دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان

بهینه سازی شکل سازه های گنبدی با استفاده از الگوریتم های ژنتیک

استاد راهنما

دکتر کامبیز کوهستانی

استاد مشاور

دکتر ناصر تقی زادیه

پژوهشگر

مهدی بابایی قلعه جوق

شهریور ۸۹

تقدیر و قدردانی

سپاس دانای بی همتایی را که به انسان خود فکر کردن آموخت و لحظه ای از حال او غافل نشد. باشد که بنده ای خوب برای آن مهربان باشم. اکنون که به یاری پروردگار این کار به اتمام رسیده است لازم می‌دانم از همه آنان که در این سالها مرا در نیل به اهدافم یاری کرده‌اند تقدیر و تشکر به عمل آورم. از پدر عزیز و بزرگوارم که بسیار از او آموخته ام و همه موفقیت‌هایم همه در سایه فداکاری‌ها و حاصل تلاشهای شبانه روزی ایشان بوده و هیچ از خود ندارم. قدردان مادر دلسوز و مهربانی هستم که با تمام وجودش برای موفقیت من زحمت کشیده و هم اکنون این موفقیتها را همه از زحمات بی دریغ او به هدیه دارم.خود را مدیون این دو انسان فرهیخته می‌دانم که اگر پشتیبانی آنان نبود هرگز قادر به پیمودن این مسیر دشوار نمی‌بودم. از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر کوهستانی صمیمانه تشکر میکنم که در این مدت صبورانه و با رویی گشاده ساعتها فرصت گرانبهای خود را در اختیار بنده قرار دادند تا اینکه این کار را به ثمر رسانیم. تسلط علمی ایشان راهگشای این تحقیق بوده و مرتبه علمی بالای این استاد فرزانه همواره برای بنده قابل احترام است. مصاحبت علمی با ایشان در این مدت برایم بسیار پربار و لذتبخش بود. تشکر خاص خود را از استاد مشاور خود جناب آقای دکتر تقی زادیه دارم که سالهاست از راهنمایی های ایشان در جهت تعالی علمی بهره جسته ام. استاد گرانقدری که همیشه با تواضع و بردباری پذیرای سخنان ما بوده و همواره در جهت ارتقای علمی و حل مشکلات ما کوشیده اند. از استاد محترم جناب آقای دکتر حدیدی سپاسگذارم که زحمت داوری این اثر را به عهده گرفتند. در نهایت از زحمات دوستان عزیزم جناب آقای مهندس مسعود سهرابی و مهندس رضا اسماعیلی قدردانی می‌کنم که در ویرایش و تدوین این اثر زحمات زیادی را متحمل شده‌اند.

با سپاس و احترام

مهدی بابایی

نام خانوادگی: بابایی قلعه جوق نام: مهدی

استاد راهنما: دکتر کامبیز کوهستانی استاد مشاور: دکتر ناصر تقی زادیه

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

دانشکده: فنی مهندسی عمران تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۸۹ تعداد صفحه: ۱۴۰

واژه های کلیدی: سازه های فضاکار، گنبد، بهینه سازی شکل، الگوریتم ژنتیک، خرپا، قاب، المان محدود

چکیده:

در بسیاری از تحقیقات و پروژه‌ها در مهندسی عمران بدنبال طرحی هستیم که در آن از کمترین مصالح مصرفی استفاده شده باشد، در این تحقیق نیز همین هدف برای سازه‌های گنبدی دنبال می‌شود. بعبارتی شکل بهینه‌ای برای گنبدها جستجو می‌گردد که در آن وزن سازه کمینه شود. این شکل بهینه با شروع از یک شکل اولیه و تکامل در پروسه بهینه سازی بدست خواهد آمد. تاکید عمده در این تحقیق بر بهینه‌سازی شکل سازه‌هاست . سازه‌های هدف از چند توپولوژی متمایز انتخاب می شوند و تحت بارهای قائم استاتیکی قرار می گیرند تا شکل بهینه آنها مورد ارزیابی قرار گیرد.

روش های بهینه‌سازی متعددی برای حل این مساله وجود دارد که از بین آنها روش الگوریتم ژنتیک برای استفاده در این پژوهش انتخاب شده است.

در تحقیق حاضر روشی کلی برای بهینه سازی شکل انواع سازه های گنبدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. طرح هندسی گنبدها با در نظر گرفتن قیدهای تنش، تغییر مکان و کمانش بدست می آیند.

مشکل اصلی که در کارها و تحقیقات پیشین با آن مواجه بودند این بود که تعداد پارامترهای طراحی مورد نیاز در فرایند بهینه‌سازی زیاد بود که مشکلاتی چون افزایش حجم محاسبات و زمان لازم برای انجام عملیات را بدنبال داشت و علاوه بر آن مشکل به دام افتادن در بهینه‌های موضعی با افزایش تعداد این پارامترها افزایش می یافت. در این تحقیق با ارائه ایده‌ای نو برای حل مسئله سعی گردیده است تا گامی موثر در جهت حل این مشکلات و کلیت بخشیدن در برخورد با این گونه مسائل برداشته شود.

فصل اول: مقدمه ۹

۱-۱-مقدمه ۹

فصل دوم: پیشینه تحقیق ۱۳

۲-۱-بررسی منابع و تحقیقات گذشته ۱۳

فصل سوم: سازه های فضاکار ۱۶

۳-۱-مقدمه ای بر سازه های فضاکار ۱۶

۳-۲-تعریف سازه های فضاکار ۱۷

۳-۳-مزایای استفاده از سازه های فضاکار ۱۸

۳-۴-تشابه سازه های فضاکار با پوسته ها ۱۹

۳-۵-مشخصات اجرای سازه ای ۱۹

فصل چهارم: تعاریف اولیه و مفاهیم اساسی در بهینه سازی سازه ها ۲۱

۴-۱- بهینه سازی شکل(STRUCTURAL SHAPE OPTIMIZATION) ۲۱

۴-۲- محاسبات تکاملی (EVOLUTIONARY COMPUTATIONS) ۲۱

۴-۳- متغیرهای طراحی (DESIGN VARIABLES) ۲۱

۴-۴- فضای طراحی(DESIGN SPACE) ۲۲

۴-۵- تابع هدف (OBJECTIVE FUNCTION) ۲۲

۴-۶- قید های طراحی (DESIGN CONSTRAINT) ۲۲

فصل پنجم: معرفی روش تحلیل سختی خرپاها و قابهای فضایی ۲۴

۵-۱-کلیاتی از روش سختی ۲۴

۵-۲-تعاریف و مفاهیم ۲۴

۵-۳-فرمولبندی روش سختی برای خرپاهای سه بعدی و قابهای سه بعدی ۲۵

۵-۳-۱- ماتریس سختی المان ۲۵

۵-۳-۱-۱-ماتریس سختی المان خرپای سه بعدی در دستگاه محلی ۲۵

۵-۳-۱-۲- ماتریس سختی المان قاب سه بعدی در دستگاه محلی ۲۷

۵-۳-۲- تبدیلات دستگاه مختصات ۲۸

۵-۳-۲-۱- تبدیل ماتریس سختی المان خرپایی ۲۸

۵-۳-۲-۲- تبدیل تغییر مکان های گرهی و نیروهای گرهی ۳۱

۵-۳-۳- روابط سختی (نیرو - تغییر مکان) المان در دستگاه محلی ۳۲

۵-۳-۳-۱- المان خرپایی سه بعدی ۳۲

۵-۳-۳-۲- المان قابی سه بعدی ۳۲

۵-۳-۴- روابط سختی (نیرو - تغییر مکان) المان در دستگاه کلی ۳۲

۵-۳-۴- ۱- المان خرپایی سه بعدی ۳۲
۵-۳-۴-۲- المان قابی سه بعدی ۳۳
۵-۳- ۵- معادلات تعادل گرهی و ماتریس سختی کل سازه ۳۴
۵-۳- ۵- ۱-معادلات سختی کل سازه برای خرپای سه بعدی ۳۴
۵-۳- ۵-۲- معادلات سختی کل سازه برای قاب های سه بعدی ۳۵
۵-۴- جمعبندی ۳۵
فصل ششم: معرفی الگوریتم‌های ژنتیک ۳۷
۶- ۱- کلیاتی از الگوریتم های ژنتیک ۳۷
۶-۲- بخش های اساسی الگوریتم ژنتیگ ۳۸
۶-۳- کد گذاری (ENCODING) ۳۹
۶-۳-۱- کد گذاری باینری ۴۰
۶-۳-۲-کد گذاری حقیقی ۴۱
۶-۳-۳- کد گذاری ترکیبی ۴۱
۶-۳-۴- کد گذاری جایگشتی ۴۱
۶-۳-۵- کد گذاری مقدار ۴۲
۶-۳-۶- کدگذاری درختی ۴۲
۶-۴- تابع هدف و تابع برازش ۴۳
۶-۵- فرایندهای انتخاب(SELECTION) ۴۳
۶-۵-۱- روش انتخاب چرخ رولت (ROLETTE WHEEL) ۴۴
۶-۵-۲- روش انتخاب تورنومنت یا رقابتی (TOURNAMENT) ۵۴
۶-۵-۳- روش انتخاب تصادفی فراگیر SUS (STOCHASTIC UNIVERSAL SAMPLING) ۵۴
۶-۵-۴- روش نمونه برداری رتبه بندی(RANK) ۵۵
۶-۶- ادغام یا تقاطع (CROSS-OVER) ۵۶
۶-۶-۱- ادغام تک نقطه ای باینری ۵۷
۶-۶-۲- ادغام دو یا چند نقطه ای ۵۷
۶-۶-۳- ادغام یکنواخت باینری ۵۸
۶-۶-۴- ادغام برزنی باینری ۵۹
۶-۶-۵- ادغام سه والدی باینری ۵۹
۶-۶-۶- ادغام ساده اعداد حقیقی ۵۹
۶-۶-۷- ادغام گسسته اعداد حقیقی ۶۰
۶-۶-۸- ادغام میانی یا حسابی اعداد حقیقی ۶۰
۶-۶-۹- ادغام خطی اعداد حقیقی ۶۲
۶-۶- ۱۰- عملگر ادغام کاوشی اعداد حقیقی ۶۲

۶-۷- جهش(MUTATION) ۶۳
۶-۷-۱- جهش تک نقطه ای باینری ۶۴
۶-۷-۲- جهش چند نقطه ای باینری ۶۵
۶-۷-۳-جهش یکنواخت باینری ۶۵
۶-۷-۴- سایر انواع جهش های باینری ۶۵
۶-۷-۵- جهش یکنواخت تک متغیره اعداد حقیقی ۶۵
۶-۷- ۶- جهش یکنواخت چند متغیره اعداد حقیقی ۶۶
۶-۷- ۷- جهش غیر یکنواخت تک متغیره یا چند متغیره ۶۶
۶-۸- جایگزینی(REPLACEMENT OR REINSERTION) ۶۷
۶-۸-۱- جایگزینی فراگیر (GLOBAL REINSERTION) ۶۸
۶-۸-۲- جایگزینی محلی(LOCAL REINSERTION) ۶۹
۶-۹- معیار های خاتمه الگوریتم (STOPPING CRITERIA) ۷۰
۶- ۱۰- عوامل موثر در همگرایی الگوریتم ژنتیک ۷۱
۶-۱۱- وجود همگرایی و سرعت همگرایی ۷۲
۶-۱۲- ثبات نتایج ۷۲
۶-۱۳- همگرایی زودرس ۷۲
۶-۱۴- نرخ جهش(MUTATION RATE) ۷۳
۶-۱۵- نرخ ادغام (CROSS-OVER RATE) ۷۳
۶-۱۶- اندازه جمعیت (POPULATION SIZE) ۷۴
۶-۱۷- ویژگی تپه نوردی(HILL CLIMBING) در الگوریتم های ژنتیک ۷۴
۶-۱۸- کاوش(EXPLORATION) و بهره وری (EXPLOITATION) در الگوریتم های ژنتیک ۷۵
۶-۱۹- نخبه گرایی در الگوریتم(ELITISM) ۷۵
۶-۲۰- پراکندگی جمعیت ۷۶
۶-۲۱- فشار گزینش (SELECTIVE PRESSURE) ۷۶
۶-۲۲- ادغام یا جهش ؟ ۷۷
۶-۲۳- جستجوی کلی(GLOBAL) و جستجوی محلی (LOCAL) ۷۷
۶-۲۴- نمودار تاریخچه همگرایی در فرایند بهینه سازی الگوریتم ژنتیک ۷۸

فصل هفتم: ارائه طرح پیشنهادی در بهینه سازی سازه های گنبدی ۸۱

۷-۱- مقدمه ۸۱
۷-۲-کد گذاری و بیان مساله ۸۱
۷-۳- بیان ریاضی مساله ۸۴
۷-۴- تابع هدف در مسائل بهینه سازی گنبد های میله ای ۸۴
۷-۵- محدودیت های طراحی(DESIGN CONSTRAINTS) در گنبدهای خرپایی ۸۵

۷-۶- محدودیت های طراحی در گنبدهای قابی ۸۷
۷-۷- تابع جریمه ۹۰
۷-۸- طرح پیشنهادی برای بهینه سازی شکل و سایز گنبد ها ۹۱
۷-۹- توابع پیشنهادی ۹۳
۷- ۱۰- مزایا و ویژگیهای طرح پیشنهادی ۹۵
فصل هفتم: مثالهای عددی از بهینه سازی شکل گنبدها با طرح پیشنهادی ۹۹
۸-۱- چشم انداز فصل ۹۹
۸-۲- مثال ۱: گنبد خرپایی ۱۲۰ عضوی(۱۲۰-BAR DOME) ۱۰۰
۸-۳- گنبد خرپایی ژئودزیک (GEODESIC DOME SPACE TRUSS) ۱۰۲
۸-۴- مثال ۳: گنبد خرپایی ۵۲ عضوی (۵۲-BAR DOME SPACE TRUSS) ۱۰۴
۸-۵- مثال ۴: گنبد قابی ژئودزیک (GEODESIC DOME SPACE FRAME) ۱۰۶
۸-۶- مثال۵:گنبد قابی شبکه ای با ۳ رینک (NETWORK DOME SPACE FRAME) ۱۱۱
۸-۷- مثال ۶ ..... ۱۱۴
۸-۸- مثال۷: گنبد شودلر طرح اول (SCHWEDLER DOME SPACE) ۱۱۶
۸-۹- مثال۸: گنبد شودلر طرح دوم (SCHWEDLER DOME SPACE) ۱۲۰
۸-۱۰- مثال۹: گنبد لاملا (LAMELLA DOME) ۱۲۲
۸-۱۱- مثال ۱۰:گنبد دیاماتیک (DIAMATIC DOME) ۱۲۶
۸-۱۲- نتیجه گیری ۱۲۹
۸-۱۲-۱- نتایج پیرامون طرح پیشنهادی ۱۲۹
۸-۱۲-۲- نتایج پیرامون مثالهای حل شده با روش پیشنهادی ۱۳۰
۸-۱۳- زمینه های تحقیقات آتی ۱۳۳
مراجع ۱۳۴

فصل اول :

مقدمه

فصل اول: مقدمه

۱-۱-مقدمه

بهینه سازی به عنوان ترکیبی از مباحث ریاضیات و اقتصاد در سالهای اخیر کاربرد وسیعی در شاخه‌های گوناگون نظیر مهندسی و علوم پایه یافته است. در دهه های اخیر روش هایی مبتنی بر پدیده های طبیعی مطرح شده اند که با توجه به مزیتهایی همچون عدم وابستگی به نقاط انتخاب اولیه، عدم نیاز به محاسبات سنگین ریاضی همچون مشتق گیری و گرادیان و امکان بهینه یابی عملی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. یکی از این روش ها روش فراکاوشی(Meta-Heuristic) الگوریتم ژنتیک است که یک مدل از یادگیری ماشین است. الگوریتم های ژنتیک از فرایند تکامل طبیعی داروین الهام گرفته شده است. الگوریتم مذکور با ایجاد جمعیتی از افراد که هر فرد در قالب یک کروموزوم بیان می شود پیاده سازی می‌گردد و با تکامل این جمعیت به جواب بهینه مساله دست می‌یابد. الگـــوریتم ژنتیک ابزاری قدرتمند برای بهینه‌سازی در اختیار ما قرار می دهد که می‌توانیم آنرا برای طراحی بهینه سازه های فضاکار استفاده کنیم.

بهینه سازی سازه های فضاکار همواره یکی از حوضه های فعال تحقیق در زمینه بهینه سازی بوده است. این شاخه از بهینه سازی با سه رویکرد مختلف مطرح می شود: (۱) بهینه سازی سایز یا اندازه(Size) (۲) بهینه سازی توپولوژی (Topology)و (۳) بهینه سازی شکل (Shape). در بهینه سازی سایز خرپاها اندازه سطح مقطع المانها به عنوان متغیرهای طراحی مطرح می شوند و مختصات گرهها و همبندی(Connectivity) آنها ثابت در نظر گرفته می شود[۱]. در بهینه سازی توپولوژی، همبندی بهینه گرهها مورد بررسی قرار می‌گیرد[۳-۲] و در بهینه سازی شکل، مختصات گرهی هدف مساله بهینه سازی قرار می‌گیرد[۴].

بهینه سازی طرح بندی (Layout Optimization) سازه‌های خرپایی به معنای بهینه سازی همزمـــان توپولوژی، هندسه و سایز اعضا می باشد.نتایج تحـقیـقـات انجام شده روی بهینه سازی

سایز و توپولـــوژی با قیدهای تغییرمکانی تاکید بر این نکته دارند که یک هنـدسه بهینه از سازه می تواند کارایـی سازه را تا حد زیـــادی بهبـــود بخشد. در هر حال بهینه سازی شکل سازه ای تحت قیدهای تغییر مکانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.تلاشهای قابل ملاحظـه ای برای بهینـه سازی سایز خرپـاها با پیکربنـــدی ثابت صورت گـرفتـــه است که اغلب بر مبنـــای تجربیات طراح مربوطـــه بودند. اگر بهینه سازی سایز المانها روی هندسه ای غیر بهینـه انجام شود نتایـج حاصله رضایت بخش نخواهد بود.بالعکس اگر بهینه سازی اندازه المانها روی پیکربندی بهینه انجام شود نتایج بسیار بهتری حاصل خواهد شد[۵].

عموما بهینه سازی سایز با یک توپولوژی معین همراه با بهینه سازی هندسه سازه به صورت همزمان انجام می شود که یک مساله NLP (Nonlinear Programming) می باشد. در بهینه سازی همزمان سایز و هندسه سازه ها با یک توپولوژی معین مساحت سطح مقاطع المانها و مختصات گره‌ها بعنوان متغیرهای طراحی مورد بررسی قرار می گیرند [۶].در این گونه مسائل معمولا با تعداد زیادی متغیر طراحی از جمله مساحت های مقاطع اعضا و مختصات گره ها مواجه هستیم که بایستی بطور همزمان بهینه شوند. انتخاب سطح مقطع ها از لیست پروفیل ها، فضای طراحی گسسته‌ای را ایجاب میکند؛ از طرفـی قیـدهای مربوط به تنش‌ها و قیدهای مربوط به تنش‌های کمانشی و تغییرمکانهای گرهی امکان به دام افتادن در اکسترمم های نسبی را افزایش میدهد[۷]. بعبارتی با افزایش ابعاد فضای طراحی، روند بهینه‌سازی ممکن است به بهینه موضعی منجر شود.

در این تحقیق، هدف اصلی بهینه سازی شکل سازه‌ها می باشد ولی در عین حال مقاطع اعضا نیز ثابت نبوده و هر بـــار در حین تکامل هندســـی سازه، برای نیروهای حاصل از آنالیز آن، طراحـــی می شوند.

بهینه سازی شکل سازه هر بار با طی فرایندهای مربوط به الگوریتم ژنتیک انجام خواهد گرفت.این الگوریتم شاخه‌ای از تکنیک‌های محاسبات تکاملی(Evolutionary) و روش جستجوی احتمالاتی(Probabilistic) و فراگیر(Global) محسوب می شود[۸].

در فصل دوم این تحقیق مروری بر تحقیقات انجام شده پیشین خواهیم داشت که در این زمینه کار شده اند و به تحقیقاتی که در زمینه بهینه سازی سازه ها با استفاده از الگوریتم های تکاملی انجام شده اند، اشاره ای خواهیم کرد. فصل سوم به سازه‌های فضاکار اختصاص یافته است. فصل چهارم مروری بر مفاهیم اصلی و تعاریف اولیه مطرح در مسائل بهینه سازی سازه ها را در بر خواهد داشت. در فصل پنجم روش تحلیل سازه‌ای به کار رفته برای آنالیز سازه های طراحی شده به طور مختصر توضیح داده می شود. فصل ششم پایان نامه به معرفی الگوریتم های ژنتیک و عملگرها و فرایندهای مورد استفاده در این روش اختصاص یافته است.

درفصل هفتم طرح پیشنهادی برای حل مسائل بهینه‌سازی شکل گنبدها تشریح می شود و روندی کلی برای برخورد با این نوع مسائل ارائه می‌گردد و در فصل آخر مثال‌هایی جهت شرح عملکرد روش پیشنهادی روی انواع گنبدها ارائه می شود و نتایج روش پیشنهادی با نتایج بهینه سازی در تحقیقات پیشین مقایسه می شود. نتایج این فصل توانمندی روش ارائه شده در بهینه کردن وزن انواع سازه های گنبدی را روشن خواهد ساخت.

فصل دوم:

پیشینه تحقیق

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۲-۱-بررسی منابع و تحقیقات گذشته

ایده الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط جان هالند[۹] فیزیولوژیست و و دانشمند علوم کامپیوتر از دانشگاه میشیگان مطرح شد. وی نتیجه تحقیقاتش را روی طرح‌های مولد تطبیقی در سال ۱۹۷۵ در کتـابی با عنوان "Adaptation In Natural And Artificial Systems" منتشر کرد. جـان هالند روی چگـونگی استفاده از الگوریتم های جستجوی طبیعی برای ترکیب مسائلی در زمینه های کاربرد عملی تاکید می کند.

الگوریتم های ژنتیک اولین بار توسط گلدبرگ و سامتانی [۱] در سال ۱۹۸۶ برای بهینه سازی خرپاها استفاده شد. آنها با استفاده از این روش مقاطع یک خرپای صفحه‌ای ده عضوی را با ثابت فرض کردن توپولوژی و هندسه بهینه سازی کردند. دب[۱۰] این تکنیک را برای طراحی تیرهای جوشی، جنگینز برای قاب های صفحه ای[۱۱]، یک سازه سقفی trussed-beam و مقاطع جدار نازک[۱۲] و راجو و کریشنامورتی [۱۳] این روش را برای بهینه سازی خرپاهای توسعه یافته بکار بستند. عادلی و چنگ[۱۴] نیز از الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن سازه های فضاکار بهره بردند. هجلا و همکاران [۱۵] یک پروسه دو مرحله ای بهینه سازی مشتمل بر یافتن چندین توپولوژی بهینه و سپس سطح مقطع بهینه اعضای خرپایی برای هر یک از این توپولوژی‌ها را به کار بردند. راجان [۱۶] در تحقیق خود هر سه رویکرد بهینه سازی شکل، سایز و توپولوژی را برای طراحی دو خرپای دو بعدی پیش گرفت. پاول[۱۷] یک ابزار بهینه سازی مستقل از دامنه را برای مهندسین معرفی کرد که با تکرار طراحی همراه بود و ENGENEous خوانده می شد. اسکوانیر و خانتاکوس [۱۸] روش عمومی برای اعمال قیدها در بهینه سازی خرپاها ارائه کردند و آنرا روی یک خرپای ۱۰ عضوی دو بعدی و یکی خرپای ۲۵ عضوی سه بعدی آزمودند. کاوه و کلاتجاری [۱۹] نیز در دهه اخیر به بهینه سازی گسسته سایز خرپاها با ترکیب روش تحلیل نرمی یا نیروها و

الگوریتم ژنتیک پرداخته اند. آنها در تحقیقی دیگر [۲۰] بهینه سازی خرپا ها را طی دو مرحله انجام داده‌اند. بدین ترتیب که ابتدا با فرض یک هنـدسه ثـابت مقاطع المانها را بهینه کـردند و سپس بهینه‌سازی شکل خرپا را انجام دادند. آنها در این بهینه‌سازی و برای جلوگیری از به دام افتادن در اکسترمم‌های نسبی از یک الگوریتم ژنتیک اصلاح شده بهره گرفته اند. بالینگ و همکارنش[۲۱] از الگـوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سـازی سازه‌های اسکلتی استفاده کردند. در دهه‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های هیبرد(Hybrid) نیز به عنوان ابزارهای بهینه‌یابی قدرتمندی مورد استفاده قرار می گیرد. هوانگ و هی[۲۲] با استفاده از ترکیب الگوریتم ذوب فلزات راهکاری برای بهینه یابی توابع ریاضی ارائه کرده‌اند و این الگوریتم هیبرید را برای بهینه‌سازی یک خرپای ۱۵ عضوی استفاده کردند. تانگ و همکارانش[۲۳] روشهای مختلف نمایش کروموزوم‌ها را مورد بررسی قرار دادند و با بکار بردن نمایش ترکیبی(Mixed-Coding) و همچنین مکانیزم شروع مجدد(Restart Mechanism)، یک الگوریتم ژنتیک پیشرفته برای بهینه‌سازی سایز، توپولوژی و شکل خرپا ارائه کردند. رهامی و همکارانش [۷] با پیشنهاد استفاده الگوریتم ژنتیک در مرحله تحلیل سازه، از روش نرمی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی سایز، توپولوژی و شکل خرپاها استفاده کردند.

ساکا و همکارانش [۲۴] تحقیقات زیادی روی بهینه سازی سایز، شکل و توپولوژی سازه‌های فضایی مشبک تک لایه با استفاده از الگوریتم های ژنتیک انجام دادند. در تحقیقات دیگری از همین محققین [۲۵] بهینه سازی شکل گنبدها با استفاده از روش جستجوی هارمونیک و سایر روش‌های فراکاوشی صورت گرفته است.سوح و یانگ [۲۶] بهینه‌سازی شکل انواع خرپاها را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیقات ارائه شده در بهینه سازی سازه ها با الگوریتم های ژنتیک گویای توانمندی این تکنیک در کاستن وزن سازه ها می باشد. در تحقیق حاضر نیز همین هدف برای سازه های فضاکار دنبال شده و شکل بهینه سازه های گنبدی برای انواع توپولوژی‌ها بررسی خواهد شد.

فصل سوم:

سازه های فضا کار

فصل سوم: سازه های فضاکار

۳-۱-مقدمه ای بر سازه های فضاکار

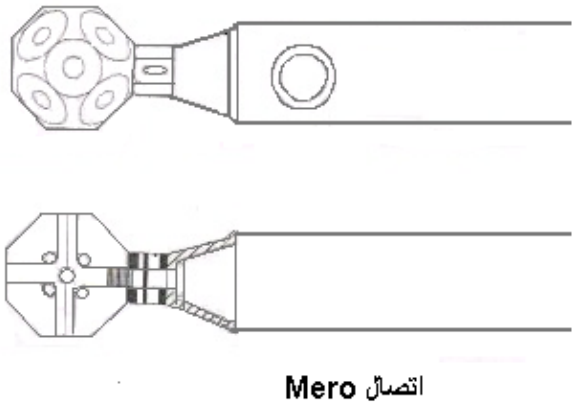
سازه های فضاکار را می توان الگویی از ساختارهای موجود در طبیعت دانست. ساختارهای طبیعی از صلبیت بسیار بالایی برخوردارند و از مصالح برای بیشترین بازدهی و باربری بهره می گیرند. در سال ریکولایس ۱۹٤۰ یکی از ترویج دهندگان سازه های فضاکار توجه همگان را به گونه ژئودزیک سطوح کروی جلب کرد که ویژگی اسکلت های استخوانیRadia Tuscaretta Globosa را داشتند.

از نظر تاریخی، اولین سازه های فضاکار، گنبدهایی بودند که توسط مهندسین آلمانی شودلر و زیمرمن که در قرن نوزدهم از پیشگامان این علم بودند، ساخته شدند. ساخت دهانه ۳۶۱ فوتی برای سازه نمایشگاه لیون در سال ۱۸۹۴ توسط زیمرمن کامل شد. گنبد از نوع شودلر بلافاصله پس از جنگ جهانی دوم بر فراز مرکز مهندسی شارلوت در کارولینای شمالی،در آمریکا ساخته شد که طول آن حدود ۳۳۲ فوت بود.

در واقع سازه هایی با این ابعاد در آن زمان، بزرگ و قابل توجه بودند. این تجربه های آغازین، تقریبا تا سال ۱۹۳۷ هنگامی که دکتر منگرینگاسن تمایل به سازه هایی فضاکار را دوباره رواج داد، فراموش شده بود. او دریافته بود که رواج سازه های فضاکار در مقیاس بزرگ، فقط در صورتی امکان پذیر خواهد بود که اعضای سازه بصورت کارخانه ای تولید و مونتاژ آن در محل انجام شود. برای دستیابی به این دو هدف لازم بود که تنوع عضوی کاهش یابد و روش مونتاژ آسان توسعه پیدا کند. در حالت ایده آل سازه فضاکار باید شامل عضوهایی با طول مساوی باشد. بنابراین در عمل سعی می شود تعداد طول های متفاوت تا حد امکان کاهش یابد. تحقیقات توپولوژیکی پیشگامانه دکتر منگرینگاسن به کاهش تنوع اعضا معطوف بود. اختراع اتصال Mero توسط وی بخوبی مشکل مونتاژ را حل کرد. این اتصال گرهی قادر بود تا تعداد ۱۸ عضو را با زوایای مختلف در سوراخ های

قلاویز شده که به روی سطح آن توزیع شده بودند جای دهد. این اتصال در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

روش کار منگرینگاسن موجب پیشرفت های مشابهی در سراسر جهان شد تا اینکه در سال های بعد شاهد گسترش وسیع استفاده از سیستم‌های خاص اتصال مانند ; Spacedeck ; Triodetic Octatube ; Nadus ; Unibat ; Unistrut و مشتقات آنها شد[۲۷].



شکل ۳-۱- سیستم اتصال Mero

۳-۲-تعریف سازه های فضاکار

با استناد به گزارشی که در رابطه با "وضعیت موجود سازه های فضاکار " توسط انجمن بین المللی پوسته ها و سازه های فضاکار (IASS) در سال ۱۹۸٤ انتشار یافت [۲۸] می توان تعریف زیر را برای این سازه ها پذیرفت: یک سازه فضاکار را می توان بصورت یک سیستم سازه ای در نظر گرفت که از عضوهای خطی تشکیل شده است و طرز قرارگیری آنها بگونه‌ایست که بارها بصورت سه بعدی منتقل می شوند. یک سازه فضاکار اغلب شکل صاف یا منحنی گونه را بخود می گیرد.

در گزارش انجمن مهندسان راه و ساختمان آمریکا با عنوان وضعیت موجود سازه های شبکه‌ای که در سال ۱۹۷۶انتشار یافت[۲۹]، سازه های فضاکار بعنوان دسته ای از سازه ای شبکه ای معرفی و بصورت زیر تعریف شد:

یک سیستم سازه ای بصورت مجموعه ای از عضوهای بهم پیوسته (و نه بصورت یک صفحه پیوسته) که مکانیزم انتقال بار آن در حالت کلی سه بعدی است را سازه فضاکار می نامیم.

سازه های فضاکار با توجه به نوع اتصال اعضای آن به دو نوع خرپاهای فضاکار و قابهای فضاکار تقسیم می شوند:

- خرپاهای فضاکار: سازه های فضاکار را که در آن اتصالات اعضا از نوع مفصلی بوده و اعضای سازه‌ای آن صرفا تحت نیروهای محوری قرار دارند، خرپاهای فضاکار می نامند.
- قابهای فضاکار: سازه ها ی فضاکار را که در آن اتصالات اعضا از نوع صلب بوده و اعضای سازه‌ای آن بطور همزمان تحت نیروهای محوری و لنگرهای خمشی و پیچشی قرار دارند را قابهای فضاکار می نامند.

۳-۳-مزایای استفاده از سازه های فضاکار

- اسکلت سازه های فضاکار بسیار سبک بوده و بازده سازه ای خوبی دارند و مصالح در این سازه‌ها بصورت بهینه استفاده می شود.
- برای پوشش فضاهای بزرگ و بدون ستون مانند سالن های ورزشی، تالارها، آشیانه هواپیماها و سالن های اجتماعات گزینه مناسب و اقتصادی می باشد.
- سختی این نوع سازه ها زیاد بوده و تغییر مکان‌های کوچکی دارند.
- برای اهداف نورپردازی و تهویه می توان از این سازه ها به نحو مناسبی استفاده کرد.
- زمان ساخت کوتاه و دقت ساخت و مونتاژ بالایی دارند چرا که اجزای آنها در کارخانه و با روشهای سریع و دقیق ساخته می شوند.

- بارهای مرده سازه‌ای در سازه‌های فضاکار بسیار کم است و اغلب در برابر بارهایی که تحمل می‌کنند قابل چشم پوشی می باشند.

۳-۴-تشابه سازه های فضاکار با پوسته ها

سازه های فضاکار رفتار سازه ای مشابه پوسته ها دارند. این تشابه را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- بارهای وارد بر سازه را عمدتا توسط نیروهای محوری (کششی و یا فشاری) با خمش اندک و یا بدون خمش تحمل می کنند.
- به دلیل سختی زیاد، تغییر مکان های کوچکی دارند.
- هر دو، فرم های سازه‌ای مناسبی برای پوشش فضاهای بزرگ بوده و مصالح بصورت بهینه‌ای در ساخت آنها بکار می رود.

۳-۵-مشخصات اجرای سازه ای

اعضای سازه های فضاکار ترجیحا از مقاطع لوله ای فولادی یا آلومینیومی ساخته می شوند که می‌تواند دایره‌ای توخالی یا مستطیلی توخالی باشند. دیگر مقاطع سازه ای مانند I و H هم گاها در این سازه ها بکار برده می شود. بخصوص اگر بارها روی اعضای بین گره ها واردشوند که در این حالت علاوه بر نیروی محوری، خمش نیز در اعضا وجود دارد. در هر حال هنگامی که بارها صرفا به گره ها وارد می شوند. مقاطع توخالی دایروی و مستطیلی در مقایسه با سایر مقاطع ارجحیت دارند چرا که شعاع ژیراسیون بزرگتری در مقایسه با مقاطعی با مساحت های یکسان از خود نشان می‌دهند. مقاطع دایروی (ومربعی) توخالی مزیت دیگری نیز دارند و آن اینست که ممان اینرسی آنها در همه جهات برابرند[۲۷].

فصل چهارم:

تعاریف اولیه و مفاهیم اساسی در بهینه‌سازی سازه‌ها