بنابراین همه آنها به صورت رگچین ساخته می شوند نمونه آن برج سرست درویش عزیز در بابل است .

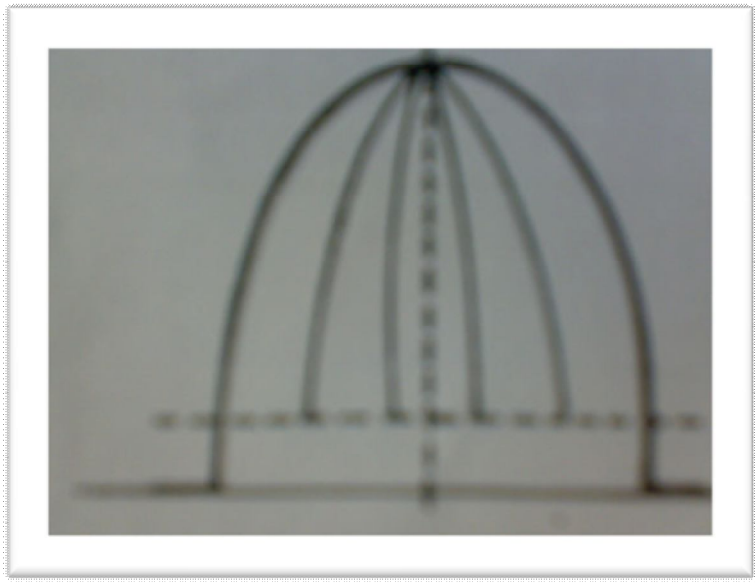
رگچین



بابل- برج سرست درویش عزیز چیدن گنبد بصورت رگچین

بابل – بقعه درویش فخرالدین – چیدن گنبد بصورت رگچین

ج)ترکین:در این نوع چیدن گنبد را به صورت ترک ترک می سازند و بعد فاصله میان ترکها را با آجر یا خشت پر می کنند. نمـــــونه آن مسجد امیر چخماق در یزد است .



ترکین

هورنو: در هنگام ساختن گنبد چون در نزدیکی های تیزه دیگر امکان اجرای گنبد به صورت بقیه قسمت های آن میسر نمی گردد لذا در نزدیکی های تیزه سوراخی باقی می ماند که اجرای پوشش آن باید مثل دهانه چاه به صورت طوقه چینی باشد به این سوراخ هورنو می گویند . گاهی این سوراخ را پر نمی کنند تا در بالای طاق یا گنبد کار نوررسانی را انجام دهد. مثلاً در پوشش بازارها اکثراً سوراخ هورنو باز است تا عمل تهویه و تنظیم روشنائی صورت پذیرد مثل بازار نقش جهان . در گنبد سلطانیه سوراخ هورنو قطری حدود ۱/۸۰ سانتی متر دارد زیرا از این حد به بعد معمار سازنده نمی توانست مرتباً آجر را کوچک کند و رگ ها را ریز کند تا به تیزه برساند . برای پر کردن هورنو امکانی به جز طوقه چینی باقی نمی ماند به این نوع اجرای پوشش «پرگر» می گویند . در پرگر یا پرگره چینی از اطراف حلقه آجرها رگه به رگه پیش می نشینند تا پوشش کامل شود . در میان هورنو یک میله آهنی کار گذاشته می شود و طوقه میله آهنی را دربر می گیرد. میله آهنی مذکور در پایین گنبد معمولاً به یک قلاب ختم می کنند تا برای آویختن قندیلها و چراغ ها مورد استفاده قرار گیرد. برای گیردار شدن میله آهنی در درون گنبد پایه ان را به شکل شش یا هشت پر می سازند .

کاشان- حمام خان – شکل هورنو در بالای گنبد بصورت دایره نورگیر نمایان است

توغ:در بالای میله آهنی از حد خود گنبد به بالا توغ قرار می گیرد توغ متشکل از سه تکه گوی فلزی و چند تکه لوله نسبتاً قطور است که مطابق شکل روی هم قرار می گیرد به این ترتیب که روی میله آهنی اول یک لوله سوار می شود بعد یک گوی فلزی که از هر دو طرف سوراخ دارد تا بتواند هم روی لوله زیرین جایگزین بشود و هم لوله بالایی روی سوراخ فوقانی آن جایگزین شود ،قرار

می گیـــرد و به همین طریق توغ ساخته می شود . گوی انتهائی دیگر در بالا سوراخ ندارد . گاهی اوقات به جای گوی انتهـایی «خـوج» می گذارند . خـــوج گلابی شکل است . اگر خوج کوتاه باشد به آن «شملخ»گویند که آن هم فقط یک سوراخ در پـایین دارد . هنگـامی که باران یا برف می بارد به علت وجود توغ،تیزه گنبد از نفوذ رطوبت مصون می ماند این ترتیب بدون نیاز به چوب پرهزینه و وقت گیر می توان به گنبد دسترسی پیدا کرد هنگامی که یک یا چند تکه از آجر یا کاشی گنبد نیاز به تعمیر داشـته باشـد بـا کمـک تـوغ کـار تعمیرات را انجام مـــــی دهند . در نواحی سردسیر نیز برای قسمتی از گنبد که آفتاب گیر نیست و بزرگترین خطر برای خرابی پوسـته خارجی ماندن بـــرف روی آن است که باز هم به کمک توغ کار برف روبی را انجام می دهند .

خودگنبد : به طوری که پیش از این گفته شد خود پوسته بیرونی گنبد است. شـکل ایـن پوسـته از دوران چنـدی حـول محـــــور قائمش به وجود می آید این چفد معمولاً شبدری است البته چندین نوع دیگر چفد نیز در پوشش خود به کار می رود امـا در ایـن جـا فقط به بررسی چفد شبدری می پردازیم .

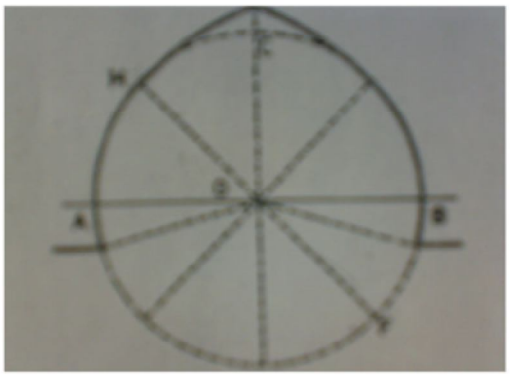
چفد شبدری : چفد شبدری مثل اکثر چفدهای ایرانی بر دوگونه تند و کند است . معمول تـرین چفـدها ،شـبدری تنـد اسـت کـه چفدی است باربر از لحاظ استاتیکی برای پوشش خارجی بسیار منطقی و بجاست .

چفد شبدری تند : برای ترسیم این قوس ابتدا دهانه موردنظر (برای خود) رسم می کنند و آن را با استفاده از شعـــــاع به شش قسمت تقسیم می کنند . این تقسیم بندی از رأس یعنی نقطـه ،شـروع مـی شـود Am قسـمت پـایینی چفـد را تشـکیل مـی دهـد بـــــرای رسم بقیه قوس کافی است به مرکز f و شعاع FM دایره دیگری رسم کنیم تا نقطـه D بـه دسـت آیـد چفـد ADB چفـد مطلوب است .

شبدری تند

چفد شبدری کند : برای ترسیم این چفد به جای تقسیم دایره به شش آن را به هشت تقسیم می کنند . F و M روی نقاط تقسیم قرار دارند . AM قسمت پایینی قوس است برای ترسیم بقیه چفد شعاع MF و مرکز F دایره دیگر می زنند تا D بدست آید ADB چفد مطلوب است .به طوری که دیده می شود خیز این چفد خیلی کوتاه تر از شبدری تند است لذا برای دهانه های بزرگ مقاومت کافی ندارد در بناهایی که شبدری کند را برای پوشش بر می گزینند به منظور ازدیاد مقاومت در مقابل بارهای وارده مرکز F را به دلخواه تغییر می داده اند و تیزه را تا اندازه ای که لازم می دیده اند بالا می بردند در این طریق موجب پیدایش انحراف در شکل ظاهری گنبد می شد . در گنبد مسجد جامع یزد این انحراف دیده می شود و حتی موجب تغییر نقش کاشی در روی آن شده است . این تغییر در گنبد سلطانیه محسوس نیست . لذا پیدایش اینگونه تغییرات در ایوارگاه تنها از لحاظ دید و منظر نقطه ضعف بنا محسوب می شود و تأثیری در شکست نهایی گنبد ندارد .

شبدر کند



یزد- مسجد جامع – خود بصورت شبدری کند

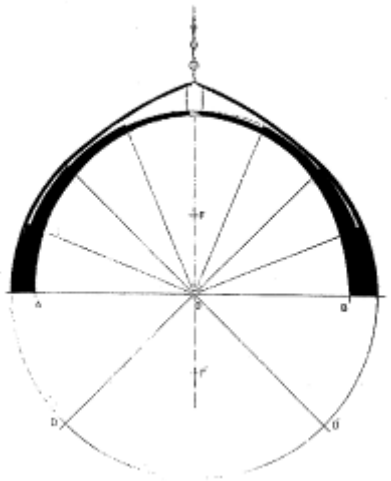
استفاده از فرم گنبد

یکی از موارد در سبک سازی سقف ، استفاده از فرم گنبد است که یک عنصر پایدار و مقاوم در برابر زلزله و یک عنصر یادمـانی اسـت.و همچنین چون نسبت جرم به حجم آن نا چیز است ، یکی از بهینه ترین فرمها از نظر جر می به نسبت حجم زیاد آن است. (تصویر شماره ۱)

۱ ـ کاهش جرم به نسبت حجم در گنبد مسجد شیخ لطف الله ـ اصفهان

۲-۱-۳- تغییر ضخامت در پوسته گنبد

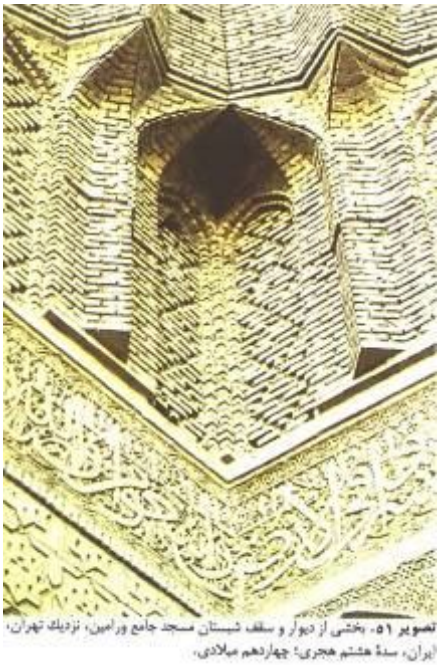
یکی از ابتکارات مهندسین معمار ایرانی در ساخت گنبد ها ،تغییر ضخامت دادن به پوسته آن می باشد.آنها تا زاویه شکرگاه ۲۲،۵ درجـه را با یک ضخامت و از این زاویه ضخامت را تغییر داده و همین طور در زوایای ۶۷،۵ درجه باز هم یک آجر از ضخامت آن می کاستند (تصویر شماره ۲)



۲ ـ کاهش ضخامت طاق از پا طاق تا نوک گنبد برای سبک سازی

۳-گوشه سازی در گنبد

یکی از مسائل مهم ساختمانی در تاریخ معماری جهان ، انتقال سطح مربع به دایره در فضا به حساب می آمده است. این مساله برای اولین بار به دست معماران ایرانی حل شده ، زمان اختراع آن را در دوره معماری اشکانی می دانند.در دوره ساسانی و به خصوص دوره اسلامی به تکامل خود ادامه داده است برای این که زمینه چهار گوش را با گنبد بپوشانند ، می بایست نخست آنرا به هشت گوش و سپس به شانزده ضلعی و بالاخره به دایره تبدیل کنند و اینکار با پوشش گوشه ها میسر می شده.



تصویر ۵۱. بخشی از دیوار و سقف شبستان مسجد جامع ورامین، نزدیک تهران، ایران، سدهٔ هشتم هجری؛ چهاردهم میلادی.

۳ـ گوشه سازی درگنبد مسجد جامع اصفهان با استفاده از حد اقل مصالح و حد اکثر توان به لحاظ فرمی

مساله گوشه سازی در گنبد هم از مواردی است که هم در فضاسازی و کاهش ارتفاع فضا و تناسبات آن اثر دارد و هم در ارتباط با سازه ، عمل می کند. گوشه سازیهای تو خالی در سبک کردن وزن سقف نیز موثر هستند.دومین گنبد مسجد جامع اصفهان که در سال ۴۸۱ هجری در پشت ایوان شمالی ساخته شده.ارتفاع گنبد از تیزه آن تا کف زمین در حدود ۱۸،۵ متر می باشد و دهانه ای در حدود ۹،۵ متر دارد. گنبد بر روی جرزهایی به ضخامت تقریبی ۳ متر بنا شده است. در این بنا از انتقال سطح مربع به هشت ضلعی به وسیله ترنبه هایی که در داخل آن طاقچه هایی زده شده (پتکانه) به شانزده ضلعی و سپس به دایره تبدیل می شود. (تصویر شماره۳)

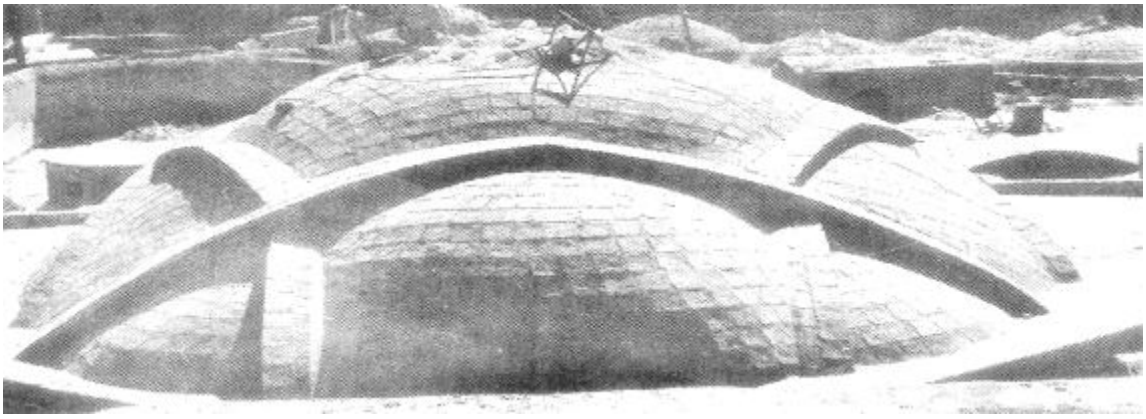
۴-سبک سازی دور گردن بلند گنبد ها

استفاده از شکنجها برای انتقال از مربع به دایره و تحمل بار گنبد توسط این طاقها ، امکان خالی کردن و سبک کردن قسمتهای سطح زیر طاقهای واقع در ضلع مربع را فراهم می کند. نقطه اوج نور در فضاهای زیر گنبد خانه ها ست، دور گردن بلند گنبدها ، نورگیرها تعبیه شده اند که هم سنگینی بنا را متعادل می کنند و هم نور کافی و غیرمستقیم را به داخل هدایت می کنند. (تصویر شماره ۴)

۴ـ سبک سازی ضمن تامین نور به واسطه تعبیه نورگیرها در دور بلندِ گردن گنبدها

۵- استفاده از باریکه طاقها در گنبد های ترکین

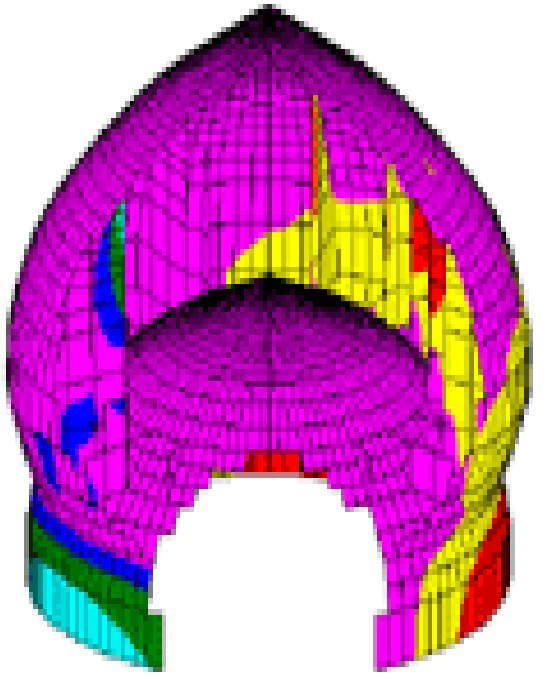
گنبد های ترکین با باریکه طاق ، یک گونه ساختمانی دیگر از گنبد ها می باشد. آغاز ساختمان این نوع گنبد را می توان به معماران ایرانی نسبت داد. گنبد های ترکین از ترکهایی تشکیل شده اند که بین هر ترک ،تویزه های گچی که بعدا به باریکه طاق تبدیل می شود ، تعبیه شده است.از ترکیب ترکها و باریکه طاقها سیستم ایستایی جالبی به وجود می آید. با قرار گرفتن ترکها در میان باریکه طاقها پوسته های سبکی قرار گرفته است .استفاده از باریکه طاقها و تویزه برای استخوان بندی گنبد ، امکان سبک کردن وزن گنبد را در قسمتهای پوشاننده و نه باربر فراهم می کند. (تصویر شماره ۵)

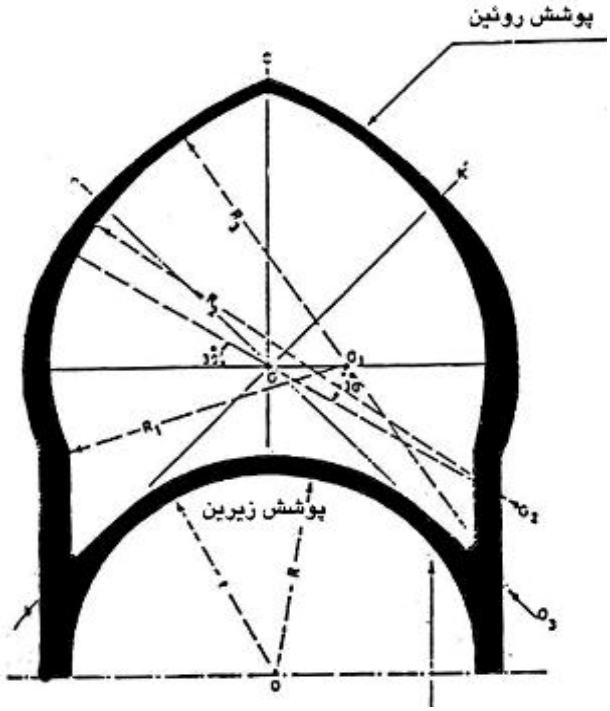


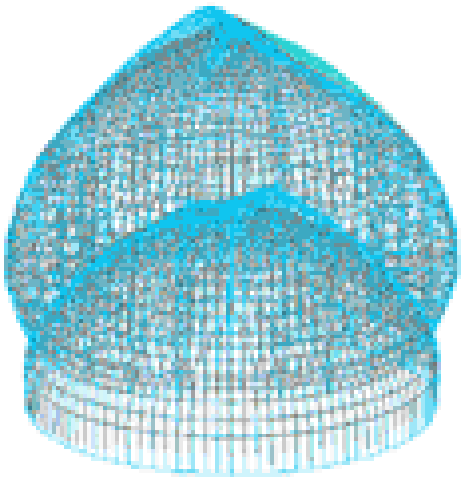
۵ـ استفاده از باریکه طاقها و تویزه در استخوان بندی به منظور سبک سازی سقف با اجرای طاقهای پوسته ای

۶-گنبد های دو پوسته و سبک سازی بین آن

اصل تناسبات در داخل و خارج بنا و هماهنگی این دو ، که به نوعی سبک سازی مدرن محسوب میشود ، منجر به خلق گنبد های دو پوسته می شود که یک پوسته خارجی و یک پوسته داخلی دارد. پوسته خارجی گنبد پوسته سازه ای اصلی و مقاوم آن است و پوسته داخلی تنظیم کننده اشل انسانی در درون فضا و تنظیم کننده شرایط محیط زیست انسانی. (تصویر شماره ۶)







۶ـ مقطعی از سبک سازی سقف با استفاده از گنبد های دو پوش

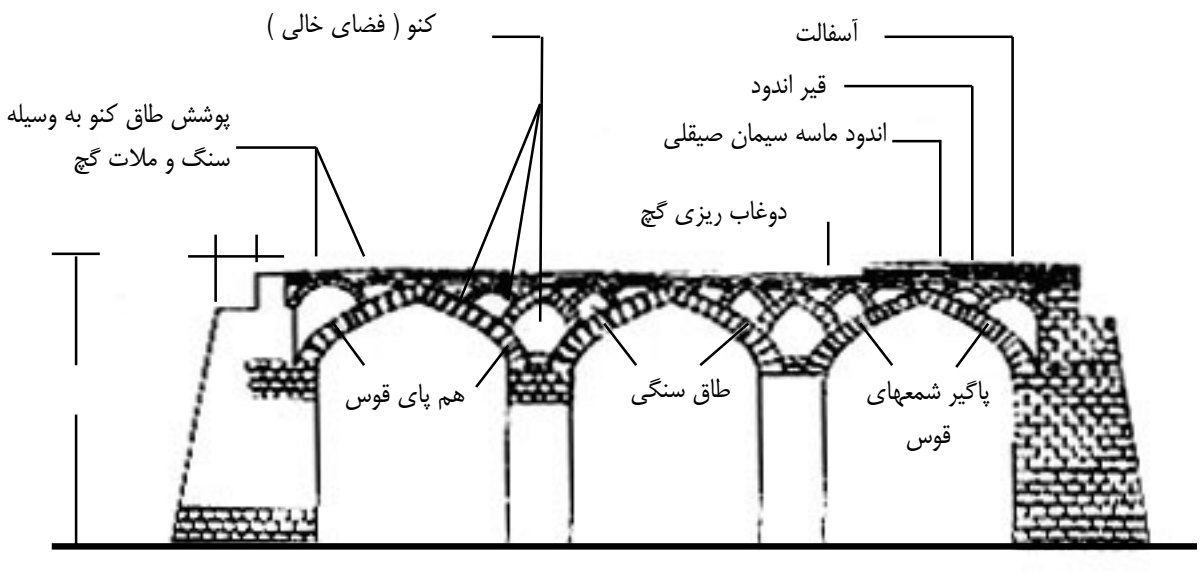
۷-- استفاده از قوسهای خوانچه پوش در سبک سازی سقف

برای سبک سازی سقف ، علیرغم وجود قوسهایی که به عنوان سازه باربر و پوشش سقف به کار گرفته شده اند ، در روی سقف برای سبک تر کردن سازه ، به جای پر کردن مصالح ساختمانی با خاک و شن ، از قوسهای خوانچه پوش استفاده کرده اند ، که به این صورت هم نخاله و مصالح سنگین در آن فضا به کار نرفته و هم با اجرای قوس خوانچه پوش ، توان مضاعفی را به قوسهای همجوار داده اند و در واقع جایی که کوهنال است و محل بحرانی برای قوس که قوس می خواهد شانه از بار خالی کند ، این قوسهای خوانچه پوش به کمک قوسهای اصلی آمده و در یکپارچه کردن نسبی دیافراگم سقف نقش تعیین کننده ای دارند. خالی کردن بالای قوسها با خوانچه پوش ، علاوه بر سبک سازی در ایجاد تعادل دما ی محیط داخلی و خارجی هم موثر است. (تصویر شماره ۷)

۷ـ مقطعی از ایجاد خوانچه پوشهای متعدد برای سبک سازی و نزدیک شدن به دیافراگم صلب در سقف

۸- سبک سازی دیواره ها و جرزها به وسیله طاقچه سازی

گنبد جبلیه کرمان را به اوایل دوره اسلامی نسبت می دهند. این گنبد بر روی یک هشت ضلعی بر پا شده است. ضخامت دیوار آن در حدود ۳،۱۰و دهانه گنبد در حدود ۱۲ متر و ارتفاع تیزه گنبد تا کف زمین در حدود ۱۸ متر می باشد. خود گنبد یعنی از پاکار ارتفاعی در حدود ۱۰ متر دارد.دیوار بنا به وسیله طاقچه های زیادی سبک شده و این از خصوصیات مهم این بنا می باشد. همچنین گنبد تا ارتفاع بالای شکرگاه دارای ضخامتی در حدود ۱،۸۰ متر است و از آن به بعد ضخامت آن به
طور فاحشی کم می شود و به حدود ۶۰ سانتی متر می رسد

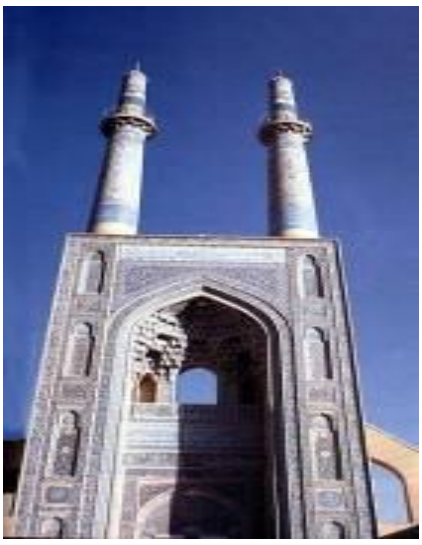


شماره ۸)

۸ـ نحوه سبک سازی دیوارها و جرز های بار بر توسط طاقچه سازی و قوس

۹- خالی کردن داخل مناره ها برای کم کردن جرم آن در بالای مناره

مناره در سازه های سنتی یکی از المانهای ویژه است ، سازه ای که با یک مقطع محدود در یک ارتفاع بلند باید نقش آفرینی کند. مهمترین ویژگی گلدسته ها میان تهی بودن آنها می باشد. به لحاظ جرم با توجه به حرکات ارتعاشی زمین ، میان تهی است و همانند گنبد ،نسبت جرم آن به حجمش ناچیز است. از سوی دیگر بالاترین نقطه گلدسته که ماذنه نام دارد ، سبکترین قسمت گلدسته می باشد و در واقع سبکترین وزن گلدسته را قسمت اختتامیه و انتهایی گلدسته تشکیل می دهد و در پایین از مصالح سنگین و با جرم بالا و به ویژه در فونداسیون از مصالح سنگین تر استفاده می شود و هر چه از میانه گلدسته به سمت بالای آن می رویم آرام آرام جرم گلدسته نیز کاهش می یابد. در زیرقسمت ماذنه گلدسته ها ، معمولا با با مقرنس کاری قسمت کنسول ماذنه را به بدنه گلدسته متصل می کند. این مقرنسها نیز عموما میان تهی و سبک هستند.گلدسته های مساجد یا یک بنای مذهبی ، توانسته اند علاوه بر آفریدن روحیه ای خاص ، در امتداد پایه های قوسهای بزرگ ورودیها قرار گیرند و جوابگوی نیروهای رانشی باشند که در هر حال از قوس زاده می شوند. به این ترتیب است که به سختی می توان گفت که پله های مارپیچی که در داخل مناره ها یا داخل پایه های ضخیم بعضی از بناهای ایرانی یافت می شود ، تنها به کار رفت و آمد میان دو سطح می آید و از چوب آنها برای اتصال جوانب چند گانه همین پایه ها و از فضای تهی که از آن منتج خواهد شد ، برای کاهش وزن به نحوی منا سب استفاده نشده است. (تصویر شماره ۹)



۹ـ کاهش تدریجی جرم جرز ها و گلدسته ها به نسبت ارتفاع و میان تهی بودن مقرنس کاری ، سر در مسجد جامع یزد

۱۰- طاقچه های مخفی در پشت نماها

ایجاد (void) تو خالی در بالای ایوان ، که در ظاهر نماها بسته است ،ولی عملا در درون آنها قوسهایی برای سبک سازی وجود دارد.

۱۱-کنو سازی و کم کردن جرم

در پوششهای گهواره ای و گنبدی از کنو سازی استفاده می شود که اینکار برای پیشگیری از رانش طاقهای همجوار در یک دیوار باربر صورت می گیرد و از مصرف مصالح اضافی جلو گیری می گردد. همچنین در کنو سازی اطراف پوشش ،کانالی به وجود می آید که اگر ابتدا و انتهای کانال در نما بسته نشود ، مجرایی خواهد بود که اگر از قسمتهای کانال سوراخی در شانه طاق تعبیه شود ، مسیری به وجود می آید جهت تهویه باد و روشی خواهد بود ، به عنوان باد گیرهای فرعی دراین پوشش [۳].(تصویر شماره ۱۱)

۱۱ـ بم ، کنو سازی برای سبک سازی سقف و پیش گیری از رانشهای احتمالی

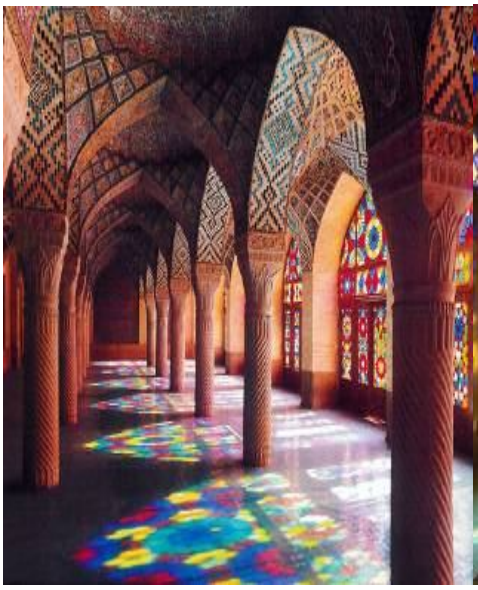
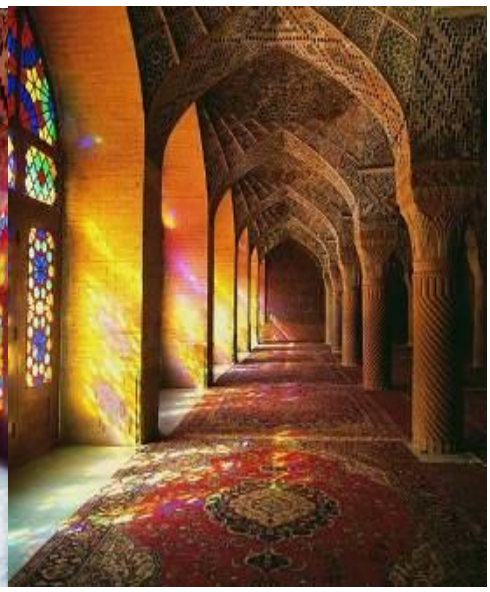
۱۲- سبک کردن دیواره ها با طاقچه

به دلیل استفاده از مصالح سنگین ، جرم زیادی در دیوارها وجود داشته و معماران گذشته با پوشش قوسها ، خالی کردن جرز دیوارها به عنوان تاقچه و تکرار قوسها و خالی کردن درون دیوارها با قوسهای متوالی ، جرم دیوار را کم می کرده اند.در نمای دیوارها نیز در عین اینکه طاقها ، حکم تزئینات را دارند ، همزمان به سبک سازی بنا هم کمک می کنند. (تصویر شماره ۱۲)

۱۲ ـ کاهش جرم با میان تهی کردن دیوارها و سقف ها در ارتفاع ،

(راست : مقبره مشتاق علیشاه در کرمان ، چپ : مدرسه آقا بزرگ در کاشان)

۱۳-پایه های سنگین و پوسته های سبک در ارتفاع

مسجد نصیر الملک، شیراز

۱۳ ـ کم کردن جرم با استفاده از ستونهای سنگی ، حذف دیوارهای حجیم و استفاده از پوششهای سبک به واسطه خوانچه پوش کردن سقف ،

نتیجه گیری:

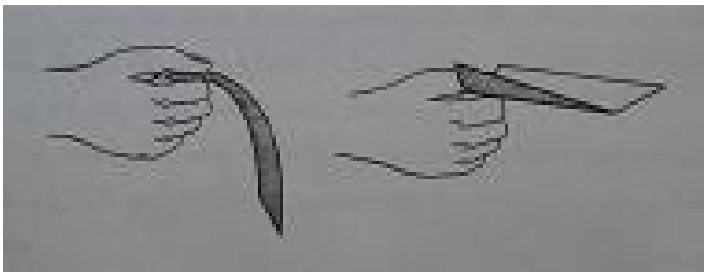
معماری آمیخته ای است از : علم و هنر – ذوق و سلیقه – اعتقاد و ایمان و مهارتهای خاص که در راستای تمدن و فرهنگ و در رهگذر تاریخ ، زبان گویای زمانه خویش است.تکنولوژی ابزار مدنیت است و اینکه تمدن اسلامی قادر بوده است به مدت چند قرن رهبری بخش وسیعی از جهان را در اختیار داشته باشد ، به روشنی آشکار می سازد که چنین تمدنی لزوما بر پایه دستاوردهای تکنولوژی مهمی استوار بوده است.کشور ما مملو از تجربیات و نمونه هایی است که گواه بر آگاهی پیشینیان ما نسبت به امر ساختمان سازی است .کشور ایران با وسعت زیاد و شرایط اقلیمی گوناگون یکی از کشورهای نادری است که در دوران بسیار طولانی تاریخ خود توانسته بدون تکیه به تخصص و مهارت بیگانگان ، نیاز جامعه خود را در تمام زمینه ها بر طرف کند.عالمان وقت از ریاضیات بهره می گرفتند و هندسه را به خدمت معماری آوردند ،آنها نیروها را در شرایط مختلف استاتیکی و دینامیکی می شناختند و حرکت آن را در ساختمانهای خشتی تشخیص می دادند....بحثی که امروزه با نام سبک سازی در بناها مطرح شده ، موضوعی است که گذشتگان ما در امر ساخت و ساز همواره به آن توجه می کردند... و ما به عنوان نسلهایی که نتیجه قرنها تجربه و ابداع را به عنوان سرمایه اولیه در اختیار داریم ، باید از این پشتوانه عظیم به بهترین شکل استفاده کنیم و این امر میسر نخواهد بود مگر با شناخت کامل اصول طراحی آنها و کندوکاو و پژوهش در تمامی این جزئیات ارزنده.

پوسته های بتن آرمه

پوسته های نازک و گنبد های مشبک

-سازه های با ترکیب پایدار

اگر یک کاغذ را به طور عادی در دست بگیریم خم می شود و حتی توانایی تحمل وزن خود را هم ندارد. اما اگر قسمت میانی کاغذ مشابهی را کمی فشار دهیم بطوری که گوشه های آن کمی رو به بالا خم شوند،این فرم می تواند علاوه بر وزن خود مقداری بار اضافه را نیز تحمل کند.



این افزایش ظرفیت تحمل بار توسط سازه،به علت افزایش مقدار مصالح مصرفی یا تغییر نوع آن نیست بلکه به دلیل استفاده از فرم مناسب است.انحنای رو به بالا، سختی و ظرفیت تحمل بار ورق طره شده را افزایش می دهد،زیرا این فرم باعث می شود که مقداری از مصالح دور از محور خنثای جسم قرار گیرد،بنابراین با خم نمودن ورق کاغذ مقاومت خمشی جسم که مانند تیر طره ای عمل می کند بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.با چین دار کردن کاغذ یعنی با ایجاد تغییرات ناگهانی در شیب آن(انحنای متمرکز) نیز می توان به نتایج مشابهی دست یافت.سازه های با فرم پایدار سازه های هستند که مقاومتشان را بوسیله شکل گرفتن مطابق با باری که باید تحمل کنند،بدست می آورند. تغییر شکل پذیری و عدم تواناپیی سازه های تخت در تحمل تنش های فشاری استفاده از آنها را محدود می نماید.

پوسته،سازه ای نازک با سطح منحنی می باشد که بارها را به وسیله کشش،فشار و برش به تکیه گاه ها منتقل می نماید.پوسته ها از طاق های سنتی با قابلیت مقاومت کششی شان متمایز می گردند. بنابراین با وجود این که اشکال منحنی پوسته ها به فرم طاق های سنتی شباهت دارند ولی رفتار سازه ای و مسیر بارگذاری آنها معمولا به میزان زیادی به سبب قابلیت مقاومت پوسته در برابر کشش متفاوت می باشد.اغلب پوسته های معماری از بتن مسلح ساخته شده اند،همچنین از تخته چند لایی،فلز و پلاستیک های شیشه ای مسلح(GRP) هم ممکن است استفاده شود.پوسته ها در سازه ها (مانند سقف) در جایی که بار وارده گسترده یکنواخت است و استفاده از اشکال منحنی مناسب می باشد،بسیار کارآمد هستند.به علت اینکه پوسته ها بسیار نازک می باشند،قابلیت مقاومت در برابر خمش ناحیه ای تولید شده از طریق بار های متمرکز قابل توجه نیست.

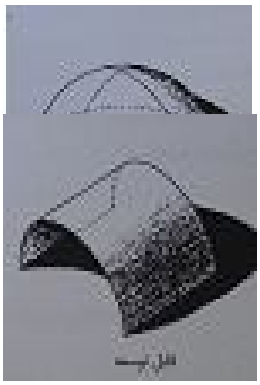
در پوسته های نازک با حفظ اکثر امتیازات غشاها،تقریباً تمامی معایب آنها از بین رفته است.پوسته های نازک سازه هایی با فرم پایدار هستند که به قدری نازک می باشند که تنش ها ی خمشی در آنها پدید نمی آید،در عین حال به اندازه کافی ضخیم هستند که توانایی تحمل بار را با ایجاد کشش و برش داشته باشند. پوسته های نازک مانند غشاها کارآیی خود را مدیون انحنا و پیچ و تابهای فرم خود هستند.برای درک بهتر رفتار سازه ای پوسته ها ابتدا باید با مشخصات هندسی شکل دهنده آنها آشنا شد.

به تعریف آیین نامه بتن آمریکا(ACI)

سازه فضایی سه بعدی متشکل از یک یا چند دال منحنی یاصفحه پلیسه ای که ضخامت آنها در مقایسه با سایرابعادشان کوچک است . مشخصه اصلی پوسته های نازک،خاصیت باربری سه بعدی آنهاست.

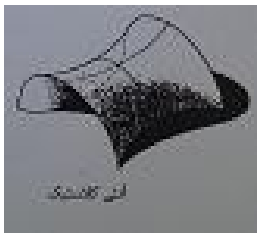
انواع پوسته

پوسته ها معمولا با توجه به شکلشان طبقه بندی می گردند.



– اشکال سین کلاستیک(synclastic)(گنبدها) دارای دو منحنی هستند و خطوط انحنا در هر جهت آنها مشابه است.

– اشکال قابل توسعه (مخروط،استوانه و یا استوانه ای)دارای یک انحنا هستند،آنها در یک جهت دارای خطوط مستقیم بوده و در جهت دیگر دارای انحنا می باشند و از طریق خمش در یک صفحه مسطح ایجاد می شوند.

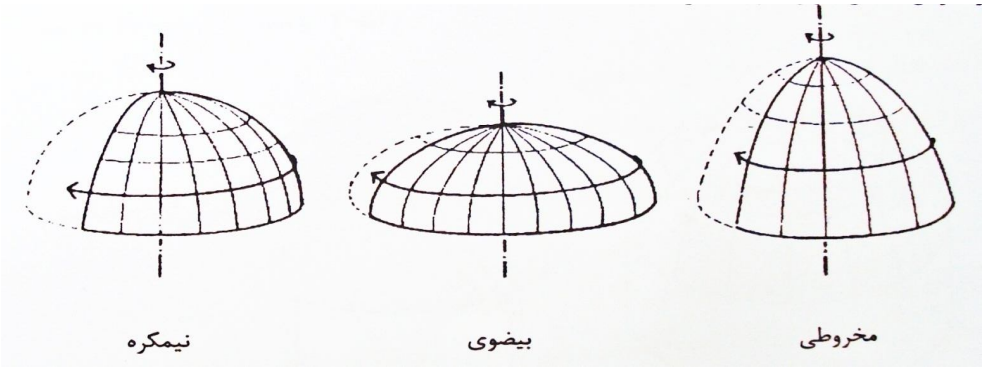


– اشکال آنتی کلاستیک(Anticlastic)(اشکال زین اسبی شامل:مخروطی،سهموی-هذلولی،شبه هذلولی)دارای انحنای مضاعف بوده و خطوط انحنا در جهت های مخالف دارند.

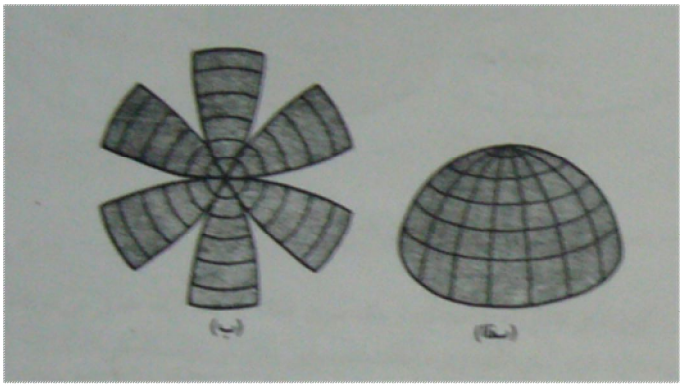
– پوسته های با فرم آزاد وجود دارندکه از مح شوند.

-پوسته های گنبدی سین کلاستیک(stic

گنبد ها سطوح دوران یافته یک خط منحنی حول یک محور می باشند.شناخته ترین شکل آن کره است،سطح آن به وسیله چرخش یک قوس از یک دایره حول محور عمودی به دست می آید.

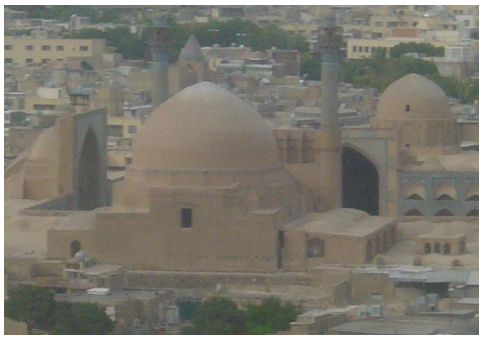


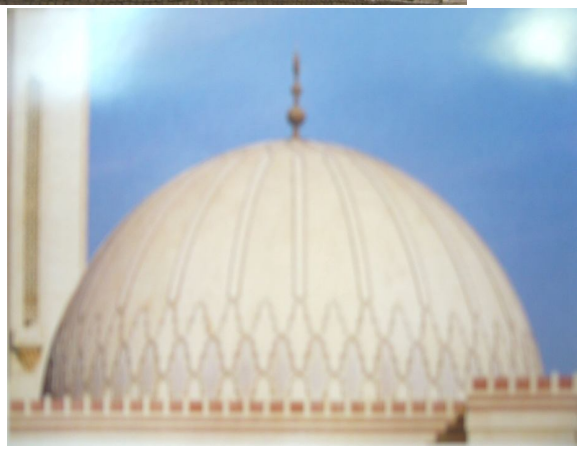
انحنای منفی در همه جهات می باشند سطوحی را که در تمام نقاط و در تمام جهات دارای انحنای مثبت یا منفی هستند را سطوح غیر قابل گسترش می نامند،زیرا نمی توان آنها را بدون کشیدن یا برش دادن (که معمولاً تعداد این برشها بی نهایت است) بر سطح صافی گسترد. سختی و مقاومت این سطوح عمدتاً حاصل مقاومت آنها در برابر تغییر شکل هایی است که منجر به صاف شدن آنها و در واقع کاهش انحناهای آنها می گردد.

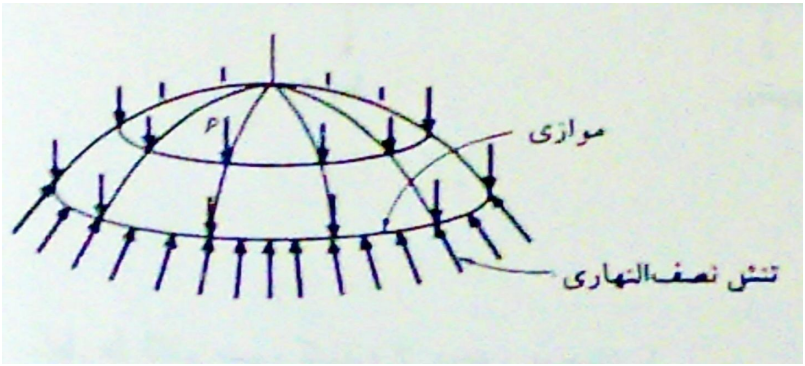


روند تکامل پوسته های گنبدی

- ساخت گنبد به وسیله ی مصالح بنایی
- ساخت گنبد به وسیله ی پوسته های بتنی







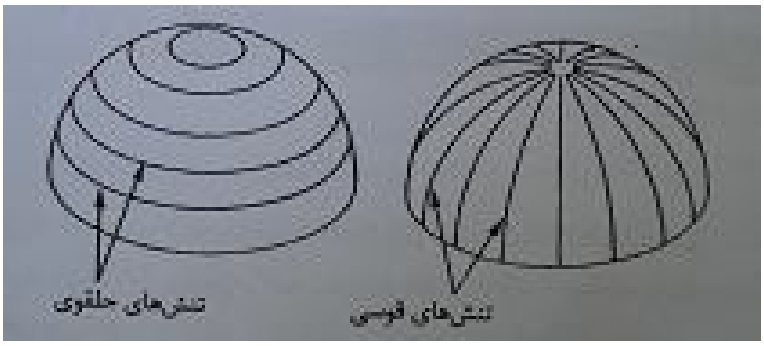
بخش های عمودی پوسته ،خطوط قوسی طولی (شناخته شده به عنوان نصف النهار) و بخش های افقی (تماما دایره شکل) به صورت حلقه های موازی هستند، بزرگترین بخش موازی روی ربع دایره قرار دارد.

رفتار سازه ای

رفتار تنش ها در یک پوسته گنبدی شکل را می توان از طریق رفتار آن در دو جهت بررسی کرد.در زیر بار یکنواخت ،گنبد تحت فشار در طول خطوط قوسی در هر نقطه می باشد.

در گنبد نیمکره ای،به علت اینکه خطوط قوسی شکل به صورت نیمدایره می باشند گنبد تمایلی برای پایداری در بالا ندارد ولی خمشی رو به بالا در بخش پایین تر وجود دارد.

رفتار سازه ای گنبد دوار که در تمام مرز خود دارای تکیه گاه است و تحت اثر نیرو های عمودی قرینه نسبت به محور خود قرار دارد(مانند بار مرده) متاثر از خصوصیات هندسی گنبد است. در این نوع پوسته ها که نسبت محورشان قرینه هستند،مقاطع نصف النهاری و مقاطعی که بر نصف النهار ها عمود هستند در واقع مقاطع اصلی برای تنش های اصلی می باشند.

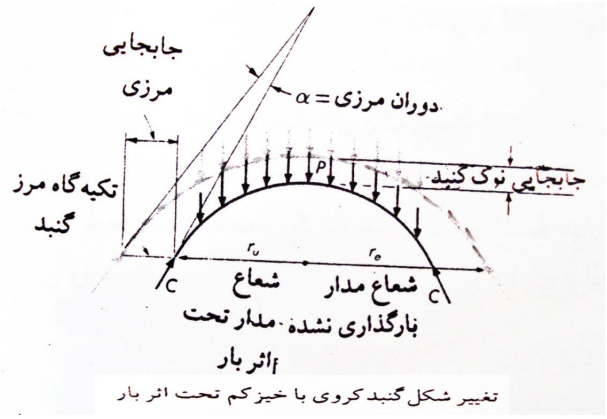


تنشها در این مقاطع تنشهای ساده کششی یا فشاری هستند که در ضخامت نسبتاً کم پوسته به طور یکنواخت توزیع می شوند.

این تنشها در مسیر نصف النهار ها تنشهای فشاری هستند و در طول مدار بطور ثابت اثر می کنند،زیرا پوسته و بارها نسبت به محور قرینه می باشند.هر نصف النهار به شکل یک قوس طنابی برای نیروهای وارده عمل می کند و به عبارت ساده تر بارها را بدون ایجاد تنش خمشی تحمل می کند.

دیدیم که قوسها صرفاً برای یک سری از بارها به صورت طنابی عمل می کنند.در عوض نصف النهارهای یک گنبد برای هر گروه از بارهای متقارن به صورت طنابی عمل می نماید. این اختلاف اساسی در رفتار سازه ای نتیجه این اصل است که قوسهای منفرد تکیه گاه جانبی ندارد،در عوض نصف النهارهای گنبد توسط مدارها نگه داشته می شوند و ایجاد تنش های حلقه ای از جابجایی آنها جلوگیری می کنند.رفتار طنابی گنبد تحت اثر هر نوع بارگذاری قرینه باعث می شود که گنبد جهت تحمل این بارها تغییر شکل ندهد،در نتیجه سازه استواری برای تحمل این نوع بارها بشمار می رود.

در یک گنبد پوسته ای (که می تواند در برابرکشش مقاومت نماید).این تمایل به کمانش رو به بالا به وسیله تنش کششی در طول خطوط حلقوی در زیر زاویه ۴۵ درجه بالای خط افق مهار می شود. به همین دلیل ،گنبدهای نیمکره توخالی تحت تاثیر فشار حلقوی می باشند،در حالی که گنبد های کروی عمیق تر تحت تاثیر فشار حلقوی بالی ۴۵ درجه و تحت تاثیر کشش حلقوی در قسمت پایین تر قرار دارند(این زاویه بر اساس بارگذاری متغیر است و در صورتی که فقط بار وزن گنبد وجود داشته باشد این زاویه برابر ۳۸ درجه در بالای خط افق خواهد بود).

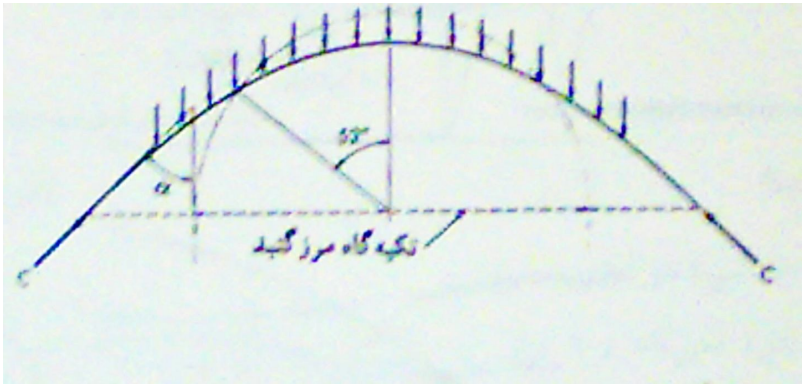


تغییر شکل گنبد کروی با خیز کم تحت اثر بار

تاثیر مدارها در رفتار طنابی گنبد با توجه به تغییر شکل نصف النهارها تحت اثربارهای وارده مشخص می گردد.در یک گنبد با خیز کم نصف النهارها به علت بروز فشار کوتاه می شوند و تحت اثر بارهای حرکت کرده به سمت محور گنبد یعنی به داخل متمایل می گردند.

در گنبدهای سازه ای دو بعدی این حرکت با کوتاه شدن مداره همراه است،زیرا شعاع مدارها کوتاه می شود. بنابراینمدارها نیز تحت تاثیر فشار قرار می گیرند و سختی آنها در برابر فشار، آزادی حرکت نصف النهارها به داخل را بطور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. به عبارت دیگر می توان عملکرد یک گنبد قرینه با خیز کم را مانند یک سری قوس های نصف النهاری طنابی فرض کرد که بطور الاستیک توسط مدارها تحمل می شوند.در گنبدهای با خیز کم تنشهای فشاری هم در جهت نصف النهارها و هم در جهت مدارها ایجاد می شوند.

وقتی که گنبد خیز زیادی دارد قسمت بالایی آن مسطح و قسمت پایینی آن باز میگردد. نقاطی که در بخش بالایی قرار دارند تحت اثـر بارها به سمت داخل حرکت می نمایند.

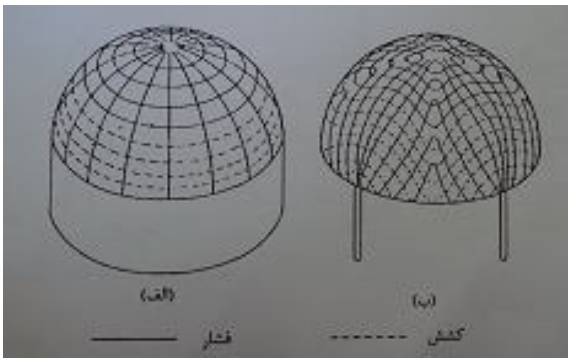


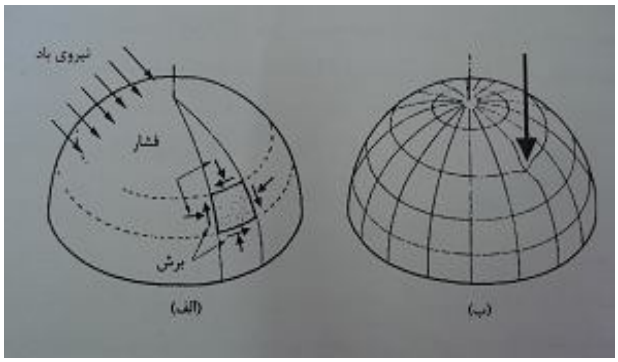
مدارهای قسمت بالایی گنبد کوتاه مـی شـوند ،در حالی که مدارها در قسمت پایینی گنبد طویل تـر شده تنشهای کششی در آنها ایجاد می گردد و بـه این ترتیب مجدداً حرکت نصف النهارها را محـدود می کنند. بسته به نوع بارگذاری طـول یـک مـدار خاص ثابت باقی می ماند، در حالیکه در مـدارهایی که در بالای آن قرار دارند،تنش فشاری ایجـاد مـی شود و در مدارهایی کـه در پـایین آن قـرار دارنـد تنش کششی پدید می آید. در گنبد دوار تحت اثر بار مرده ،مداری که با زاویه ۵۲ درجه با محور اصلی، تغییر طول نمی دهد.

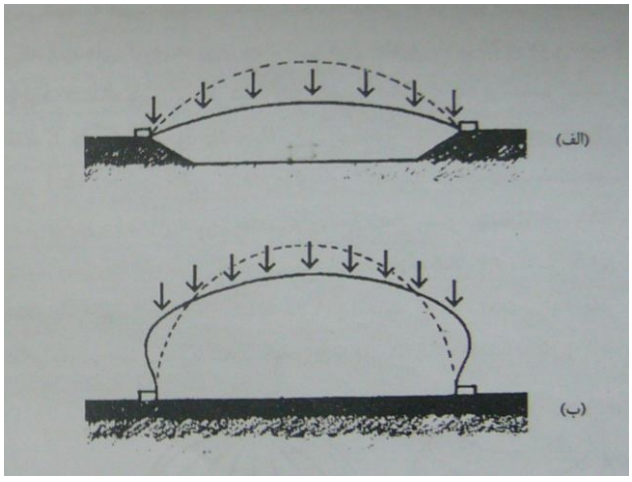
چنین رفتاری با رفتار طاق های گنبدی سنتی که نمی توانند در برابر کشش مقاومت نمایند و احتیاج به وزن اضافی بـرای ممانعـت از خمش رو به بالا دارند،متفاوت است. به علاوه چنین رفتاری امکان دارد گنبد های پوسته ای به شکل فرم منحنی طنابی را برای هر بـار متقارن فراهم سازد،بر خلاف اینکه طاق ها و قوس ها که فقط تحت شرایط خاص بارگذاری به شکل منحنی طنابی می باشند.

گنبد های بیضوی در بخش بالایی به بخش پایینی مسطح تر می باشند ، با تمایلی برای خمش رو به بـالا در قسـمت پـایین و بنـابراین بیشتر بر کشش حلقه ای برای پایداری تکیه دارند. به طور عکس ، گنبد های سهموی، دارای منحنی های تیزتـری در بـالا و نرمتـر در پایین می باشند،که به فرم منحنی طنابی نزدیکتر می باشد، تمایل کمتری به خمش داشته و حلقه فشاری کمتری ایجاد می نمایند.

مقاومت رانشی



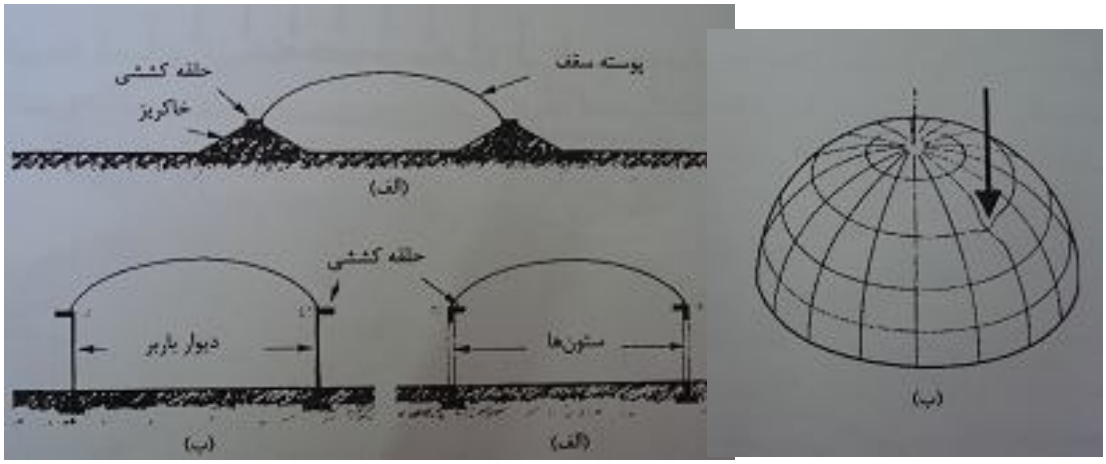




مشابه قوس ها، تمامی گنبدها دارای نیروی رانش بیرونی می باشند. اگر چه گنبدهای مرتفع نیروی رانشی کمتری نسبت بـه نـوع کـم ارتفاع آن با دهانه های قابل مقایسه ایجاد می نمایند،ولی در برابر این مقدار جزئی هم باید مقاومتی وجـود داشـته باشـد. در گنبـدهای مرتفع،مقاومت حلقوی کششی پوسته معمولاً کافی می باشد. ولی، در گنبدهای کم ارتفاع، معمولاً یک حلفه کششی به وسـیله افـزایش ضخامت گنبد در ان ایجاد می گردد(برای جای دادن فولادهای کششی اضافی در پایه گنبد). از آنجایی که این حلقـه کششـی در برابـر رانش ذاتاً مقاومت می کند،هیچگونه پشت بند اضافی نیاز نمی باشد. این امر امکان مقاومت گنبد روی ساقه آن (یـا حلقـه ای از سـتون ها) بدون نیاز به دیوار حائل را فراهم می نماید. در حالتی که ستونها تکیه گاه می باشند، حلقه کششی به عنوان تیر حلقـوی کـه بـین ستونها را می پوشاند نیز به کار می رود.

به همین ترتیب اگر بخشهایی از گنبد بوسیله صفحات مورب یا قائم بریده شود و گنبد بر روی تعداد معـدودی تکیـه گـاه قـرار گیـرد، شرایط تکیه گاهی اساساً با آنچه که برای رفتار غشایی لازم است متفاوت بوده احتمال ایجاد تنسهای خمشی وجود خواهد داشت.

سرانجام باید گفت هر باری که قادر به ایجاد انحنا در یک پوسته نازک باشد در آن تنشهای خمشی ایجاد می کند. بدین ترتیب بارهای متمرکز نمی توانند توسط تنشهای غشایی تحمل شوند. ضخامت پوسته اغلب با توجه به آشفتگی های خمشی تعیین می شـوند نـه بـا تـنش های غشایی ناشی از بارها.



فاکتورهای موثر در تعیین ضخامت پوسته های گنبدی بتنی

ضخامت پوسته ها بیشتر با توجه به آشفتگی های خمشی آنها تعیین میشود ، نه تنشهای غشایی ناشی از بارها

دو عامل دیگر نیز می تواند به افزایش ضخامت پوسته ها منجر شود :

۱- مسائل اجرایی

۲- کمانش

- مسائل اجرایی

میلگردهای داخل بتن مسلح باید با ضخامت مناسب بتن (بر اساس آئین نامه ها) پوشانده شوند همچنین هزینـه بـالای اجـرای گنبـد های بسیار نازک می تواند عامل افزایش ضخامت آنها شود

- کمانش

هر عنصر نازکی دارای این قابلیت است که تحت بارهای فشاری کمانش کنند . بار کمانشی پوسته گنبدی با عوامل زیر نسبت مسـتقیم دارند

- مدول الاستیک مصالح مصرفی
- مربع نسبت ضخامت به شعاع گنبد

با افزایش ضخامت گنبد در محل مدارها و نصف النهار ها ، مقاومت کمانشی آن بدون افزایش کل گنبد ، افزایش قابل ملاحظه ای پیـدا می کند این روش بیشتر در گنبد های فلزی بکار گرفته می شود ؛ زیرا در گنبدهای بتنی هزینه قالبندی بسیاز زیاد خواهد بود

برای اینکه یک گنبد ، رفتار واقعی یک پوسته نازک را از خود نشان دهد باید دارای ویژگیهای ذیل باشد

- ضخامت گنبد باید کم باشد تا تنشهای خمشی در آن ایجاد نشود
- انحنای گنبد باید صحیح باشد

- گنبد باید دارای تکیه گاه های مناسب باشد

گنبدی که دارای ویژگیهای فوق باشد ، از سختی مناسبی بررخوردار خواهد بود و از آنجا که تنشهای بوجود آمده در آن صرفا کششی و فشار هستند و تنش خمشی در آن وجود ندارد ، تغییر شکلهای آن بسیار کوچک خواهد بود

مزایای استفاده از سازه های گنبدی بتن آرمه

۱) سرعت در ساخت

۲) مقاومت و پایداری

گنبدهای بتن آرمه با بهترین مصالح به شرح ذیل ساخته می‌شوند:

۱-بالن P.V.C مسلح شده با پلی استر (۲۸۰ گرم بر مترمربع)

۲-اجرای بتن شات کریت با میزان سیمان ۴۰۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم سیمان در هر مترمکعب (یا مشابه آن)

۳- می توان ازاضافه کردن آنتی‌اسیدهاوافزودنی ها به بتن، جهت نگهداری محصولاتی چون فسفات، نیترات و آمونیترات و غیره، استفاده نمود.

۳) بهینه سازی

گنبدهای بتن‌آرمه نسبت حجم به سطح را افزایش می‌دهد.

۴) عایق حرارتی

۵) خاصیت ضد آب (waterproof)

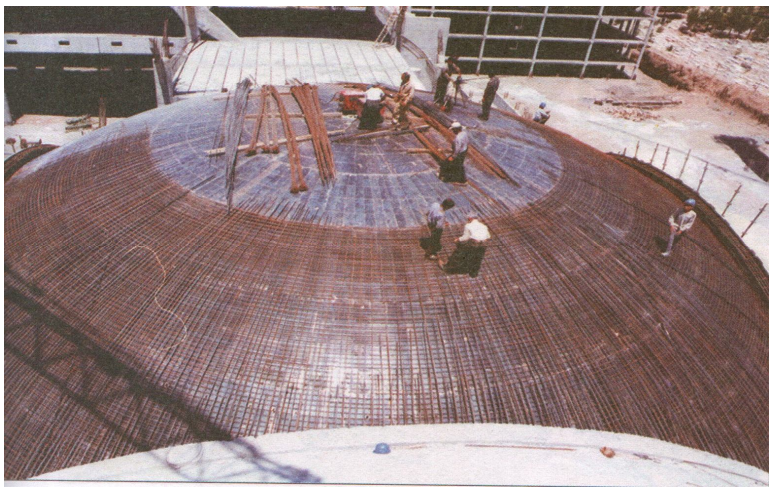
۶) هزینه پائین تعمیرات و نگهداری

سطح خارجی گنبد بتن آرمه کاملاً صیقلی بوده و به راحتی تمیز می گردد و بنابراین هیچگونه خوردگی یا زدگی نمی‌تواند روی این گنبد بتن آرمه ایجاد شود.

۷) زیبایی

۸) تنوع

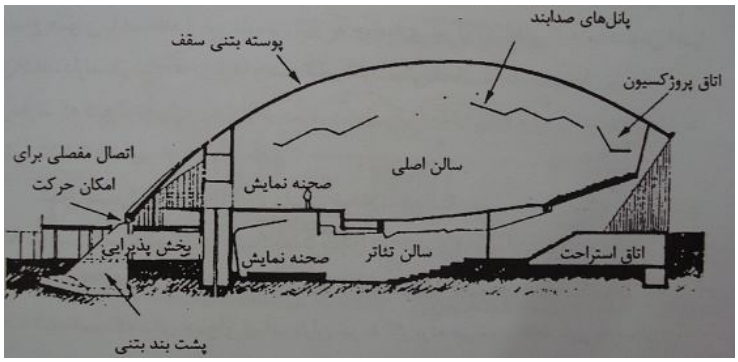
آرماتوربندی پوسته های گنبدی



مطالعات موردی پوسته های گنبدی

سالن سخنرانی کرسگ kresge Auditorium

این گنبد(۱۹۵۵:کمبریج،ماساچوست،مهندس معمار:اروسارنین و همکاران،مهندس سازه : امان و ویتنی) دارای حجم یک هشتم کره می باشد که روی سه نقطه قرار گرفته است. بازشوهای قوسی شکل به ارتفاع ۲۷ فوت (۱۸/۶ متر) بین تکیه گاه ها شفاف بوده و در پلان به شکل منحنی می باشند.

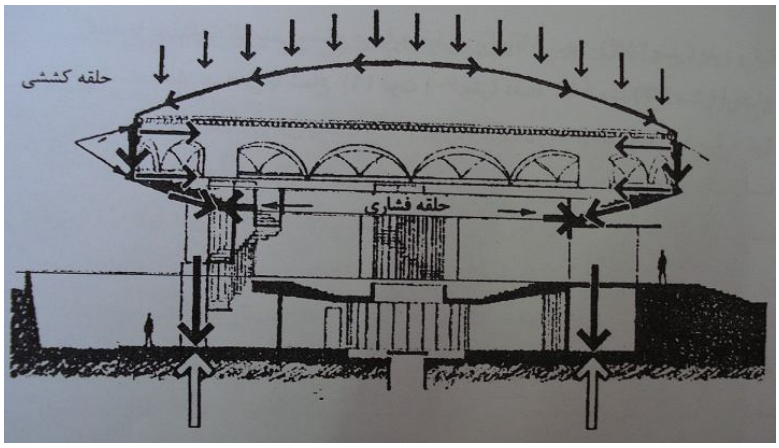


شعاع گنبد ۱۱۲فوت (۳۴متر)است.ضخامت پوسته بتنی مسلح سازه ۱۳/۵ اینچ (۸/۷ سانتیمتر)می باشد که در تکیه گاه ها تا میزان ۱۹/۵ اینچ (۵۰ سانتیمتر) به علت تمرکز تنش در آن نقاط افزایش می یابد.لبه پوسته بالایی بازشوهای شفاف به وسیله یک دندانه بتنی سخت شده است که برای جمع آوری آب باران نیز به کار برده می شود. نقاط باربر به میزان زیاد تقویت شده اند و مانند اتصالات لولایی در مقابل تنش های خمشی عمل می کنند و به وسیله دیوارهای حائل حجیم بتنی پی ها نگاه داشته می شوند. لایه فایبر گلاس به ضخامت ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) که به عنوان عایق حرارتی روی پوسته بتنی به کار رفته است،با استاندارد های امروزی مطابقت ندارد. به جای آن گنبدبا یک لایه بتن به ضخامت ۲اینچ (۵۰میلیمتر) با عملکرد غیر سازه ای و آکوستیکی پوشانده شده است. بنابراین تاثیر سازه ای پوسته با ملاحظات غیر سازه ای خنثی شده است. با شرایط آکوستیکی موجود در این پروژه، هنوز هم انتخاب ساختمان با پوسته نازک مورد سوال باقی می ماند.

کلیسای ارتدوکس بشارت یونان

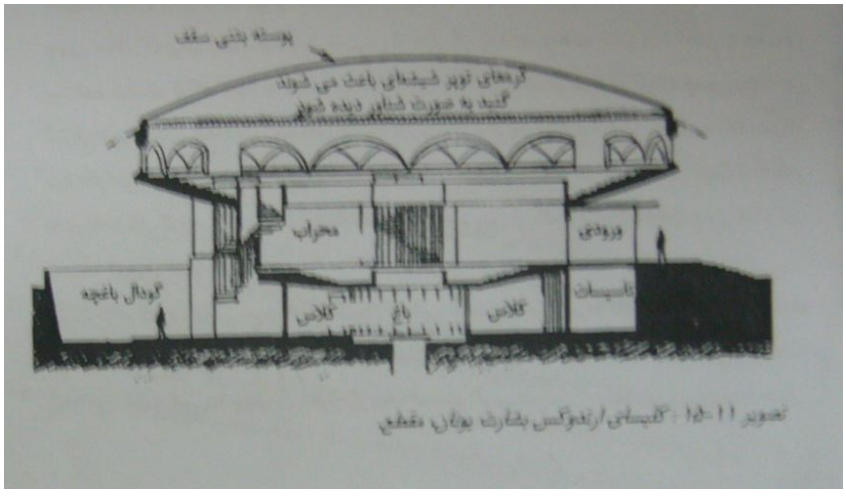
در نگاه اول ،این ساختمان سه ساختمان به نظر می رسد.اولین چیزی که از فاصله دور می بینیم ،بشقابی بزرگ شناور بر بالی سطح زمین است.این سقف شناور گنبدی است که به وسیله کاشی های آبی رنگ پوشانده شده است و سطحی برابر ۳۳۳ فوت دارد. با نزدیکتر شدن به ساختمان، دومین بخش آن متشکل از مجموعه ای از خطوط منحنی که به آرامی اوج می گیرند دیده می شوند و در داخل سومین بخش آن، ترکیبی از فضا و رنگ، آبی روشن ، طلایی و قرمز و ارغوانی سایه دار دیده می شود که به نظر می رسد گنبد روی گردنبندی از گوی های شیشه ای کوچک قرار گرفته است.

" ناشر،مجله میلواکی"



ا

ین کلیسا (۱۹۵۶:میلواکی، مهندس معمار : فرانک لوید رایت) یکی از آخرین ساختمان های رایت ، دارای وسعت زیاد و ۶۷۰ محل نشستن در جایگاه اصلی می باشد.گنبد با پوسته نازک بتنی مسلح در پایه ، قطری برابر ۹۴ فوت (۲۸/۶ متر) دارد و کاملاً توخالی است. بخش منحنی با شعاع ۱۹۷ فوت (۶۰ متر) فقط ۱۱ فوت (۳/۳) ارتفاع در بالای پایه دارد ، ضخامت سازه ای پوسته از ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) تا ۴ اینچ (۱۰۰ میلیمتر) در لبه ها افزایش یافته که برای مقاومت در برابر رانش بیرونی به عنوان حلقه کششی عمل نماید. گنبد با یک لایه عایق ۳ اینچی (۷۵ میلیمتر) که روی بتن پاشیده شده، پوشانده شده است. پوشش نهایی کاشی آبی رنگ به ضخامت ۱۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) است. کناره پوسته ، روی یک ساقه کوتاه عمودی قرار گرفته است که با پنجره های قوسی شکل برای دسترسی به نور طبیعی باز شده است.ساقه گنبد روی محیط یک گنبد ثانویه که کف تراس را شکل می دهد ،نگاه داشته می شود.این بخش در اطراف مسلح گردیده و مانند یک حلقه کششی عمل می نماید(باز هم با هدف مقاومت در برابر نیروی رانش بیرونی). این گنبد واژگون روی ۴ دیوار باربر با منحنی مقعر و ستون هایی که تراز جایگاه در طبقه همکف را محصور کرده اند و پلکان دسترسی به تراس قرار گرفته است،تمتمی این مجموعه تا پی امتداد یافته است.

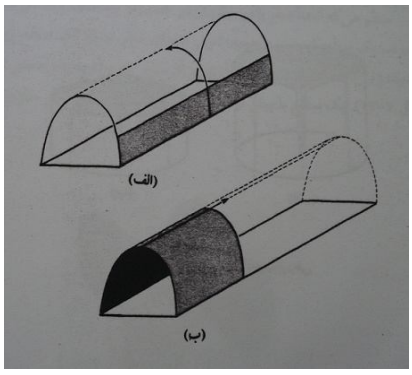


مصلی بزرگ اصفهان

یکی از سازه های پوسته بتن در ایران است.با زیر بنای ۱۵۰هزار متر مربع

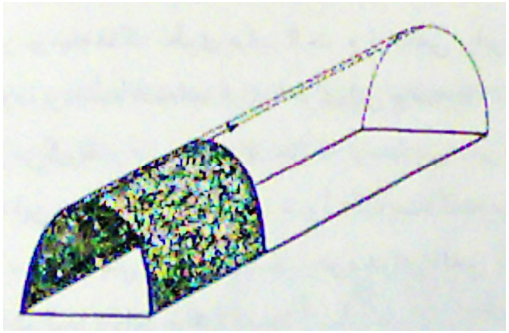
پوسته های قابل توسعه

پوسته های گهواره ای قابل توسعه هستند(از طریق یک سطح خمیده شکل می گیرند)، فقط در یک جهت دارای انحنا می باشند و از دوران یک خط منحنی در طول یک مسیر مستقیم شکل می گیرند. اغلب اشکال نیمدایره و سهمی در آنها به کار می روند. به علت قابلیت مقاومت کششی رفتاری متفاوت با طاق های استوانه ای دارد.بنابراین می توانند فقط در گوشه ها دارای تکیه گاه باشند. این پوسته ها در جهت طولی و در جهت انحنا دهانه را می پوشانند(به یاد آورید به علت اینکه طاق های استوانه ای مقاومت کششی ندارند ، احتیاج به تکیه گاه ممتد در طول هر پایه دارند).



رفتار سازه ای

رفتار سازه ای طاق های استوانه ای به طور قابل توجهی با تغییر طول نسبی آنها تغییر می کند. در پوسته های استوانه ای کوتاه،ابعاد پلان در جهت محور طولی کوتاه تر می باشد، در حالیکه در پوسته های استوانه ای بلند،ابعاد پلان در همان جهت بیشتر می باشد.

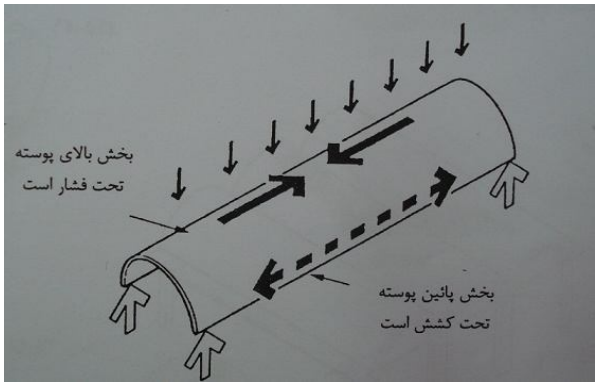


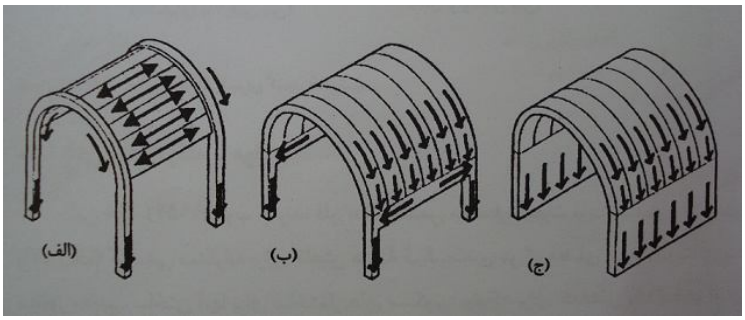
پوسته های استوانه ای کوتاه

این نوع از پوسته ها معمولاً در گوشه ها، دارای تکیه گاه می باشند و در یکی از دو جهت عمل می کنند(یا ترکیبی از هر دو جهت). اولین روش آن است با پوسته ای که به عنوان دال عمل کرده و فاصله بین قوس ها را می پوشاند،هر انتها را می توان به وسیله یک قوس،سخت و مقاوم نمود. دومین روش برای آنکه لبه طولی پایینتر به وسیله یک تیر سخت شود آن است که از پوسته های نازکتر که مانند مجموعه ای از قوس های مجاور هم رفتار کرده و فاصله بین تیرهای کناری را می پوشانند، استفاده نمود. به علت حداقل ضخامت لازم برای اجرا و ساخت(و تامین دستورالعمل های لازم) پوسته های گهواره ای کوتاه به علت نیازهای سازه ای غالباً تحت شرایط مختلف کارا نبوده و به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند.

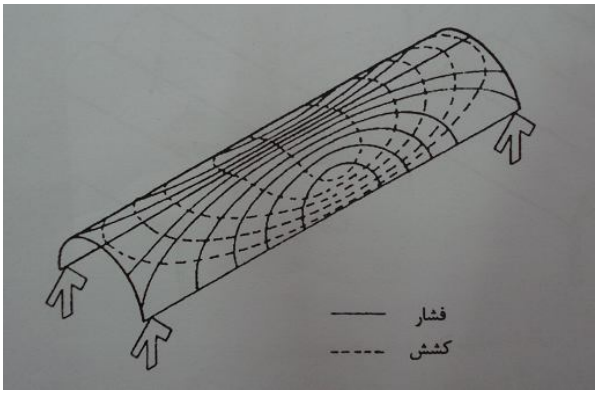
پوسته های استوانه ای بلند

این پوسته ها معمولاًدر گوشه ها دارای تکیه گاه می باشند و مانند تیرهای بزرگ در جهت طولی عمل می نمایند. در نتیجه تنش ها در این گونه پوسته ها مشابه تنش های خمشی در یک تیر می باشد، بخش بالایی در سرتاسر طول پوسته تحت فشار است در حالیکه بخش پایین تحت کشش می باشد.





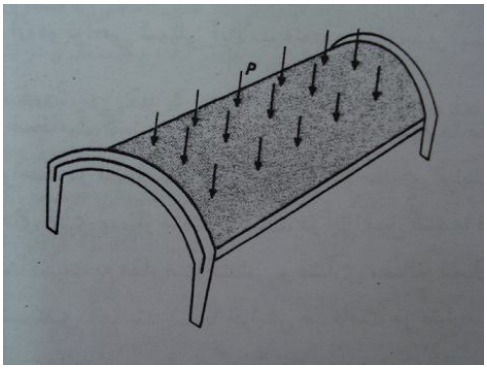
عملکرد دیافراگم در پوسته نازک مقاومت لازم در برابر برش عمودی و افقی درونی در رفتار خمشی را فراهم می سازد.



نسبت دهانه به ارتفاع در پوسته های استوانه ای بلند بر روی مقدار تنش تاثیر داشته و آن را افزایش می دهد. همچنین افزایش این نسبت میزان پوشش در دهانه های بزرگ را افزایش می دهد. نسبت کم دهانه به ارتفاع فشار تحتانی را کاهش داده و نیروهای کششی در بالا امکان استفاده از پوسته با ضخامت کمتر را فراهم می سازد. به عبارت دیگر، با افزایش نسبت دهانه به ارتفاع به سطح بیشتری با همان دهانه مورد نیاز است. در تئوری، بهترین نسبت دهانه به ارتفاع در حدود ۲است که حداقل مجموع حجم بتن و فولاد تقویتی را نیاز دارد. در عمل، نسبت های بین ۶ تا ۱۰ به سبب ملاحظات فنی و حداقل ضخامت مورد نیاز و با توجه به قوانین ساختمانی یا ساختمان های ساخته شده، معمول تر است.

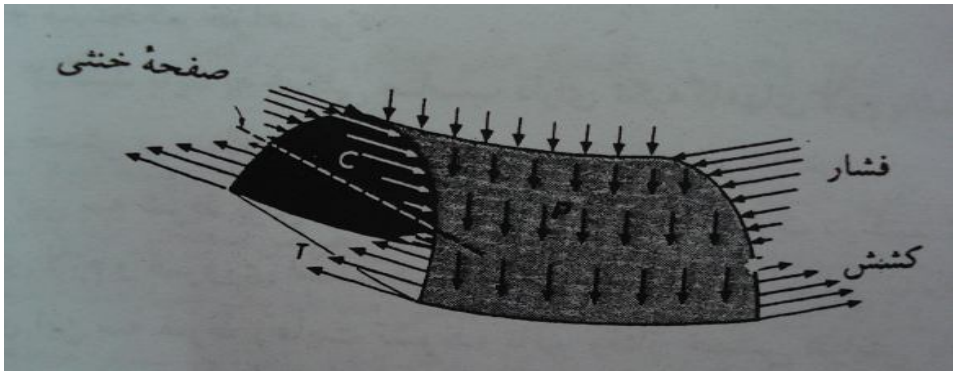
این قابها در صفحه عمودی خود سخت ولی در جهات عمود بر آن انعطاف پذیرند. رفتار آنها را می توان بصورت ترکیبی از زفتار تیرها در جهت طولی و رفتار قوسی ـ طنابی خاصی در جهات عرضی در نظر گرفت.

تنش های غشایی طولی در یک استوانه طویل (استوانهای که طولش حداقل ۳ برابر عرضش است)مشابه تنشهای ایجاد شده در یک تیر

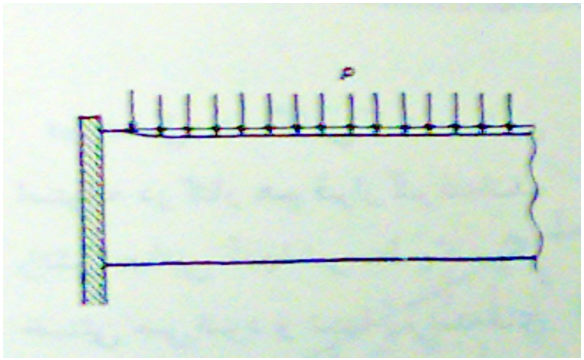


است. پوسته های نازک استحکام خود را مدیون انحنای خود هستند. می توان یک سطح استوانه ای را به صورت یک تیر با مقطع منحنی تصور کرد. تنش های غشایی طولی در عمق استوانه بطور خطی توزیع می شوند. تارهای بالایی تحت فشار و تارهای پایینی تحت کشش قرار می گیرند.

تنشهای قوسی فشاری عرضی در بخش بالایی استوانه ایجاد می شود و بتدریج با حرکت به سمت لبه های طولی آن کاهش می یابد. تنشهای فشاری قوسی در مجاورت سخت کننده های استوانه ای خمش ایجاد می نمایند. فشارقوسها باعث کوتاه شدن تارهای عرضی

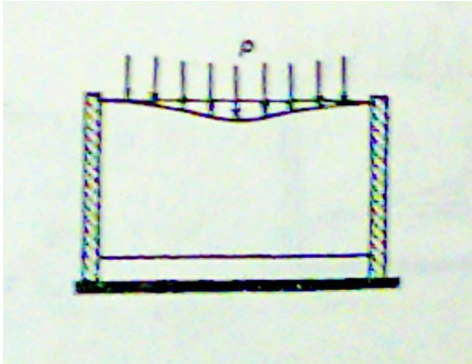


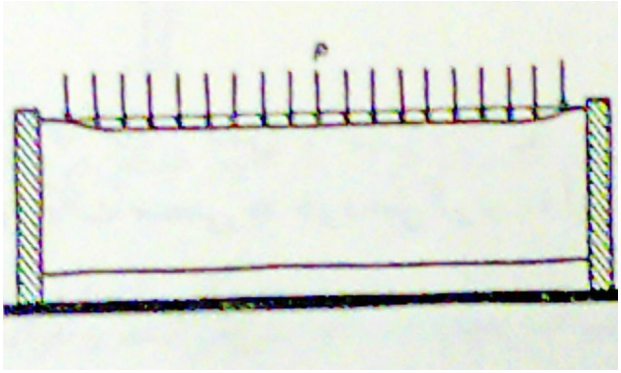
استوانه و تغییر مکان داخلی مقطع استوانه می شوند.



این جابجایی در وسط دهانه به راحتی صورت می گیرد، اما در انتهای پوسته استوانه ای توسط سخت کننده ها مهار می شود. این سخت کننده ها در سطح خود سخت هستند. با وجود امکان جابجایی وسط دهانه ، به منظور جلوگیری از تغییر مکان های ناحیه مجاور سخت کننده ها به سمت داخل،پوسته باید خم شود ، در نتیجه تنش های خمشس در اطراف سخت کننده ها ایجاد می شوند.

این اختلال در خمش از همان نوعی است که در مرزهای گنبد دواری ایجاد می شود که از تغییر مکان رو به خارج آن توسط حلقه سخت جلوگیری شده است. اختلالات خمشی در محل قطعه سخت کننده به سرعت کاهش پیدا می کنند و در نتیجه فقط در یک فاصله کوتاه از پوسته استوانه ای بوجود می آیند. پهنای نوارهای طولی که تحت اثر اختلالات خمشی هستند مجدداًبستگی به ریشه دوم نسبت ضخامت به شعاع دهانه دارد.تغییر مکان های خمشی به صورت قسمت های برآمده و فرورفته هستند که به سرعت محدود می شوند. در پوسته های استوانه ای از بتن مسلح تنشهای خمشی در لبه های سخت کننده ها اغلب با یک تقویت موضعی در ضخامت پوسته جذب می شوند.



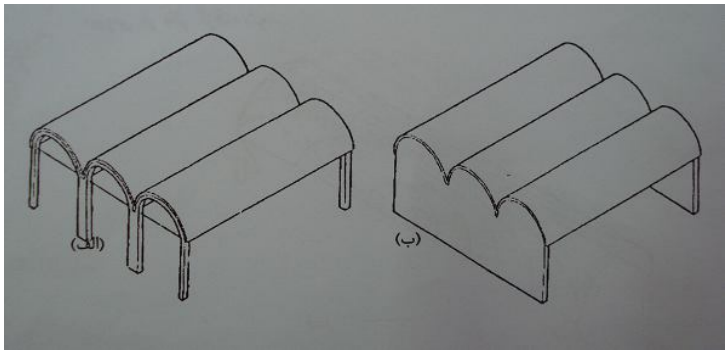


بنابراین در استوانه های کوتاه اختلالات خمشی بر سطح بزرگی از کل پوسته مورد نظر اثر می کنند. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت که در استوانه های کوتاه بارها مستقیماً با عمل خمشی نوارهای طولی پوسته به سخت کننده ها منتقل می شوند. زیرا که ضخامت پوسته حتی اگر نسبت به شعاع آن کم باشد،در مقایسه با دهانه کوتاه بزرگ جلوه می کند. در حقیقت از آنجا که استوانه کوتاه، یک سازه مقاوم دو بعدی است، نحوه انتقال بار در آن بسیار شبیه صفحه است. این پوسته ها بار را مستقیماً به دو سخت کننده منتقل می نمایند و لزوماً تنشهای خمشی را بر روی بخش عمده ای از سطح خود ایجاد می کنند.

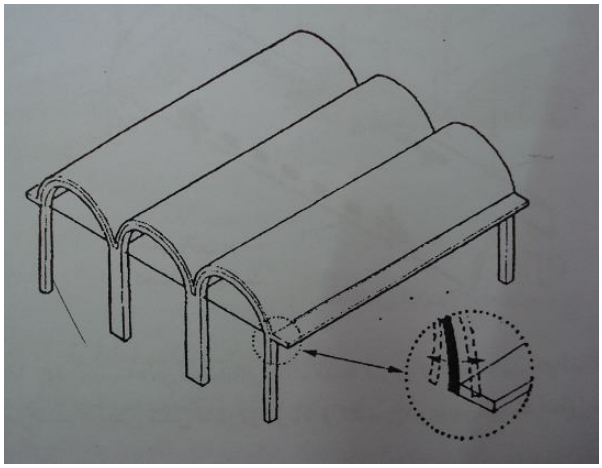
شرایط لبه ها

به منظور تامین رفتار سازه به عنوان پوسته واقعی (فقط تحت کشش و فشار، بدون خمش ناحیه ای)، لازم است سختی پوسته در دو انتها و لبه های طولی با مقاومت در برابر رانش بیرونی در نظر گرفته شود.

همچنین باید است لبه هر پوسته به منظور ثابت ماندن شکل ان تحت شرایط بارگذاری به غیر از فرم منحنی طنابی گیردار شود. این امر معمولاً از طریق سخت کردن هر دو لبه با افزایش ضخامت آنها در محل اتصال به قوس ها یا ستون های تکیه گاهی و اضافه کردن میله های مهار برای مقاومت در برابر رانش جانبی یا به وسیله استفاده از دیوارهای باربر انتهایی حاصل می شود(که تکیه گاه عمودی را فراهم می سازد و انتهای پوسته در شکل خود باقی می ماند و مانند دیوارهای برشی برای مقاومت در برابر نیروی رانش بیرونی رفتار می نماید).



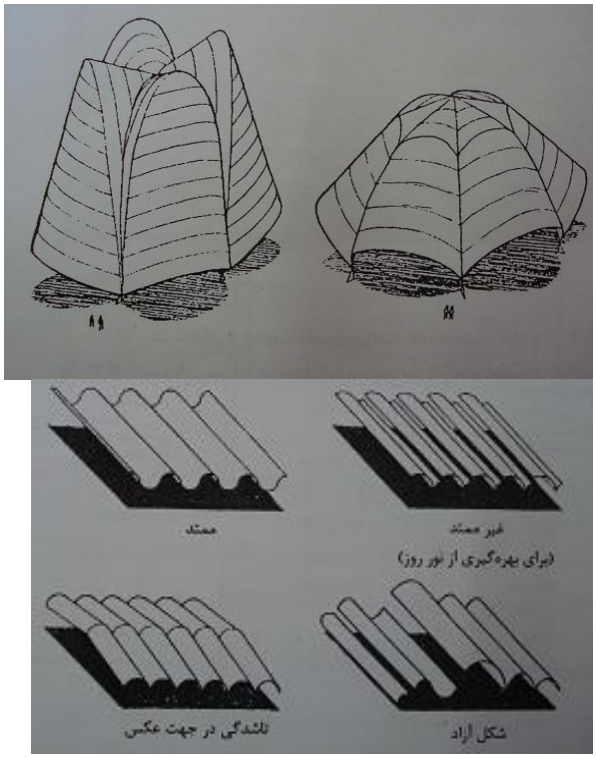
رفتار قوس در پوسته استوانه ای در امتداد طول آن (نه فقط در لبه ها) اتفاق می افتد. در نتیجه، رانش بیرونی در سراسر طول آن گسترش می یابد.هنگامی که پوسته در چندین دهانه تکرار شود، نیروهای رانش بیرونی در پوسته های مجاور، یکدیگر را متعدل می نمایند،فقط دو انتهای آزاد در اولین و آخرین پوسته احتیاج به مقاومت رانشی دارد. رفتار دیاگرام پوسته مانند یک تیر باریک برای انتقال رانش به تکیه گاه های انتهایی رفتار می نماید.سخت کننده ها هم مانند بال تیر که مقاومت جانبی لازم برای ممانعت لبه پوسته از خمش را فراهم می سازد عمل می کنند. در این مورد معمولاً از یک سخت کننده عرضی عمود بر پوسته استفاده می گردد.



انواع پوسته های استوانه های

پوسته های استوانه ای و مخروطی می توان قالب گرفت(با انحنا در یک جهت). به علاوه ، طاق های متقاطع هم ممکن است مورد استفاده قرار گرفت.

- غیر ممتد
- ممتد
- شکل آزاد
- تاشدگی در جهت عکس

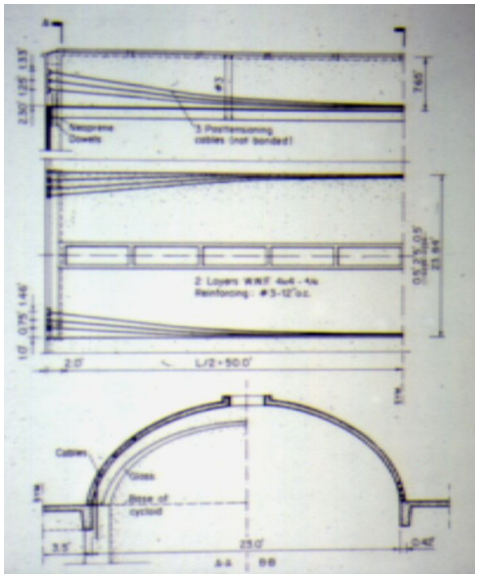


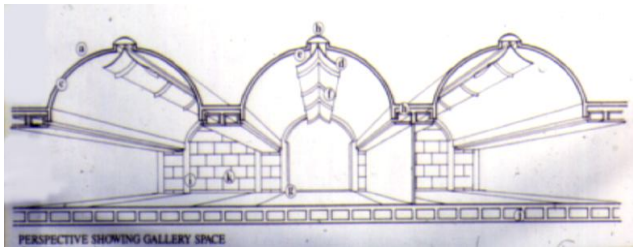
مطالعات موردی پوسته های استوانه ای

موزه کیمبال Kimball Museum

این موزه (۱۹۷۲:فورث ورث،تگزاس، مهندس معمار:لویی کان ، مهندس سازه : آکامدانت) مجموعه ای با استفاده از سازه پوسته های استوانه ای و کوششی برای پخش نور جهت ایجاد یک اثر واضح و روشن و بی انتهای معماری است.

سازه مسقف متشکل از ۱۴ پوسته استوانه ای است که دهانه ای به ابعاد ۱۰۰×۲۳ فوت (۳۰/۵ ×۷ متر)را می پوشاند. دو عدد از این پوسته ها به شکل سایبان روی پیاده رو قرار گرفته اند. پوسته ها در مقطع به شکل منحنی شبه دایره هستند(مشابه نیمه بیضی ، شبه دایره منحنی است که به وسیله چرخش یک نقطه روی دایره دوران یافته بر روی یک خط مستقیم به دست می آید. مشابه یک نیمه بیضی، قوس در خط چشمه به صورت مستقیم می باشد). ضخامت پوسته ۴ اینچ (۱۰ سانتیمتر) است که به طور عمده به وسیله محدودیت های آیین نامه ای ملزم گردیده است و فضای لازم برای تقویت پوسته را فراهم می سازد. عایق بام و پوششی مسی ، روی پوسته را فرا گرفته است. تکیه گاه ها در این ساختمان ستون های گرد بتنی و دیوارهای غیر باربر می باشند که در داخل با سنگ مرمر سفید، چوب و در خارج با سنگ مرمر سفید پوشیده شده اند.



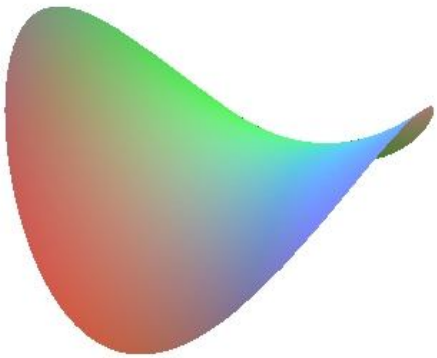


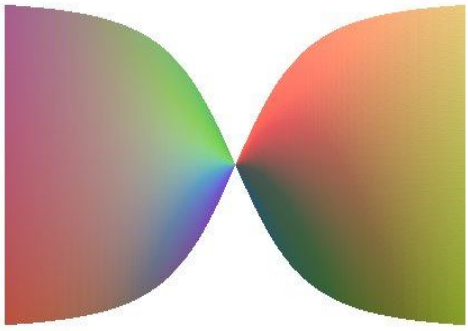
اکثر پوسته ها با یک پنجره سقفی به عرض ۳ فوت (۹۱ سانتیمتر) در محل مرکز پوسته بریده شده اند. نیروهای فشاری دو طرف پوسته در عرض شکاف به وسیله ۱۱ جدا کننده بتنی (که برای جدا نگه داشتن دو قسمت به کار می روند) منتقل می شوند. رفتار دیافراگمی بخش بالایی پوسته مانند یک تیر افقی برای پوشاندن دهانه مابین فواصل رفتار می نماید. ضخامت پوسته در اطراف بازشوها برای ایجاد پایداری بیشتر افزایش یافته است.

لبه های پایین تر پوسته به شکل کانال از جنس بتن، بین پوسته های مجاور سخت شده اند. این که پوسته ها مانند قوس هایی که فقط دهانه هایی با عرض ۲۳ فوت (۷ متر) را می پوشانند و روی کانال هایی که رفتاری مانند تیر دارند و تمامی بار وزن سقف با دهانه ۱۰۰ فوت (۳۰/۵ متر) را حمل می نمایند، تصوری غلط است (اگر کانال به عنوان قالب باشد،باید ارتفاع آن افزایش یابد). در واقعیت ، پوسته ها، سازه اصلی هستند و کانال هایی را فقط برای سخت کردن لبه پوسته ها در برابر خمش به کار می روند را نگاه می دارند.

پوسته های بتنی به وسیله سه کابل فولادی زنجیرواره درون هر قسمت در بخش پایینی پوسته ها علاوه بر میلگردهای فولادی مرسوم پس کشیده شده اند. پوسته ها در انتها برای ایجاد قوسهای سخت کننده ضخیم گشته اند. یک نوار شیشه ای باریک این قوس ها را از دیوارهای انتهایی زیر آن جدا می سازد که تاکیدی بر غیر باربر بودن دیوارها می باشد.

پوسته های زین اسبی



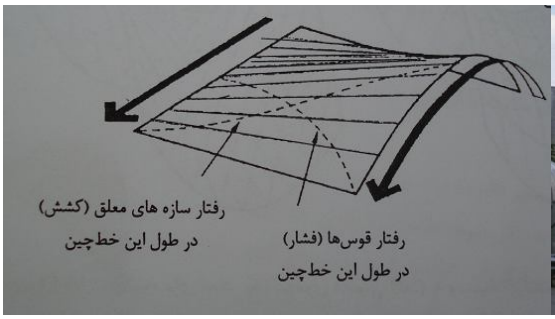


پوسته های آنتی کلاستیک (Anticlastic) فرم های زین اسبی با انحنای متفاوت در هر جهت می باشند. آنها شامل اشکال مخروطی، سهموی هذلولی و شبه هذلولی می باشند. همچنین دارای فرم های گونیایی نیز هستند، زیرا خطوط مستقیم می توانند روی سطح خود ادامه یابند.

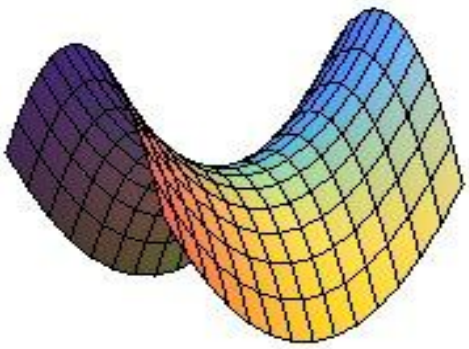
بطور عکس با حرکت یک خط مستقیم می توان یک سطح ایجاد کرد. تناقض آشکار در یک سطح با انحنای مضاعف که به وسیله خطوط مستقیم ایجاد شده است، پوسته های زین اسبی را از نظر بصری جالب و برای قالب گیری آسان می ساز

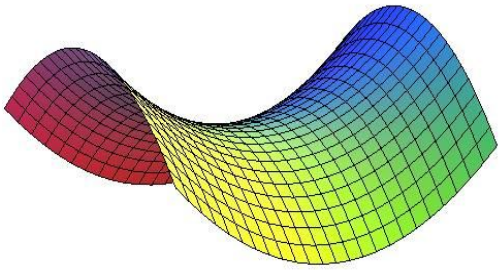
ایجاد سطح

مخروط به وسیله حرکت رفت و برگشت یک طرف خط مستقیم در طول یک مسیر منحنی به وجود می آید(معمولاً یک قوس مدور یا یک سطح سهمی) و حرکت رفت و برگشت انتهای دیگر در طول یک خط مستقیم یا یک منحنی با خیز بیشتر.

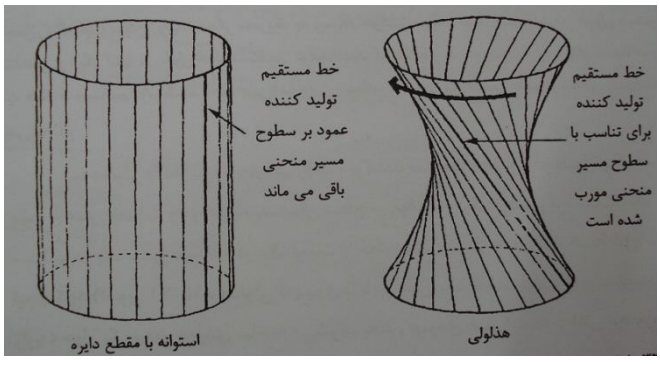


شبه هذلولی ها (هایپار) با حرکت رفت و برگشت سهمی محدب در طول یک سهمی مقعر با همان انحنا به وجود می آیند. همان سطح می تواند با حرکت رفت و برگشت یک خط مستقیم در یک مسیر مستقیم در یک سمت و خط مستقیم دیگر(نسبت به خط اول، مایل) ایجاد شود.



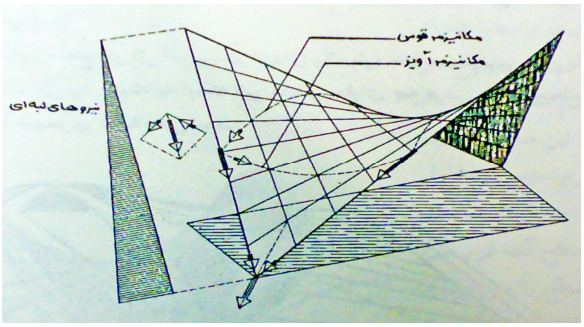


هذلولی سهموی ها با چرخش یک خط مستقیم (مورب تحت یک زاویه) حول یک محور عمودی ساخته می شوند. بخش عمودی عبور کننده از این محور، یک هذلولی _سهموی است.



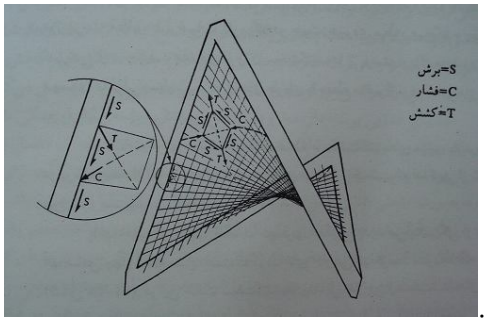
رفتار سازه ای

به طور معمول، تنش ها در پوسته های زین اسبی متناسب با جهت انحنا می باشند. برای سقف های پوسته ای، تنش های فشاری منتج از منحنی محدب می باشند(عملکرد قوسی)، در حالیکه تنشهای کششی منتج از منحنی مقعر می باشند(عملکرد آویز).



رفتار متداولترین پوسته زین شکل (پوسته سهموی ـ هذلولی) نشانگر میزان وابستگی عملکرد سازه ای آن به شرایط تکیه گاهی می باشد. وقتی تکیه گاه های پوسته دو قاب سهمی شکل یا دو سخت کننده باشند،پوسته بار را توسط عمل برش به تکیه گاه انتقال می دهد. عملکرد این پوسته شبیه به پوسته استوانه ای متکی بر سخت کننده ها است. اما انحنای رو به بالای آن در جهت طولی به پوسته مقاومت اضافی خصوصاً مقاومت در برابر کمانش می دهد. برای اینکه پوسته کمانش کند باید سهمی های با انحنای رو به پایین بطرف پایین کمانش کنند و مسطح شوند در حالیکه سهمی های با انحنای رو به بالا در برابر این تغییر شکلها مقاومت نشان می دهند زیرا این قسمتها، سهمی های تحت فشار را پایدار می سازد.

به راحتی می توان دید که حتی وقتی پوسته سهموی هذلولی بر خطوط مستقیمی که مولدهای آن هستند تکیه کند، جهت تنشهای اصلی در همان امتداد انحنای اصلی یعنی سهمی ها می باشد. از آنجایی که خطوط مستقیم هیچ انحنایی ندارند، در امتداد این خطوط تنش های کابلی یا قوسی نمی تواند ایجاد شود و این خطوط تنها با برش عکس العمل نشان می دهند. از این رو کشش در امتداد سهمی های رو به بالا باید با فشار در امتداد سهمی های رو به پایین ترکیب شود تا حالتی از برش خالص را در امتداد خطوط مستقیم



ایجاد کند.

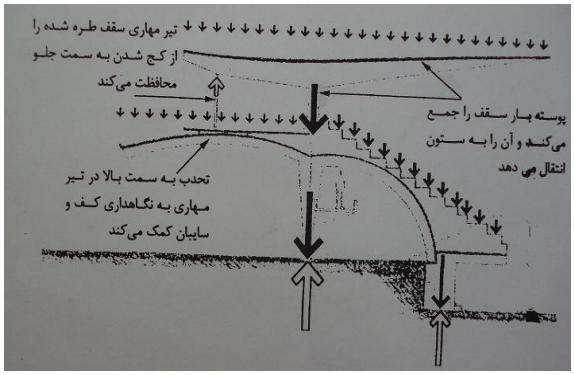
مطالعات موردی پوسته های زین اسبی

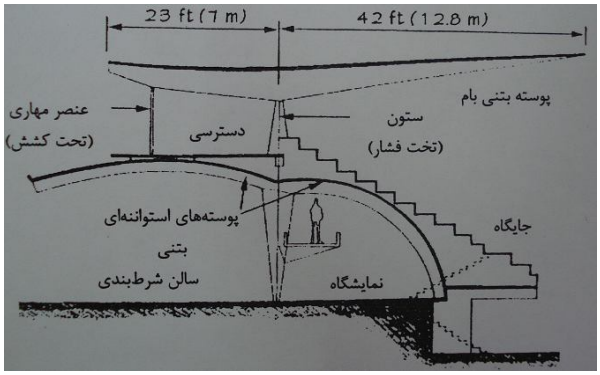
میـــــــدان اســـــــب دوانـــــــی زارزوئـــــــلا (ZarzuelaHippodrome)

این سازه پوسته ای (۱۹۳۵، مادرید، مهندس معمار و مهندس سازه: ئی تروجا) یکی از مشهورترین و زیباترین نمونه های کاربرد پوسته های چتری شبه هذلولی است. وضعیت طره ای آن امکان قرار گرفتن ستون های تکیه گاهی اصلی در پشت جایگاه را فراهم کرده و دید بصری باز و بدون ستونی از دور برای دیدن مسابقات را ایجاد می کند.

یک مجموعه ۳۰ عددی از پوسته ها، که در ۳ گروه (۱۲،۶،۱۲) شکل گرفته اند، به عنوان سایبان جایگاه ها به کار رفته اند. یک عضو مخروطی عمودی به دنبال هر چتر، کشش لازم برای ممانعت از کج شدن پوسته به سمت جلو را فراهم می سازد.

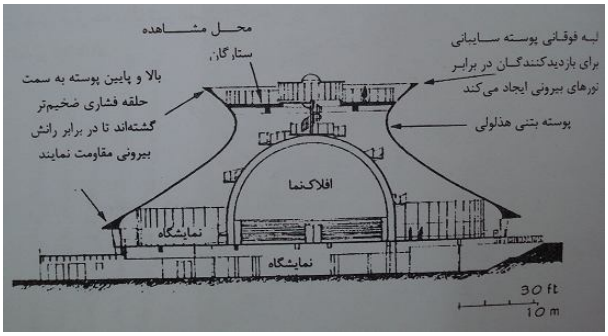
ابعاد دهانه پوسته ۱۶/۵ ×۶۵ فوت (۵×۱۹/۸ متر)، با طره ای برابر ۴۲ فوت (۱۲/۸ متر) روی جایگاه و ۲۳ فوت (۷ متر) در بالای بخش تفرجگاه پشتی می باشد. ضخامت پوسته از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر)در لبه های آزاد تا ۵/۵ اینچ (۱۳۷ میلیمتر) در تاج طاق ها روی تکیه گاه های اصلی متغیر است. تئوری پوسته ها در سال ۱۹۳۰ برای تحلیل این سازه ناکافی بود. در نتیجه، یک نمونه اولیه با مقیاس واقعی ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت تا هنگامی که ریزش کامل پیدا کرد. این آزمایش ثابت کرد این سازه ۳ برابر قویتر از میزان مورد نیاز برای تحمل شرایط بارگذاری طبیعی می باشد.این طرح به علت پایداری در چندین بمباران هوایی قابل ستایش می باشد(۱۹۳۶)،در طی جنگ داخلی اسپانیا ۲۶ بار مورد حمله قرار گرفت و ترک های گسترده ای به علت ارتعاشات انفجارات نزدیک به محل قرارگیری آن به وجود آمد. ولی از نظر سازه ای بی عیب باقی ماند و نیاز به میزان کمی ملات برای تعمیر خرابی ها داشت. سر ستون ها برای ایجاد حرکت به سبب تغییرات طولی در اثر تغییرات دما در پوسته ها در بالا و پایین باریک گردیده بود و به منظور تامین پایداری جانبی،تیرهای حجیم ستون ها را در نیمه ارتفاع آنها به هم متصل می نمودند(در تراز کف تفرجگاه).





افلاک نمای مک دانل Mc Donnell Planetarium

این ساختمان (۱۹۶۳: سنت لوئیز، مونتانا، مهندس معمار : هلموت، اوباتا و کاسابوم، مهندس سازه : آ آلپر) به وسیله یک پوسته شبه هذلولی از بتن مسلح به قطر ۱۶۰ فوت (۴۹ متر)، محصور شده است و یک فرم زین اسبی معمولی برای برج های خنک کننده دستگاه های اتمی به کار رفته است که به شکل نیمکره با قطری برابر ۶۰ فوت (۱۸/۳ متر) می باشد و هدف از طراحی آن فقط محصور کردن افلاک نما نبوده است.

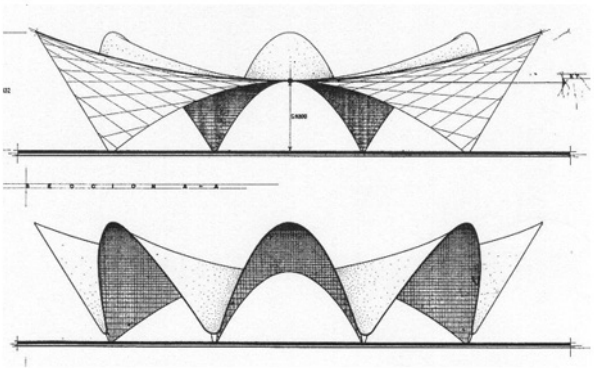


یک راهرو فضای اطراف گنبد افلاک نما را احاطه کرده که برای نمایشگاه و سیرکولاسیون به کار می رود. پلکان حلزونی شکلی از اطراف گنبد تا بخش سکوی مشاهده ستارگان در جایی که تلسکوپ ها برای استفاده در شب نصب شده اند، بالا رفته است. لبه بالایی پوسته تا تراز چشم امتداد یافته است. فضای دیگر نمایشگاه ها و همچنین دفاتر اداری و خدمات پشتیبانی در زیرزمین قرار گرفته اند.

ضخامت متوسط پوسته ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) است که در بالا و پایین حلقه های کششی برای ایجاد مقاومت در برابر نیروی رانشی بیرونی در این دو نقطه ضخامت آن افزایش می یابد. حلقه پایینی با ۳۶ عدد زبانه (وتر) پس کشیده تقویت شده است و به عنوان یک تیر حلقوی که دهانه های بین ۱۲ ستون را می پوشاند، به کار می رود. سطح بیرونی کل پوسته پیرامونی از ترکیب پلاستیک ضد آب است و داخل آن عایق بندی شده و با اندود گچ پوشانده شده است.

رستوران لس مانانتیالیس Los Manantiales

مشابه قوس ها،پوسته ها هم می توانند برای ایجاد شکل های متقاطع با هم برخورد داشته باشند. این رستوران (۱۹۵۸ : گزوچیمیلکو، مکزیک ، مهندس معمار : جی و اف اوردونز، مهندس سازه : اف کاندلا) شاید بزرگترین موفقیت کاندلا در طراحی پوسته ها ، طاق های متداخل هشت ضلعی متشکل از چهار هایپار متقاطع می باشد. فرم زیبا و معمارانه آن بر روی یک سطح با قطر ۱۵۰ فوت (۴۶ متر) گسترده شده است.



از آنجایی که لبه های نازک و مورب پوسته به سطح زمین می رسند، منحنی قبل از اینکه دوباره به مسیر رفت و برگشتی خود بازگردد، بسرعت تغییر شکل می دهد. ارتفاع در مرکز ۱۹ فوت (۵/۸ متر) و در بالای لبه بیرونی به ۳۳ فوت (۹/۹ متر) می رسد (فابر ، ۱۹۶۳).

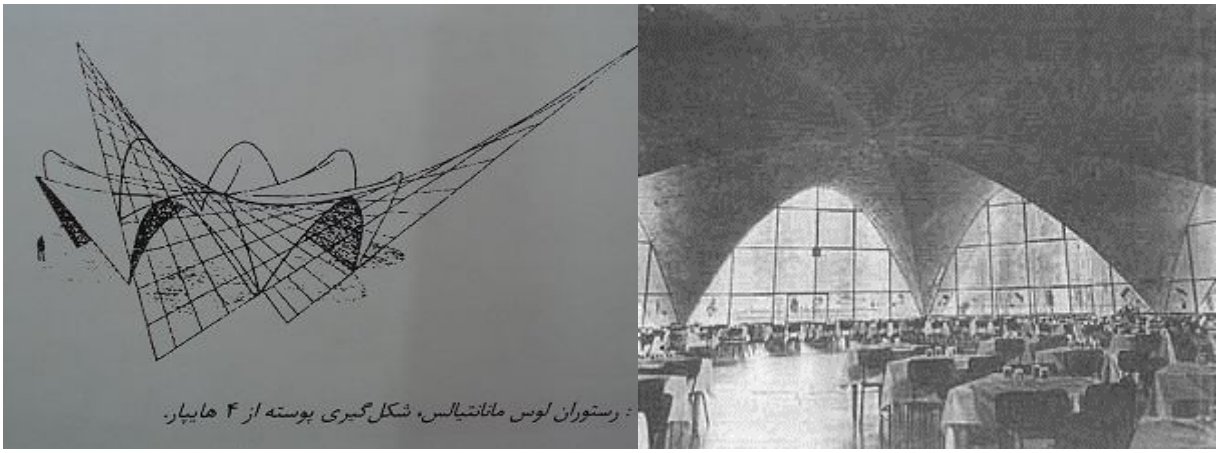
سازه این ساختمان عملکرد قوسی داشته و نیروی فشاری به متابعت از منحنی محدب در محل های تقاطع (خط القعرها) جمع می شوند، جایی که با عملکرد قوسی به تکیه گاه ها منتقل شده اند. نیروی رانش بیرونی در پایه با عملکرد قوسی که به تکیه گاه

ها منتقل شده اند. نیروی رانش بیرونی در پایه با عملکرد قوسی که از طریق تیرهای مهار فولادی ایجاد می شوند در پی ها خنثی می گردند. در نتیجه، پی ها فقط بارهای عمودی را نگاه می دارند. طره ها به وسیله ترکیبی از قوس محدب و آویز مقعر در طول خط الراس نگاه داشته می شوند پوسته با ضخامت متفاوت از ۱۰/۶ اینچ تا ۱/۲ اینچ (۱۷ میلیمتر تا ۳۴ میلیمتر) به طرز شگفت آوری نازک می باشد و تمامی آن به وسیله شبکه فولادی به قطر ۰/۳ اینچ (۸ میلیمتر) به اضافه دو میله فولادی اضافی به قطر ۰/۶۳ اینچ (۱۵ میلیمتر)در اطراف پوسته تقویت گردیده است . تیرهای مهاری ، پی متشکل از ۵ میله فولادی به قطر ۱ اینچ (۲۵ میلیمتر) می باشند.

پوسته های نا منظم (بی قاعده)

طاق های سنتی که بارهارا فقط به وسیله تنش های فشاری نگاه می دارند، با فرم های منحنی طنابی که مستقیماً به شرایط بارگذاری

پاسخ می دهند، محصور شده اند. توانایی پوسته ها برای مقاومت کششی امکان ایجاد فرم های آزادتری را فراهم می نماید، مادامی که اغلب پوسته ها در محاسبات عددی سطوح ایجاد شده که در بالا توضیح داده شد متفاوت می باشند، پوسته های نا منظم (فرم آزاد) می توانند جهت پاسخگویی به حس زیبایی شناسی و ملاحظات کاربری و عملکردی طراحی شوند و باز هم از لحاظ سازه ای رضایت بخش باشند. به طور معمول ، چنین فرم هایی در عباراتی از فرم های پوسته های غیر منظم (بی قاعده) شکل گرفته اند، درک شده اند و تحلیل گردیده اند.



رستوران لوس مانانتیالس، شکل‌گیری پوسته از ۴ هایپار.

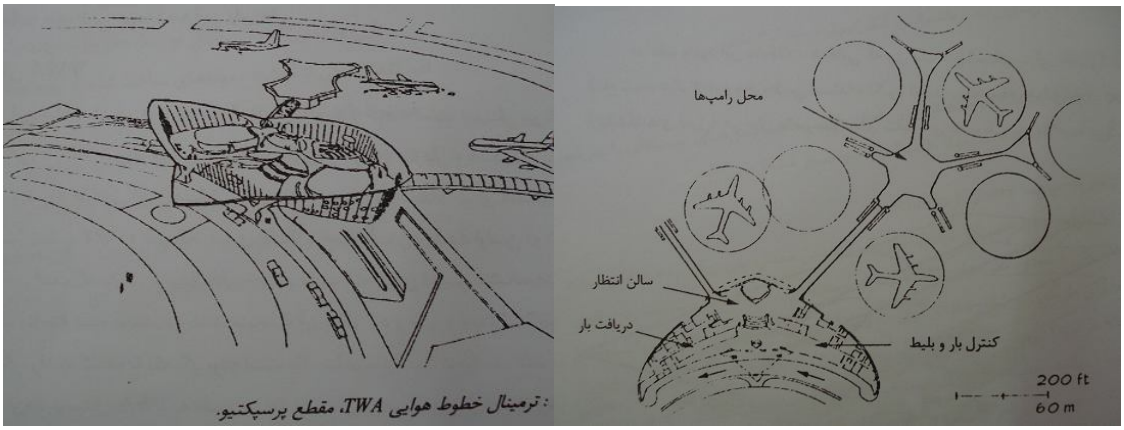
مطالعات موردی پوسته های نامنظم

ترمینال TWA

این ساختمان در فرودگاه بین المللی کندی قرار گرفته است، ترمینال بین المللی حمل و نقل هوای (۱۹۶۲: نیویورک ، مهندس معمار: اروسارنین و همکاران ،مهندس سازه : آمان و ویتنی).

یک ساختمان نسبتاً کوچک در قلب مجموعه ای از ساختمان ها ، ترمینال TWA به طور ساده جذاب ترین ساختمان از لحاظ بصری می باشد (ناشر ۱۹۶۲،۱۹۵۸)

ساختمان اصلی شبیه به پرنده ای بزرگ که آماده پرواز می باشد، متشکل از ۴ پوسته بتنی است که روی چهار ستون Y شکل قرار گرفته اند . هر پوسته از پوسته دیگر به وسیله یک ردیف از پنجره ها جدا شده است. دو پوسته طاقی بزرگتر از روی اعضای تکیه گاهی بلند شده اند. پوسته های مجاور و کوچکتر برای امکان حرکت رفت و برگشت پوسته های بزرگتر ، پایین تر قرار گرفته اند.
در مجموع آنها مجموعه ای زیبا از ۷۰۰ تن (۶۳۵ تن متریک) فولاد و ۴۰۰۰ یارد مکعب (۳۰۵۸ متر مکعب) از بتن سبک می باشند. ضخامت بام از ۷ اینچ (۲۲۵ میلیمتر) در کنار تیرهای کناری تا ۱۱ اینچ (۲۸ سانتیمتر) در طول تاج تا ۴۰ اینچ (۱ متر) در محل اتصال چهار بال ساختمان متغیر می باشد.
در محل پشت بندها ضخامت سقف به حدود ۳ فوت (۹۱۴ سانتیمتر) می رسد. در چهار منطقه انتقالی ، جایی که تقویت های فولادی برای بار مرده ۶۰۰۰ تنی (۵۴۴۲ تن متریک) سقف به پشت بندها کافی می باشند،میله های فولادی به قدری نزدیک بودند که باید یک نظم و ترتیب مشخص برای تقاطع میلگردها پیروی می شد تا گروه میلگردها بتوانند در مقطعی به عرض ۱۳۵ اینچ (۸۹ سانتیمتر) قرار گیرند. این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که در این طرح در ابتدا زیبایی شناسی نسبت به ملاحظات سازه ای ارجحیت داشته است. به همین علت ضخامت پسته ها و ارتفاع تیرهای کناری در مقایسه با این نوع سازه ها نسبتاً زیادمی باشد



ترمینال خطوط هوایی TWA، مقطع پرسپکتیو.

پیمانکار نقشه ها را به نقشه های لازم برای اجرای قالب بندی تبدیل کرد. یک سیستم داربست خاص برای ایجاد سطوح منحنی مرکب برای شکل دادن با اختلافی کمتر از ۰/۲۵ اینچ (۶ میلیمتر) به نقشه های معماری مورد استفاده قرار گرفت.
اگر مشابه این پروژه امروزه ساخته شود، نقشه های ساخت به طور مستقیم از مدل های سه بعدی کامپیوتری به دست می آیند، ولی پیچیدگی قالب بندی و تعداد کارگران نصب آن باقی می مانند. تمامی اینها عواملی هستند که طراحی و ساخت چنین ساختمان هایی را مشکل می سازند و دلیلی بر اینکه پوسته ها با وجود زیبایی که در ساختمان ترمینال TWA دارند، هنوز ناشناخته باقی مانده اند.

هاینس ایسلر Heinz Isler

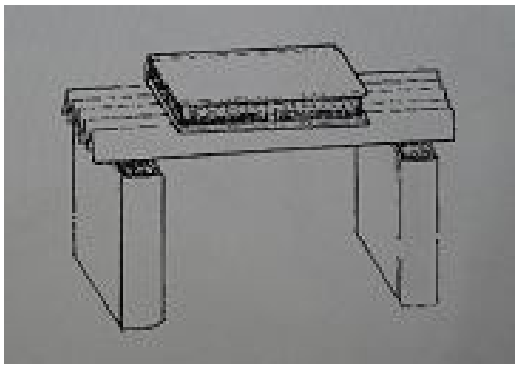
یکی از پیشگامان استفاده از پوسته ها ، مهندس سوئیسی " هاینس ایسلر " می باشد. شیوه وی در طراحی استفاده از نمونه فرم منحنی طنابی، متشکل از یک پوسته معلق که سپس سخت شده و معکوس گردیده برای تعیین شکل بهینه یک گنبد پوسته ای نازک بوده است. تجربیات اولیه ایسلر (در سال ۱۹۵۵)استفاده از پارچه های مرطوب آویزان فرم های زنجیرواره بیرونی که در زمستان امکان یخ زدگی را فراهم می نمود، سپس وارونه کردن آن و مطالعه شکل به دست آمده است. مطالعات اخیر استفاده از پوسته های همگرا (با طول و خصوصیات سختی برابر در تمام جهات) و سخت کردن آنها با رزین (صمغ) می باشد.

با وجود آنکه این قانون به خوبی فهمیده شده است (و در شروع قرن جدید به وسیله آنتونیو گائودی برای تعیین شکل نمازخانه کولونیا گوئل به کار رفته)، تکنیک های دقیق ایسلر، وی را به فهمی وسیع تر از شرایط لبه ها و فرم های ایده آل برای حل آنها راهنمایی کرده اند. بنابراین، مادامی که لبه های پوسته ها در طرح های ایسلر از یک هندسه ساده نشات می گیرند، آنها به طور کامل سازگار با تنش های موجود در لبه های پوسته می باشند. پوسته های بسیار نازک تحت شرایط بارگذاری بیشتر، فقط تحت فشار باقی می مانند و هیچ گونه ترک های کششی در اکثر پوسته ها دیده نمی شود. در نتیجه،این پوسته های زیبای سقف از آسیب دیدگی مصون باقی می مانند.

آرماتوربندی پوسته های نا منظم

سازه های ورق تا شده

است فاده از سطوح نازک و تخت برای تحمل نیروها به ساختمان هایی با مقیاس کوچک محدود می شود. سختی و مقاومت این سطوح را می توان به وسیله تا کردن آنها که ارتفاع موثر مقطع و در نتیجه مقاومت خمشی را افزایش می دهد، زیاد کرد.



سازه ورق تا شده سطح تا شده ای است که بارها را به وسیله کشش، فشار و برش و خمشی که فقط در بین بخش هایی تاشده سطوح اتفاق می افتد به تکیه گاه منتقل می دهد. از آنجا که فضای بین بخش هایی تاشده در مقایسه با دهانه کوچک می باشد، نیروهای خمشی در دال در مقایسه با نیروهای کششی و فشاری کوچک می باشند. ورق های تاشده سازه هایی موثر با بازدهی سازه ای بالا می باشند(مانند سقف ها) جایی که بارگذاری

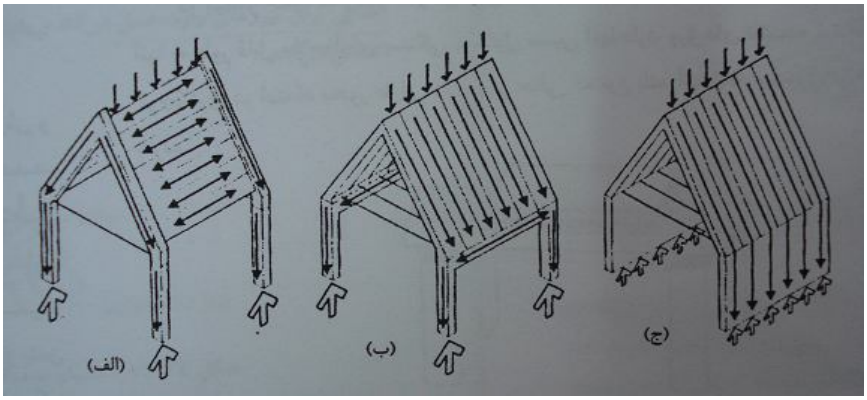
یکنواخت و گسترده است و استفاده از سطوح ناهموار در سقف مناسب و عملی می باشد. بیشتر این سازه ها از بتن مسلح ساخته می شوند.

کارایی ورق های تا شده با پوسته های منحنی برابر می باشد، ورق های تا شده نسبت به سازه های مسطح ترجیح دارند و مشابه پوسته های دارای انحنا، معمولاً به عنوان سازه سقف ها مورد استفاده می گیرند. در تئوری، این نوع سازه ها به دلیل نیاز به مقاومت در برابر خمش ناحیه ای بین بخش های تا شده نیاز به ضخامت بیشتر در مقایسه با پوسته ها دارند. در عمل ، حداقل ضخامت سازه های ورق تا شده به وسیله ضخامت لازم برای قرار گرفتن میلگردهای فولادی در بتن و برای تامین شرایط آئین نامه ها و مقررات ساختمانی تعیین می گردد.

رفتار سازه ای

در بیشتر جنبه ها رفتار سازه ای ورق های تاشده مشابه پوسته های استوانه ای است و رفتار آنها به طور قابل ملاحظه ای بستگی به طول نسبی آنها دارد. ورق های تاشده کوتاه اندازه های کوچکتری در امتداد محور طولی دارند، در حالیکه نوع بلند آنها ابعاد بیشتری در همان جهت دارند.

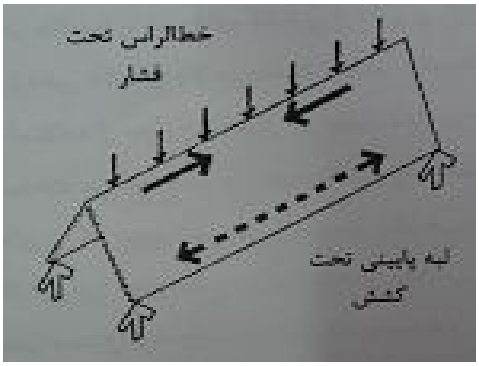
ورق های تاشده کوتاه



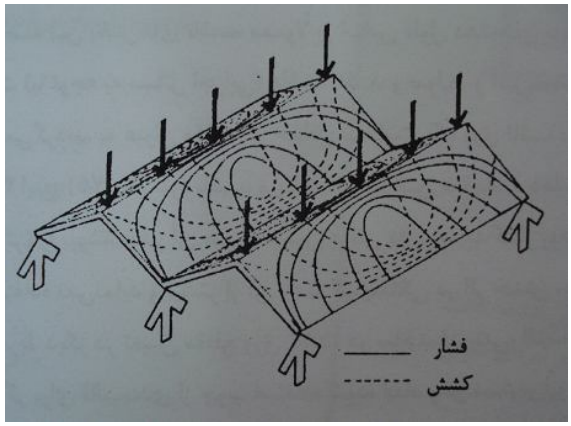
این سیستم هم مانند سیستم هایی که قبلاً توضیح داده شد در گوشه ها دارای تکیه گاه است و در یک جهت از دو جهت عمل می نماید (یا ترکیبی از هر دو). روش اول آن است که هر انتها به یک قاب سه مفصلی متکی شود و صفحات تاشده مانند دال هایی که فواصل بین قاب های کناری را می پوشانند عمل نمایند. روش دوم این است که در لبه های طولی پایین سقف از تیرهای مقاوم استفاده شود و ورق های تا شده نازکتر مانند مجموعه ای از قاب های سه مفصلی مجاور که فاصله بین تیرها را می پوشانند عمل نمایند. به علت ضرورت استفاده از حداقل ضخامت لازم برای ساخت و تامین شرایط آیین نامه ها و مقررات ساختمانی که بیش از نیازهای سازه ای برای ورق های تاشده کوتاه می باشد اکثر آنها بازدهی سازه ای موثری ندارند و بنابراین چنین شیوه ای به ندرت مورد استفاده قرار می گیرد.

ورق های تاشده بلند

این نوع ورق ها معمولاً در گوشه ها دارای تکیه گاه می باشند و مانند تیرهای بزرگ در جهت طولی نیروها را منتقل می نمایند. در نتیجه تنش ها در ورق تاشده مشابه تنش های خمشی در یک تیر می باشند، بخش بالایی در امتداد طولی تحت فشار می باشد، در حالی که بخش پایین تحت کشش است.



عملکرد دیافراگم در صفحه نازک مقاومت لازم در برابر برش درونی و عمودی ناشی از عملکرد خمشی را فراهم می نماید.



افقی

نسبت دهانه به ارتفاع در صفحات تاشده بلند بر روی گسترش تنش ها و همچنین بازدهی سازه ای پوشش یک سطح بزرگ اثر می گذارد. نسبت ارتفاع به دهانه پایین تر تنش های فشاری در بالا و تنش های کششی در پایین را کاهش می دهد و امکان استفاده از ضخامت کمتر را میسر می سازد. از سوی دیگر، با افزایش ارتفاع نیاز به سطح بیشتری از صفحات برای پوشش یک دهانه مشخص وجود دارد. در تئوری، نسبت مناسب ارتفاع به دهانه در حدود ۲ است که حجم بتن و فولاد تقویتی مورد نیاز در آن حداقل است. در عمل، نسبت بین ۶ تا ۱۰ به سبب ملاحظات فنی و حداقل ضخامت مورد نیاز تعیین شده به وسیله آیین نامه ها و مقررات ساختمانی یا تجارب ساخت بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.

شرایط یال ها (لبه ها)

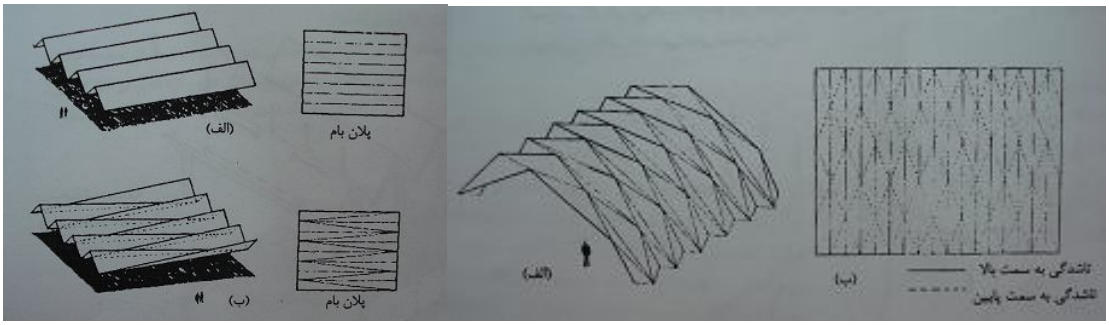
به منظور کنترل خمش باید فرم مقاطع طراحی شده را به وسیله سخت کردن هر دو انتها و لبه های بیرونی را نیز به وسیله تامین مقاومت در برابر رانش بیرونی ثابت نگاه داشت. لازم است لبه های ورق تاشده به منظور ثابت باقی ماندن فرم آنها تحت هرگونه بارگذاری محدود گردد. این امر به وسیله سختی بیشتر دو انتها از طریق ضخیم تر کردن آنها در محل اتصال قاب های سه مفصلی روی ستونهای تکیه گاهی و اضافه کردن میله های مهار برای ایجاد مقاومت جانبی یا با استفاده از دیوارهای باربر (که تکیه گاه عمودی را تامین می نماید و علاوه بر آن سبب ثابت باقی ماندن فرم دو انتهای پوسته شده و رفتاری مانند دیوارهای برشی برای ایجاد مقاومت در برابر نیروهای رانشی به سمت بیرون دارند) حاصل می گردد.

فرم بهینه مقطع

با افزایش ارتفاع ورق تا شده، مقاومت خمشی بیشتری در یک دهانه ثابت ایجاد می شود. بدین ترتیب، صفحات با شیب زیاد به علت کاهش نیروی فشاری و کششی در یال ها می توانند ضخامت کمتری داشته باشند. ولی این امر سبب افزایش سطح ورق تاشده برای پوشش یک سطح ثابت و معین می گردد.

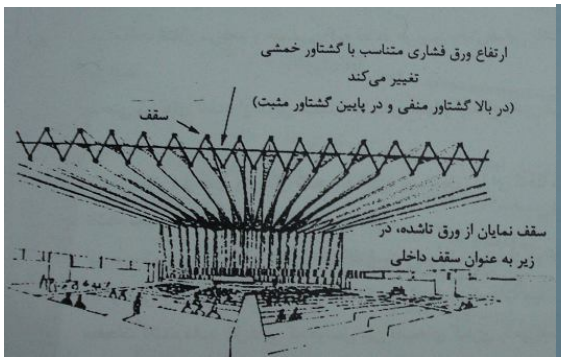
به طریق عکس، ورق های تاشده کم عمق از بازدهی بیشتری در اجرای پوشش برخوردارند ولی دارای تنش های بیشتری می باشند. یک شیب ۴۵ درجه از نظر تئوری سبب حداقل شدن مجموع مواد مورد نیاز می گردد، این ممکن است از طریق شرایط غیرسازه ای تعدیل گردد.

فاصله بین بخش های تاشده ، معمولاً بر اساس طول دهانه های مجاز که نیاز به حداقل ضخامت (با توجه به مسائل اجرایی) داشته باشند و ضوابط و آیین نامه ها و مقررات ساختمانی، تعیین می گردند. به عنوان مثال، اگر حداقل ضخامت یک ورق تاشده از بتن مسلح به صورت عملی ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) باشد و یک دال با این ضخامت دهانه ای به اندازه ۷۵ فوت (۲/۱ متر) را بپوشاند، در آن صورت همین عرض دال باید به کار رود(کمتر از آن از ظرفیت دال استفاده نمی نماید و بیشتر از آن باعث گسیختگی در اثر خمش می گردد). شرط دیگر در تعیین مقطع ورق تاشده در ساختمان بتنی، اقتصادی بودن قالب بندی آن است. اگر برای قالب بندی از چوب استفاده شود ، ابعاد و در دسترس بودن آن باید در ملاحظات در نظر گرفته شود.

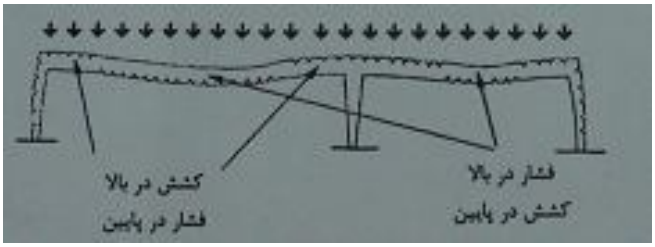


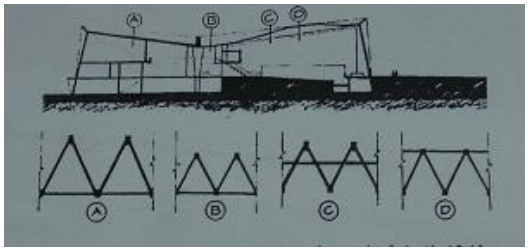
ساختمان کنفرانس یونسکو

این ساختمان بخشی از ساختمان مرکزی سازمان فرهنگی، علمی و آموزشی ملل متحد (یونسکو) می باشد (۱۹۵۸: پاریس،مهندس معمار: بروئر و زهرفوس، مهندس سازه : پیر لوئیجی نروی). این ساختمان در مجاورت ساختمان اصلی به شکل Y که دفاتر اداری سازمان را در خود جای داده است، قرار دارد و سالن سخنرانی، اتاق های کنفرانس و ملاقات را در آن قرار دارند. ساختمان در پلان به شکل ذوزنقه است و ۴۱۵ فوت(۴۴/۲ متر) طول دارد و در آن از صفحات تاشده جهت اجرای دیوارهای باربر کناری و سقف استفاده شده است. بلندترین بخش ساختمان دارای ۱۰۳ فوت (۳۱/۴) ارتفاع است (کاتو ۱۹۸۱، نروی ۱۹۶۳، ناشر ۱۹۵۵).

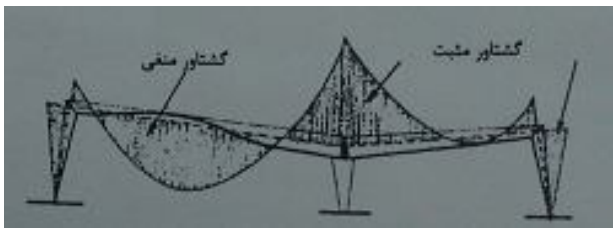


سقف به صورت منحصر به فردی از دال های افقی منحنی که با صفحات تاشده متقاطع می باشند، تشکیل شده است. در طول دهانه بزرگتر ۲۲۰فوتی (۶۷ متر) دال افقی سقف در وسط دهانه به سمت بالا دارای انحنا گردیده تا مقاومت خمشی ورق های تاشده بدون افزایش ارتفاع بیشتر گردد. با وجود افزایش ارتفاع بیشتر گردد. با وجود افزایش ارتفاع، حداکثر ارتفاع ورق های تاشده ۱۷/۳ فوت (۵/۳ متر) است. در هر انتها، سقف





ورق تاشده با یک تغییر جهت، مانند یک دیوار باربر عمودی عمل می نماید. دیوارهای به شکل ورق تاشده دارای بیشترین ارتفاع در محل تقاطع با سقف می باشند و به صورت مخروطی تا محل پایه بتدریج باریک می شوند. این امر باعث ایجاد اتصال صلب در سقف (مشابه یک میز) می گردد و از سوی دیگر با کاهش دهانه موثر مقاومت خمشی افزایش می یابد. سقف تاشده در داخل ساختمان مانند یک سقف موج دار کنگره ای نمایان است که علاوه بر جذابیت بصری دارای کارایی و تاثیر قابل توجهی از نظر عایق بندی صدا در جهت انعکاس و پخش صوت به نحو مطلوب در داخل سالن کنفرانس می باشد.



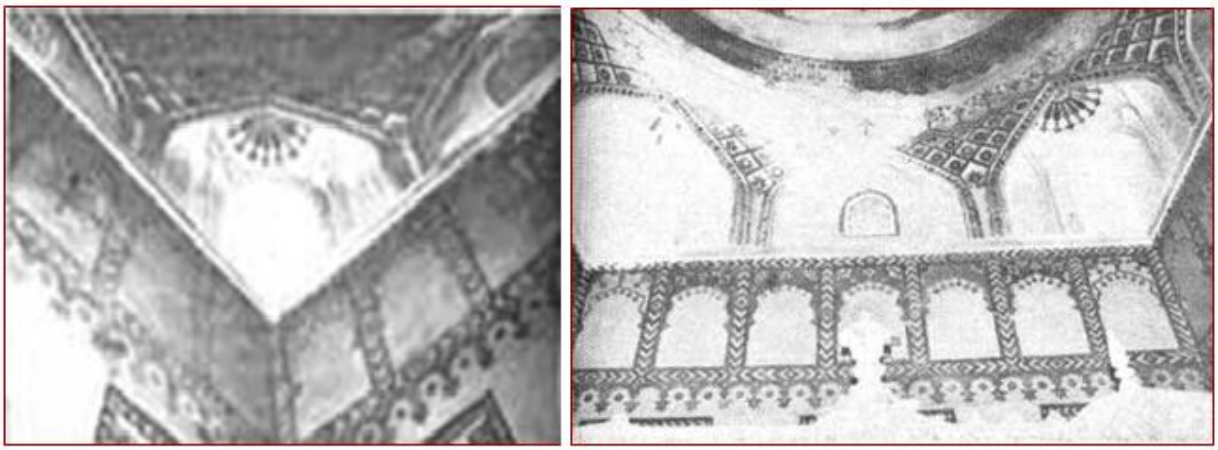
اجزا وعناصر گنبدهای اسلامی

- سنگ:استفاده از سنگ به عنوان یک عنصر عصلی در ساخت سازه های طاقی با شناخت از قابلیت فیزیکی و فنی سنگ و قابلیت مقاوم بودن ان در برابر فشار در بعضی فقط در بعضی از مناطق ایران دیده میشود
- آجر:اجر در گروه مصالح سنگین میباشد به عنوان اصلی ترین مصالح در معماری اسلامی ایران است قابلیت فیزیکی و فنی وهمچنین کار پذیریو شکل ورنگ ان از خواص مهم این ماده مصنوعی وساختگی می باشد
- چوب: به عنوان یک عنصر کمکی در مورد مسایل ایستایی که احیانا سازه های طاقی درپیش خواهند داشت مورد استفاده قرار گرفته است

گوشه سازی

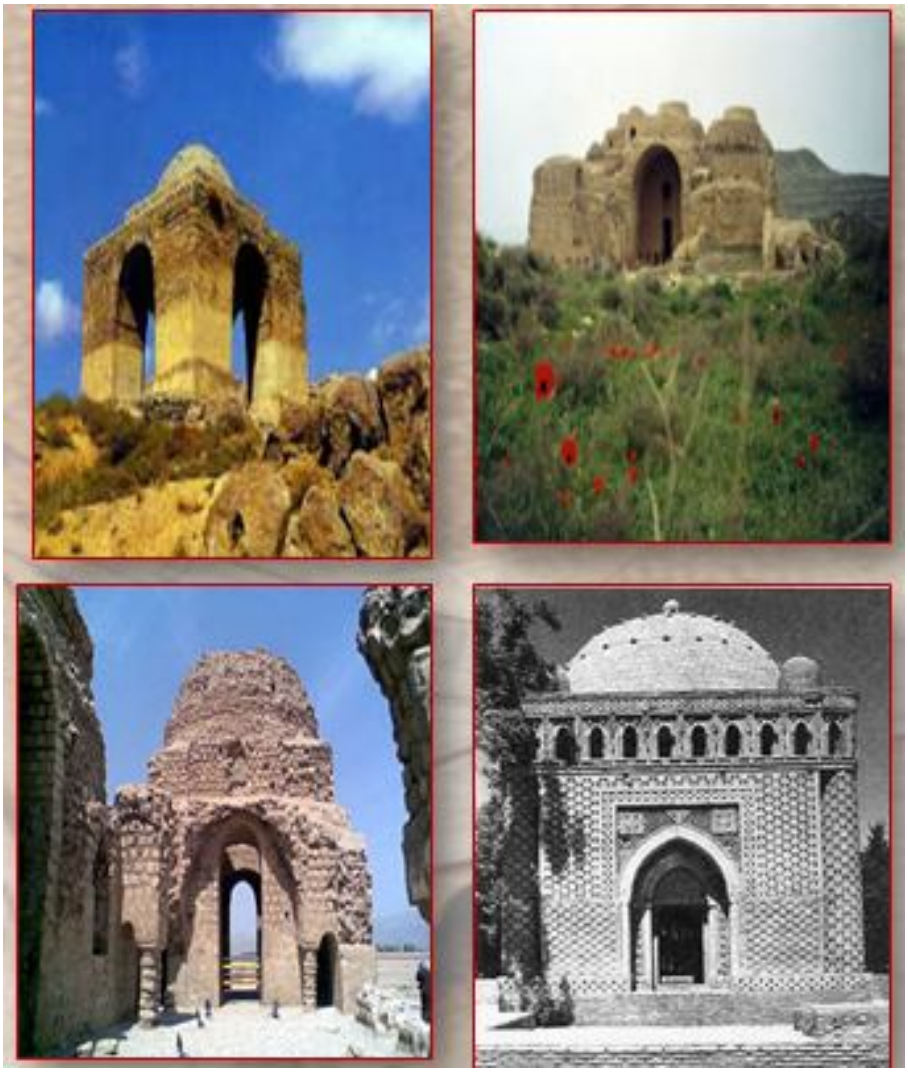
یکی ازمسائل مهم ساختمانی درتاریخ معماری جهان انتقال سطح مربع به دایره درفضا بحساب می امده است. این مسئله برای اولین باربه دست معماران ایرانی حل شده ،زمان اختراع انرا دردوره معماری اشکانی می دانند ،دردوره ساسانی وبخصوص دوره اسلامی به تکامل خود ادامه داده است.

برای اینکه زمینه چهارگوش راباگنبد بپوشانند می بایست نخست انرا به هشت گوش وسپس به شانزده گوش وبالاخره به دایره تبدیل کنند واینکاربا پوششش گوشه ها میسرمی شده معماران ایرانی برای پوشش گوشه ها ،دوروش پدید اوردند که یکی راسکنج ودیگری راترتبه می گویند .سکنج یا کنج بیرون جسته وترنبه ها یا حفره پیش امده نخست به یاری چوب وپس ازان با طاقهای بیضی وشیپوری اریب بصورت فیلپوش وپتکانه وپتگین پدید ترنبه ها پیش ازاسلام ایران بسیارساده وبصورت فلیپوش زده می شد ،یعنی گوشه های فضای زیرگنبد رابا پوشش ساده ضربی پیش می کردند تا نزدیک دایره شود وبدون هیچ شکنجی رگهای پوشش راچرخ می انداختند. این روش درشهرهای جنوبی کشورتا بعد ازحمله مغول هم معمول بوده .



بناهای اتشکده نیاسرکاشان،کاخ اردشیردرفیروزاباد وکاخ سروستان پس ازاسلام به یاری شکنج سازی وبه ویژه طاق بندی می کوشیدند که پس ازاسلام به یاری شکنج سازی وبه ویژه طاق بندی می کوشیدند که ازارتفاع زیربندی هرچه بیشتربکاهند.

درمقبره شاه اسماعیل سامانی (۲۹۵ هجری) انتقال از۴ ضلعی به دایره بوسیله طاقهای نسبتا قطوری (شکنج)صورت گرفته است .این راه حل با انچه درقبل ازاسلام دیده شد تفاوت زیادی دارد ،دراینجا کل وزن گنبد برروی این ۸ طاق بزرگ وارد شده درصورتی که درگذشته قسمتی ازاین بارواره برروی فیلپوشی امده وقسمتی ازان مستقیما برروی دیوارمنتقل می شد ازارتفاع زیربندی هرچه بیشتربکاهند



دردوره سلجوقی گوشه سازی به درجه بالایی ازتکامل خود دردوعملکرد ساختمانی –شکلی رسید ،درمسجد جامع اصفهان (۴۷۱ هجری)انتقال ازچهارضلعی به دایره با نوعی زیبا وپیچیده ایی ازترنبه ها به نام پتکانه انجام گرفته ،عناصر جدید دراین گنبد طاقهای کوچکی که مسئولیت انتقال از۸ ضلعی به ۱۶ ضلعی رادارند ،می باشند .

همچنین دربناهایی مثل مسجد جامع اردستان(۵ همزمان با ساخت این نوع ترنبه ها دربعضی ازنقاط ایران نوعی طاق بیرون زده بکارگرفت شده است ، مسجد جامع قره ،مسجد جامع قزوین(۵-۵۰۷ هجری)مسجد حیدریه قرن ششم هجری ازاین نوع می باشند. دردوره ایلخانی ،نمونه های موجود ،حکایت ازادامه همین روشها می کنند .دربعضی ازبناها مثل مسجد جامع یزد ،این قسمت بوسیله مقرنسهایی پوشیده شده است.دربیشتربناهای دوره صفویه این عنصر درزیرکاشی های زیبا پنهان شده وفقط تصویری ازآن برروی کاشی ها نقش می بندد -۵۵۳ هجری)مسجدجامع گلپایگان (قرن پنجم)ترنبه ها ازنوع پتکانه می باشند .

گونه شناسی ساختمانی گنبدها درمعماری اسلامی ایران

یکی ازمشخصات معماری ایران ،تنوع بسیاران درتمامی عناصرموجودش می باشد،تنوعی که بدون شک درمعماری سرزمینهای دیگرکمتردیده می شود ،این تنوع درسازه ها که یکی ازان عناصر می باشند ،چه درساخت وچه درشکل انها با گستردگی زیاد به چشم می خوردتنوع دراشکال با بحال ازطرف تعداد زیادی ازمحقیقین مورد مطالعه قرارگرفته وبرعکس کمبود زیادی درمطالعات این سازه ها ازنظر ساختمانی – ایستایی احساس می شود.به دلیل تنوع زیاد درگونه ها رسیدن به یک طبقه بندی که بتواند تمامی این گونه ها رادربرگیرد کاری است بسیاردشوار،بطورمثال درموقعی که یک گنبد راازنظرشکلی –ساختمانی مورد مطالعه قراردهیم ،دیگرمطالعات جنبی نیزدرارتباط با همان شکل وساختمان درنظرگرفته می شود .تفاوت کم دریکی ازعناصر شکلی – ساختمانی می تواند جهت ایستایی حاکم رانیزتغییرداده .دراینجا سعی بران داریم به نوعی گونه شناسی ساختمانی توسل جسته که درحین این که مجموعه گنبدهای موجود درایران رادرمی گیرد ،گونه ی ساختمانی نشان دهنده نوعی خاص ازاین ترکیب (شکل ساختمان)باشد.

درگونه شناسی بالا سه نوع اول هرچند سه دسته مجزا رادرتقسیم بندی ما تشکیل می دهند ،اما می توان هرسه رادریک دسته کلی ساختمانی قرارداد،ازنظرعملکرد ایستایی گنبدهای یک پوسته می تواند گنبدهای دوپوسته پیوسته راکه ازدوپوسته متصل به هم تشکیل شده که درحقیقت به مانند یک پوسته عمل می کند رادربرمی گیرد،همچنین گنبدهای با باریکه طاق نیزتقریبا این عملکرد رادارد ،همان طوری که بیان کردیم هرکدام ازاین انواع مسائل مهم شکلی –ساختمانی رادرخود دارد وبراین اساس گنبدهای یک پوسته رادرسه قسمت مجزا می اوریم . گنبدهای گسسته رک ،گنبدهایی هستند که دارای دوپوسته جدا با عملکرد ساختمانی جدا می باشند ،گنبد بیرونی ان معمولا ازنوع مخروط وگنبد داخلی با مقطع بیضی است.

گنبدهای گسسته با پوسته بیرونی نار،گنبدها یی هستند که دارای دوپوسته جدا با عملکرد ساختمانی جدا هستند ومعمولا پوسته داخلی ازنوع بیضی وپوسته خارجی ازنوع یکی ازمقاطع قوسها (مثل شبدری)است.گنبدهای سه پوسته دارای سه پوسته ،که دوپوسته داخلی ان معمولا ازنوع بیضی وپوسته بیرونی ازنوع رک یا با مقطع منحنی می باشد.

دراین گذردرهرگونه ساختمانی ،با درنظرگرفتن تاریخ ساخت ،به بررسی تکاملی این سازه پرداخته ومقاطع واندازه های انرا (دهانه –افراز-ضخامت)رادرارتباط با منطقه ساخت که درنهایت زبانی ازگونه شناسی منطقه ای راخواهد داد،بررسی خواهیم کرد.

درگونه شناسی ساختمانی گنبدها می توانیم دسته بندی زیرراداشته باشیم:

۱-گنبدهای یک پوسته

۲-گنبدهای دوپوسته پیوسته

۳-گنبدهای یک پوسته ودوپوسته با باریکه طاق

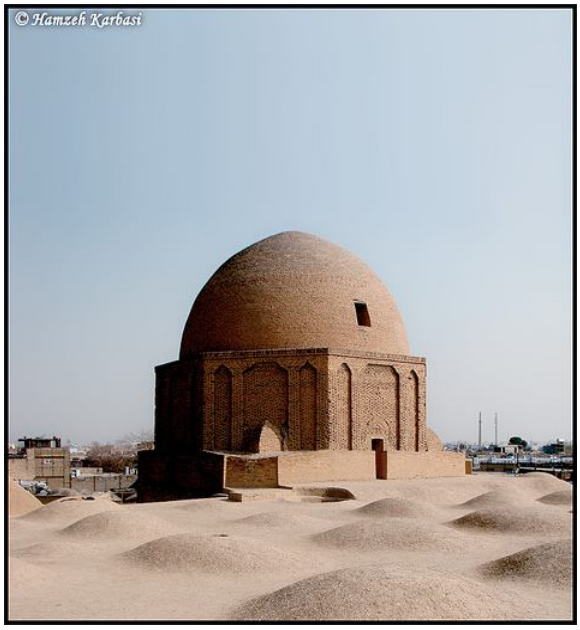
۴-گنبدهای گسسته رک

۵-گنبدهای گسسته با پوشش بیرونی نار

۶-گنبدهای سه پوسته

گنبد یک پوسته (خاگی)

گنبدهای یک پوسته دارای قدمت بیشتری نسبت به گونه های دیگر گنبد ها می باشند .انرا می توان اولین نمونه های گنبدهای باربروحمال وریشه تاریخی شکل گیری دیگرگنبدها دانست .ازاین نوع گنبد به عنوان پوسته باربرواصلی دردیگرگونه های ساختمانی گنبد که دارای دوپوسته به انواع مختلف می باشند .استفاده شده است .دراینجا فقط به ان تعداد گنبدها که فقط یک پوسته باربرداشته می پردازیم .دراین نوع گنبد ازیک پوسته نازک اجری برای پوشاندن سطح نا هموارگنبد بکارگرفته می شود ،این قشراجری به عنوان پوسته ای جدای عمل نمی کند وانرا جزء مسائل شکلی –تزئینی گنبد قرارمی دهیم.همانطورکه دربخش قوسها دیدیم ،اساس شکل گنبدهای ایرانی برمبنای شکل بیضی یا تخم مرغی ،با مقاطع مختلف می باشد.



اگراین مقطع برای دهانه های نه چندان بزرگ ویا خیز کم باشد ازنوع قوسهای معروف به خاگی استفاده می شود،این نوع مقطع برای دهانه های تاحدود ۱۶ گز(۱۷,۵متر) بکارگرفته می شود .برای دهانه های بیشترازنوع گنبد چیله ازنوع بیضی اما با خیز بیشتر،نوع سوم قوس که دارای خیزخیلی زیاد می باشد ،ازنوع بستو می باشند.

گنبدهای یک پوسته ازنظر اجرایی نکات فنی زیررابه همراه دارند .نوع اجرچینی گنبد به دوصورت رگهای اجری چینی بصورت شعاعهایی که به مرکز گنبد متمایلند چیده می شوند ،نوع مصالح مورد استفاده برای ساخت ازاجر وملاتهای مختلف گچی مثل گچ و خاک وبا ترکیب شکرسنگ بوده است. برای بنا کردن گنبد احتیاج به قالب نداشته واین ازروشهای خاص فنی درمعماری ایران بوده است .برای داشتن مقطع مورد نظر وانتقال ان درکار درمرکز محوطه زیر گنبد تیر راست وبلند ی را کار می گذاشت که ارتفاع ان تا نزدیک تیزه گنبد می رسد .وپیرامون ان را با چوبهای دیگری مانند پره ها ی چرخ به چنبرگنبد بسته تا تکان نخورد انگاه دردوکانون بیضی (نیم بیضی)که باید گنبد زیرین بران منطبق باشد دوگل میخ حلقه دارمی کوبیدند ودو سرزنجیر را به حلقه ها متصل می کردند ،طول زنجیر به اندازه ای بود که اگر نصف می کردند به پا کارگنبد می رسید بدین ترتیب بنایی که برپشت گنبد ،رگها را می چید هرلحظه می توانست با کشیدن زنجیر درستی کارخود را ازمایش کند،دستگاه تیر وزنجیر را روی هم شاهنگ وهنجار می گفتند.

یکی ازابتکارات مهندسین معماری ایرانی درساخت گنبدها ،تغییر ضخامت دادن به پوسته ان می باشد .انها تا زاویه شکرگاه (۲۲,۵)با یک ضخامت وازاین زاویه ضخامت را تغییرداده وهمین طور درزوایای ۶۷,۵ درجه بازهم یک اجرازضخامت ان می کاستند ودرقسمت نزدیک به تیزک طوقی اجری زده . ابداع گنبدها روی سطح چهارطاقی را تاریخ نویسان ازدوران اشکانی می دانند ،ازجمله نمونه های این گنبدها مربوط به اتشکده ایی درنزدیک رباط سفید درجنوب شرقی مشهد می باشد .

دردوره ساسانی روش ساختمانی این نوع گنبد ادامه یافت .اولین بنای مربوط به این دوره ویا این اتشکده متعلق به قرن سوم میلادی است.نقشه بنا ازیک چهارطاقی که برروی ان گنبدی به دهانه ۶ مترزده شده است ،می باشد ،ارتفاع تیزه ان تا کف زمین درحدود ۱۲ متر وضخامت دیوارها ئی که گنبد برروی ان است درحدود ۲ مترمی باشد این ضخامت نسبت به دهانه گنبد به نظرمتناسب نمی باشد .

دراین گنبد کوچک روشهای ساختمانی بکارگرفته شده اند که دردورهای بعد ازانها استفاده شده است.مقطع بیضی گنبد،استفاده ازفیلپوشها برای انتقال ازسطح مربع دایره وهمین طور استفاده ازتویزه های گچی راهنما نمونه هایی ازاین روش می باشد

گنبدها

آرامگاهها یکی از ساده ترین و نمونه وارترین شکلهای معماریاسلامی در آسیای صغیر است.شکل آرامگاههای سلجوقی در آناطولی از الگوی گنبدهای ایران بیرون می کند. لکن در ساخت آنها به جای آجر سنگ بکار می رود . اغلب این گنبدها که در ترکیه تربت (مقبره) نیز نامیده می شود. از نوع کثیرالاضلاعی است و البته نشانگر شیوه ی مربعهای گردان در یک دایره .با این وصفشکل برخی آرامگاهها در اواخر سده ی سیزدهم میلادی ،مدور می شود. در این موارد به جای مربعهای محاطی مستقیماً از خود دایره استفاده شده است.

یک آرامگاه بی همتا در نوع خود آرامگاه ماما خاتون (حدود ۱۲۰۰ میلادی) است با دیوارهایی به ستبرایی ۲/۵ متر و دارای دوازده چشمه کاژرف مستطیل شکل به طول ۲/۴۵ متر و منتهی به قوس شکسته. ملاحظه می شود که دوازده ضلعی ناشی از سه مربع در این جا به وسیله ی چشمه ها و در خود دایره پدید می آید. خود آرامگاه که بنایی است هشت قوسی در مرکز این حصار قرار دارد. این گونه شکل درست یادآور معماری ارمنی است و نمایانگر زیر و بمی از قضیه ی مربعهای گردان در یک دایره که در این مورد اضلاع هشت گانه هشت ضلعی به قوسهای دایره تبدیل شده است

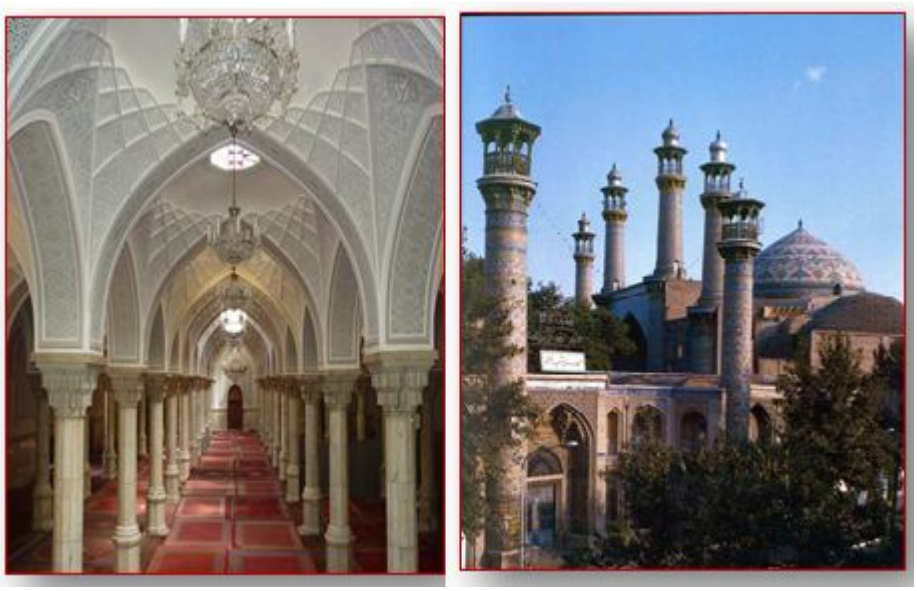
در معماری اسلامی ایران، مسجد جامع اصفهان حکم دفتری گویا از قسمت اعظم تاریخ معماری این مرز و بوم را دارد، در قسمت طاقها اهمیت سازه های طاقی و دارا بودن ۴۷۶ طاق آنرا یاد آور شدیم، در اینجا به ذکر یکی از دو گنبد موجود پرداخته. اولین گنبد بنا در سال ۴۷۳ هجری به امر خواجه نظام الملک و با استخوان بندی با باریکه طاقها و توریزه ساخته شده است.

دومین گنبد در سال ۴۸۱ هجری در پشت ایوان شمالی به امر ترکان خاتون ساخته شد. این گنبد نسبت به گنبد دیگر کوجکتر و دهانه ایی در حدود ۹/۵۰ متر دارد. ارتفاع گنبد از تیزه آن تا کف زمین در حدود ۱۸/۵۰ متر می باشد، گنبد بر روی جرزهایی به ضخامت تقریبی سه متر برپا شده است. اطاق زیر گنبد در هر تاریخ ضلعش سه روزنه برای ورود و خروج دارد و می توان گفت مجموع دوازده روزنه از این فضا ، فضایی باز ساخته است. در این بنا بعد از انتقال سطح مربع به ۸ ضلعی به وسیله ترنبه هایی که در داخل آن طاقچه هایی زده شده (پتکانه) به ۱۶ ضلعی و سپس به دایره تبدیل می شود.

خیز گنبد نسبتاً زیاد بوده و ارتفاع آن از پاکار تا تیزه گنبد در حدود ۷ متر می باشد ضخامت گنبد متغی است و مجموع گنبد و بنای زیر آن یک شکل متناسب و زیبا را می سازند.همزمان یا ساخت این گنبد، گنبد مسج جامع قروه(بین ۴۱۳-۵۷۵ هجری) با دهانه ایی حدود ۵ متر وبا مقطع بیضی (مشخصه معماری این دوره) ساخته شده است.از دیگر نقاط ایران که در ساخت سازه های گنبد در طول تاریخ ایران مهارت خاصی از خود نشان داده اند، سرزمین قزوین می باشد در این ناحیه می توانیم انواع گنبدها را از نظر ساختمانی بیابیم، از گنبد های یک پوسته باقی مانده از قرن ششم هجری گنبد مسجد جامع قزوین را می توان نام برد.این گنبد و بنای آن دربین سالهای۵۰۷-۵۰۹ هجری به امر خواجه نظام الملک وزیر سلجوقی ساخته شده

گنبد از تناسب بسیار زیبایی برخورداراست ظاهراً با این بنا ساخت گنبدهای یک پوسته که از حدود قرن اول و یا دوم میلادی از زمان اشکانیان و با ساختمانی ساده چهار طاقی شروع شده بود، به اتمام می رسد است و استفاده از کاشی ها به رنگهای مختلف، جذابیت و زیبایی خاص به کل بنا داده است. آخرین بنایی که در ارتباط با گنبد یک پوسته آن مدرسه شهید مطهری (سپهسالار است.این بنا در سال ۱۲۹۸ هجری به امر سپهسالار گنبد آورده می شود،گنبد آن در حدود ۱۵/۵۰ متر دهانه دارد، دهانه خارجی آن (سطح خارجی گنبد) در حدود ۱۹ متر است ساخته شد.. ارتفاع تیزه گنبد تا کف زمین در حدود ۳۷ متر و مقطع آن از بیضی با خیز کم می باشد،

پویشی که حدود ۱۸۰۰ سال طول کشید و در میان سایر گنبدها عمری درازتر را سپری کرد،ناگفته نماند که از این گنبددر پنج گونه دیگر ساختمانی گنبد به عنوان پوسته حمال باربر استفاده شده است.



گنبدهای دو پوسته پیوسته

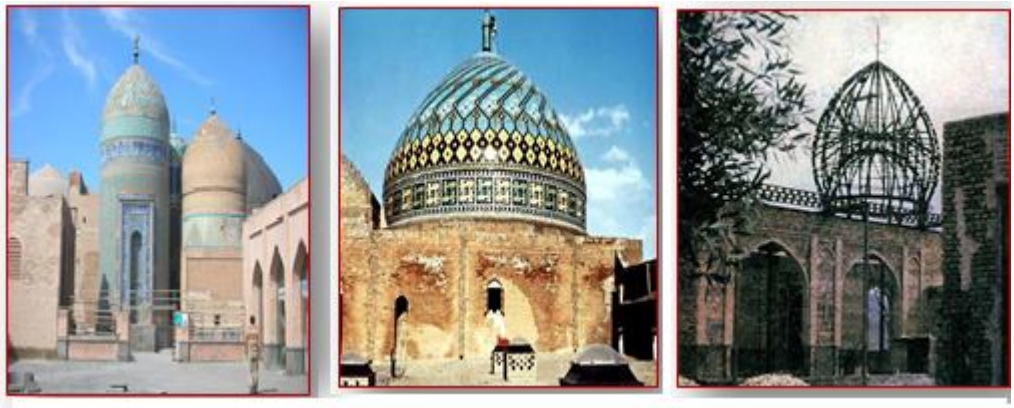
دومین گونه ساختمانی گنبدها مورد بررسی گنبدهای دو پوسته پیوسته می باشند.این گنبد ها از آن جهت دو پوسته اطلاق می شوند که دارای دو پوسته یکی درونی که معمولا از نوع گنبدهای با مقط بیضی و به فاصله نه چندان زیادی پوسته دیگر (بیرونی) که خود می تواند دارای شکل مقطع متفاوتی باشد، است. فاصله این دو پوسته چندان زیاد نیست معمولا تا شکرگاه به هم متصل می باشند، به این جهت به آن پوسته گفته می شود. در ضمن از نظر اصول ساختمانی_ایستایی حاکم بر این سازه می توان آن را یک سازه متحد و یک پارچه در نظر گرفت و در کل دو پوسته حکم یک پوسته را عملا خواهند داشت. این نکته آن جا روشن تر می شودکه در بعضی از بناها سعی شده که این دو پوسته به وسیله تیغه های آجری به هم وصل شوندو در کل یک گنبد که پارچه داشته باشند، اما به دلیل دو پوسته بودن و اینکه مسائل جدیدی چه از نظر ساختمانی، چه اصول فنی ساخت و چه شکلی ، به همراه خود دارد، این نوع را در گروهی جدا مورد بررسی قرار می دهیم. اگر توجه کنیم در گنبدهای یک پوسته، گنبد بعد از اینکه بر روی ترنبه ها یا شکنجها قرار می گرفت بعد از محل زاویه شکرگاه از ضخامت گنبد برای حل مسئله رانش، با سبک کردن گنبد، تا حدی می کاستند و دوباره در محل دیگر باز از ضخامت گنبد کم می شد در این جا اختلاف سطحی بصورت پله ایی در سطح خارجی گنبد بوجود می آید. برای رفع این نقص شکلی بایک قشکر نازک آجری روی آنرا می پوشاندند بطوری که در نما سطحی صاف وحتی با نوعی دیگر از مقطع می بینیم اما اینکار در تمام مواقع ممکن نیست و گاهی به علت ضخامت زیاد گنبد در پاکار یا محل شروع، با زدن یک قشرآجری فاصله زیادی بین این دو پوسته بوجود می آید،و اگر در کنار مسئله که یک مسئله شکلی و مربوط به نما دادن و تصویر خارجی بناست،مسئله حل مسائل ایستائی ساختمانی را قرار دهیم شاید توانسته باشیم به علت بوجود آمدن این نوع گنبد نزدیک شده باشیم.

معماران ایرانی برای اولین بار در طول تاریخ معماری جهان توانستند در شروع قرن پنجم با ابتکار خود این نوع سازه را که بعدها بخصوص در قرن هفتم و هشتم به تکامل بالاتر رسیدند، بسازند. در بخشهای بعد اولین نمونه آن یعنی برجهای خرقان قزوین را مورد بررسی قرار خواهیم داد.نکات فنی خاص این گنبد را در حین بررسی تاریخی _ ساختمانی در بناهای مختلف خواهیم دید و فقط به این بسنده می کنیم که معمولا این گنبدها بر روی ۸ ضلعی بنام چنبر قرارمی گیرد، پوسته گنبد از محل شکرگاه (۲۲/۵) از همدیگر جدا می شوند این دو پوسته در بعضی بناها با نظم خاصی به وسیله تیغه های آجری به هم مرتبط می شوند.

اولین نمونه ازگنبدهای دو پوسته پیوسته ،گنبد مسجد جامع برسیان است که چون با استفاده از باریکه طاق ساخته شده است آنرا در بخش بعد یعنی گنبدهای با باریکه طاق خواهیم دید.مسجد جامع زواره متعلق به ۵۳۰ هجری از بناهای مهم در تاریخ معماری اسلامی ایران است. معمار آن را استاد محمود اصفهانی معروف به (غازی) دانسته اند.گنبد دو پوسته آن در منطقه اصفهان (بعد از گنبد دو پوسته مسجد برسیان) دومین گنبد در نوع خود می باشد.دهانه گنبد در حدود ۸ متر و ارتفاع تیزه گنبد داخلی تا کف زمین در حدود ۱۳ متر و ارتفاع گنبد خارجی در حدود ۱۴ متر می باشد. گنبد بر روی دیواری با ضخامت حدود ۲ متر بنا شده و دو پوسته آن از

ارتفاع شکرگاه از هم جدا می شوند پوسته درونیاز نوع بیضی می باشد.بنای گنبد مسجد جامع اردستان ۵۵۳-۵۵۵ هجری در فاصله ۱۲ کیلومتری زواره با ساختمان دو پوش است.

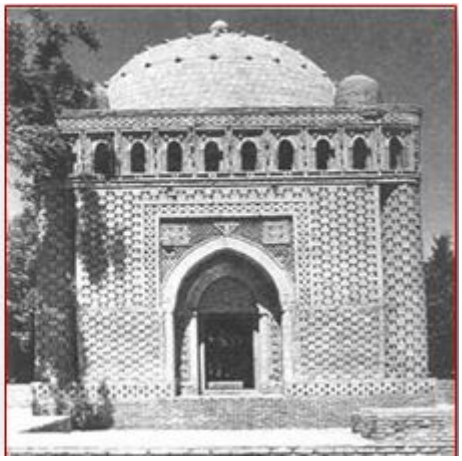
در فاصله ایی دور در سرزمین خراسان بزرگ، در شهر مرو در سال ۵۵۲ هجری قمری بنای عظیم مقبره سلطان سنجر با گنبد دو پوسته ، بنا شده است. معمار بنا را محمد ابوعبدالعزیز سرخی نامیده اند.بنای گنبد بر روی یک چهار ضلعی با مساحت ۳۹×۳۹ متر و با دیوارهایی به ضخامت حدود ۵ متر بر پا شده است. ساقه گنبد، به وسیله طاقهایی با افراز بلند به ۸ ضلعی و سپس به ۱۶ ضلعی تبدیل شده است، از این ناحیه سطح داخلی گنبد به وسیله باریکه طاقهایی شبیه به کاربندی ساخته شده است. دهانهٔ گنبد داخلی در حدود ۱۷ متر و ارتفاع تیزک آن تا زمین در حدود ۳۵ متر و ضخامت آن در محل پاکاردر حدود ۲/۵ الی ۳ متر می باشد. گنبد خارجی که در حال حاضر خراب شده است تا قرن یازدهم (۱۸ میلادی) سالم و با کاشی های آبی مزین شده بود.ساختمان کلی گنبد از شکل خیلی پیچیده ایی برخوردار است و احتیاج به مطالعات دقیق دارد، قوسها و طاقهای متعددی که گنبد درونی را احاطه کرده اند حاکی از این امر است. این بنا در زمان خود دارای بزرگترین گنبد در مقایسه به دیگر بناها می باشد.حدود یک قرن و نیم بعد در سال ۷۰۰ هجری قمری در خراسان بزرگ در شهر طوس مقبرهٔ معروف به هارونیه یا بقولی مقبره امام محمد غزالی با کیفیت ساختمانی شبیه به بنای مقبرهٔ سلطان سنجر در مرو ولی با ابعاد کوچکتر ساخته شد.از گنبد دو پوسته آن تا چندی پیش، فقط گنبد درونی سالم مانده و از گنبد خارجی حدود ۲ سوم آن از بین رفته بود که اخیرا بازسازی شده است.دهانهٔ گنبد داخلی در حدود ۱۱/۳۰ متر و ارتفاع تیزهٔ آن تا کف زمین در حدود ۲۲ متر می باشد، بر سطح خارجی گنبد داخلی اثرهایی از تیغهٔ آجری باقی ماندهبود که ساختمان دو گنبد را به هم متصل می کرده است.درسال ۷۵۷ هجری در سرخس، مقبره شیخ محمد ابن لقمان، شباهتی زیاد به مقبره طوس و مرو بنا شده است. مشخصات ساختمانی گنبد آن مثل سایر گنبدهای دو پوسته است. دهانه آن در حدود ۱۰ متر، ضخامت دیوار زیرین آن در حدود ۳/۵۰ متر می باشد. نسبت ضخامت دیوار به دهانه گنبد با سایر گنبدها کمی زیاد می باشد.روند ساختمانی گنبدهای دو پوسته پیوسته به دلیل انتخاب دیگر گونه های گنبد از طرف سازندگان مدتی به وقفه افتادتا در دوران صفویه گنبد یک بنای مهم با ویژگیهای ساختمانی گنبدهای دو پوسته پیوسته ساخته شد. گنبد چینی خانه مجموعه شیخ صفی اردبیلی با این فن ساخته شده است.دهانه گنبد در حدود ۱۷ متر است؛ گنبد داخلی و خارجی از ارتفاع شکرگاه از هم جدا می شوند. پشت دیوار گنبدخانه به وسیله پشت بند با مقطع نیم دایره که پلکانهایی نیز جهت تردد در آنها تعبیه شده است، مستحکم شده است. نقشه های مختلف، جزئیات گنبد را بیشتر مشخص می کند.گنبد مسجد النبی قزوین شاید آخرین نوع گنبد دو پوسته پیوسته در یک بنای مهم باشد. این گنبد دهانه ای در حدود ۱۵ متر دارد. ارتفاع تیزهٔ گنبد داخلی آن تا کف زمین در حدود ۲۰/۸۳ متر و ارتفاع تیزک گنبد خارجی در حدود ۲۳/۲۵ متر می باشد. ضخامت گنبد در پاکار در حدود ۱/۷۰ متر می باشد.روش پیشرفتهٔ ساخت گنبدهای دو پوسته پیوسته که از قرن پنجم هجری قمری برای اولین بار در جهان معماری با ساختمانی ساده در ایران آغاز گردید، در قرن هشتم به نقطه تکامل خود رسید و با روشهای پیچیدهٔ دیگر (استفاده از باریکه طاقها) توام شد و تا قرن سیزدهم هجری قمری ادامه یافت. مطالعه دقیق بر هر کدام از بناها شناخت نکات مهم ساختمانی را بدنبال خواهد داشت.



گنبد کاخ سروستان (متعلق به قرن پنجم میلادی)دارای دهانه ای به اندازه ۱۲,۸۰ متراست ارتفاع گنبد از تیزه ی ان تا سطح زمین درحدود ۲۰ مترودیواری که گنبد برروی ان بنا شده به ضخامت درارتفاع درحدود ۲ مترتغییرنموده واین تغییر ضخامت تا خاتمه گنبد ادامه پیدا می کند . گنبد جبلیه کرمان را به اوایل دوران اسلامی نسبت می دهند ،این گنبد برروی یک ۸ ضلعی برپا شده است.ضخامت دیواران درحدود ۳,۱۰ ودهانه گنبد درحدود ۱۸ مترمی باشد ،خود گنبد یعنی ازپا کار ارتفاعی درحدود ۱۰ متر دارد .دیواربنا به وسیله طاقچه های زیادی سبک شده واین ازخصوصیات مهم این بنا می باشد .گنبد تا ارتفاع بالای شکرگاه دارای ضخامتی درحدود ۱,۸۰ متراست .وازان به بعد ضخامت ان به طور فاحشی کم می شود وبه حدود ۶۰ سانتی متر می رسد.گنبد درسالهای اخیر تعمیرشده است.

بنای مقبره شاه اسماعیل سامانی دربخارا (۲۹۵ هجری)ازگنبد بزرگی برخوردار نیست اما بدلیل اینکه این بنا ازبنا های صدور اسلام است وویژه گی های ساختمانی خاصی را دارد به ذکر مختصری ازان می پردازیم .دهانه ی گنبد این بنا درحدود ۶,۳۰ متر،ارتفاع ان ازتیزه گنبد تا کف درحدود ۱۲,۵۰ می باشد ،گنبد دارای ضخامت متغیر است درحدود ۳۰ سانتی متراست .انتقال سطح مربع به دایره به وسیله شکنج هایی (طاق نما) که ازنظر ساختمانی نواوری محسوب می شوند صورت گرفته است .

گنبد مقبره سنگ بست را می توان درنوع خود دراین مقطع زمانی یکی ازگنبدهای مهم دانست بنای سنگ –بست متعلق به (۴۱۹-۳۸۷ هجری)می باشد ،دهانه ی گنبد درحدود ۱۰,۴۰ بنا کاملا اجری است ،گنبد برروی ۸ طاق برپا شده است که چهارطاق ان نقش انتقال ازمربع به دایره را دارند .اجرچینی سطح داخلی گنبد ازنوع خفته راسته ودرنوع خود یکی اززیباترین روکاریهای اجری می با شد .بنای دوازده امام یزد (۴۲۹ هجری) دارای گنبدی به دهانه ۸,۵ متروارتفاع تیزک ان تا کف زمین درحدود ۱۲ متراست .گنبد دارای مقطعی با خیزکم می باشد ،ضخامت پوسته ی گنبد متغیر است . نکته جالب توجه دراین بنا،کم شدن ضخامت دیوار گنبد خانه می باشد،درجائیکه ما دربناهایی مثل مقبره شاه اسماعیل ضخامتی برابر ۲ متر ودرسنگ بست درحدود ۳ مترداشتیم متر،ضخامت دیوارهای گنبد خانه درحدود ۳ متراست.



درکاخ اردشیردرفیروزاباد (۲۷۱-۲۴۱ میلادی)سه گنبد ساخته شده اند این گنبد دارای دهانه ای درحدود ۱۳,۳ متر می باشد ،دراین بنا نسبت اندازه دهانه گنبد وضخامت گنبد وضخامت پایه بیشتر قانع کننده می باشد .انتقال ازمربع به دایره بوسیله فیلپوشهایی انجام گرفته ،درضمن گنبدها تاارتفاع کمی بیشترازشکرگاه بوسیله پشت بندهایی پوشیده شده اند این پشت بندها می تواند برای اطمینان دادن به سازنده وجلوگیری رانش گنبد بصورت پله ایی درامده به نحوی که گنبد رااحاطه می کند درگنبد مرکزی بدلیل احاطه شدن به وسیله گنبدهای دیگر وهمین طور دو ایوان ووجود اطمینان ازنبود مسائل ایستایی درنیم طبقه ها رواقی گرداگرد گنبد تعبیه شده است مقطع گنبد ازنوع بیضی با خیزکم می باشد.

تاریخ پیدایش قوس

انسانهای نخستین که در آغاز سر پناهی ثابتی نداشتند پس از دوران صحرا گردی و کوه نشینی به غارنشینی رو آوردند. با تکامل همکاری گروهی و رشد احتیاجات ،مردم غار نشین شروع به ساختن سکونتگاههایی برای خود کردند.در این زمان بود که سرپناه در ابعادی محدود به وجود آمد.انسانها در این زمان سنگهای درشت را بر روی یکدیگر می گذاشتند و در ارتفاعی لازم پوششی از سنگ تخت و یکپارچه را به عنوان سقف بر پایه های سنگی استوار می کردند و بدینسان سر پناه کوچکی برای حفاظت در مقابل هجوم حیوانات وحشی به وجود آوردند. مسلماً چنین سرپناهی برای زوجها خانواده های کوچک بسیار محدود بوده است.به تدریج با شکل دادن سنگ که به صورت پله پله به طرف بالا جمع می شده. سنگی به صورت ابتدایی برای زندگی اجتماعی در کنار یکدیگر به وجود آمد. با توجه به شکل ملاحظه می شود که پوشش فوق اولین قوسی بوده است که انسانهای نخستین ساخته اند و ایستایی این پوشش فقط ناشی از پیوند قطعات سنگی است. تحول بزرگی که در این عصر پدید آمد کشف سنگ آهک است. کشف سنگ آهک بدین شکل رخ داده است که هنگامی که چادر نشینها برای پختن با سنگ اجاق می ساختند. در بعضی موارد بدون اطلاع از سنگهای آهکی استفاده می کردند.این سنگها در اثر حرارت و ترکیب با آب باران شکفته می شد و به صورت شیرهٔ آهک با خاکهای شسته شده و سنگ ریزه های دور اجاق مخلوط و پس از فعل و انفعالات شیمیایی تبدیل به آهک سخت میشده است

بدین ترتیب انسانهای نخستین مت.جه این نکته شدندکه محل پر شدهٔ اجاق به مراتب سخت تر از زمین طبیعی است. آنها با تذکر و تحقیق به نوع سنگها پی بردند و بدینسان سنگ آهک و روش پخت آهک و در نتیجه ملات آهک به وجود آمد. در این دوران بود که استقرار قطعه سنگ آهک بر روی یکدیگر به وسیله ی ملات انجام گرفت و به تدریج اصول بنایی به صورت ابتدایی شکل گرفت.

با پیدایش نژادها و اقوام وآداب رسوم و فرهنگ و در نتیجه هنر قومی به وجود آمد. یکی از این اقوام، قوم آریایی بود. دسته هایی از این قوم در حین کوچ وارد ایران شدند و در نقاط مختلف آن محل اقامت افکندند . با ورود اقوام آریایی به ایران در این نیز فرهنگ و هنر قومی به وجود آمد. این اقوام دست به کشت و زرع زدند و به کاشت درختان و احداث باغها و راهها همت گماشتند.

دسته بندی قوسها

روش ساختن قوس در دوره ساسانیان تکامل یافت و در بناهایی چون دخمه های کوهنشین دامغان و کاخهای سیستان طاق کسری و.....قوسهایی با ضوابط ریاضی هنری و با توجه به شیوهٔ تحمل نیروهای فشاری ساخته شده است. شکل ظاهری و واقعی این قوسها بشتر به صورت دایره ای _تخم مرغی_هلوچین و یا انواع قوسهای چیا و سهمی است.

با ظهور اسلام و شیوهٔ خراسانی ساختن ایوانهای بلند در مساجد و بناهای ایران معمول شد. برای مرتفع ساختن ایوان از قوس تیز استفاده می شده است ،و در این دوره بود که روشهای ترسیم قوس تیز تکمیل شد.

در شیوه ی رازی انواع قوسهای تیز برای نعل درگاهها، ایوانهای کوچک و بزرگ صفه و قوسهای پاتوپا برای شبستانها و پوشش گنبدها به وجود آمد و بالاخره در شیوه اصفهانی از انواع بی شماری از قوسهای تیز به نام قوس مربع _ قوس پنج وهفت تند و کند و انواع

قوسهای شاه عباسی استفاده می شد. در دوران جدید نیز انواع قوسهای تخت _کمانی_ سه پری_خنچه ای با خیز برای کارهای تزئینی ساخته می شد. بنابراین به طور کلی قوسها به سه دسته تقسیم می شود.

۱_ قوسهای مدور و مشابه به آن: این قوسها برای تحمل نیروهای فشاری و در بعضی مواردبه عنوان قوسهای تزئینی به کار می رود.

۲_ قوسهای تیز (شاخ بزی) : این قوسها به شکلهای مختلف ساخته می شود برای تحمل نیروهای فشاری به خصوص در پوشش گنبدهابه کار می رود در بعضی موارد از قوس تیز در کارهای تزئینی مانند رسمی بندی و یزدی بندی استفاده می شود.

۳_ قوسهای تزئینی : همانطوری که از نام این دسته از قوسها بر می آید برای زینت دادن نمای بناها به کار می رود. این قوسها به اشکال گوناگون ترسیم می شود، اگر به ترکیب واقعی این دسته توجه شود ترسیم خانوادهٔ قوسهای مدور و قوسهای تیز را در حرکات و فرم آنها می توان دید

قوس ایرانی

این قوس از آغاز سده ی دوازدهم میلادی در مصر بکار می رود و از همان زمان در مسجد الاکمار (۱۱۲۵)، به ویژه در مسجد صالح طلایی دیده می شود. اما در شمال آفریقا انتشار می یابد. در مصر نیز شیوه زود سپری شد و هرگز عمومیت نیافت. دیری نگذشت که در مسجد بیبوس اول (۱۲۶۷- ۱۲۶۹) و آرامگاه فاطمه خاتون (۱۲۸۳ میلادی) و سلطان خلیل (۱۲۸۸ میلادی) و نیز در آرامگاه باشکوه سلطان قلاوون باز به قوس شکسته بیضی (رومی) پرداخته شد.به این ترتیب از قوس «ایرانی» عملاً دست می کشند و حتی غالباً باز به قوس نیمدایره ای رو می آورند مثل پنجره های بیشسرای همین آرامگاه قلاوون با آرامگاه سلطان خلیل . قوس تیزه دار تغیر ماهیت می دهد و بی آنکه نشانی از خمیدگی داشته باشد کلاً مثلثی محض می شود. که دیگر جز به عنوان زینت طاقنما و نه عصر ساختی، بکار نمی رود. نمونه ی آن در آرامگاه «خلفای عباسی» و در حیاط مساجد امیر ماردانی و سلطان مؤید می شود.

علی رقم تأثیر اولیه ی طرحهای مساجد اولیه ایرانی، قوس تیزه دار در معماری ترکیه تا حدی کم بکار می رود. زیرا ترکیه در قلمرو معماری بیزانس و معماری سنگی است. از این رو در این جا معمولاًاز قوس شکسته ی بیضی ،که نمونه ی آن هم اکنون در قبه الصخره وجود دارد و قوس ایرانی نادر است و آن هم ناقص مانند قوس ها مدرسه ی منار باریک و آرامگاه گوماچ خانم در قونیه، قوس ایرانی این آرامگاه در بیشطاقی است. به شیوه ی ایرانی ، چند نمونه ی متأخر نیز که آگاهانه ساخته شده در بنایی است به سبک ایرانی مانند قوسهای « کلاه فرنگی بدل چینی » نیز از قوس نیمدایره ای یا قوس محدب استفاده می شود.

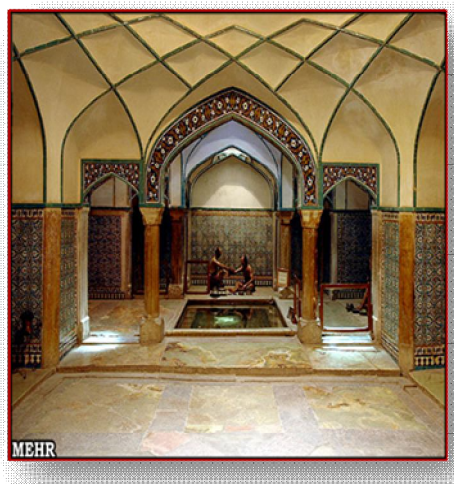
قوس خنچه پوش تخت

قوس خنچه پوش تخت یا خنچه ای تخت از قوسهای دسته سوم یعنی قوسهای تزئینی است این قوس به دو صورت به کار می رود:

۱- قوس منفرد: در این حالت ابعاد قوس به اندازهٔ محدود ساخته می شود. یعنی تیزهٔ قوس ارتفاع، و عرض قوس عمق آن را مشخص می کند (مثلاً ارتفاع قوس یک آجر و عرض قوس دو آجر)

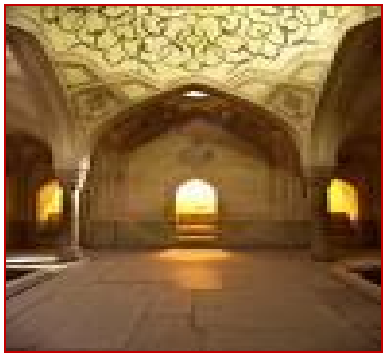
۲- تاق خنچه پوش: در این حالت پوشش برای راهروها و سقفهایی با دهنهٔ کوچک مورد استفاده قرار می گیرد. (پوشش گلویی و تاق تخت در دهنهٔ بیش از ۱۵۰ سانتیمتر به کار می رود).حالت دوم یعنی پوشش خنچه پوش به مراتب بیش از نوع اوّل یعنی قوس با پوشش محدود خنچه ای کاربرد دارد. در هر دو صورت نوع کار تقریباً یکی است. و به طور کلی ساختن قوس خنچه ای دو مرحله دارد:

الف: ساختن گلویی در دو طرف ب: پوشش تاق در ناحیه وسط



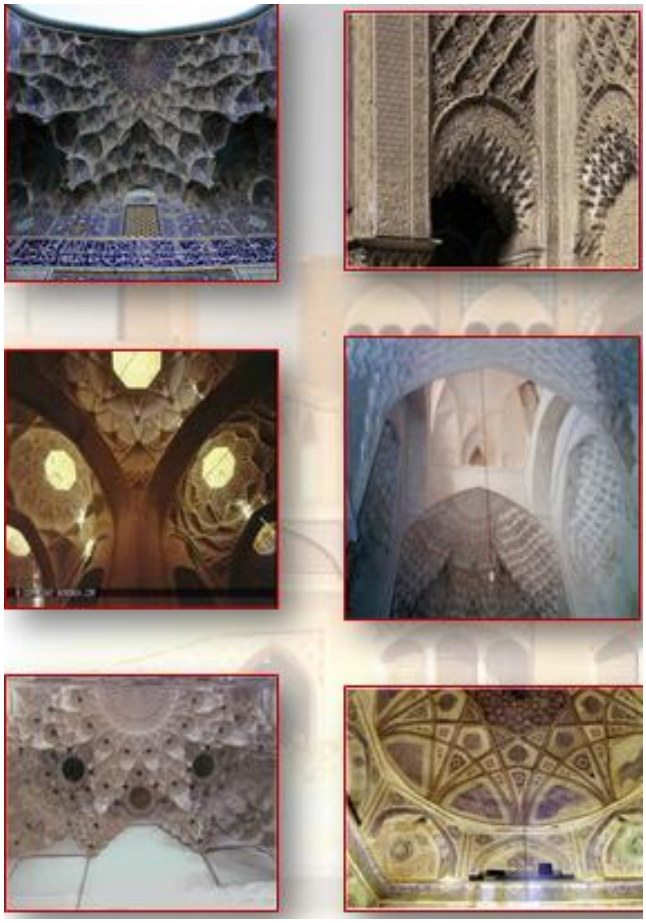
بنایی قوس خنچه پوش تخت

پس از ساختن ستون، پایه یا دیوارهای دو طریکدیگر ساخته و تخت می ش
در قوس خنچه ای معمولاً گلویی با غلت مطلوب، در حدود ضخامت یک رج یا پنج سانتیمتر از دیوار یا ستون که به صورت پایه می باشد، پیش گذاشته می شود. پیش آمدگی رج اوّل را به اصطلاح چفت می گویند. برای این که چفت به صورت غلت دور گلویی ساخته شود،از وجود قالب گلویی به شرح زیر استفاده می شود: برای ساختن اولین رج، قالب چوبی عمود بر خط افق نگهداشته می شود و یک آجر با تبعیت از حرکت مدور قالب در وضع پیش آمده و نشست بر سطح قالب در جای خود قرار می گیرد.همین عمل در سمت دیگر نیز انجام می شود و آجر با غلت لازم در محل خود قرار می گیرد. سپس در سر رج ریسمانکشی می شود و آجرچینی با پیوند لازم و مورد نظر انجام می گیرد.پس از ساختن این رج چیدن رجهای بعدی با پیوند، با حرکت مدور مطابق شکل قالب و با ریسمانبندی، همانطور که در رج چفت انجام گرفته بود، تکرار می شود.پوشش گلویی در حالت دوار از روی الگوی چوبی به دست آمده و با چیدن رجها به وجود می آید. معمولاً برای دور دادن به رجها پشت آجر بلند گرفته می شود. بلند گرفتن پشت آجر به وسیله ملات و در صورتی که ضخامت ملات کافی نباشد با چسباندن لاشه کاردیپشت رج انجام می گیرد. این نوع پوشش را رومی،می نامند.



ترسیم قوسها

قوسهایی که در هزاره های قبل از میلاد ساخته می شد، فقط برای پوشش بنا به کار می رفت . و همانطوری که گفته شد نوع ساختن و شیوه وشکل قوسها در ایران از حسن سلیقه معماران ایرانی مایه می گرفت و تکامل می یافت . سرانجام در عهد صفویه ترسیم قوسها به صورت رسمی بندی_مقرنس کاری _ قطار بندی و کاسه سازی با ضوابط ریاضی ودوایر و خطوط و اندازه ها نظم گرفت. این قوسها برای نماسازی و تحمل بارهای ساختمانی ساخته شد. عامل عمده در ساختن قوسها ترسیم آن ها است.

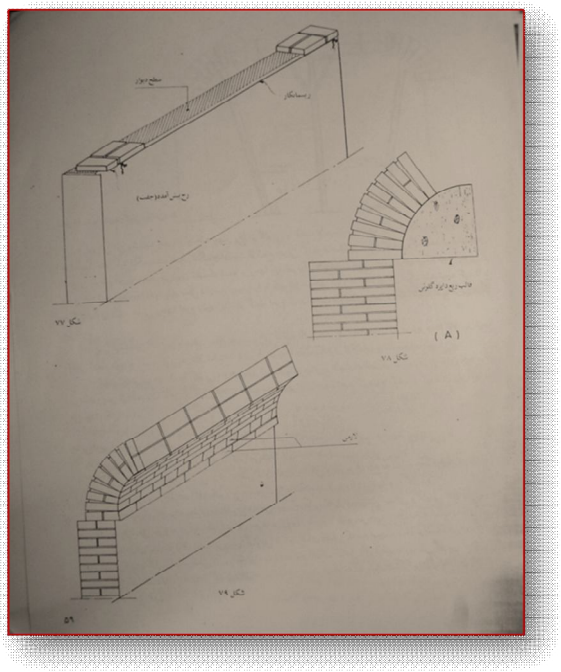


بنایی قوس تخت بین دو گلوئی

قوس تخت در گلوییها به دو صورت اجرا می شود:

الف: پس از ساختن گلویی برای پوشش تاق تخت و شکل دادن به آن باید به اندازه چفت پایین در ناحیهٔ تاق نیز عقب نشینی کرد و در اطراف تاق یک رج به صورت لا به شکل پخ (سر وته) تراشید و به کار برد. حالت پخ پای تاق برای پوشش مستقیم ساخته می شود. آجرهایی که برای پوشش ابتدایی و انتهایی تاق تخت به کار می رود باید به شکل سر وته در آید. نشست این آجرها بر روی رج پخ لا مانع سر خوردن تاق تخت است.

ب: برای نشست تاق تخت بر روی گلویی از آجرهای قفلی که به صورت (L) ترشیده می شود در پاکار استفاده می کنیم.کاربرد آجر قفلی در پاکار باعث نشست و اتصال کامل تاق تخت با پوشش گلویی است. در این حالت خطر جدا شدن تاق تخت از گلویی کم است اما این روش زیاد معمول نیست زیرا برای تیشه داری کار زیادی لازم است.



قوس پنج و هفت تند-قوس کند

قوس کلیل و کلاله

قدمت قوسهای کلیل تا دوره پارتی می رسد. نمونه های آن را می توان در بناهای آن جستجو کرد. در این آثار پوشش نعل درگاهها به صورت چپیله (دست اندازسازی زیر قوس) شبیه به قوس کلیل ساخته شده است. قوس کلیل به صورت کاملتر در بناهای بعد از اسلام به صورت گلویی، بیضوی و کلاله به سه مرکز رسم می شود. این مقدار از قوس گلویی تاق، و حد بین دو گلویی که با کمان سوم رسم می شود، کلالهنام دارد. در برخی از قوسها کلاله با دور مرتفع رسم می شود که نوع کلیل آن را آذری می نامند، این نوع تاق را می توان در مقبره شیخ صفی الدین اردبیلی مشاهده کرد.خطر شکست این گونه تاقها در زیر بار در قسمت شروع کمان سوم است، از این رو اگر قوس سوم با پس نشین و چفت سازی ساخته شود قوس کلیل تبدیل به قوس کلاله می شود که علاوه بر خاصیت تزئینی تا حدی توان باربری نیز دارد.شروع قوس کلیل به صورت امروزی را می توان از دوره سلجوقیان دانست از این قوس در تاقهای مسجد جامع نائین و مدرسه خرگرد در استان خراسان استفاده شده است. پیدایش قوس کلاله مقارن دوره تیموری است وانواعی از آن را می توان در طبقات تحتانی و فوقانی مدرسه شاهرخیه و خرگرد مشاهده کرد.

پیاده کردن قوس کلیل بر روی زمین

پس از تخمیرسازی با کرم بندی و شمشه کشی و پر کردن متن شمشه ها و پرداخت سطح، همان نحوۀ ترسیم روی کاغذ را دقیقاً بر روی زمین پیاده می کنیم چنانچه دهنۀ قوس کوچک باشد قالب را می توان از گچ ساخت در این صورت پس از رسم کمان اصلی با شعاعی ۸ تا ۱۰ سانتیمتر کمتر از قوس فوقانی قوس تحتانی نیز رسم می شود. فضای بین دو خط به دست آمده با کلوک چیده می شود وبا گذاشتن میلگرد در داخل قالب گچریزی می شود و سپس سطح گچ پرداخت می گردد.

چنانچه دهنه قوس طویل باشد برای آن قالب چوبی با ارتفاع لازم ساخته می شود، به این طریق که کمانهای مختلف قوس بر روی قالب پیاده و قوس به دست آمده با اره باریک بریده می شود. در این حالت از قالب دو تکه با اتصال در وسط استفاده می شود.

پیاده کردن قوس کلاله بر روی زمین

پس از آماده سازی تخمیر خط قوس بر سطح تخمیر پیاده می شود. به علت شکستگی بین دو کمان در این قوس که حالت کلاله را به وجود می آورد بهتر است در هر دهنۀ کوچک و بزرگ از قالب چوبی استفاده شود. اگر قالب از نوع گچی گرفته شود به علت شکست و پس نشین قوس یا باید قالب در سه قسمت یعنی دو قطعه برای گلویی و یک قطعه برای پس نشین ساخنه شودکه نصب و نگهداری قالب همراه با ستون و اتکای زیر آن عملیات واداشتن و تراز کردن و شاقولی ساختن آن را بسیار دشوار می سازد، و یا چنانچه بخواهیم قالب را یک پارچه بریزیم برای پیشگیری از شکست قالب در قسمت گلویی باید آن را فوق العاده قطور بگیریم که این هم از نظر مصرف زیاد گچ و هم از حیث نصب و استقرار قالب مطلوب نیست.

قوسهای تزئینی کلیل و کلاله

این دسته از قوسها به فرمهای مختلف برای تزئین بناها به کار می رود. از شکل ظاهری آنها مشخص است که قدرت تحمل بار را ندارند و فقط میتوانند وزن حاصل از خود را تحمل کنند و در زیر بارهای اضافی، شکسته می شوند. شکست این قوسها بیشتر بین شانه تا حدود وسط قوس رخ می دهد. ارتفاع این قوسها و دست انداز روی آنها بسیار کوتاه است و اگر بخواهند ارتفاع دست انداز تا حدی افزایش یابد حتماً باید قوس مهار شود باید توجه داشت که شکست در قوسهای دور کوتاه سریعتر و زودتر از قوسهای با خیز بلند به وجود می آید و همانطور که قبلاً ذکر شده است هر چه خیز قوس بلندتر باشد توان آن در مقابل نیروها بیشتر است.به طور کلی خانواده این قوسها به دو شاخه تقسیم می شود:

۱- قوسهایی که فرم کلی آنها، بدون در نظر داشتن نحوۀ ترسیم، شبیه قوسهای برنخشی است.

۲- قوسهایی که از نظر فرم مانند قوسهای دسته سبدی است و به علت ارتفاع دور قوس تحمل بیشتری در برابر نیروهای فشاری دارد.

بنایی قوس کلاله

بنایی این قوسها شامل دو مرحله است:

۱- پوشش گلویی: که از دو پاکار شروع می شود. غلت دور در این قسمت زیاد است و باید بندها به صورت ملات خورگوه ای یا با تراش آجرها به صورت فارسی ساخته شود.

۲- پوشش کلاله یا کلیل: چنانچه نوع قوس کلاله باشد پوشش مانند تاقهای خنچه پوش است یعنی با رعایت پس نشین کردن این قسمت از دو گلویی که شروع شانه قوس است رجها به طور یکنواخت و ملایم از دو طرف رج به رج بنایی می شود تا به تیزه برسد و با

کاربند کردن کار به پایان می رسد. چون کمان قوس در این قسمت دور زیادی ندارد ملات خور رجها تقریباً یکنواخت و غیر گوه ای است.

اگر نوع پوشش کلیل باشد گلویی ها مانند قوس کلاله ساخته می شود و آخرین رج از دو قسمت انتهایی گلویی به صورت یال تراشیده شده و به کار می رود، در این حالت یک طرف یال جوابگوی قوس گلویی و طرف دیگر جوابگوی قوس کلیل است. پوشش دور کلیل از دو شانه با دور ملایم و ملات خور یکنواخت ساخته می شود و در تیزه با کاربند کردن تاق به پایان می رسد.

باید توجه داشت که معمولاً این قوسها بین یک تا یک و نیم آجر یا حاکثر دو آجر ضخامت دارند. برای مرتفع نشان دادن قوس در دو طرف آن با یک نیمه رج چینی می شود و در انتها با تیر چوبی مقاوم، یا تاق دیگری مانند کمانی و باربر، پوشش می شود.

موارد استفاده قوسهای کلیل و کلاله

قوس کلیل و کلاله با دور سه گانه در نماسازیها جهت استقرار پنجره ها و درگاهیها، و در پوشش ایوانها به صورت بالکن و در بعضی موارد به صورتی که نیروی فشاری بر شانه و تیزه قوس وارد نشود در پوشش راهروها و سرسراها به کار می رود.

از این دسته قوسها بیشتر به عنوان نعل درگاه استفاده می شود و آنها را به صورت منفرد یا در ترکیب یک در میان بین قوسهای باربر یا نیمه باربر در برخی از بناهای قدیمی مانند مسجد جامع (کبیر یزد)، مدرسه میرزا جعفر در کنار بارگاه حضرت رضا (ع) و مسجد سید اصفهان می توان مشاهده کرد این قوسها در بناهای دوره قاجاریه نیز فراوان به کار رفته است و امروزه نیز کماکان برای تزئین بناها به کار گرفته می شود.

مرمت گنبد مقبره امام حسن عسگری (ع)

حامد مهداد کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد
Hamed.mehdad@gmail.com
ایمان الیاسیان کارشناس ارشد سازه
I.elyasian@gmail.com

چکیده :

ازآنجایی که ساختمان مذکور مصالح بنایی بوده و بر اثر انفجار بمب دچار تخریب شده بود لزوم تقویت و مرمت آن در دستور کار قرار گرفت ولی قبل از هر اقدام بررسی تئوری و شبیه سازی مسأله در اجزای محدود حائز اهمیت بود

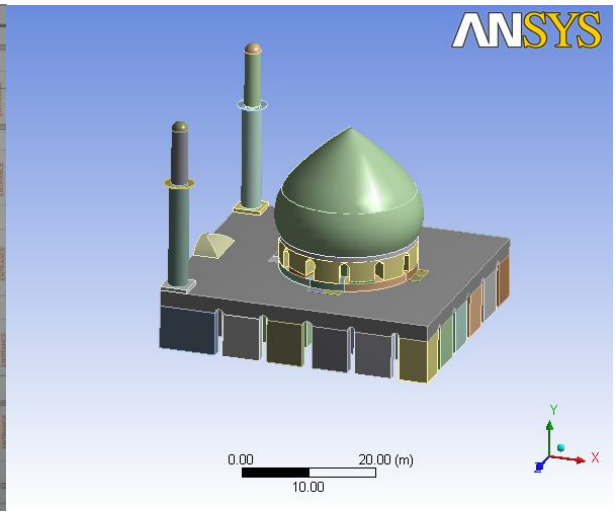
هدف تحقیق

در این بخش هدف، بررسی وضعیت سازه ساختمان بلاخص قسمت های بنایی آن تحت اثرات بارهای ثقلی و جانبی (زلزله محتمل) با تاکید بر نواحی ترک خورده در ساختار بنایی آن می باشد. به صورتی که مشخص گردد، آیا سازه ساختمان تحت بار های اعمالی دچار خرابی در نواحی ترک خورده و یا دیگر قسمت های بنایی آن می شود یا خیر؛ تا در صورت لزوم به تقویت نواحی محتمل خسارت پرداخته شود.

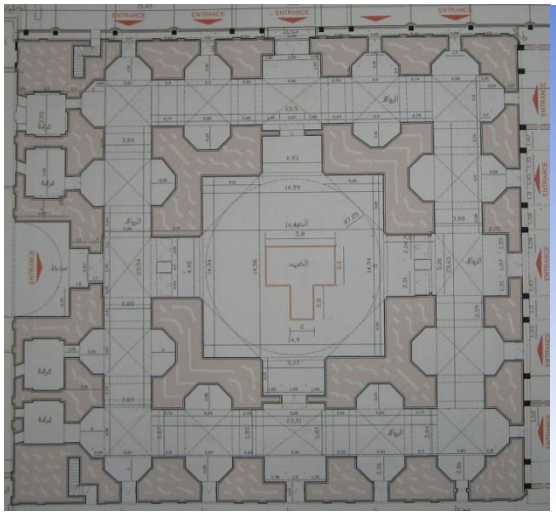
مقدمه

روند مدل سازی و فرضیات ساده سازی در آن

مدل سازه در نرم افزار Auto CAD به صورت سه بعدیِ توپر (Solid) انجام و سپس جهت شبیه سازی لرزه ای به نرم افزار المان محدود ANSYS Workbench v:11.0 انتقال داده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: مدل سه بعدی سازه در نرم افزار ANSYS Workbench.



شکل۲: تصویری از پلان موقعیت دیوار های سازه ساختمان

مدل سازه شامل ۳ قسمت اصلی است. این قسمت ها عبارت هستند از:

الف) دیوارها و سقف سازه ب) مناره هاج) گنبد های خارجی و داخلی و قسمت های اتصال دهنده آن ها به سقف سازه

جهت بررسی وضعیت هر قسمت و شرایط آن ها در مدل سازی، توضیح هر یک به طور مجزا در ادامه بیان شده است

الف) دیوار ها و سقف سازه

دیوارهای سازه دارای ساختار بنایی بوده که تقریباً به طور متقارن در پلان ساختمان توزیع شده است

سقف سازه نیز از نوع مصالح بنایی بوده که به شیوه سنتی (با قوس های نوک تیز یک طرفه و دوطرفه) بر روی دیوار ها قرار دارند

شکل ۳: بخشی از وضعیت دیوار ها و سقف سازه ساختمان پس از تخریب.

شکل ۴: تخریب نسبتاً کامل سقف سازه.

الف) دیوار ها و سقف سازه

دیوارهای سازه دارای ساختار بنایی بوده که تقریباً به طور متقارن در پلان ساختمان توضیع شده اند (شکل ۲). سقف سازه نیز از نوع مصالح بنایی بوده که به شیوه سنتی (با قوس های نوک تیز یک طرفه و دوطرفه) بر روی دیوار ها قرار دارند. قسمت هایی از این سقف پس از تخریب در اثر انفجار در شکل ۳ نشان داده شده است. در طی بمب گذاری قسمت های وسیعی از سقف سازه تخریب شده (شکل ۴)، که مورد مرمت کامل قرار گرفته است؛ این درحالی است که دیوارهای سازه بجز ترک خوردگی، آن هم در نواحی مرکزی ساختمان (دیوارهای زیر گنبد) و میزان کمی تخریب در راس شان، تاثیر ملموس دیگری ندیده اند.

پس از عملیات مرمت قسمت های تخریب شده در راس دیوارها و همین طور سقف بنا با مصالح بنایی مورد دسترس مورد بازسازی مجدد قرارگرفته، ولی تعدادی از ترک خوردگی های دیوارهای میانی (زیر گنبد) و همین طور گوشه سازی های سقف آن ناحیه بدون توجه رها شده اند. به جهت نیاز به مطالعه رفتاری این ترک ها تحت اثرات ثقلی بنا و همچنین زلزله احتمالی، تعدادی از آن ها پس از بررسی وضعیت شان (از احاظ عرض و عمق نفوذ)، بوسیله جدایی میان دو قسمت از ناحیه حضورشان در مدل لحاظ گردیده اند. به بیان ساده، اگر در میانه یک بلوک ترکی وجود داشت باشد آن بلوک در محل ترک به دو بلوک مجزا تبدیل شده تا در مرز جدایی خواص ترک (از لحاظ توانایی در انتقال نیرو ها) به آن اختصاص یابد.

اعمال اثر ترک ها در مدل سازه با معرفی المان های تماسی (Contact & Target) و با تنظیم رفتار آن ها به طور اصطکاکی و با ضریب اصطکاک ۰/۲۵ انجام شده است.

در آنالیز مدل از روش ماکرو (Macro modeling) که یکی از روش های مدل سازی سازه های بنایی است، بهره گرفته شده؛ به این صورت که جسم دیوار ها و همین طور سقف ها که از واحد های آجر و ملات ساخته شده، با یک جسم با خواص مشترک آجر و ملات مدل می شود، تا بتوان یک سازه با ابعاد بزرگ را در مدت زمانی بسیار کمتر مورد آنالیز قرارداد.

شکل ۵: تصویری از میزان انهدام گنبد سازه

شکل ۶: سازه جدید گنبد ساختمان که از تیر ورق های فولادی تشکیل شده است.

جدول ۱: محل کاربرد المان های استفاده شده در مدل ها.

نام المان	محل کاربرد در مدل
Solid 187	سقف، دیوارها،گنبد ها و مناره ها (در کل هر قسمتی از سازه که نیاز به مش بندی نامنظم می باشد).
Solid 186	سقف، دیوارها،گنبد ها و مناره ها (در کل هر قسمتی از سازه که از مش بندی منظم استفاده شده است).
Conta 174	سطوح تماس بین دیوارها و سقف ها سطوح تماس بین قسمت های مختلف مناره ها سطوح تماس بین قسمت های مختلف گنبد ها سطح تماس بین رینگ بتنی گنبد و گریو سطوح ترک خوردگی در گریو گنبد ها
Targe 170	سطوح تماس بین دیوارها و سقف ها سطوح تماس بین قسمت های مختلف مناره ها سطوح تماس بین قسمت های مختلف گنبد ها سطح تماس بین رینگ بتنی گنبد و گریو سطوح ترک خوردگی در گریو گنبد ها

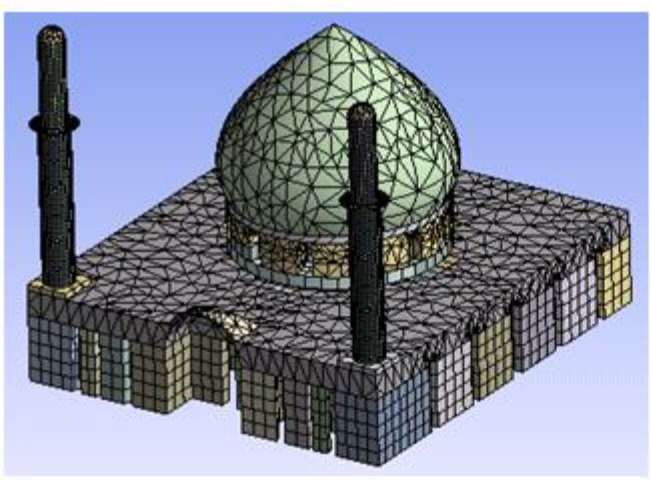
ب) مناره ها

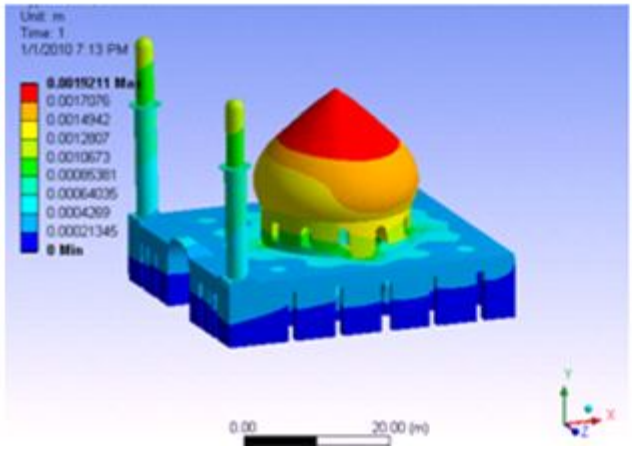
مناره های سازه که در دو طرف ضلع جنوبی آن و بر فراز بام ساختمان قرار داشته اند در انفجار به طور کامل تخریب شده اند؛ ساختار این مناره ها از جنس مصالح بنایی بوده که پس از احداث مجدد قسمتی از آن به صورت بتن مسلح و قسمت دیگر به طور بنایی ساخته شده است.

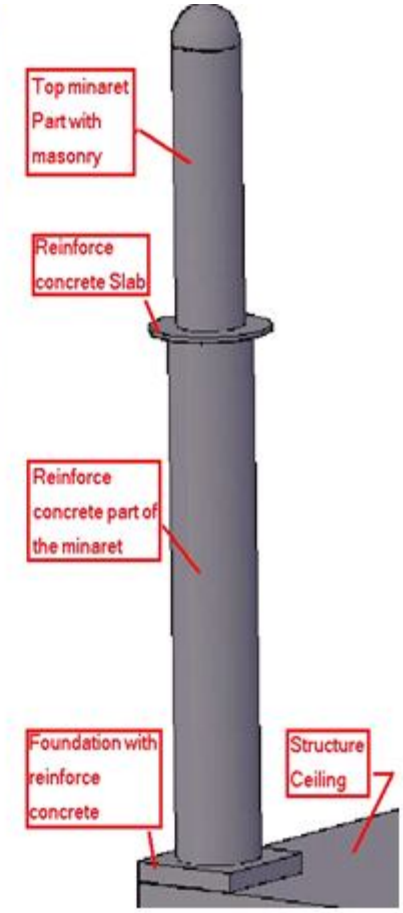
مطابق شکل ۵ سازه مناره ها شامل ۴ قسمت است که به ترتیب از پایین به بالا بر روی سقف ساختمان بنا گردیده:

۱-فونداسیون بتن مسلح، ۲- جدارهٔ استوانه ای با ساختار بتن مسلح (به ارتفاع ؟)، ۳- دال دایره ای شکل با ساختار بتن مسلح و ۴- راس استوانه ای به ارتفاع ؟ و با ساختار بنایی.

این ۴ قسمت بجز در مرز بین فونداسیون و جدار بتنی و همین طور جدار بتنی و دال بتنی روی آن دارای هیچ اتصال و درگیری (حتی در مرز بین فونداسیون و سقف سازه) نمی باشد که پس از تصمیم بر ایجاد اتصالات مناسب بین این قسمت ها به دلیل وضوح در وارونگی شان در طی نیرو های جانبی، مرز بین آن ها در مدل سازی توسط المان های تماسی به صورت چسبیده (Bonded) درنظر گرفته شده است. در قسمت بنایی منار از روش ماکرو مدلینگ استفاده شده و در قسمت های بتن آرمه آن فقط به مدل سازی قسمت های بتنی (بدون حضور آرماتورها) اکتفا شده است. عدم مدل سازی آرماتور ها به دلیل کم بودن بعد ضخامت آن ها بوده که باعث ازدیاد تعداد مش های سازه و درنتیجه افزایش زمان آنالیز می گردد. جهت برطرف نمودن این نقیصه، نتایج موبوط به تنش های کششی در جداره بتنی با تنش کششی مورد تحمل آرماتورهای آن، به طور دستی کنترل می شود.



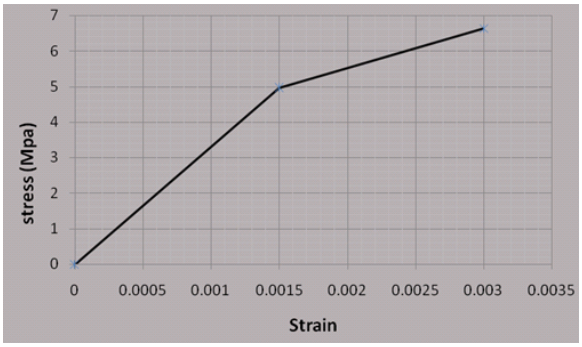




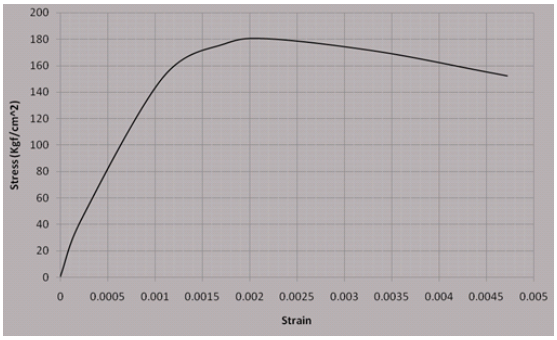
شکل ۷: تصویری شماتیک از قسمت های مناره جدید الاحداث شکل۸- تصویر مش شدهٔ مدل سازه در نرم افزار المان محدود شکل شکل۹- وضعیت تغییر شکل سازه تحت بار وزن

.

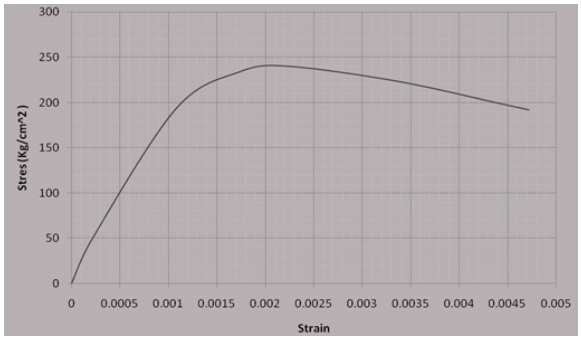
جدول ۲: پارامتر های مکانیکی مصالح بنایی.		جدول ۳: پارامتر های مکانیکی بتن.	
چگالی مصالح (ρ)	1810 Kg/m^3	چگالی مصالح (ρ)	2360 Kg/m^3
مدول الاستیسیته مصالح (E)	40887 Kg/m^3	مدول الاستیسیته مصالح (E)	230000Kg/m^3
ضریب پواسون مصالح (ν)	0.17	ضریب پواسون مصالح (ν)	0.2
ضریب اصطکاک میان سطوح بنایی	0.25	ضریب اصطکاک میان سطوح بتنی و بنایی	0.25



شکل۱۰-: منحنی تنش-کرنش فشاری مصالح بنایی



شکل۱۱: منحنی تنش-کرنش فشاری بتن (مربوط به فونداسیون و جداره مناره ها)



شکل۱۲: منحنی تنش-کرنش فشاری بتن (مربوط به رینگ گنبد)

پارامتر های مکانیکی بتن.

چگالی مصالح (ρ)	2360 Kg/m^3
مدول الاستیسیته مصالح (E)	230000Kg/m^3
ضریب پواسون مصالح (ν)	0.2
ضریب اصطکاک میان سطوح بتنی و بنایی	0.25

پارامتر های مکانیکی مصالح بنایی.

چگالی مصالح (ρ)	1810 Kg/m^3
مدول الاستیسیته مصالح (E)	40887 Kg/m^3
ضریب پواسون مصالح (ν)	0.17
ضریب اصطکاک میان سطوح بنایی	0.25

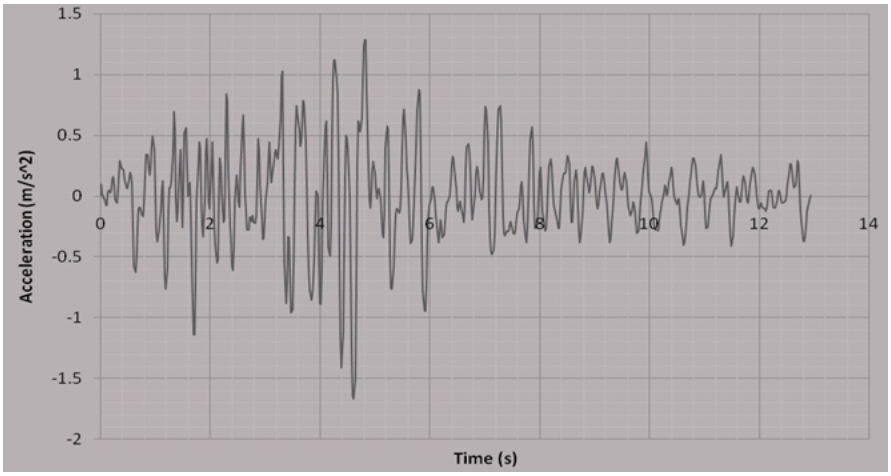
مقادیر تنش های تسلیم و نهایی در مصالح بنایی.

پارامتر	مقدار تسلیم F_y (Pa)	مقدار نهایی F_u (Pa)
تنش فشاری F_c	5×10^6	6.6×10^6
تنش کششی F_t	5×10^5	6.6×10^5

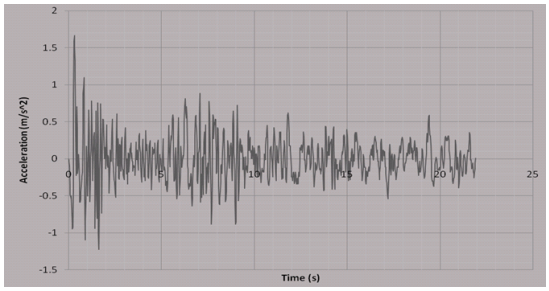
بار های وارده بر مدل سازه

بار های وارد بر سازه شامل بار ناشی از وزن اعضا و نیروی زلزله است. در هر آنالیز با اعمال شتاب گرنش ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه و معرفی وزن مخصوص مصالح، اثر وزن به سازه اعمال می شود. اثر نیروی زلزله با اعمال شتاب آن در دو جهت افقی متعامد و به صورت جدا از هم به سازه اعمال شده است.

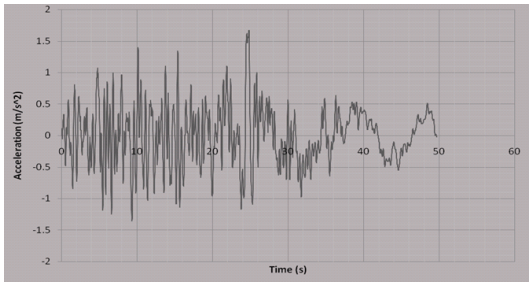
در آنالیزها از ۳ شتاب نگاشت زلزله که متناسب با ساختگاه محل سازه انتخاب و مقیاس شده اند، استفاده گردیده. شتاب نگاشت ها دارای فاصله زمانی ۰/۰۲ ثانیه بوده و به ترتیب دارای زمان های ۱۳، ۲۲ و ۵۰ ثانیه هستند. شکل های 13 تا 15، به ترتیب دیاگرام شتاب-زمان زلزله های اعمال شده به سازه را نشان می دهند.



شکل۱۳: دیاگرام شتاب-زمان زلزله با مدت زمان ۱۳ ثانیه.



شکل۱۵: دیاگرام شتاب-زمان زلزله با مدت زمان ۵۰ ثانیه.



شکل۱۴: دیاگرام شتاب-زمان زلزله با مدت زمان ۲۲ ثانیه.

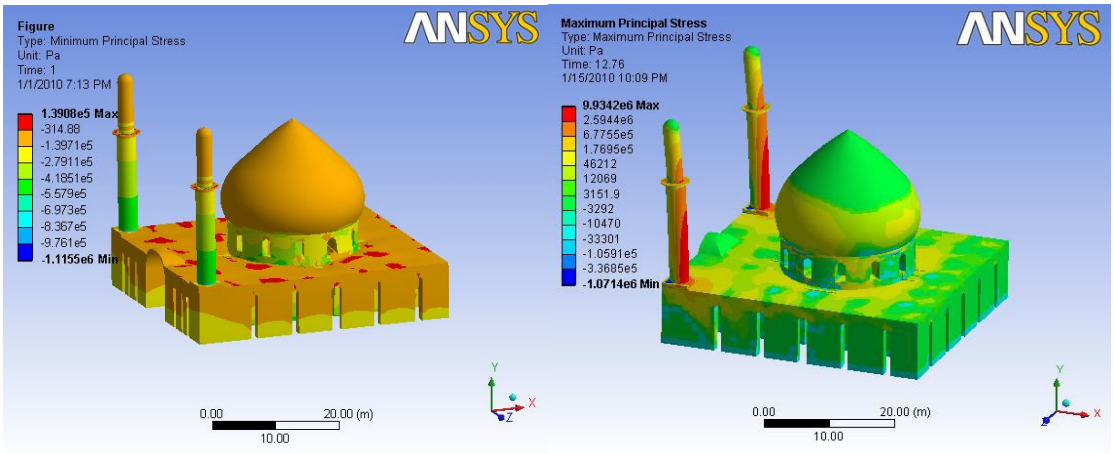
الف) آنالیز استاتیکی

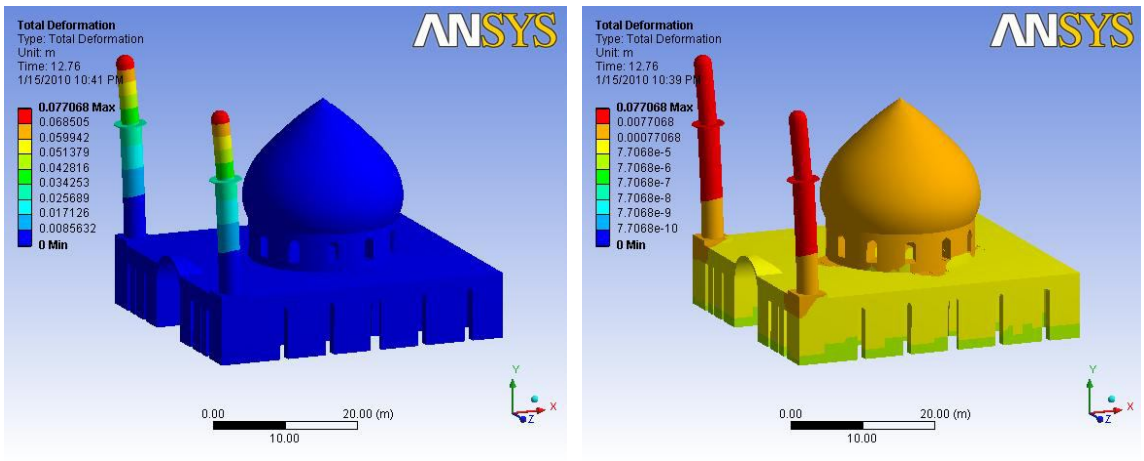
ب) آنالیز های دینامیکی-تاریخچه زمانی

جدول ۴: پارامتر های دینامیکی سازه.

میرایی سازه	5%
نوع آنالیز دینامیکی سازه	تاریخچه زمانی.
شتاب گرانش زمین در جهت y	$9.81(m/s^2)$
شتاب زلزله در جهت x	۳ شتاب نگاشت ایجاد شده برای محل (شهر سامرا-عراق).
شتاب زلزله در جهت z	۳ شتاب نگاشت ایجاد شده برای محل (شهر سامرا-عراق).

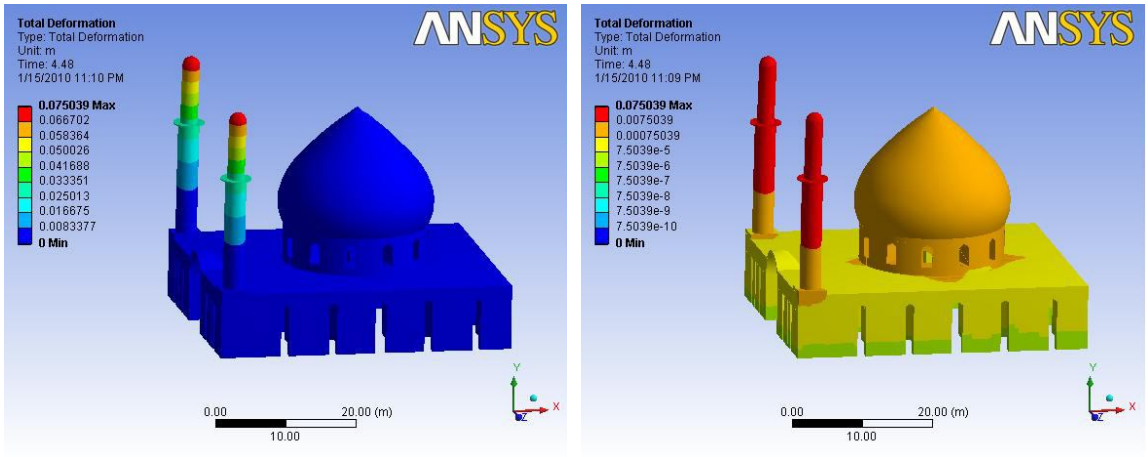
بررسی وضعیت تغییر شکل های سازه





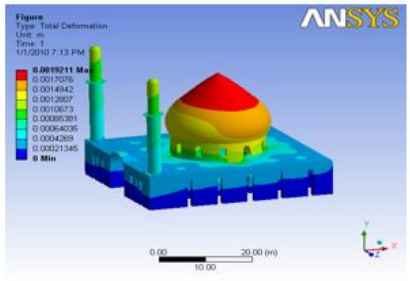
(ب) (الف)

شکل ۱۶: وضعیت تغییر شکل سازه تحت شتاب زلزله (راستای X) در زمان ۱۲,۷۶ ثانیه. (الف): تفکیک کانتور جابجایی در دیوار ها، سقف، گریو و گنبد. (ب): تفکیک کانتور جابجایی در مناره ها.

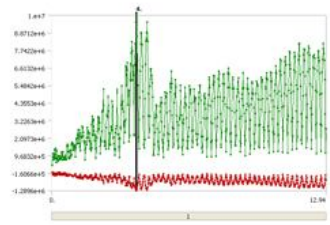


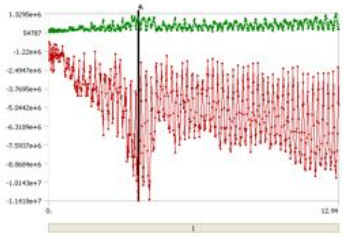
(ب) (الف)

شکل ۱۷: وضعیت تغییر شکل سازه تحت شتاب زلزله (راستای Z) در زمان ۴,۴۸ ثانیه، (الف): تفکیک کانتور جابجایی در دیوار ها، سقف، گریو و گنبد. (ب): تفکیک کانتور جابجایی در مناره ها.



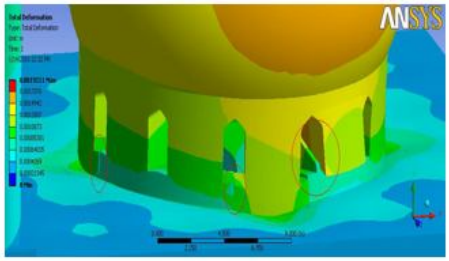
وضعیت تغییر شکل سازه تحت بار وزن



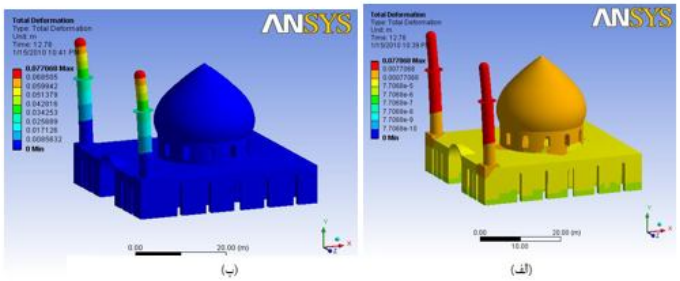


(الف) (ب)

دیاگرام حداکثر مقادیر تنش رخ داده در سازه در طی زمان زلزله در جهت **Z** (محور افقی زمان و محور قائم مقادیر تنش مربوطه را نشان می دهند). (الف): دیاگرام مربوط به تنش اصلی حداکثر، (ب): دیاگرام مربوط به تنش اصلی حداقل.

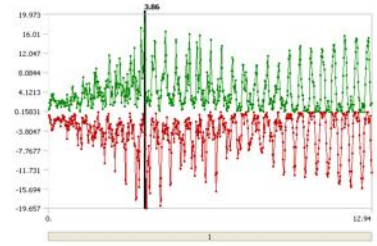


تصویر نزدیک از تغییر شکل گریو تحت بار ثقلی. به لغزش های رخ داده که با دایره قرمز رنگ مشخص شده توجه شود



(الف) (ب)

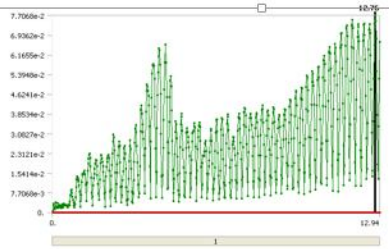
وضعیت تغییر شکل سازه تحت شتاب زلزله (راستای X) در زمان ۱۲٫۷۶ ثانیه. تفکیک کانتور جابجایی در دیوار ها، سقف، گریو و گنبد. (ب): تفکیک کانتور جابجایی در منارہ ها

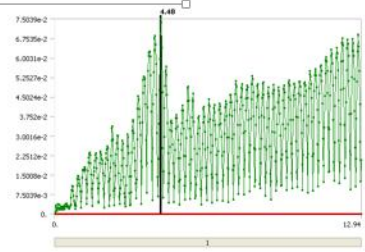


دیاگرام حداکثر مقادیر شتاب داخلی رخ داده در سازه در طی زمان زلزله (محور افقی زمان و محور قائم مقادیر شتاب را نشان می دهند).

(الف) (ب)

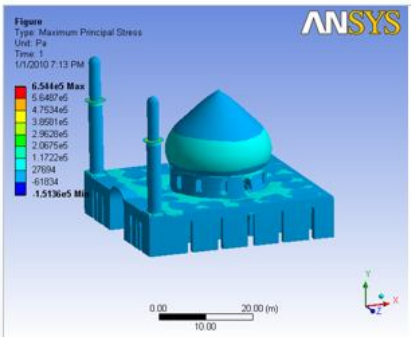
دیاگرام حداکثر مقادیر تنش رخ داده در سازه در طی زمان زلزله (محور افقی زمان و محور قائم مقادیر تنش مربوطه را نشان می دهند). (الف): دیاگرام مربوط به تنش اصلی حداکثر، (ب): دیاگرام مربوط به تنش اصلی حداقل.



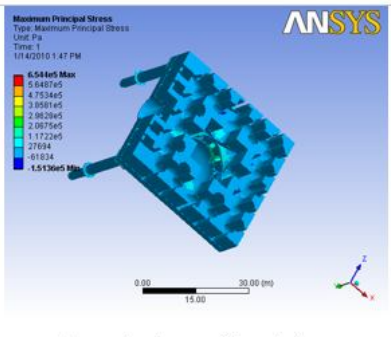


دیاگرام حداکثر جابجایی رخ داده در سازه در طی زمان زلزله. محور افقی زمان و محور قائم مقادیر جابجایی را نشان می دهند

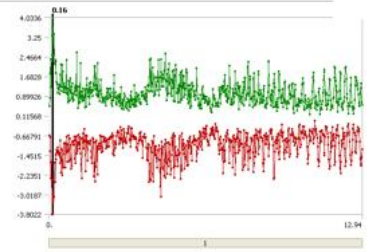
دیاگرام حداکثر جابجایی رخ داده در سازه در طی زمان زلزله (جهت **Z**). محور افقی زمان و محور قائم مقادیر جابجایی را نشان می دهند



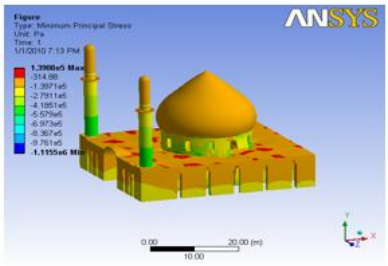
تنش اصلی حداکثر در نمایی از روی سازه،



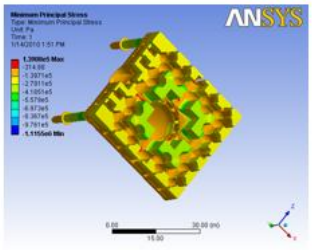
تنش اصلی حداکثر در نمایی از زیر سازه



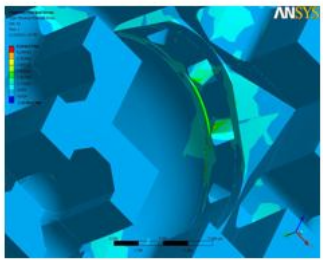
دیاگرام حداکثر مقادیر شتاب داخلی رخ داده در سازه در طی زمان زلزله در راستای z (محور افقی زمان و محور قائم مقادیر شتاب را نشان می دهند).



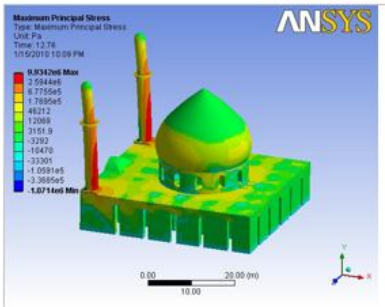
تنش اصلی حداقل در نمایی از روی سازه

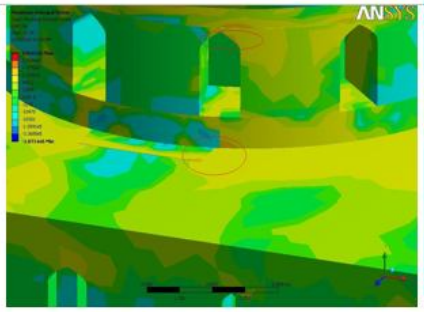


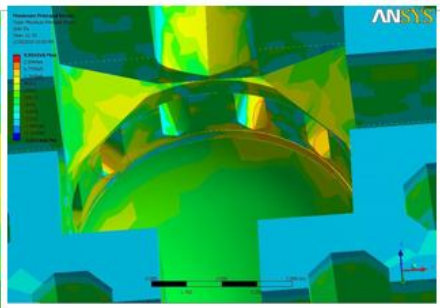
تنش اصلی حداقل در نمایی از زیر سازه

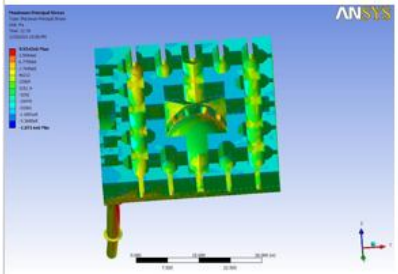


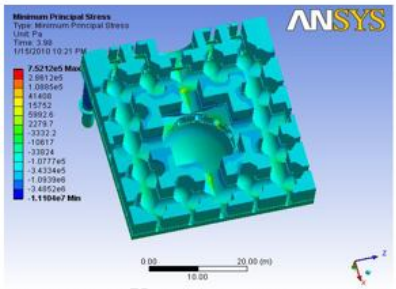
تنش اصلی حداکثر در نمایی نزدیک از زیر سازه،

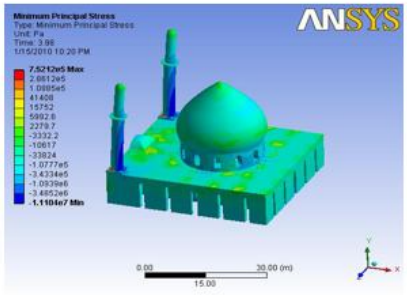




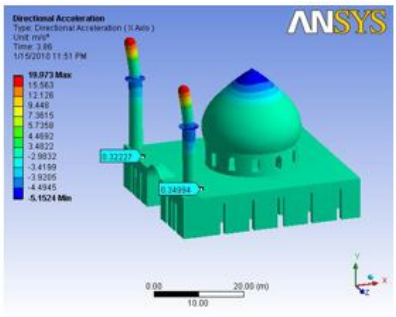




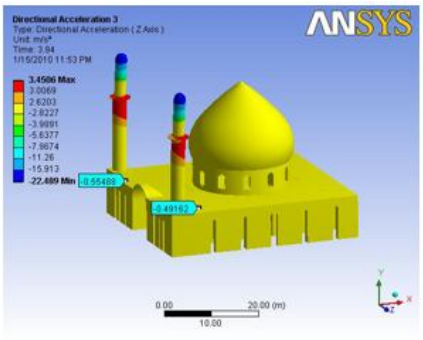




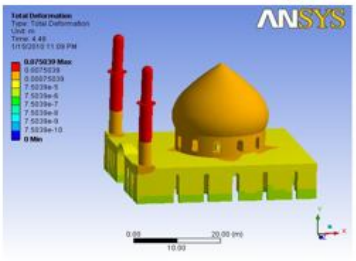
. (الف): تنش اصلی حداکثر در نمایی از روی سازه، (ب): تنش اصلی حداکثر در Xوضعیت تنش های اصلی در سازه تحت شتاب زلزله در جهت نمایی نزدیک از گریو و در اطراف قسمت های ترک خورده، (ج): تنش اصلی حداکثر در نمایی از زیر سازه، (د): تنش اصلی حداکثر در نمایی نزدیک از زیر سازه، (ه): تنش اصلی حداقل در نمایی از روی سازه و (ی): تنش اصلی حداقل در نمایی از زیر سازه

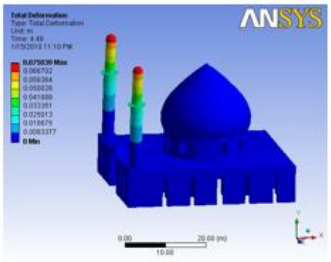


کانتور شتاب زلزله در سازه، تحت شتاب زلزله (جهت X) در زمان ۱۲,۷۶ ثانیه (توجه شود که واحد شتاب بر روی این شکل m/s^2 است).

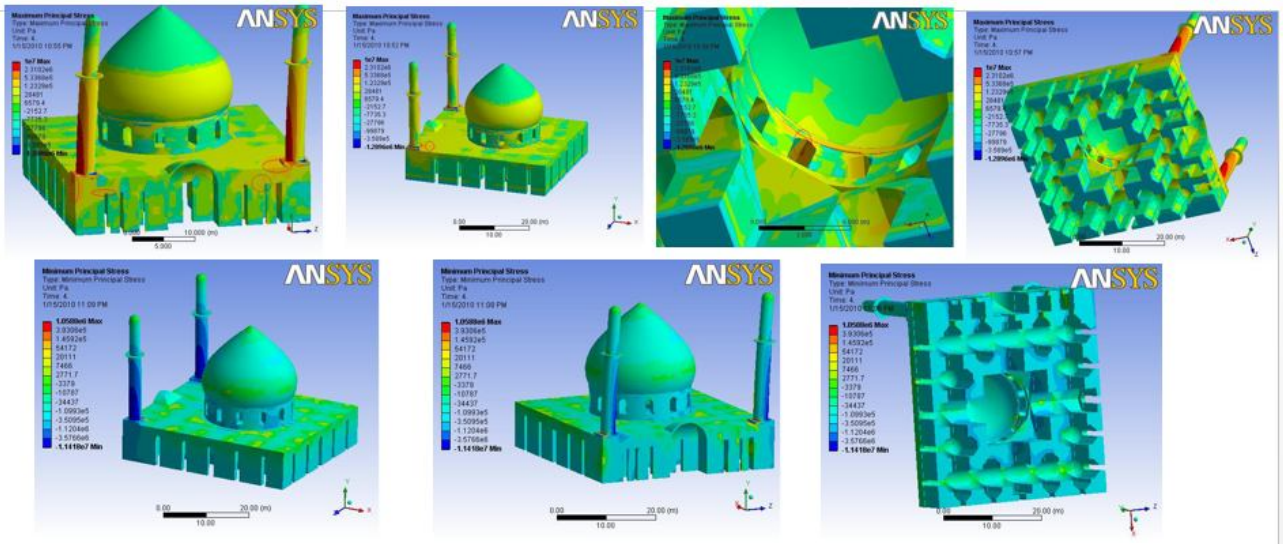


کانتور شتاب زلزله در سازه، تحت شتاب زلزله در جهت z





وضعیت تغییر شکل سازه تحت شتاب زلزله (راستای z) در زمان ۴,۴۸ ثانیه،
(الف): تفکیک کانتور جابجایی در دیوار ها، سقف، گریو و گنبد. (ب): تفکیک کانتور جابجایی در مناره ها.



(الف): تنش اصلی حداکثر در نمایی از روی سازه، (ب): تنش اصلی حداکثر در نمایی دیگر از zوضعیت تنش های اصلی در سازه تحت شتاب زلزله در جهت روی سازه، (ج): تنش اصلی حداکثر در نمایی از زیر سازه، (د): تنش اصلی حداکثر در نمایی نزدیک از زیر سازه و در ناحیهٔ گریو، (ه): تنش اصلی حداقل در نمایی از روی سازه، (و): تنش اصلی حداقل در نمایی از روی سازه، (ی): تنش اصلی حداقل در نمایی از زیر سازه

جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات

۱- دیوار ها و سقف سازه: این قسمت از سازه تحت بار ثقلی بدون مشکل خواهد بود؛ ولی تحت زلزله در نواحی اصراف فونداسیون مناره های دچار ترک خوردگی های خفیفی خواهد شد. این به دلیل اتصال سطح زیرین فونداسیون منار به سطح روی بام است که کشش ناشی از خمش منار به آن وارد می شود.

جهت حفظ منار از وارونگی (Over turning) در محل پایه، انتقال خمش و همین طور کاهش و یا حذف اثرات مخرب بر دیوار های در نزدیکی آن می توان از روش اتصال مسقیم فونداسیون مناره ها به فونداسیون و خاخ زیر سازه استفاده نمود. این عمل با استفاده از آرماتور های قطوری که از امتداد ارتفاع دیوار ها گذشته و فونداسیون مناره ها را به فونداسیون زیر سازه وصل می کند، می تواند انجام شود.

۲- گریو: این قسمت از سازه به دلیل ترک خوردگی های ناشی از انفجار و این که بدون مرمت و تقویت رها شده است، تحت بار زلزله اعمال دچار افزایش ترک خوردگی خواهد شد؛ این در حالی است که تحت بار ثقلی، تقریباً بجز مقداری تغییر شکل اندک (حدود ۱ میلیمتر) در محل ترک خوردگی ها اثر نامطلوب دیگری مشاهده نمی شود.

جهت کنترل ترک های موجود و جلوگیری از خرابی های اضافی در ناحیهٔ گریو نیاز به مرمت و تقویت این قسمت از بنا می باشد. این امر می تواند با تزریق ملات و یا رزین مناسب در شکاف ترک ها و همین طور دورپیچی کلی گریو با لایه ای از جنس بتن مسلح و یا الیاف های FRP، انجام شود.

عدم اتصال میان رینگ بتنی زیر گنبد و گریو هیچ گونه مشکلی در باربری و پایداری این قسمت از سازه و همچنین گنبد های داخلی و خارجی ایجاد نمی کند. در واقع پایداری گنبد های سازه در طی زلزله در اثر پدیده اصطکاک میان سطح بتنیِ رینگ و آجریِ گریو برقرار می شود.

۳- قسمت آجری مناره ها: این قسمت از سازه به دلیل عدم اتصال به قسمت بتنی زیر خود و همین طور عدم وجود المانی کششی پذیر، تحت زلزله دچار وارونگی صد در صد خواهد شد. این مورد از نرخ سریع جابجایی در راستای ارتفاعی آن در زلزله (شکل های ۱۶ و ۱۷) به وضوح قابل درک است. از این رو علاوه بر افزودن المان هایی کشش پذیر مانند شبکه ای فولادی، پوششی از بتن مسلح و یا محصور کردن کامل با الیاف های FRP، نیاز به برقراری اتصالی مناسب در پای آن با قسمت بتنی منار می باشد.

مراجع

۱- مطالعه موردی مرمت و مقاوم سازی گنبد مقبره امام حسن عسگری (ع)

۲- علی کریمی ، حسین میسمی، ایمان الیاسیان ، مقاوم سازی سازه های بتنی با استفاده کامپوزیت FRP

۳- علی کریمی ، حسین میسمی ، سعیده سعیدی، ایمان الیاسیان، استفاده از FRP در سازه های بنایی

۴- ایمان الیاسیان،حسین میسمی تکنیکهای مقاوم سازی و بهسازی سازه ها، انتشارات سازمان عمران ۱۳۸۹

۵- ANSYS Manual Set, ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA 15317, USA, 2010. Work bench Manual version 11

۶- حسین میسمی - آرزو بطحائی - سعیده سعیدی - نفیسه قاسمی پایداری سازه های گنبدی در برابربارهای دینامیکی و انفجار

سازه های غشایی: (پوشش های چادری)

سازه‌های غشایی که سازه چادری یا سازه پارچه‌ای نیز نامیده می‌شود، زیرمجموعه‌ای از سازه‌های فضایی هستند و به دلیل سبکی، شفافیت و انعطاف در خلق فرم‌های زیبا و بدیع، گسترش روزافزونی در ساخت بناهایی با عملکردهای مختلف تجاری، اداری، ورزشی و... یا به شکل سایه بان در فضاهای عمومی و شهری داشته‌اند.

ویژگی‌های مذکور ارتباط مستقیم با خواص مواد سازنده غشاهای این نوع سازه‌ها دارد. ساخت و تولید مواد کامپوزیت از الیاف و پلیمرها با طیف وسیعی از خواص فیزیکی، مکانیکی و سازه‌ای امکانات متعددی را پیش روی طراحان قرار داده است. این مواد دارای تفاوت‌هایی در اندازه، وزن و خواصی نظیر مقاومت گسیختگی، مقاومت در برابر ترک خمشی، انتشار آتش، گسترش پارگی و همینطور درجه شفافیت، دوام و ضمانتی که کارخانه سازنده می‌دهد، می‌باشند؛ بنابراین شناخت این ویژگی‌ها و تفاوت‌ها جهت انتخاب ماده مناسب از سوی طراحان و مهندسین، امری ضروری می‌نماید

غشا ورقه‌ای نازک از ماده است که تنها دربرابر کشش مقاومت دارد و دربرابر فشار و خمش هیچ مقاومتی ندارد، پارچه را می‌توان بهترین نمونه ازغشاها و سازه چادری نام برد. سازه چادری از دو جزء تشکیل شده‌است؛

پارچه: پوسته کششی نازکی است که نیروی کششی را انتقال می‌دهد.

عناصر فشاری: قوس‌ها و ستون‌ها که نیروی فشاری را انتقال می‌دهند. لبه چادر همواره تمایل به لرزیدن در مقابل نیروهای باد وسایر نیروها را دارد، به همین علت معمولاً لبه چادر را به صورت مقعر می‌سازند که همواره درکشش باقی بماند و از پارگی آن جلوگیری شود

تاریخچه سازه چادری

اولین بنای واقعی معماری با این نوع سازه توسط ولادیمر شوخوف طراحی شد که وی تمامی محاسبات کاربردی تنش‌ها و تغییر شکل‌های حاصل از تنش‌ها را توسعه داد و پس از آن آنتونیوگائودی با معکوس کردن یک ساختار فشاری یک ساختار معلق کششی به دست آورد که درکلیسای ساگرافمیلیا از آن استفاده کرد. و پس از آن فرای اتو از این سازه در سقف استادیوم المپیک مونیخ۱۹۷۲ استفاده کرد.

ایران نیز دارای پیشینه بسیار غنی در مورد چادر و سازه‌های چادری است که بقایای آن هنوز در میان عشایر و کوچ نشینان دیده می‌شود

طراحی سازه‌های چادری

طراحی ساختمان با سازه چادری با طراحی ساختمان‌های ساده بسیار متفاوت می‌باشد. درطراحی این سازه‌ها نمی‌توان ابتدا پلان بنا را کشید و سپس آن را اجرا کرد. در این نوع سازه‌ها، درگام اول طرح اولیه‌ای متناسب با عملکرد ارائه می‌شود، درگام بعدی با ساخت ماکتی شکل کلی آن را پیدا می‌کنند و سپس به تحلیل کلی سازه می‌پردازند و در نهایت تمامی جزئیات سازه را طراحی می‌کنند. به فرایندی که منجر به طراحی پوشش چادری می‌شوداصطلاحا form finding اطلاق می‌شود. امروزه این کار توسط نرم افزارهای تخصصی طراحی سازه چادری انجام می‌شود.

مراحل پیاده سازی و نکات فنی سازه های چادری

طراحی اولیه و فرم یابی: در طراحی سازه‌های پارچه‌ای می‌بایست چهار عامل مورد توجه قرار گیرد و با توجه به عملکرد و نیروهای وارده، فرم مناسب جهت پارچه را به دست آورد.

طراحی و اجرای فنداسیون: بخشی از سازه پارچه ای است که وظیفه انتقال نیرو از ستون‌ها به زمین و خاک اطرافش را بر عهده دارد بر اساس نوع سازه پارچه ای و میزان نیروهای وارده، بافت لایه‌ها، نوع خاک زمین و شرایط آب و هوایی منطقه، می‌توان تیپ و ابعاد شالوده را انتخاب و مشخص نمود. ابعاد پی‌ها به میزان برف و وزش باد و نوع خاک محل بستگی دارد.

طراحی الگو و جوش پارچه: پارچه‌های مورد استفاده در این سازه‌ها، طی یک پروسه صنعتی تولید می‌گردد و در تولید آن از مدرن‌ترین تکنولوژی‌ها و استانداردها استفاده می‌شود. برای تولید پارچه‌های روکش دار باید استانداردهای لازم در تمام مراحل از مرحله تولید الیاف تا بافت و اتصال روکش، رعایت شود.

طراحی و ساخت سازه: بخش دیگری از سازه‌های پارچه ای، عناصری هستند که وظیفه انتقال بار غشا به فنداسیون و سپس زمین را برعهده دارند. این عناصر به‌طور عمومی سازه نامیده می‌شوند. سازه‌ها در این سیستم به صورت دیرک های خارجی، کابل‌های معلق و دیرک های داخلی هستند.

رنگ آمیزی و بسته بندی: یکی دیگر از مراحلی که در فرایند ساخت سازه‌های پارچه ای و غشایی طی می‌شود، رنگ آمیزی سازه و اتصالات می‌باشد . به علت نمایان بودن سازه و اتصالات در سایبان مدرن، زیبایی و ظرافت در سازه و اتصالات از اهمیت ویژه ای برخوردار است

طراحی و ساخت اتصالات: به دلیل تنش‌های بالای ناشی از پیش‌تنیدگی و نیز بارگذاری سازه‌های غشایی، در لبه‌ها و مرزهای غشا، این قسمت‌ها نیاز به طراحی و مقاوم سازی ویژه دارند.

انتخاب تجهیزات نصب: در نصب سازه‌های غشایی به دلیل نحوه نصب پارچه، که نیاز است به تدریج و به صورت یکنواخت و از تمامی تکیه گاه‌ها، به پیشتنیدگی نهایی خود برسد، می‌بایست از نیروهای متخصص در این ضمینه به همراه تجهیزات مناسب برای این امر استفاده کرد.

نصب و تحویل پروژه: تیم اجرایی با پیشرفته‌ترین تجهیزات نصب و ایمنی و با استفاده از نیروی‌های آموزش دیده و مجرب سعی بر آن دارد که پروژه‌های این شرکت طبق نقشه‌های اجرایی را در کمترین زمان و با کیفیت به اتمام برساند.

فرم‌های سازه‌های کششی

برای انتقال نیروهای عمود بر سطح پارچه مانند بار باد به سمت بالا و بار برف به سمت پایین می‌بایست در سطح پارچه انحناهایی عمود بر هم ایجاد کرد. در ریاضیات فضایی به سطوحی که در هر نقطه دو انحنای عمود بر هم داشته باشند سطوح آنتی کلاسیک گفته می‌شود. سطوح انتی کلاستیک انواع متفاوتی دارند که در ادامه به بررسی ۳ نوع از آن‌ها که بیشتر در سازه‌های پارچه‌ای کاربرد دارد خواهیم پرداخت. به جرات می‌توان ادعا کرد تمامی سازه‌های پارچه‌ای ایجاد شده در جهان ترکیبی از این سه نوع رویه کلی تشکیل شده‌اند

Hyperbolic):

در این نوع از سطوح بار وارده از طریق گوشه انتقال پیدا می‌کند. در این نوع سطوح دو گوشه به سمت پایین و دو گوشه به سمت بالا خواهد بود. گوشه‌های پایین نیروهایی به سمت بالا و گوشه‌های بالا نیروهایی به سمت پایین را انتقال خواهند داد.

خیمه (Conic):

در این نوع از سطوح با استفاده از انحنا در سطح پارچه نیروها به دو سمت سطح انتقال پیدا می‌کند. این نوع از سطوح سال‌های زیادی است به عنوان سطوح باربر خیمه‌های موقت نیز کاربرد دارد. در این فرم تمامی بارها به سمت لبه پایینی و بالایی رویه انتقال پیدا کرده و در نهایت از طریق اتصال به زمین یا ستون‌های میانی رویه مهار می‌شود.

آرک (Arch):

رویه آرک شباهت بسیار زیادی با زین اسبی دارد با این تفاوت که گوشه‌های بالا و پایین در کنار همدیگر قرار گرفته‌اند. این فرم از رویه در گذشته برای انتقال بار در سقف‌های سنتی طاق ضربی استفاده شده‌است.

مزایای سازه‌های غشایی[ویرایش]

دوام وطول عمربالا در شرایط جوی مختلف، برای متریال‌های مرغوب پارچه تا ۳۵ سال

در هنگام آتش‌سوزی، باعث کاهش گسترش آتش‌سوزی می‌شود

می‌توان آن را متناسب با شرایط جوی هراقلیم طراحی کرد

سرعت اجرا بالا

وزن متوسط

دارای سطحی براق وصیقلی مناسب برای انعکاس اشعه‌های آفتاب وسایه اندازی خوب

انواع دوخت

بر خلاف مصالح ساختمانی سنتی از قبیل آجر، سنگ و بتن، سازه پارچه‌ای کششی به‌طور کامل از قبل در کارگاه ساخته می‌شود و در محل به مشتری تحویل می‌گردد و هیچ گونه فعالیت عمرانی در محل انجام نمی‌شود. در نتیجه کارگاه دوخت پارچه کششی سالن‌هایی با متراژهای بزرگ چند صد متری هستند تا بتوانند پارچه کششی مورد نیاز یک سازه غشایی را بدوزند. به علت تنوع پارچه‌های کششی و تنوع مصارف مختلف آن‌ها می‌توان از روش‌های گوناگونی برای برش و دوخت پارچه کششی استفاده کرد، اتصال پارچه کششی باید به نحوی انجام گردد که تنش و کشش یکپارچه به‌طور یکنواخت به تکه پارچه کناری منتقل شود و موج یا پارگی بر روی آن اتفاق نیفتد، به‌طور کلی ما سه روش اصلی برای اتصال پارچه‌های کششی به یکدیگر داریم

چسب پارچه

دوخت صنعتی

جوش پارچه

رفتارسازه‌ای

سازه چادری ازجمله سازه‌هایی است که فرم سازه دقیقاً منطبق با عملکرد سازه می‌باشد. با طراحی این سازه‌ها به صورت یک سازه کابلی با انحنای مضاعف توانایی باربری وطول عمر این سازه هابسیار بالا می‌رود .

تکیه گاه‌ها

درحالت کلی در این نوع سازه‌ها غالباً چادرتوسط ستون مرکزی نگاه داشته می‌شود.(در این حالت برای جلوگیری از پارگی درپارچه ستون به صورت قارچی اجرا می‌شود). درحالت‌های دیگر از قوس‌ها، کابل‌های زنجیرواره، ترکیب سیستم فشاری وکابل‌های زنجیرواره نیز دیده می‌شود

امروزه با پیشرفت فناوری ها سازه های غشایی به کلی دگرگون و متحول شده اند،هر چند بهبود مصالح موجب بهبود عمکرد پشش های غشایی شده است، ولی روش های نوین طراحی عامل اصلی بهرهوری این سازه ها می باشد .ویژگی های این سازه ها:

۱. ریشه در سنت کهن جادر سازی دارند.

۲. به لحاظ ارزانی مصالح، سهولت اجراو سرعت برپایی بسیار جذاب می باشند.

۳. کوتاهی عمر،کم دوامی ، آسیب پذیری در مقابل آتش سوزی ،بی ثباتی شکل و چروک شدن از کاستی های این نوع وشش می باشد.

از اولین کاربرد های این نوع چادر ها در سالن های نمایشی و سیرک ها و چادر های ارتش می باشد پیشرفت فن آوری های امروز باعث شده است تا:

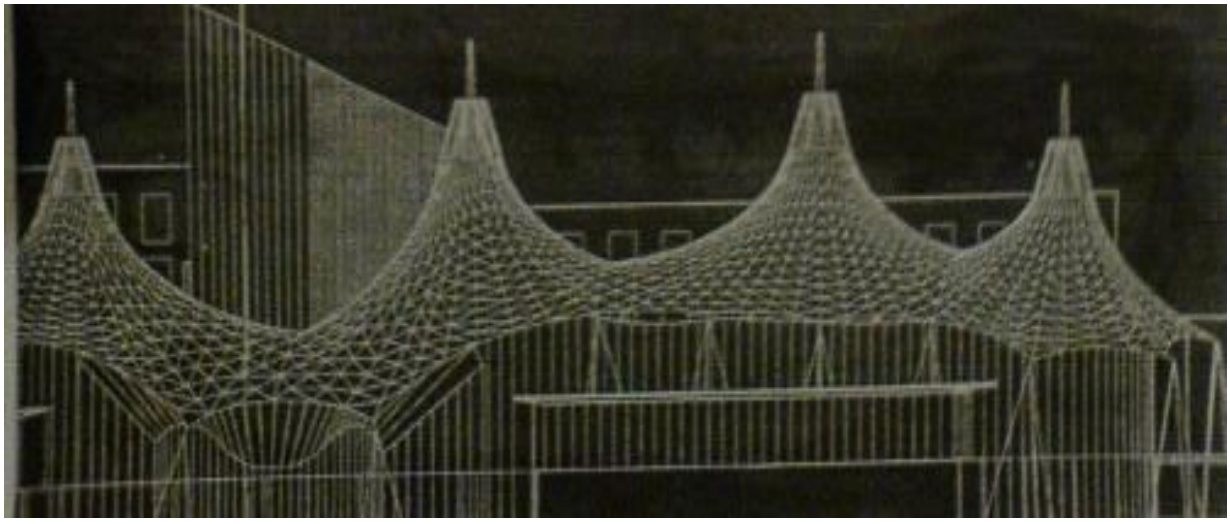
۱. دوام و طول عمر مصالح بیشتر شود.

۲. مقاومت در برتبر ـتش سوزی بیشتر شود.

۳. گسترش حریق و دودهای ساطعه کاهش می یابد.

۴. انری کمتری برای تنظیم شرایط محیط حاصل می شود.

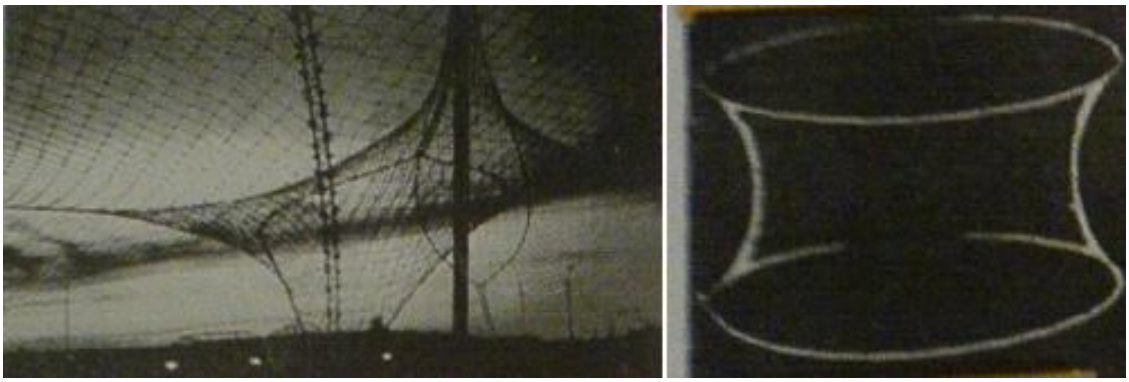
مثلا در مناطق گرمسیر با استفاده از این غشاء ها می توان مقدار زیادی از نور خورشید را منعکس کرده و دمای ساختمان را با صرف انرژی کمتری تنظیم نمود و در مناطق سردسیر با بهره گیری از لایه های عایق حرارتی که منعطف و مات می شوند با انری کمتری شرایط مطبوع حاصل می شود.



سازه های غشایی در سال ۱۹۶۰ توسط فرانک اوتو رواج دوباره ای گرفت. دو طرح پیشنهادی او عبارتند از:

شبکه سیمی آویخته که در نمایشگاه مونترال و همچنین ورزشگاه المپیک مونیخ استفاده شد.که هر دو، جزءعظیم ترین و پیچیده ترین سازه های غسایی هستند.مدل کف صابونی که لایه نازکی از کف صابون را روی لبه های وتکیه گاه ها با اشکال مختلف می کشند و کشیده ترین و نازک ترین لایه را پدید می آورد .سپس از آن عکسبراری شده و الگو برداری می شود.

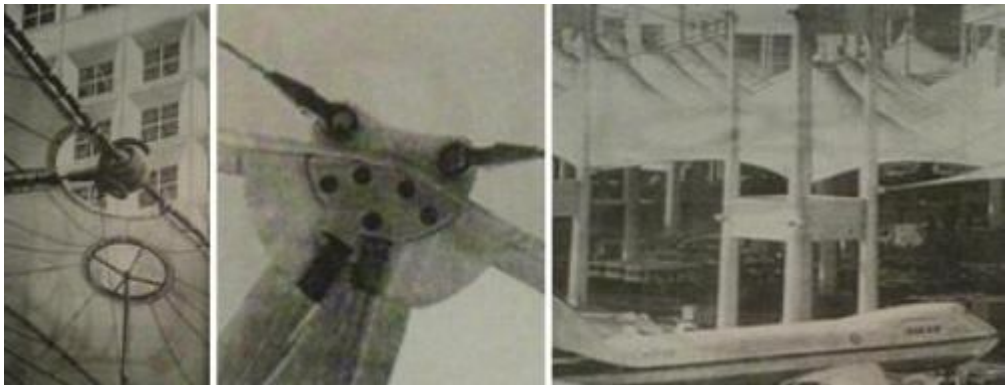
امکان استفاده از برنامه های کامپیوتری در سال های ۱۹۷۰ و ویژگی را در تجزیه وتحلیل این نوع سازه ها به همراه داشت :دقت و سرعت فوق العاده در محاسبات ومشکل و گیج کننده بودن وارد کردن و کنترل کردن دادهها ئر نسخه های اولیه.



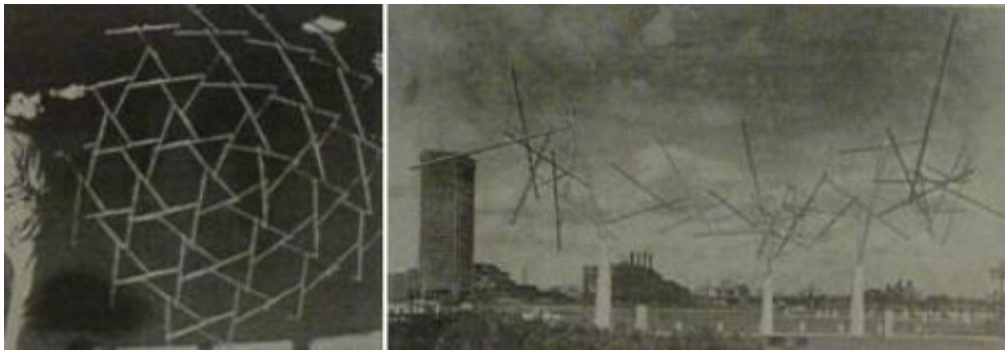
پروژه ترمینال حجاج بندر جده در کشور عربستان، ۱۹۸۱.م

طرح پروژه از گروه som بود، ارتفاع هر یک از پایه ها در حدود ۴۵ متر می باشد و هر واحد چادری مساحتی در حدود ۱۰۰۰ متر مربع را می پوشاند ، جنس غشاء سقف از نوع فیبر شیشه ای با حفاظ تفلون می باشد .این پروژه در زمره اولین پروژه های بزرگ می باشد که در آن از برنامه های رایانه ای به نحوه احسن استفاده شد .در طی مراحل طراحی این پروژه ، نتایج بدست آمده با آزمایش

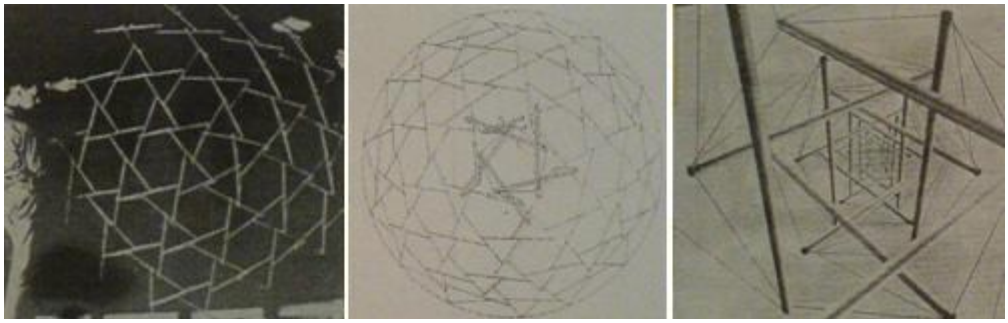
بارگذاری ۱/۱ تفاوت بسیار ناچیزی داشت ، و در دقت عمل برنامه های رایانه ای روشن گردید. نکته بسیار مهم در مورد سازه های غشایی یا کششی این است که آنها همیشه باید در کشش باشند ،در غیر این صورت با وزش باد مانند پارچه ای لخت و رها ،چین و چروک برداشته وقسمت های مختلف آن ،آنچنان به هم کوبیده می شوند که از بین بروند. در سازه های غشایی وجود چروک نشانه عدم وجود کشش، و وجود پارگی نشانه وجود کشش بیش از حد است. تاثیر باد را در طول برپایی سازه های غشایی و تثبیت وضعیت پایداری نهایی آن نباید نادیده گرفت . برای مثال پوشش چادری سایه بانی به طول ۱۵۰ متر در شهر هالیود در حالی که از دو انتها ثابت شده بودبه باد سپرده شد و پوشش تحت تاثیر باد، بارها موج برداشته و پشت و رو شد و مرتب به هم خورد تا پس از مدت کوتاهی ریش ریش شده و به کلی از بین رفت. در طی سالیان بعد ،با احیای فن آوری ریخته گری فولاد و استفاده از آن به جای جوشکاری ضمن آنکه از تمرکز تنش ها در اتصالات کاسته شده است ، این اتصالات توانسته اند با اشکال ساده ، تراش دار و بسیار زیبا، روحیات سازه های غشایی را بهتر منعکس کنند. همچنین استفاده از آلومینیوم حدیده شده موجب حذف پیچ و قطعات ضخیم گذشته گردید.



سازه های فنری مهار شده تنسگریتی:



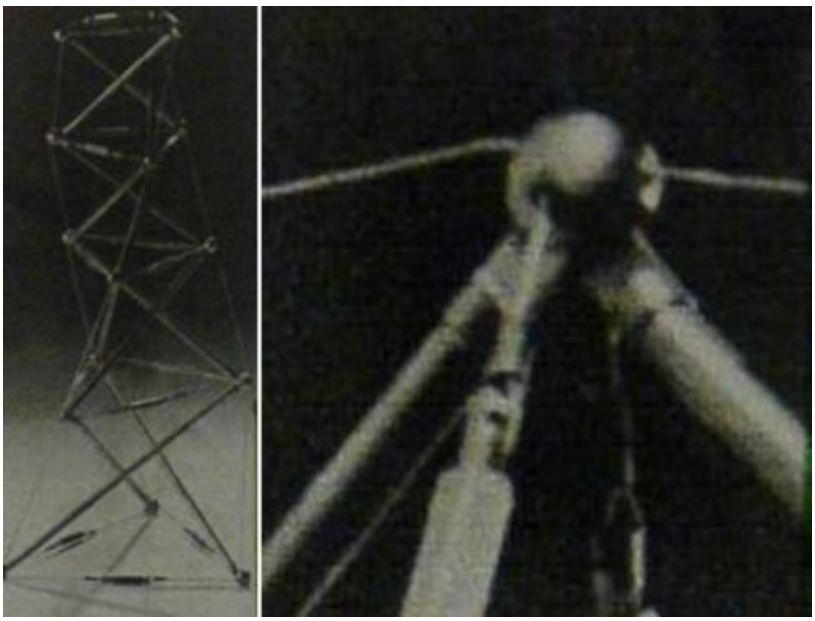
با بهره گیری از بعضی ویژگی های چند وجهی ها اشکال متنوع و بسیار بدیهی بدست می آید که سازه های تنسگریتی از بارزترین این دسته از فرم های ساختمانی هستند. مثلا": دو مداد که بصورت بعلاوه روی هم قرار گرفته اند و با حلقه های کشی به هم ثابت شده اند .و یا یک باد کنک باد شده . در اینجا غشاء کششی یکپارچه بیرونی ،حلقه های کششی ممتد مجموعه و هوای فشرده داخل آن ستون های فشاری معلق مجموعه تنسگریتی را تشکیل می دهند.

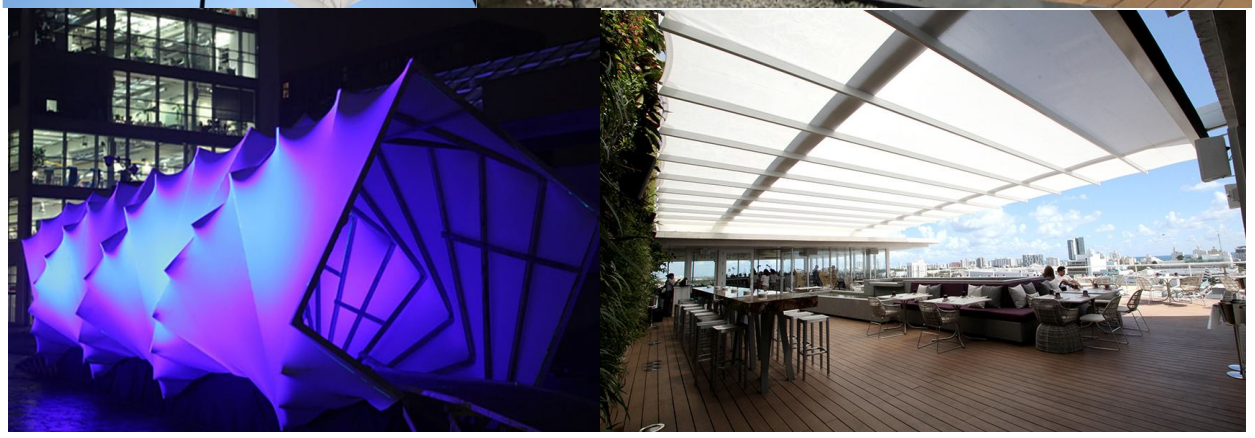


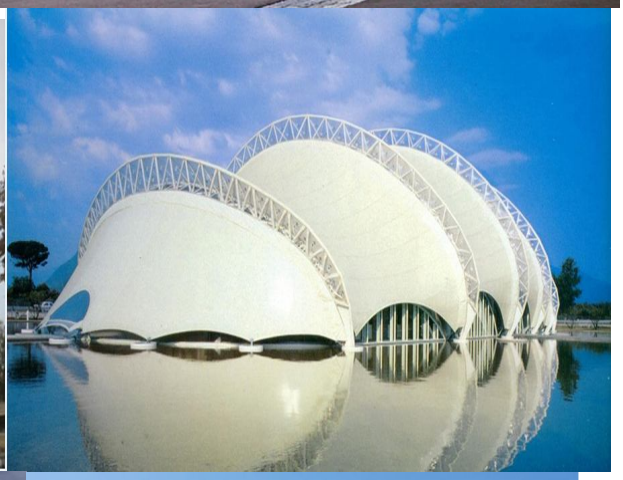
قایق های مصریان باستان که در حدود ۲۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می زیسته اند نخستین نمونه های تنسگریتی هستند.بدن انسان و جانوران را می توان یک نوع تنسگریتی دانست زیرا اجزاء فشاری مانند استخوان ها ومهره ها توسط نظام کششی ،متشکل از ماهیچه ها و پوست و شبکه های عصبی به یکدیگر فشرده و محکم شده اند.

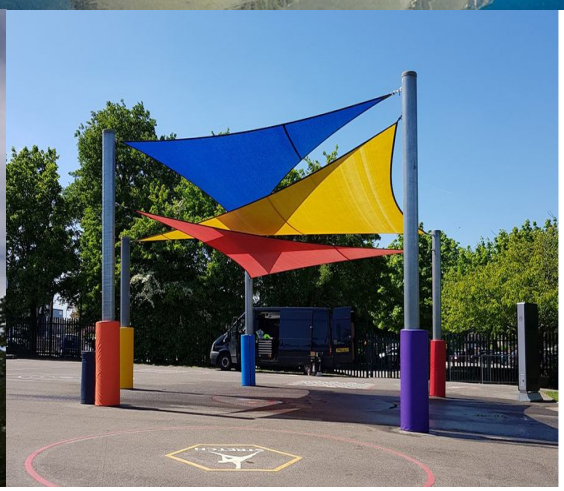
در اواسط قرن بیستم، مجسمه ساز معروف امریکایی کنت اسنلسون اولین کسی بود که این فرم ساختمانی را به کار گرفت. بعد ها فولر استاد او، آن را سازه فنری مهار شده یا تنسگریتی نامید.

برج سوزن اثر کنت اسنلسون





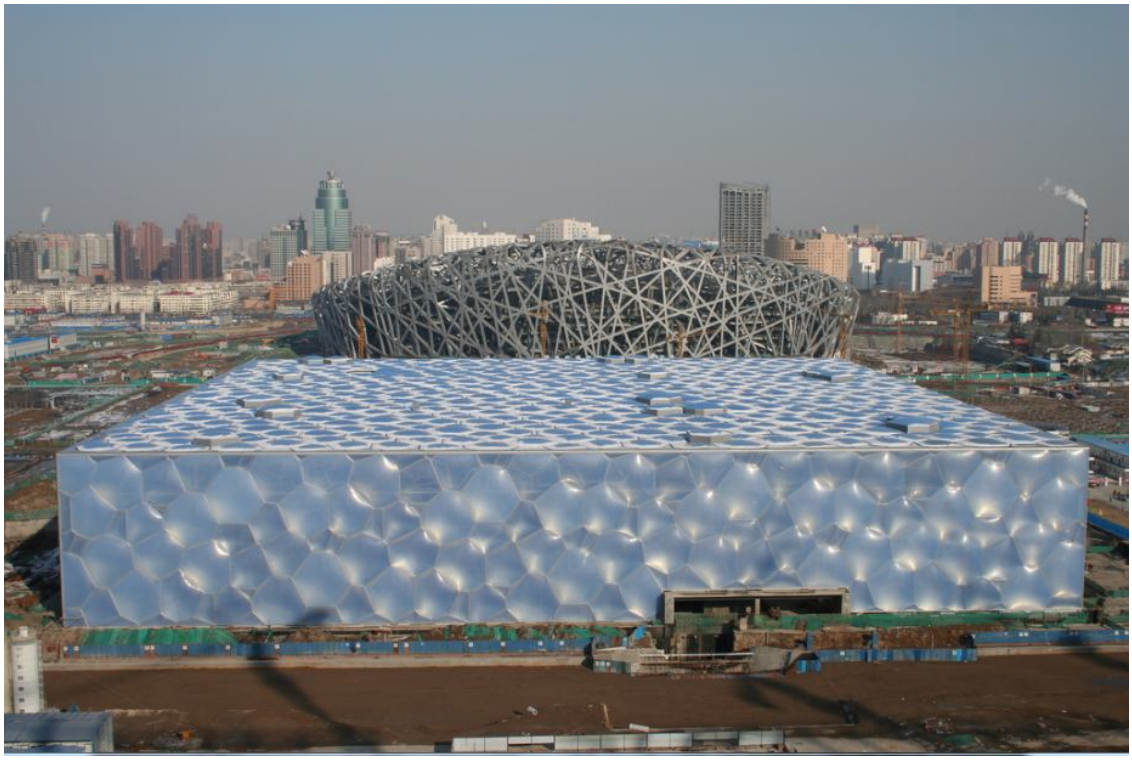




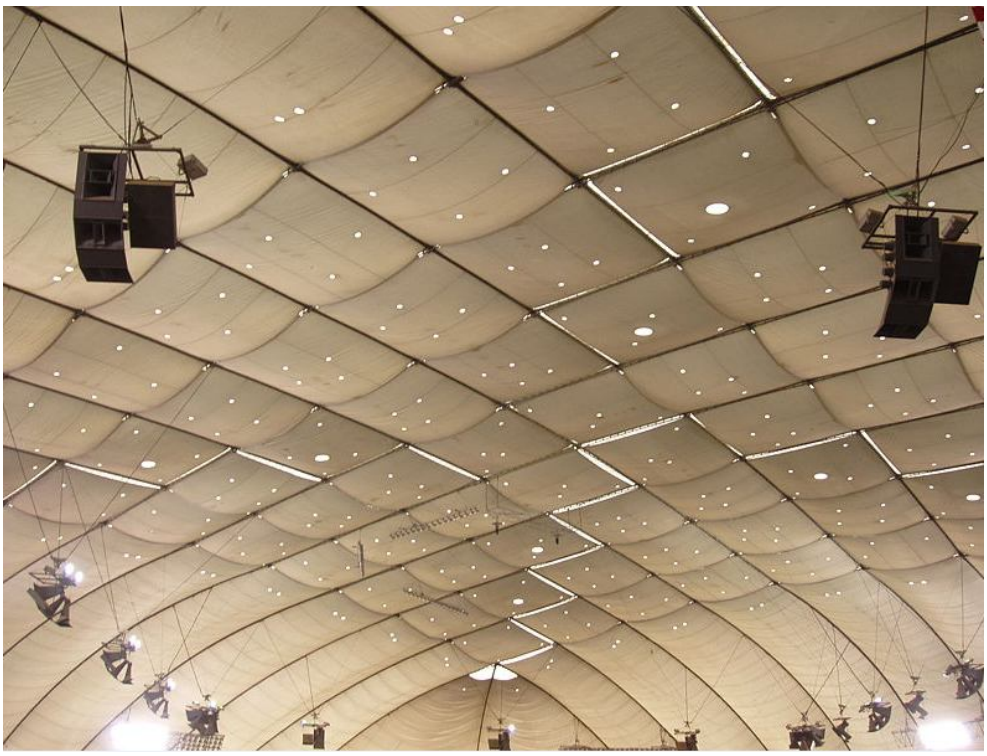
kargosha.com

DIBA
dibats.com

فرودگاه بانکوک تایلند



مرکز آکواریوم پکن



سقف مترو رم

سقف گنبد هزاره

ترمینال حجاج عربستان

- الهام سرکرده ئی. بررسی مواد مورد استفاده در سازه‌های غشایی و مقایسه خواص آنها، ۱
- سرکرده ئی. بررسی مواد مورد استفاده در سازه‌های غشایی و مقایسه خواص آنها. کرمان،۱۳۸۹
- سالوادوری، ماریو، ترجمه دکترمحمود گلابچی، سازه در معماری، ۱۳۸۵
- مور، فولر،" درک ورفتارسازه"، ترجمه دکترمحمودگلابچی،۱۳۸۷
- مجله منظر، شماره ۸۸، معرفی سازه‌های چادری پارک آب و آتش
- مظفری ترش ریزی، حسن، مقاله سازه‌های غشایی، ۱۳۷۲
- سازه پارچه ای ماهوت
- Saina Tensile Structure
- مجتبی فاطمی ماهنامه منظر - شماره پنجم - اسفند ۸۸
- سازه‌های پارچه‌ای بازار گل ابریشم | دیبا
- پل ابریشم ۲ - رتبه اول مسابقه فناوری‌های برتر در معماری ۱۳۹۰

- جایزه دادمان - پل و سازه‌های چادری ابریشم
- مجتمع تجاری جنت آباد
- بوستان بانوان نرگس | دیبا

تأثیرات باد روی سازه

ایمان الیاسیان،کارشناس ارشد سازه ، مهندسین مشاور
Iman.elyasian@gmail.com

چکیده

باد یا حرکت هوا نسبت به زمین، تفاضل مقدار گرمای خورشیدی هوا درمناطق مختلف زمین می باشد این تفاضل باعث می شود که ستون هوا در هریک از مناطق دارای ارتفاع متقاوتی باشند بنابراین در نقاط هم ارتفاع فشارهای متفاوتی خواهیم داشت کخ منجر به نیروهای افقی وحرکت افقی هوا می گردد واین حرکتها نیروهای انحرافی یا کریولیس(در اثردورانزمین) و نیروهای بازدارنده (در اثر اصطکاک سطح زمین و هوا) بوجود می آید. جریانهای هوایی چون گردبادهای بسیار گرم Extra tropical cyclone یا Hurricane فونFoehn، براBora اثر جت Jett Effect و تورنادو Tornadoes، توفان همراه با رعد و برق یا تندر Thunder Storm، تند باد Gust بوجود می آید.

مقدمه

سرعت باد نسبت به زمان یصورت تصادفی تغییر می کنداین تغییر بخاطر آشفتگی یا تلاطم موجود در جریان باد است. سازه های انعطاف پذیر ممکن سات در اثر نوسانات سرعت باد حالت تشدید از خود نشان دهند.سازه های صلب واجزای سازه در اثر آفتگی هوا تمامی یاقسمتی ازآنها تحت بارهای باد وابسته به زمان با تغییرات وابسته قرار گیرند.نیروهای آبیرودینامیکی ممکن است در اثر آشفتگی جریان باد تاحد زیادی تغییر کند بعلت غیر یکنواخت بودن جریان باد،سرعت اندازه گیری شده بستگی به میانگین گیری زمانی دارد.

زمین ها را به طور کیفی به ۵ دسته تقسیم می کینم ۱-دریای باز۲-زمین باز۳-اراضی برون شهری با فاصله زیاد از شهر ۴-اراضی برون شهری پرتراکم و جنگلها ۵-مراکز شهرهای بزرگ

پدیده های آیروالاستیک

جسمی که درون جریانی قرار می گیرد در معرض فشارهای سطحی ناشیازآن قرار دارد و جریان آشفتگی منشأ فشارهای سطحی وابسته به زمان است و تنشهای ناشی از نوسانات جریان بوجود می آید که جسم تحت نیروهای سطحی القا شده را به میزان قابل توجهی حرکت یا تغییر شکل می دهدو این تغییر شکلها شرایط مرزی جریان را عوض کرده و بر نیروهای سیال اثر می گذارد این امر خود باعث تحت تأثیر قراردادن تغییر مکانها خواهد شد.دراصل آیروالاستیک علمی است که به مطالعه پدیده هایی مربوط می شود که در آنها نیروهای آیرودینامیک و حرکات سازه ای به میزان قابل توجهی برهم اثر می گذارند ناپایداری آیرودینامیکی می تواند پدیده ای باشد که تماماً درون یک جریان تنها اتفاق می افتد ، اما اگر جسمی در جریان سیال عتحت تأثیر نیروهای تغییر شکل دهد و تغییر شکلهای اولیه باعث افزایش تغییر شکلهای نوسانی بعدی و یا مشخصه واگرایی شود،ناپایداری آیؤوالاستیک ایجاد شده است.ناپایداریآیرودینامیکی هم می تواند منجر به تغییر شکل سازه ای شده و پدیده ای با خصوصیت آیروالاستیک ایجاد کند تمامی ناپایدارهای آیروالاستیک در برگیرنده نیروهایآیرودینامیک می شوند که ناشی از حرکت خود جسم بوده و بر آن اثر می کند وبه آنها نیروهای خود ازتعاشی نیز می گویند.

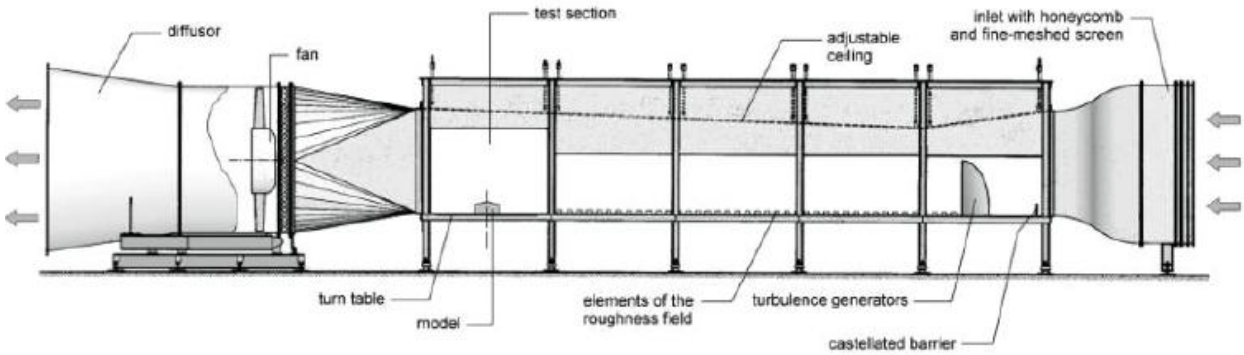
نوسانات آیروالاستیک متفاوتی شناخته شده اند ۱-ریزش گردبادی و پدیده قفل شدگی ۲-نوسانات بیضوی در جهت عمود برباد ۳-انحراف پیچشی ۴-نوسانات شلاقی (لرزش کلاسیک،شلاقی ماند،یک درجه آزادی،شلاقی صفحه)

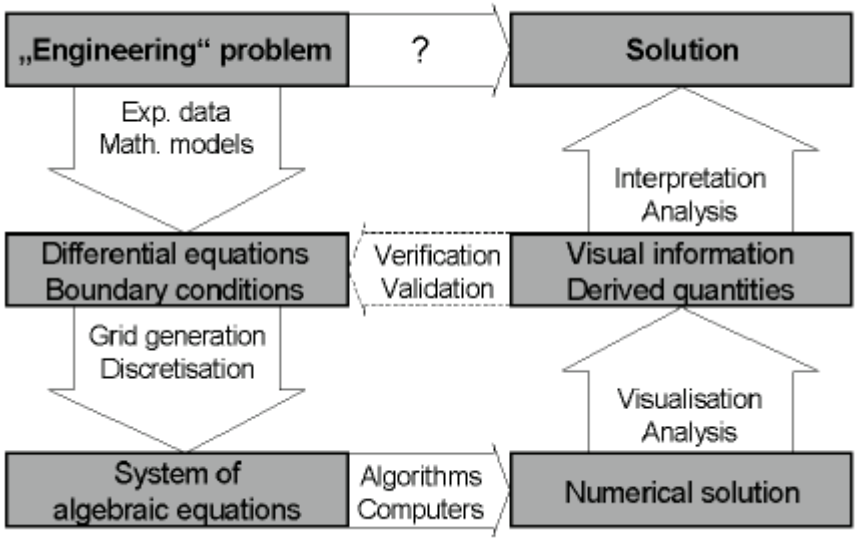
برای کاهش تعییرمکان نسبی در طبقات خصوصاً در ساختمانهای بلند از انواع روشهای استهلاک و اتلاف انرژی چون مستهلک کننده های جرمی،مستهلک کننده های ویسکوالاستیک و . . . استفاده می شود درپلهای معلق ترکه ای و کابلی، سازه های کششی و خطوط انتقال نیرو، اثرات آیروالاستیک یاعث انحراف پیچشی(یا کمانش جانبی)،نوسانات ناشی از گردباد،نوسانات شلاقی،نوسانات بیضوی و نیروهای خود ارتعاضی می شودکه در مورد آنها آزمایش تونل باد برروی نمونه های با مقیاس کوچکتر بایستی انجام شود

آزمایش تونل باد در موارد زیر برای تخمین استفاده نمی شود

- تعیین ضرایب فشار داخلی
- ضرایب اصطکاک
- تأثیرات فشار معادل
- نیروهای دینامیکی روی سازه های لاغر با سختی محدود شده مانند کابلها،عرشه پلها، پوششهای سقف انعطاف پذیر

قسمتهای مختلف تونل باد

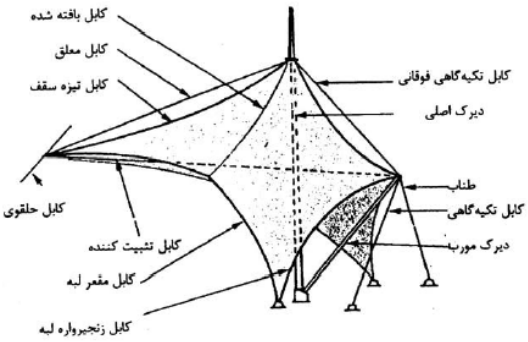




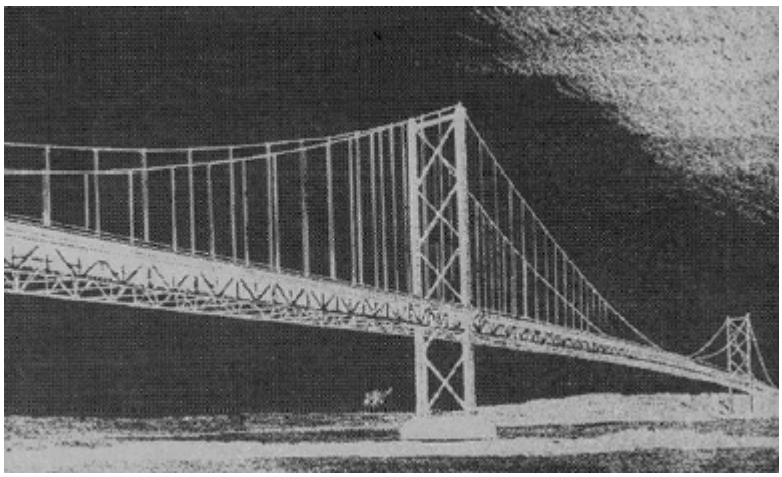
مزرعه های بادی برای تولید جریان برق

با زوال و اضمحلال روز به روز ذخایر فسیلی نیروگاههای برقی باس ئخت دیزل به تدریج جای هود رابایستی به انرژهای نو و جایگزین چون انرژی باد دهند که در انتخاب محل مزرعه های بادی با توجه له آمار سرعت وزش باد و موقعیت از لحاظ ارتفاع و جهت وزش بایستی،تراکم مناطق شهری و پوشش گیاهی بایستی دقت نظر شود تا نیروگاه بادی با حداکثر راندمان فعالیت کند

برای فرار از تأثیرات مخرب نیروی باد بایستی به سیستمهای معماری وش کل سازه توجه داشت در گذشته سقفها رابه شکل گنبد،پوسته در می آوردند وساختمانهای بلند رابه شکل هرم کار می کردند که به همین دلیۀ بوده بنابراین بایستی سطوح بادگیر را حداقل نموده و از سطوح آیرودینامسکی چون هلال ، سهمی،هذلولی و نیم کره و استوانه ای شکل برای جلوگیری از مکش و نوسانات بیضوی استفاده شود ودر مورد ساختمانهای بلند پلان متغیر بوده و از پایین به بالا به تدریج سطح مقطع کم گردد و از سطوح تیز گوشه به دلایل مذکور و ایجاد تمرکز تنش صرفنظر گردد.

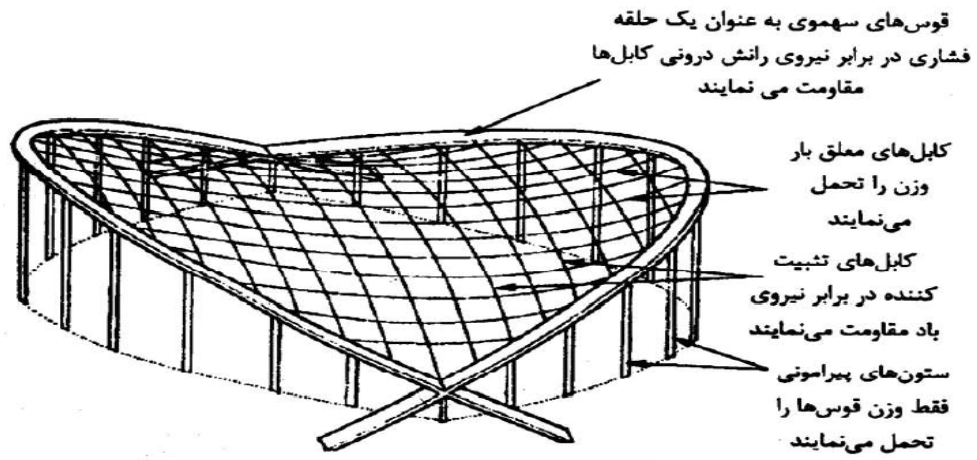


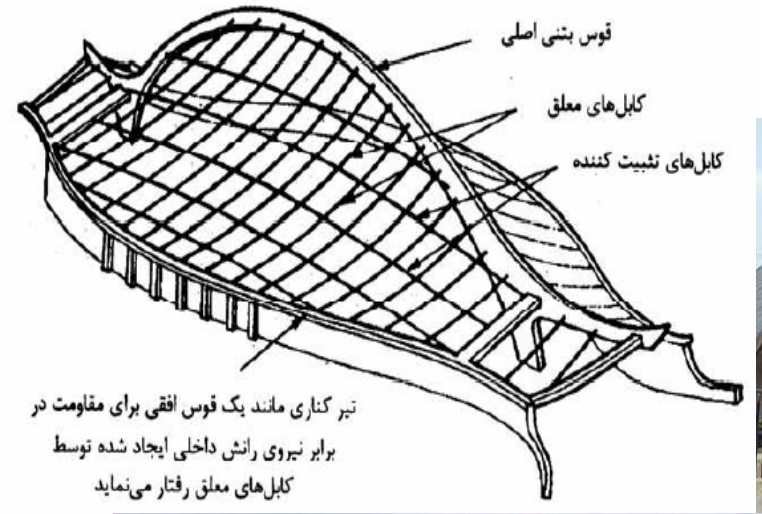
تأثیرات باد بر سازه های چادری به دلیل سطح بادخوربزرگ و انعطاف پذیری زیاد است



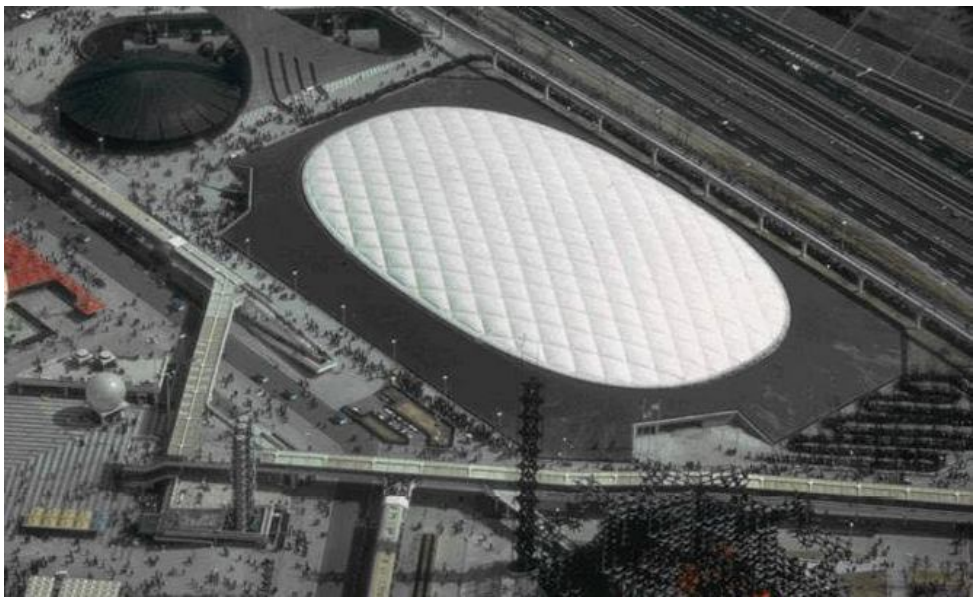
استفاده از خرپاهای تقسیم جریان باد در عرشه پل

نوعی سازه کابلی

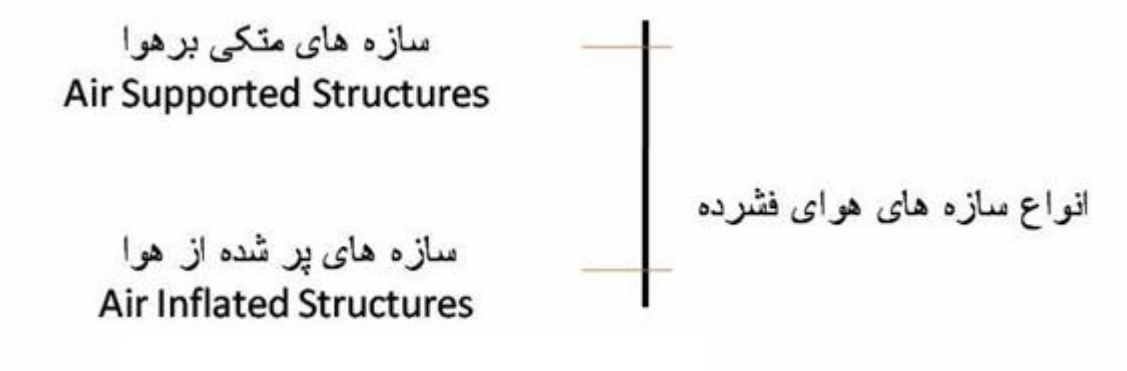


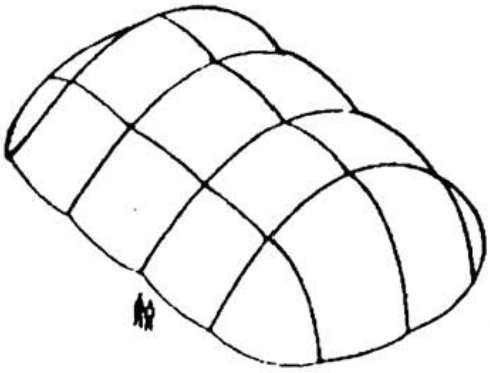


سازه های با سقف تاشو



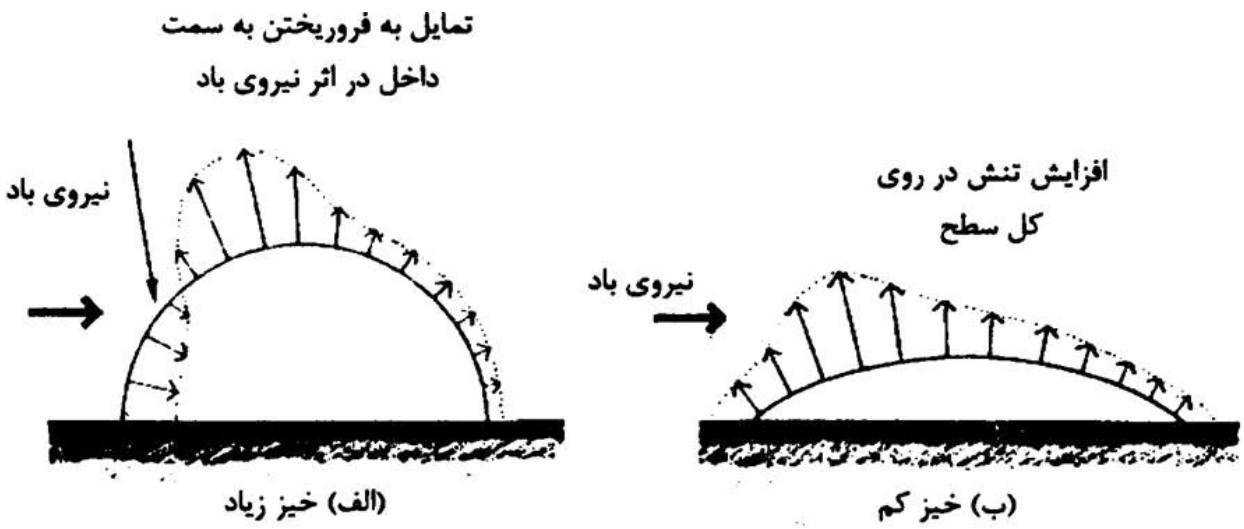
سازه های پنوماتیکی و متکی بر هوای فشرده

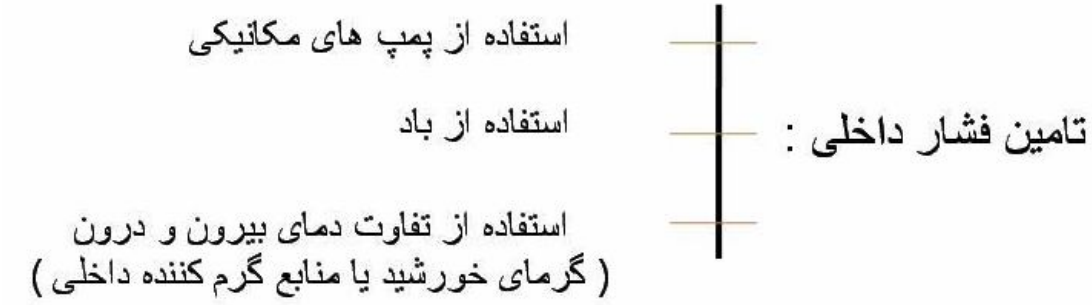




سازه متکی بر هوا

هوای فشرده تنظیم شده





مراجع

۱- محمود یحیایی ،اثر باد بر سازه ها به انضمام آیین نامه با ASCE1996 ، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی۱۳۷۸

2-Ted Stathopoulos Charalmbos C. Baniotopoulos "Wind Effects on Buildings and Design of Wind-Sensitive Structures" Springer2007

3-Kishor C. Mehta , James Delahay , "Guide to the Use of the Wind Load Provisions Of ASCE, ASCE Press 2004

۴-ایمان الیاسیان، انرژیهای نو و جایگزین سوختهای فسیلی، سایت iransaze

۵- ایمان الیاسیان،کاربرد انرژی خورشید در صنعت ساختمان، سایت iransaze

۶- محمود گلابچی،سیستمهای سازه ای،دانشگاه تهران

۷- محمود گلابچی، سیستمهای ساختمانی پیشرفته،دانشگاه تهران