بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایاننامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه

عنوان

طراحی بهینه غیرخطی سازه های گنبدی فولادی با روش جستجوی سیستم ذرات باردار

استاد راهنما

دکتر بهمن فرهمندآذر

استاد مشاور

دکتر سیامک طلعت اهری

پژوهشگر

سپیده علیپور

بهمن ماه ۹۳

تقدیر و تشکر

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگر شان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی رسید.

ابتدا از استاد گرانقدرم آقای دکتر بهمن فرهمندآذر که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و در طول نگارش این مجموعه بار راهنمایی های عالمانه و بجایشان، سکاندار شایسته ای در هدایت این پایان نامه بوده اند، کمال سپاس را دارم.

استاد عالی قدرم جناب آقای دکتر سیامک طلعت اهری که با سعه صدر زحمت مشاوره این پایان نامه را متحمل شدند و در طول نگارش این مجموعه همواره از نظرات کارشناسانه شان، بهره جستم صمیمانه تشکر می کنم.

سپاس آخر را به مهربانترین همراهان زندگیم، به پدر، مادر و همسر عزیزم تقدیم می کنم که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی ریای سخاوت بوده است.

تقدیم به

مقدستترین واژه ها در لغت نامه دلم

مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

و دو برادر مهربانم که همراهان همیشگی زندگیم هستند.

نام خانوادگی: علیپور **نام:**سپیده

عنوان پایان نامه: طراحی بهینه غیر خطی هندسی سازه های گنبدی فولادی با روش جستجوی سیستم ذرات باردار

استاد راهنما: دکتر بهمن فرهمندآذر

استاد مشاور: دکتر سیامک طلعت اهری

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** بهمن ۱۳۹۳ **تعداد صفحه:**۱۰۴

کلید واژه ها: بهینه سازی سازه ها، آنالیز غیرخطی هندسی، روش جستجوی سیستم ذرات باردار، گنبد اشفدلر، گنبد لملا، حافظه باردار

چکیده:

سازه های گنبدی به دلیل ارائه راه حل های موثر برای پوشش مناطق بزرگ بدون تکیه گاه های میانی از مزایای ویژه ای برخوردارند. در این پایاننامه از یک روش بهینه سازی فرا اکتشافی به نام الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار برای طراحی بهینه غیرخطی هندسی گنبدهای تک لایه فولادی استفاده شده است. این الگوریتم از قوانین حاکم بر فیزیک الکتریسیته و مکانیک نیوتونی الهام گرفته شده است. مقاطع مجاز لوله ای برای گنبدها و همچنین قیدهای مورد استفاده در طراحی گنبدها مطابق با آیین نامه **LRFD-AISC** می باشد. یک روش ساده برای تعیین پیکربندی دو گنبد اشفدلر و لملا تعریف شده که مراحل این روش شامل محاسبه مختصات گره ها و نحوه اتصال المانها به یکدیگر می باشد. هدف از بهینه سازی گنبدها یافتن مقاطع بهینه ی اعضا (بهینه سازی اندازه)، ارتفاع بهینه تاج گنبد (بهینه سازی هندسی) و تعداد بهینه اعضا (بهینه سازی توپولوژی) تحت شرایط بارگذاری تعیین شده می باشد. رفتار سازه های گنبدی به دلیل تغییر هندسه تحت بارهای خارجی غیر خطی است بنابراین در نظر گرفتن آنالیز غیرخطی هندسی ضروری می باشد. الگوریتم جستجوی سیستم ذرات این آنالیز را در حین طراحی انجام می دهد. نمونه های طراحی در نظر گرفته شده برای نشان دادن بهره وری این الگوریتم ارائه شده اند.

عنوان	فهرست مطالب	صفحه

چکیده:

فصل اول: کلیات و معرفی گنبدها

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ سازه فضاکار ۱

۱-۳ شبکه های تخت یا لایه ای ۲

۱-۴ چلیک ها ۲

۱-۵ سازه های گنبدی ۳

۱-۵-۱ مزایای سازه های گنبدی ۳

۱-۵-۲ طبقه بندی گنبدها ۴

۱-۵-۲-۱ گنبد دنده ای یا آجدار ۴

۱-۵-۲-۲ گنبد اشفدلر ۵

۱-۵-۲-۳ گنبد لملا ۶

۱-۵-۲-۴ گنبد شبکه ای یا حبابی ۷

۱-۵-۲-۵ گنبد ژئودزیک ۸

فصل دوم: بررسی منابع بهینه سازی

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ تعریف بهینه سازی ۱۰

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

۲-۳ فضای جستجو ۱۱

۲-۴ تابع هدف ۱۱

۲-۵ متغیرهای طراحی ۱۳

۲-۶ توابع محدودیتی یا قیود ۱۳

۲-۷ انواع قیود ۱۴

۲-۷-۱ قیود کناری ۱۴

۲-۷-۲ قیود رفتاری ۱۵

۲-۸ طبقه بندی روشهای حل مسائل بهینه سازی ۱۵

۲-۸-۱ روش های کلاسیک ۱۵

۲-۸-۲ روش های عددی ۱۶

۲-۸-۳ روش های اکتشافی ۱۶

۲-۸-۴روش های فرااکتشافی ۱۶

۲-۸-۴-۱ انواع روش های فرا اکتشافی ۱۷

۲-۸-۴-۱-۱ الگوریتم ژنتیک ۱۷

۲-۸-۴-۱-۲ الگوریتم کلونی بهینه سازی مورچه ها ۱۹

۲-۸-۴-۱-۳ الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل ۲۰

۲-۸-۴-۱-۴ الگوریتم کرم شب تاب ۲۲

۲-۸-۴-۱-۵ الگوریتم ازدحام ذرات ۲۳

۲-۸-۴-۱-۶ الگوریتم جستجوی هارمونی ۲۵

۲-۸-۴-۱-۷ الگوریتم انفجار بزرگ- تراکم بزرگ ۲۶

۲-۸-۴-۱-۸ الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار ۲۷

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱ الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار ۲۸

۳-۱-۱ مقدمه ۲۸

۳-۱-۲ قوانین الکتریسیته ۲۸

۳-۱-۳ مکانیک نیوتنی ۳۱

۳-۱-۴ معرفی سیستم جستجوی سیستم ذرات باردار ۳۲

۳-۱-۴-۱ قوانین سیستم جستجوی سیستم ذرات باردار ۳۳

۳-۱-۵ شبه کد الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار ۴۳

۳-۲ الگوی رسم گنبدها ۴۶

۳-۲-۲ گنبد اشفدلر ۴۷

۳-۲-۳ گنبد لملا ۴۹

فصل چهارم: مدلسازی و بیان مسأله

۴-۱ مقدمه ۵۲

۴-۲ رفتار غیر خطی هندسی ۵۲

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

۴-۳ شبه کد آنالیز غیرخطی هندسی گنبدها.....۵۵

۴-۴ بهینه سازی ساختاری گنبد ها ۵۶

۴-۴-۱ بهینه سازی اندازه: ۵۶

۴-۴-۲ بهینه سازی هندسی ۵۷

۴-۴-۳ بهینه سازی توپولوژی ۵۷

۴-۵ طراحی بهینه توپولوژی و هندسی سازه های گنبدی ۵۷

فصل پنجم: نتایج عددی

۵-۱ مقدمه:..... ۶۲

۵-۲ مشخصات : ۶۲

فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادات

۶-۱ جمع بندی:..... ۶۲

۶-۲پیشنهاد برای کارهای آتی: ۶۳

عنوان | فهرست اشکال | صفحه

شکل ۱-۱: المان شعاعی، محیطی و تری در گنبد ۴

شکل ۱-۲: گنبد دنده ای از نمای سه بعدی و پلان ۵

شکل ۱-۳: گنبد اشفدلر از نمای سه بعدی و پلان ۶

شکل ۱-۴: گنبد لملا از نمای سه بعدی و پلان ۷

شکل ۱-۵: گنبد شبکه از نمای سه بعدی و پلان ۸

شکل ۱-۶: گنبد ژئودزیک از نمای سه بعدی و پلان ۹

شکل ۳-۱: دستگاه آزمایش کولمب ۲۸

شکل ۳-۲: نحوه تغییرات E_{ij} در مقابل r_{ij} در داخل و بیرون کره باردار ۳۰

شکل ۳-۳: تعیین نیروی برآیند وارد بر یک ذره ۳۵

شکل ۳-۴: مقایسه دو معادله الف) $F_{ij} \propto {1}/{r_{ij}^2}$ و ب) $F_{ij} \propto r_{ij}$ زمانیکه r_{ij} ۳۷

شکل ۳-۵: تأثیر مقادیر اعداد رندوم بر موقعیت بعدی احتمالی ذرات ۳۸

شکل ۳-۶: تأثیر مقادیر اعداد رندوم بر موقعیت بعدی احتمالی ذرات ۳۸

شکل ۳-۷:نمودار گردش کار الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار ۴۵

شکل ۳-۸: گره های گنبد اشفدلر ۴۶

شکل ۳-۹: گره های گنبد لملا ۴۷

شکل ۳-۱۰: مقطع عرضی گنبد ۴۷

شکل ۴-۱:حالت تغییر شکل عضو سه بعدی ۵۳

شکل ۴-۲: گنبد لملا با تعداد المانهای مختلف ۵۹

شکل ۵-۱: گنبد اشفدلر با Nr=3 و Nn های متفاوت ۶۴

شکل ۵-۲: گنبد اشفدلر با Nr=4 و Nn های متفاوت ۶۵

شکل ۵-۳: گنبد اشفدلر با Nr=5 وNn های مختلف ۶۶

شکل ۵-۴: گنبد لملا با Nr=3 و Nn های متفاوت ۶۷

عنوان | فهرست اشکال | صفحه

شکل ۵-۵: گنبد لملا با Nr=4 و Nn های مختلف ۶۸
شکل ۵-۶: گنبد لملا با Nr=5 و Nn های متفاوت ۶۹
شکل ۵-۷: نمودار مقایسه تغییرمکان های گنبد اشفدلر ۷۶
شکل ۵-۸: نمودار مقایسه تغییرمکان های گنبد لملا ۷۶
شکل ۵-۹ :نمودار مقایسه وزن های گنبد اشفدلر ۷۷
شکل ۵-۱۰: نمودار مقایسه وزن های گنبد لملا ۷۷

عنوان | فهرست جداول | صفحه

جدول ۵-۱: مقاطع مجاز لوله ای فولادی بر گرفته از LRFD-AISC ۶۳
جدول ۵-۲: طراحی بهینه گنبد اشفدلر با سه حلقه ۷۰
جدول ۵-۳: طراحی بهینه گنبد اشفدلر با چهار حلقه ۷۱
جدول ۵-۴: طراحی بهینه گنبد اشفدلر با پنج حلقه ۷۲
جدول ۵-۵: طراحی بهینه گنبد لملا با سه حلقه ۷۳
جدول ۵-۶: طراحی بهینه گنبد لملا با چهار حلقه ۷۴
جدول ۵-۷: طراحی بهینه گنبد لملا به پنج حلقه ۷۵

فصل اول

کلیات و معرفی گنبدها

۱ فصل اول: کلیات و معرفی گنبد ها

۱-۱ مقدمه:

امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی، نیازها و خواسته های جدید در عرصه مهندسی سازه رخ داده است؛ عامل زمان در ساخت سازه ها اهمیت دو چندان یافته و این امر گرایش به سازه های پیش ساخته را افزایش داده است؛ سازه های فضاکار از جمله سازه های پیش ساخته می باشند که در این فصل ما به معرفی این سازه ها پرداخته و انواع سازه های فضاکار را به طور مختصر بیان می کنیم، سپس تعریفی از سازه های گنبدی و انواع این سازه ها را در ادامه ذکر خواهیم کرد.

۱-۲ سازه فضاکار[1]:

سازه های فضاکار شکلهای هندسی منظمی هستند که در کنار یکدیگر تکرار شده و با اتصال مکرر اجزا سازه فضایی، شبکه ای مستحکم و یکپارچه با ساختاری سه بعدی به وجود می آورند. سازه های فضایی (سازه فضا کار) به علت پخش نیرو در جهات مختلف از استحکام توام با سبکی برخوردار می باشند. پس در حالت کلی به سازه ای که اصولاً رفتار سه بعدی داشته باشد بطوریکه نتوان به هیچ ترتیبی رفتار کلی آن را با استفاده از یک یا چند مجموعه مستقل دو بعدی تقریب زد، سازه ی فضاکار گویند.

سازه های فضاکار از نظر نوع ساختار به انواع مختلف طبقه بندی می شوند که شامل شبکه های تخت، چلیک ها و سازه های گنبدی می باشند.

[1] Space structure

۱-۳ شبکه های تخت یا لایه ای[1]:

به ترکیب یک سیستم یک یا چند وجهی با لایه های واحد شبکه گفته می شود. شبکه مسطح ترکیبی از یک دو وجهی که با تیرهای واحد متصل شده است می باشد. شبکه های تخت می توانند دارای یک، دو یا سه و حتی چند لایه باشند. شبکه‌های دو لایه یکی از مهمترین و متداول ترین انواع سازه‌های فضاکار به شمارمی روند. این نوع سازها از دو صفحه عناصر که این دو صفحه با یکدیگر موازی و توسط عناصر میانی به یکدیگر متصل اند تشکیل شده است نمونه استفاده از این شبکه ها در آشیانه هواپیماها است و زمانی که اعضا در شبکه دولایه طویل شوند برای جلوگیری از خطر کمانش کردن از شبکه های سه لایه استفاده می شود که شبکه‌های سه لایه از دو صفحه بالا و پایین و یک صفحه میانی تشکیل شده‌اند که هر یک از صفحات بالا و پایین توسط اعضای میانی به صفحه میانی متصلند.

۱-۴ چلیک ها[2]:

به شبکه ای که در یک جهت دارای انحنا باشد، چلیک می گویند. این سازه بیشتر برای پوشش سطوح مستطیلی دالان مانند استفاده شده و بعضا فاقد ستون می باشند و روی لبه های چلیک که به تکیه گاه متصل است، قرار می گیرند. چلیک ها دارای محور می باشند. اگر چلیک یک لایه باشد اتصالات به شکل صلب است. چلیک ها اغلب به شکل ترکیبی استفاده می شوند و تیر کمری نقش ترکیب کردن چلیک ها به یک دیگر را بازی می کنند. نکته ای که در طراحی این نوع سازه ها باید در نظر گرفت این است که انتهای چلیک باید قوی باشد و این تقویت را می شود بوسیله تیر، تیر و ستون انجام داد.

[1] Layers
[2] Barrels

۱-۵ سازه های گنبدی[1]:

اگر شبکه ای در دو جهت دارای انحناء باشد گنبد نامیده می شود. شاید رویه گنبد بخشی از یک کره یا یک مخروط یا اتصال چندین رویه باشد.گنبدها سازه هایی با صلبیت بالا می باشند و برای دهنه های بسیار بزرگ حتی تا حدود ۲۵۰متر نیز مورد استفاده قرار می گیرند. گنبدها دارای مرکز هستند و به صورت یک لایه،دو لایه و سه لایه میتوانند ساخته شوند که ما در این بخش به معرفی گنبدهای تک لایه می پردازیم.

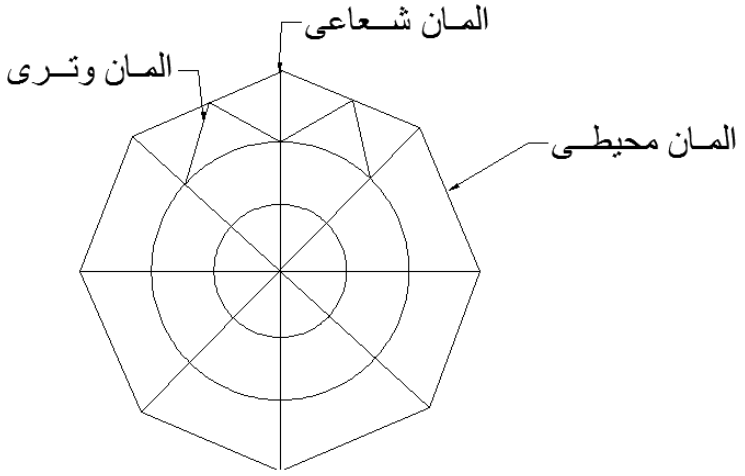
۱-۵-۱ مزایای سازه های گنبدی:

- بعلت رفتار سه بعدی آنها توزیع تنش در تمام جهات انجام می شود.
- درجه نامعینی این نوع سازه ها بالا بوده و معمولا خرابی یک یا چند عضو باعث خرابی کل سازه نخواهد شد.
- سختی زیاد سازه تغییر شکل حداکثر سازه را پایین می آورد.
- آزمایشات نشان داده که مقاومت آنها در مقابل آتش سوزی از بقیه سازه ها بیشتر است.
- در هر شرایط آب و هوایی امکان نصب و ساخت سازه وجود دارد.
- تولید قطعات در کارخانه
- عدم استفاده از عملیات جوشکاری در هنگام نصب
- سبک بودن
- امکان بازکردن و بستن مجدد سازه
- هزینه پایین در دهانه‌های بزرگ

[1] Dome structures

۱-۵-۲ طبقه بندی گنبدها:

گنبدهای تک لایه از نظر نوع شکل به انواع مختلف زیر طبقه بندی می شوند که شامل گنبد آجدار یا دنده ای، گنبد اشفدلر، گنبد لملا، گنبد شبکه ای یا حبابی و گنبد ژئودزیک می باشد. در این پایاننامه دو گنبد اشفدلر و لملا مدلسازی شده اند و نتایج مربوط به این دو گنبد آورده شده است. منظور از این طبقه بندی، استفاده یا عدم بکارگیری المانهای محیطی، شعاعی و وتری است. المان محیطی المانی است که بر روی حلقه گنبد قرار گیرد و المان شعاعی المانی است که در امتداد شعاع گنبد باشد و منظور از المان وتری المانی است که نه در راستای شعاع بوده و نه روی حلقه گنبد قرارداشته باشد این المانها در شکل۱-۱ نشان داده شده اند.



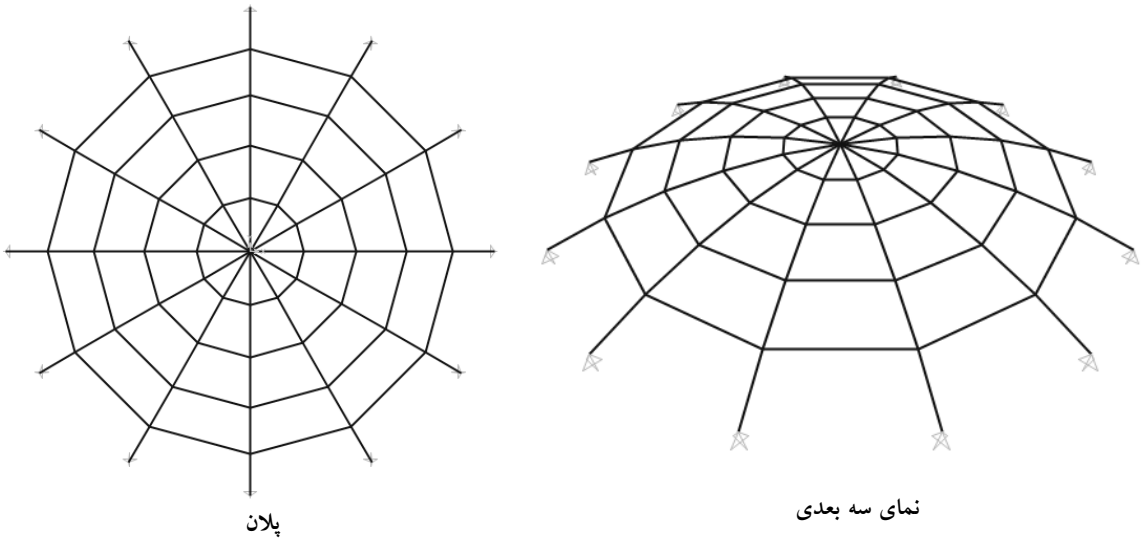
شکل ۱-۱: المان شعاعی، محیطی و تری در گنبد

۱-۵-۲-۱ گنبد دنده ای یا آجدار[1]:

این گنبد ها شامل تعدادی دنده و حلقه متقاطع هستند. دنده یک گروه از عناصری است که در امتداد یک خط نصف النهاری کاذب می باشد و حلقه یک گروه از عناصری است که از یک چند ضلعی

[1] *Ribbed dome*

افقی تشکیل شده است. در این گنبد فقط اعضای شعاعی و محیطی استفاده شده است و از هیچ اعضای وتری تشکیل نشده است. در این گنبد نیز تعداد اعضای محیطی ثابت می باشد. گنبد آجدار ساختاری پایدار نخواهد داشت مگر اینکه به صورت یک سیستم صلب طراحی شده باشد. در شکل ۱- ۲ نمای سه بعدی و پلان این گنبد نشان داده شده است.



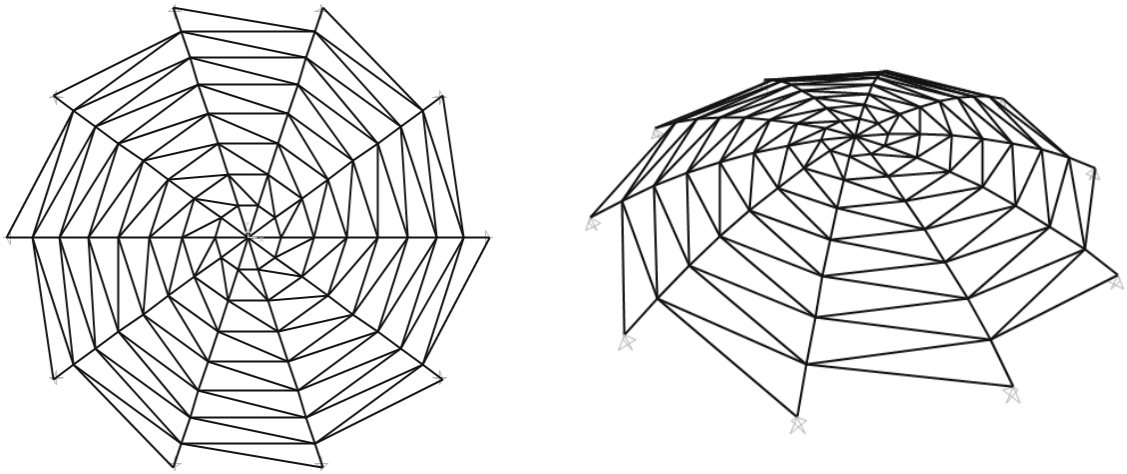
شکل ۱-۲: گنبد دنده ای از نمای سه بعدی و پلان

۱-۵-۲-۲ گنبد اشفدلر[1]:

این نوع گنبد از فرم اصلاحی گنبد آجدار با مهاربندی پانل های چهارضلعی به دست آمده است. پیکربندی این گنبد به نام گنبد اشفدلر معرفی شده که تعداد زیادی از این نوع گنبد ها در قرن نوزدهم و بعد توسط اشفدلر و دیگران ساخته شده است. در این گنبد نیز هر سه نوع اعضای محیطی، شعاعی و وتری استفاده شده است که اعضای وتری تنها در یک جهت به کار برده شده است و تعداد اعضای وتری ما بین دو حلقه متوالی در هر گره یک عدد می باشد. در شکل ۱- ۳ نمای سه بعدی و

[1] *Schwedler dome*

پلان این گنبد نیز نشان داده شده است.



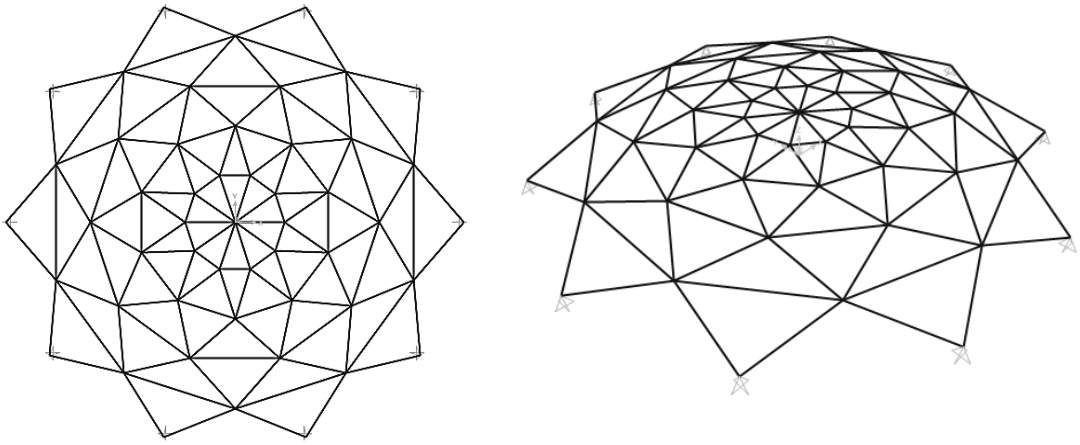
نمای سه بعدی **پلان**

شکل ۱-۳: گنبد اشفدلر از نمای سه بعدی و پلان

۱-۵-۲-۳ گنبد لملا[1]

این گنبد را می توان به نوعی ترکیبی از یک یا چند حلقه که با یکدیگر متقاطع هستند دانست. در پیکر بندی این نوع گنبدها از سه نوع المان های ذکر شده استفاده شده است بدین صورت که در تمامی حلقه ها المانهای محیطی وجود دارد ولی در حلقه اول المان شعاعی موجود بوده ودر دیگر حلقه ها المانهای وتری به کار برده شده است. تعداد ا عضای وتری ما بین دو حلقه برای هر گره دو عدد می باشد و همچنین تعداد اعضای محیطی در کل حلقه ها ثابت می باشد. پلان و نمای سه بعدی این گنبد را میتوان در شکل ۱-۴ مشاهده کرد.

[1] *Lamella dome*



نمای سه بعدی

پلان

شکل ۱-۴: گنبد لملا از نمای سه بعدی و پلان

۱-۵-۲-۴ گنبد شبکه ای یا حبابی[1]:

گنبدهای حبابی یا شبکه ای با طرح ریزی یک الگوی شبکه هواپیما بر روی یک سطح منحنی به دست آمده اند. این گنبدها معمولا با افزایش دهانه در مقایسه با دیگر گنبدها نسبتا کم عمق هستند. این گنبد نیز مانند گنبد لملا هر سه المانها را دارا می باشد با این تفاوت که المان شعاعی در تمام حلقه ها وجود دارد. اعضای محیطی حلقه های زوج با حلقه های فرد متفاوت است بدین صورت که اگر تعداد اعضای محیطی حلقه فردk باشد آنگاه تعداد اعضای محیطی حلقه های زوج$۲k$ می باشد، تعداد اعضای وتری ما بین دو حلقه برای هر گره دو عدد می باشد و همچنین تعداد اعضای وتری در کل حلقه ها به جز حلقه اول ثابت می باشد. شکل ۱-۵ این گنبد را نشان می دهد.

[1] *Grid dome*