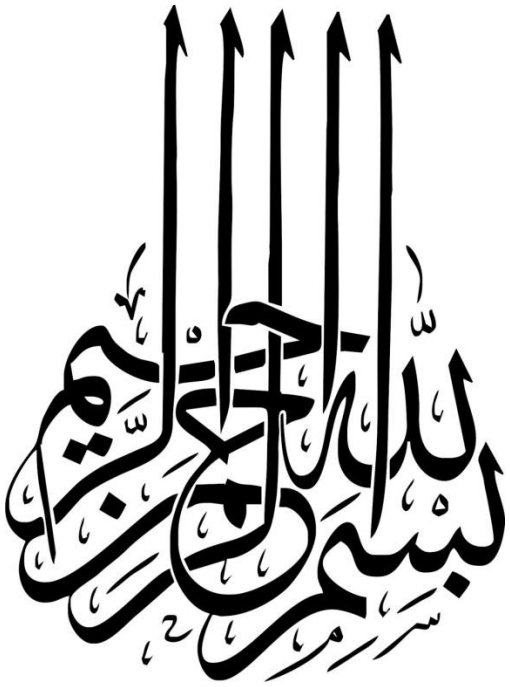
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

رشته عمران گرایش سازه

عنوان پایان‌نامه

بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌های فضاکار با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته

استاد راهنما

دکتر مصطفی مشایخی

استاد مشاور

پروفسور عیسی سلاجقه

نگارنده

حسین شایسته

شهریور ۱۳۹۳

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی فنی و مهندسی
گروه عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران
رشته‌ی عمران گرایش سازه

نام و نام‌خانوادگی دانشجو
حسین شایسته

عنوان پایان‌نامه

بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته

در تاریخ ..... توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مصطفی مشایخی	با مرتبه‌ی علمی استادیار	امضاء
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر عیسی سلاجقه	با مرتبه‌ی علمی استاد	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر	با مرتبه‌ی علمی	امضاء
۴- استاد داور داخل گروه	دکتر	با مرتبه‌ی علمی	امضاء
۵ – نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی	دکتر	با مرتبه ی علمی	امضاء

تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه
ولی‌عصر (عج) رفسنجان است.

سپاسگزاری

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند و سلام و درود بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجلّ از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم، اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ":

از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر مصطفی مشایخی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر عیسی سلاجقه، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم، و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ آقایان دکتر خجسته فرد و دکتر ضیاء الدینی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تقدیم به

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه، هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن. را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان. . . .

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

چکیده

اهمیت بهینه‌سازی سازه بدلیل محدودیت منابع مواد، خطرات زیست محیطی و رقابت فناوری به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است که منجر به ایجاد سازه‌هایی با وزن و هزینه کم و عملکرد بالا می‌شود. بهینه‌سازی سازه می‌تواند به عنوان یک روند در طراحی بهینه‌ی سازه‌های تحت بارگذاری مطرح شود. بهینه‌سازی توپولوژی سازه، بهترین عملکرد سازه را برای ارضای قیود مختلف جستجو می‌کند. مقایسه بین بهینه‌سازی اندازه، شکل و توپولوژی، نشان می‌دهد که بهینه‌سازی توپولوژی آزادی عمل بیشتری ایجاد می‌کند و به طراح اجازه نوآوری بیشتر و امکان ایجاد سازه کارآمدتر را می‌دهد. در این تحقیق، از الگوریتم رقابت استعماری برای بهینه‌سازی توپولوژی سازه-های فضاکار استفاده شده است. الگوریتم رقابت استعماری، یک الگوریتم چند جمعیتی است. هر یک از جمعیت‌ها به عنوان یک کشور در نظر گرفته می‌شود که در آن هر کشور یا استعمارگر است یا مستعمره. در فضای جستجو، تعدادی از این کشورها، امپراطوری‌ها را تشکیل می‌دهند. حرکت کشورهای مستعمره به سمت استعمارگر امپراطوری خود می‌باشد و رقابت بین امپراطوری‌ها، بر اساس تفکر رقابت استعماری را شکل می‌دهد. در طول این حرکت، امپراطوری‌های قدرتمند به قدرتشان افزوده و از قدرت امپراطوری‌های ضعیف کاسته می‌شود به طوری که به تدریج امپراطوری ضعیف از هم پاشیده و مستعمره‌های آن به دیگر امپراطوری‌ها داده می‌شود. در این تحقیق یک روش اصلاحی ترکیبی برای بهینه‌سازی توپولوژی شبکه‌های دولایه ارائه شده است. روش بهینه-سازی مورد استفاده، از ترکیب روش بهینه‌سازی تکاملی سازه و روش رقابت استعماری می‌شود. برای رسیدن به این هدف، ابتدا نرخ اهمیت گره‌ها تعیین می‌شود. سپس از این ویژگی استفاده می-شود تا جستجو برای یافتن سازه بهینه، بهتر انجام شود. لازم به ذکر است، وزن سازه تحت قیود مختلف بهینه می‌شود که این قیود شامل تنش، جابجایی و ضریب لاغری می‌باشد. همچنین موقعیت تکیه‌گاه‌ها و مختصات گره‌ها ثابت فرض می‌شود، در حالی که وجود و عدم وجود گره‌های شبکه پایین و سطح مقطع اعضا به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی قدرت و عملکرد مناسبی در بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌های بزرگ مقیاس با در نظر گرفتن سطح مقطع‌های گسسته و با در نظر گرفتن قیود مختلف را دارد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی، بهینه‌سازی توپولوژی، سازه‌های فضاکار، الگوریتم رقابت استعماری، روش بهینه‌سازی تکاملی سازه.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول مقدمه ۱
۱-۱- بهینه‌سازی ۱
۱-۲- سازه فضاکار ۲
۱-۳- اهداف پژوهش ۳
۱-۴- روش انجام پژوهش ۳
فصل دوم پیشینه پژوهش ۵
۲-۱- روش‌های اولیه بهینه‌سازی ۵
۲-۲- روش‌های نوین بهینه‌سازی ۷
۲-۳- بهینه‌سازی توپولوژی سازه ۹
۲-۴- بهینه‌سازی سازه با استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی ۱۱
فصل سوم مواد و روش‌ها ۱۳
۳-۱- سازه فضاکار ۱۳
۳-۱- ۱- تعریف سازهای فضایی ۱۴
۳-۱-۲- مزایای سازه‌های فضایی ۱۵
۳-۱-۳- پوسته‌ها و سازه‌های فضایی ۱۶
۳-۱-۴- اجزای سازه فضایی ۱۶
۳-۱-۵- انواع سازه‌های فضایی تک لایه، دولایه و سه لایه ۱۷
۳-۱-۶- انواع مدل‌های هندسی سازه‌های فضاکار: ۱۹
۳-۱-۶-۱- سازه فضاکار تخت یک یا دولایه ۱۹
۳-۱-۶-۲-چلیک ۲۰
۳-۱-۶-۳- گنبدها (دیاماتیک و ژئودزیک و گنبدهای چند قوسی) ۲۲
۳-۱-۶-۳-۱- انواع گنبدها: ۲۲
۳-۱-۶-۴- سایر اشکال ۲۶
۳-۲- رابطه‌سازی مسئله بهینه‌سازی ۲۷
۳-۲-۱- متغیرهای مسئله ۲۷
۳-۲-۲- تابع هدف ۲۷

عنوان **صفحه**

۳-۲-۳- قیود مسئله ۲۸
۳-۳- روش‌های حل مسائل بهینهسازی ۲۹
۳-۳-۱- ویژگی‌های روشهای حل مسائل بهینه‌سازی ۳۰
۳-۳-۱-۱- روش‌های سراسری و موضعی ۳۰
۳-۳-۱-۲- روش‌های محدب محور ۳۰
۳-۳-۱-۳- روش‌های تصادفی و قطعی ۳۱
۳-۳-۱-۴- روشهای بدون مشتق، بدون گرادیان و روش‌های گرادیان محور ۳۱
۳-۳-۲- روش‌های بهینه‌سازی ۳۱
۳-۳-۲-۱- بهینه‌سازی توپولوژی ۳۱
۳-۳-۲-۲- بهینه‌سازی اندازه ۳۲
۳-۳-۲-۳- بهینه‌سازی شکل ۳۲
۳-۳-۳- انواع روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی ۳۲
۳-۳-۳-۱- روشه‌ای تصویری ۳۲
۳-۳-۳-۲- روش‌های تحلیلی یا کلاسیک ۳۲
۳-۳-۳-۳- روش‌های خاص ۳۴
۳-۳-۳-۴- روش‌های عدی ۳۴
۳-۳-۳-۵- روش‌های مدرن یا مکاشفه‌ای ۳۵
۳-۴- الگوریتم رقابت استعماری ۳۷
۳-۴-۱- مقدمه ۳۷
۳-۴-۲- مروری تاریخی بر پدیده استعمار ۳۸
۳-۴-۳- شکلدهی امپراطوری‌های اولیه ۴۰
۳-۴-۴- مدلسازی سیاست جذب: حرکت مستعمره‌ها به سمت امپریالیست ۴۳
۳-۴-۵- جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست ۴۵
۳-۴-۶- قدرت کل یک امپراطوری ۴۶
۳-۴-۷- رقابت استعماری ۴۶
۳-۴-۸- سقوط امپراطوری‌های ضعیف ۴۹
۳-۴-۹- همگرایی ۵۰
۳-۵- روش بهینه‌سازی تکاملی سازه ۵۱

عنوان **صفحه**

۳-۵-۱- مقدمه ۵۱
۳-۵-۲- مبانی روشESO ۵۱
۳-۵-۳-پیاده‌سازی روشESO ۵۲
۳-۶- الگوریتم گروه ذرات ۵۵
۳-۶-۱- مقدمه..... ۵۵
۳-۶- ۲- الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات..... ۵۶
۳-۷- بهینه‌سازی شبکه‌های دولایه..... ۵۸
۳-۷-۱-گروهبندی گره‌های شبکه‌ی دولایه:..... ۵۸
۳-۷-۲- متغیر وجود و عدم وجود گره‌های شبکه پایین ۵۸
۳-۷-۳- قیود استاتیکی..... ۶۰
۳-۷-۴- بهینه‌سازی اندازه و بهینه‌سازی توپولوژی با الگوریتم رقابت استعماری ۶۱
۳-۷-۵-۱- اصلاح تولید سازه‌های پایدار تصادفی..... ۶۲
۳-۷-۵-۲-کاهش لیست پروفیل‌های تیپ‌های انتخابی ۶۳
۳-۷-۶-۱- ترکیب الگوریتم رقابت استعماری بهبود یافته با روش بهینه‌سازی تکاملی سازه (ESO-MICA)..... ۶۵
۳-۷-۶-۳- بهبود روش MICA با کاهش لیست تیپ‌های انتخابی ۶۵
۳-۷-۷-۱- اصلاح مکانیزم انقلاب در الگوریتم اصلاح شده..... ۶۸
۳-۷-۷-۱- ترکیب الگوریتم اصلاح شده با روش بهینه‌سازی تکاملی سازه..... ۶۹
فصل چهارم نتایج و بحث..... ۷۱
۴-۱- مقایسه بهینه‌سازی اندازه و بهینه‌سازی توپولوژی با روش ICA..... ۷۱
۴-۲- بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از روش ESO_ICA ۷۸
۴-۳- بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از روش MICA..... ۸۸
۴-۴- بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از روشESO- MICA/PSO..... ۹۶
فصل پنجم نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها..... ۱۱۳
۵-۱- نتیجه گیری کلی ۱۱۳
۵-۲- پیشنهادها ۱۱۴
منابع ۱۱۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱ آرایش شبکه‌ای ۱۸
شکل ۳-۲ انواع سازه فضاکار تخت یک یا دولایه ۲۰
شکل ۳-۳ پلان تاشه‌های چلیک ۲۱
شکل ۳-۴ انواع چلیک ۲۲
شکل ۳-۵ گنبد دنده‌ای ۲۳
شکل ۳-۶ گنبد اشودلر ۲۳
شکل ۳-۷ گنبد لملا ۲۴
شکل ۳-۸ گنبد دیامتیک ۲۴
شکل ۳-۹ گنبد برایی ۲۵
شکل ۳-۱۰ گنبد ژئودزیک ۲۵
شکل ۳-۱۱ گنبد اسکالوپ ۲۶
شکل ۳-۱۲ سایر سازه‌های فضاکار ۲۶
شکل ۳-۱۳ اعمال سیاست جذب از طرف استعمارگران بر مستعمرات ۴۰
شکل ۳-۱۴ اجزای اجتماعی سیاسی تشکیل دهنده یک کشور ۴۱
شکل ۳-۱۵ چگونگی شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه. امپریالست شماره ۱ قویترین امپراطوری را ایجاد کرده است و بیشترین تعداد مستعمرات را دارد ۴۲
شکل ۳-۱۶ شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست ۴۳
شکل ۳-۱۷ حرکت واقعی مستعمرات به سمت امپریالیست ۴۴
شکل ۳-۱۸ الف: تغییر جای استعمارگر و مستعمره و ب: کل امپراطوری، پس از تغییر موقعیتها ..۴۶
شکل ۳-۱۹ شمای کلی رقابت استعماری :امپراطوری‌های بزرگتر، با احتمال بیشتری، مستعمرات امپراطوری‌های دیگر را تصاحب می‌کنند ۴۷
شکل ۳-۲۰ سقوط امپراطوری ضعیف؛ امپراطوری شماره ۴، به علت از دست دادن کلیه مستعمراتش، دیگر قدرتی برای رقابت ندارد و باید از میان بقیه امپراطوریها حذف شود. ۵۰
شکل ۳-۲۱ سازه زمینه (a) و شماره گره‌های شبکه پایین(b) ۵۸

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۲۲ متغیرهای طراحی مشخص شده برای یک طرح ۵۹
شکل ۳-۲۳ توپولوژی حاصل از شکل(۳-۲۲): شبکه دولایه(الف)، شبکه جانی(ب) و شبکه پایین(ج) ۶۰
شکل ۳- ۲۴ فلوچارت فرایند انقلاب پیشنهادی ۶۹
شکل ۴-۱ شبکه دولایه ۱۰*۱۰ ..... ۷۲
شکل ۴-۲ بهینه‌سازی اندازه با استفاده از ICA ۷۳
شکل ۴-۳ بهینه‌سازی توپولوژی شبکه ۱۰*۱۰ با استفاده از ICA ۷۴
شکل ۴-۴ مقایسه بین وزن های متناظر برای هر اجرای برای هر دو روش بهینه‌سازی اندازه و توپولوژی ۷۶
شکل ۴-۵ تاریخچه همگرایی دو روش بهینه‌سازی بهینه‌سازی اندازه و توپولوژی در بهترین جواب بدست آمده ۷۷
شکل ۴-۶ مقایسه میانگین و انحراف برای دو روش SIZE و TOPOLOGY ۷۷
شکل ۴-۷ مقایسه ماکزیمم جابجایی گره‌ها در دو روش SIZE و TOPOLOGY ۷۸
شکل ۴-۸ شبکه‌ی دولایه ۱۰*۱۰ ..... ۷۸
شکل ۴-۹ بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از ESO ۸۰
شکل ۴-۱۰ اهمیت IR گره‌ها ۸۱
شکل ۴-۱۱ اهمیت گره‌ها ۸۲
شکل ۴-۱۲ گره‌های با IR_{min} =0.35 ..... ۸۲
شکل ۴-۱۳ بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از ICA ۸۴
شکل ۴-۱۴ بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از ESO - ICA : ۸۵
شکل ۴-۱۵ مقایسه بین وزن‌های متناظر برای هر اجرای برای هر دو روش ICA و ESO-ICA ۸۶
شکل ۴-۱۶ تاریخچه همگرایی دو روش بهینه‌سازی ICA و ESO-ICA در بهترین جواب بدست آمده ۸۷
شکل ۴-۱۷ مقایسه میانگین و انحراف برای دو روش ICA و ESO-ICA ۸۷
شکل ۴-۱۸ مقایسه جابجایی ماکزیمم گره‌ها در دو روش ICA و ESO-ICA ۸۷
شکل ۴-۱۹ شبکه‌ی دولایه ۱۰*۱۰ ..... ۸۹
شکل ۴- ۲۰ گره‌های با IR_{min} =0.35 ..... ۹۰

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۲۱ بهینه‌سازی اندازه با استفاده از MICA ۹۱
شکل ۴-۲۲ بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده ازMICA ۹۲
شکل ۴-۲۳ بهینه‌سازی توپولوژی با استفاده از ESO-MICA..... ۹۳
شکل ۴-۲۴ مقایسه بین وزن های متناظر برای هر اجرای برای هر دو روش MICA و MICA-ESO..... ۹۴
شکل ۴-۲۵ تاریخچه همگرایی دو روش بهینه‌سازی MICA و ESO-MICA در بهترین جواب بدست آمده..... ۹۵
شکل ۴-۲۶ مقایسه میانگین و انحراف برای دو روش MICA و ESO-MICA ۹۶
شکل ۴-۲۷ مقایسه جابجایی ماکزیمم گره‌ها در دو روش MICA و ESO-MICA.....۹۶
شکل۴-۲۸ شبکه‌ی دولایه ۲۰*۲۰ ..... ۹۷
شکل ۴-۲۹ بهینه‌سازی با روش ESO.....۱۰۰
شکل ۴-۳۰ اهمیت گره‌ها.....۱۰۰
شکل ۴-۳۱ گره‌های با $IR_{min}=0.35$.....۱۰۱
شکل ۴-۳۲ بهینه‌سازی با روش ICA/PSO.....۱۰۳
شکل ۴-۳۳ بهینه‌سازی با روش ESO- ICA/PSO.....۱۰۵
شکل ۴-۳۴ بهینه‌سازی با روش MICA/PSO ۱۰۷
شکل ۴-۳۵ بهینه‌سازی با روش ESO-MICA/PSO ۱۰۹

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۴-۱ مشخصات مقاطع مورد استفاده ۷۳
جدول۴-۲ وزن بهینه بدست آمده ۷۵
جدول ۴-۳ مشخصات مقاطع مورد استفاده ۷۹
جدول ۴-۴ مشخصات پارامترهای روش ESO ۸۳
جدول ۴-۵ وزن بهنیه‌ی بدست آمده ۸۶
جدول ۴-۶- مشخصات مقاطع مورد استفاده ۸۹
جدول ۴-۷- مشخصات پارامترهای روش ESO ۸۹
جدول ۴-۹ مشخصات مقاطع مورد استفاده ۹۷
جدول ۴-۱۰ مشخصات روش MICA/PSO ۹۸
جدول ۴-۱۱ مشخصات روش ESO ۱۰۱
جدول ۴-۱۲ وزن‌های بهینه‌ی بدست آمده ۱۱۰
جدول ۴-۱۳ مقایسه روش ACO و MICA/PSO ۱۱۲

فصل اول

مقدمه

این فصل، مشتمل بر چهار بخش می‌باشد، که بخش ۱-۱، به بیان توضیح مختصری در مورد بهینه‌سازی می‌پردازد. در بخش ۱-۲ در مورد سازهای فضاکار و اهمیت استفاده از این نوع از سازه‌ها در پروژه‌های عمرانی توضیحاتی بیان شده است. اهمیت پژوهش و نیز روش انجام پژوهش در بخش‌های ۱-۳ و ۱-۴ اشاره می‌گردند.

۱-۱- بهینه‌سازی[1]

بهینه‌سازی عبارت است از رسیدن به نتیجه در مورد یک عملیات در حالی که محدودیت‌های شخصی برآورده شده باشد. انسان محصور در طبیعت ذاتاً تمام فعالیت‌هایش را به شکلی انجام می-دهدکه در انرژی صرفه جویی شود یا ناراحتی و دردش به حداقل برسد. این تمایل و اراده، به خاطر استفاده از صنایع محدود موجود به منظور ماکزیمم کردن خروجی یا سود است. اختراعات اولیه اهرمها یا مکانیزم قرقره، به روشنی تمایل بشر را به افزایش بازدهی مکانیکی می‌نمایاند. کتاب‌های دوگلاس وایلد[2](Wilde, 1978) مجموعه‌ای جالبی در مورد ریشه کلمه بهینه و تعریف طراحی بهین ارائه می‌دهد. ما تعریف وایلد را نقل به مضمون کرده و طراحی بهین را به شکل " بهترین طراحی قابل قبول بر اساس یک معیار کیفی شایستگی از پیش تعیین شده " تعریف می‌کنیم. مراجع(Wasiutynski and bradt, 1963، Sheu and Prager, 1968، Schmit, 1971، Pierson, 1972، Niordson and Pedersen, 1973; Rao, 1975، Olhoff, 1976، Venkayya, 1978، Schmit, 1981 Lev, 1981; Haug, 1981 ; ; Haftka); Ashley, 1982

[1] Optimization
[2] Douglass J. Wilde

Sobieszczanski- ;Bushnell et al., 1988; Kirsch, 1989; and Grandhi, 1986 Sobieski, 1984; Friedmann, 1991) سابقه‌ی تدوین و توسعه‌ی شاخه‌ی بهینه‌سازی سازه‌ها را از قرن هیجدهم میلادی دنبال می‌کنند. اهمیت طراحی سازه‌های با وزن مینیمم اولین بار توسط صنایع هوا فضا مورد توجه قرار گرفت که در آنها طراحی سازه‌های هواپیما بیشتر با وزن آن کنترل می‌شد تا اینکه با هزینه آن کنترل شود. در صنایع دیگر، مربوط به سیستم‌های مهندسی ساختمان، مکانیک و خودروممکن است هزینه در درجه اول اهمیت باشد، هر چند که وزن سیستم، هزینه و عملکرد آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. توجه فزاینده به کمبود مواد خام و نقصان شدید منابع انرژی شناخته شده، موجب تمایل به داشتن سازه‌هایی سبک، کارا و ارزان قیمت شده است. این خواست به نوبه‌ی خود بر ضرورت اگاهی یافتن مهندسان از فنون بهینه‌سازی وزن و هزینه سازه‌ها تاکید می‌کند.

۱-۲- سازه فضاکار[۱]

رویکرد استفاده از سازه‌های فضاکار در بسیاری از پروژه‌ها در سراسر جهان، گواه قاطعی بر مزایای قابل توجه این نوع سازه‌هاست. سازه‌های فضاکار به گروه‌هایی از سازه‌ها که عمدتاً شامل شبکه‌های تخت، چلیک‌ها، گنبدها، دکل‌ها، شبکه‌های متشکل از کابل‌ها، سازه‌های غشایی، سازه-های تاشو و نظایر آنها اطلاق می‌گردند. سازه‌های فضاکار شکل‌های گوناگون و متنوع به خود گرفته و از انواع متفاوت مصالح مانند فولاد، آلومینیوم، چوب، بتن‌آرمه، مصالح مختلط و مواد پلاستیکی مسلح با انواع فیبرها، شیشه و ترکیبات این مصالح ساخته می‌شود. امروزه مواردی زیادی از اجرای موفق از سازه‌های فضاکار را می‌توان در گوشه و کنار دنیا مشاهده کرد، که به صورت گنبدی، چلیکی یا شبکه‌های تخت چند لایه، فضاهایی نظیر سالن‌های ورزشی، نمایشگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات، و امثال آن را پوشانده است. قابلیت پوشش دهانه‌های بزرگ با تکیه گاه‌های میانی محدود، قابلیت توسعه سازه در سطح و ارتفاع، استحکام، سبکی وزن، داشتن نمای ظاهری جذاب، سادگی و امکان ساخت سریع از مزایای عمومی این نوع سازه‌هاست.

از سوی دیگر همزمان با توسعه صنعت سازه‌های فضاکار در چند دهه اخیر، لزوم دستیابی به روش‌های سریع و دقیق در زمینه تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی این نوع سازه‌ها را به وجود آورده است. در طراحی بهینه سازه‌های فضاکار به دلیل پر عضو بودنشان نسبت به سازه‌های دیگر، زمان زیادتری برای تحلیل، طراحی و یا تعیین وزن آنها مورد نیاز است.در حال حاضر با توجه به اهمیت

[۱] Space Structure

سبک‌سازی در سازه‌ها و مسائل اجرایی آنها تحقیقات زیادی در مورد انواع مختلف روش‌های بهینه-سازی در مورد وزن سازه‌های فضاکار انجام گرفته است.

۱-۳- اهداف پژوهش

در پژوهش‌های انجام شده در این پایان نامه، به دنبال یافتن کمترین وزنی که سازه‌های فضاکار مورد بحث در این پژوهش با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری[1] می‌توانند کسب کنند، می-باشیم. از سویی با بکار گیری روش بهینه‌سازی توپولوژی[2]، به دنبال این مهم هستیم که چه پیکربندی برای یک سازه فضاکار مناسب است که در این پیکربندی کمترین وزن را داشته باشد. لازم به ذکر است که در بهینه‌سازی توپولوژی سازه فضاکار قیود شامل: تنش اعضا، ضریب لاغری اعضا و جابجایی گره‌ها در نظر گرفته شده تا سازه‌ی بهینه‌ی حاصل شده از نظر آیین نامه‌های موجود مورد قبول باشد. همانطور که می‌دانید در یک سازه، وزن اعضای سازه هستند که تاثیر قابل توجهی بر هزینه‌ی سازه دارند که با کم شدن تعداد اعضا و همین طور کم شدن سطح مقطع آنها، از هزینه کلی سازه به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود. این امر با توجه به اهمیت هزینه در پروژه-های عمرانی امری بسیار با ارزش می‌باشد که نشان از اهمیت پژوهش‌های انجام شده در این پایان-نامه را می‌دهد.

۱-۴- روش انجام پژوهش

همانطور که بیان شد، این پژوهش به دنبال بهینه‌سازی توپولوژی سازه فضاکار می‌باشد. سعی شده است پس از مطالعه در مورد مبانی بهینه‌سازی، در مورد نحوه اعمال بهینه‌سازی توپولوژی بر مسئله مورد نظر، تحقیق شود. با توجه به اینکه انتخاب سطح مقطع‌ها باید از بین پروفیل‌های ساختمانی مرسوم باشد، لذا مسئله بهینه‌سازی مورد بررسی در این پایان‌نامه، یک مسئله با متغیرهای گسسته می‌باشد. در این تحقیق از الگوریتم رقابت استعماری برای بهینه‌سازی استفاده شده است. این الگوریتم در مورد مسائل غیر سازه‌ای و سازه‌ای نیز مورد استفاده قرار گرفته است که عملکردی مناسبی از خود نشان داده است. برای پیاده‌سازی روش بهینه‌سازی مذکور، کد مربوطه در نرم افزار متلب (matlab) نوشته شداست.

[1] Imperialist Competitive Algorithm
[2] Topology Optimization

فصل دوم
پیشینه پژوهش

این فصل مشتمل بر چهار بخش می‌باشد، بخش‌های ۲-۱ و ۲-۲، به سیری در پژوهش‌های انجام شده در مورد روش‌های اولیه و روش‌های نوین بهینه‌سازی می‌پردازند و بخش ۲-۳ پژوهش‌های محققان در زمینه بهینه‌سازی توپولوژی سازه را مطرح می‌نماید. در نهایت در بخش ۲-۴ تاریخچه بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی بیان می‌شود.

۲-۱- روش‌های اولیه بهینه‌سازی

به طور کلی اندیشه کاستن وزن سازه بدون تاثیر نامطلوب بر رفتار آن، از دیر باز در ذهن طراحان جای گرفته بود، هر چند که تدوین نظریه‌ای بنیادی در این زمینه به پژوهش‌های انجام گرفته از سوی مایکل[1] در اوایل قرن گذشته‌ی میلادی باز می‌گردد. وی با معلوم و ثابت دانستن موقعیت نقاط اثر بار و تکیه‌گاه‌ها در فضای دو بعدی، روشی تحلیلی برای بهینه کردن پیکره[2] خرپاهایی که تنها یک حالت بارگذاری دارند و محدودیت تنش در آنها مورد نظر قرار گرفته باشد پایه‌گذاری کرد. سازه مایکل از نظر ایستایی معین و تنها برای حالت بارگذاری مورد نظر پایدار بود. این سازه به دلیل داشتن تعداد نامحدود عضو، به ندرت کاربردهای مهندسی دارد و تنها به عنوان راهنمایی در طرح پیکره خرپاها می‌تواند به کار رود(Schmit, 1981).

اگر چه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای کمینگی وزن بسیاری از سازه‌ها دارای اهمیت بود، اما پیشرفت‌های اولیه در این زمینه را باید نتیجه رقابت موجود در طرح سازه هواپیما دانست. در آغاز طرح سازه هواپیما تنها به مسائل آیرودینامیکی و پایداری آن وابسته بود. ولی شناخت روش

[1] Mickell
[2] Layout

جدیدی برای ساخت آلیاژ آلومینیم و نیز فشار جنگ جهانی دوم وضعیت را به گونه‌ای دیگر تغیر داد. به این ترتیب طرح بهینه اجزای سازه‌ای مانند ستون‌ها صفحات تقویت شده زیر بارهای فشاری برای کمینگی وزن سازه هواپیما مورد توجه قرار گرفت و نیاز به جلوگیری از کمانش در این نوع سازه‌ها نخستین محدودیت‌ها را در طرح آنها وارد ساخت. تلاش‌های اولیه در زمینه کمینگی این گونه سازه‌ها را کاکس[۱] و اسمیت[۲] در سال ۱۹۴۳ و زاهورسکی[۳] در سال ۱۹۴۴ انجام داده‌اند (Morris, 1982). این تلاش‌ها سرانجام روش طرح بهینه براساس حالت شکست[۴] را پایه گذاری کرد. در این روش طرح سازه به گونه‌ای انجام می‌گیرد که در هنگام انهدام، چندین حالت شکست از پیش انتخاب شده به طور همزمان به حد بحرانی برسند. به این ترتیب با انتخاب تعداد حالت‌های شکست همزمان برابر با تعداد متغیرهای طراحی مستقل، مسئله بهینه‌سازی از یک مسئله وزن با محدودیت‌های نامساوی به یک دستگاه معادله‌های غیرخطی تبدیل می‌شود. روشن است که پاسخ به دست آمده از این روش در یکی از نقاط راس فضای طراحی قرار خواهد داشت.

باید دانست که پیش از ظهور روش‌های بهینه‌سازی، دامنه کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی در طرح بهینه سازه‌ها تنها به کمینه‌سازی وزن خرپاها و قاب‌های مستوی بر پایه روش طراحی انهدام خمیری محدود می‌شد. بر این اساس بسیاری از مسائل طرح بهینه‌ی سازه‌ها با تبدیل به مسائل برنامه‌ریزی خطی به سادگی قابل حل بودند. نخستین کاربردهای برنامه‌ریزی خطی در کمینه‌سازی وزن قاب‌های مسطح براساس روش طرح خمیری از سوی هایمن[۵]، فولکس[۶]، پراگر[۷] و لایوزلی[۸] گزارش شده است. شایان توجه است که قرار گرفتن جواب بهینه این گونه مسائل برنامه‌ریزی خطی در یکی از نقاط راس فضای طراحی، اطمینان دوباره‌ای برای استفاده کنندگان از روش حالت شکست همزمان به همراه داشته است(Schmit, 1984). از میان تلاش‌های اولیه در زمینه بهینه-سازی، پژوهش‌های پیرسون[۹] به دلیل پایه‌گذاری سه نظریه کلیدی که بعدها نقش ارزنده‌ای در پیشرفت روش‌های جدید بهینه‌سازی داشته‌اند شایسته است مورد توجه بیشتری قرار گیرند. پیرسون با کار در زمینه روش طراحی انهدام خمیری، کمینگی وزن سازه‌های خرپایی و قابی را برای

---

[1] Cox
[2] Smith
[3] Zahorski
[4] Simultanouos Failure Mode
[5] Heyman
[6] Foulkes
[7] Prager
[8] Livesly
[9] Pearson

چندین حالت بارگذاری به انجام رسانید. نظریه‌های کلیدی وی را می‌توان در سه مورد زیر خلاصه کرد: (۱) انجام همزمان دو فرآیند تحلیل سازه و بهینه‌سازی به جای انجام متوالی آن، (۲) تبدیل مسئله کمینگی با محدودیت‌های نامساوی به یک چند مسئله کمینگی بدون محدودیت و (۳) کاهش ابعاد فضای طراحی با انتخاب درست متغیرها. پیرسون در تحقیق خود، روش گام‌های اتفاقی[1] را به کار برده است. جاذبه روش وی در این است که به طور همزمان در پی یافتن یک طرح بهینه و مکانیزم انهدام بحرانی است(Schmit, 1981).

۲-۲- روش‌های نوین بهینه‌سازی

رشد و گسترش همزمان سه دانش نوپای اجزای محدود، رایانه و بهینه‌سازی در دهه‌ی ۱۹۶۰، توانی قابل ملاحظه و اطمینان بخشی را برای طرح بهینه دستگاه‌های سازه‌ای فراهم آورد. پیدایش روش‌های نوین بهینه‌سازی را باید دستاورد پژوهش‌های انجام گرفته از سوی اشمیت[2] در ابتدای این دهه دانست. وی با بهره گیری از روش‌های مزبور نشان داد که مسئله کمینگی وزن سازه‌های نامعین کشسان را می‌توان به یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی در فضای متغیرهای طراحی تبدیل کرد (Schmit, 1984). تلاش‌های اشمیت برای بهینگی سطح مقطع اعضای یک خرپای سه عضوی با محدودیت‌های تنش و در حالت بارگذاری مختلف، نتایج خلاف تصوری را به همراه داشت. برپایه این نتایج، در طرح بهینه یک سازه نامعین با محدودیت‌های رفتاری تنش، لازم نیست که تنش در هر یک از اعضای سازه، دست کم در یک حالت بارگذاری به حد مجاز برسد و چه بسا در برخی از اعضا، تنش بسیار کمتر از مقدار مجاز باشد. به این ترتیب نمی‌توان انتظار داشت که طرح بهینه چنین سازه‌ای به طور حتم در یکی از نقاط راس فضای طراحی قرار گیرد. این نتیجه‌ی خلاف تصور، ایراد نهفته در اساس روش حالت شکست همزمان را که روش رایج طرح اجزای سازه‌ای هواپیما در آن زمان بود آشکار ساخت. باید دانست که در آغاز پیدایش روش‌های نوین بهینه‌سازی، روشی که به طور مستقیم متغیرهای طراحی هندسی را به همراه مشخصات مقطع عرضی در فرآیند بهینه-سازی وارد کند در اختیار طراحان قرار نداشت. از این رو انتخاب یک طرح هندسی برتر تنها از طریق مقایسه طرح‌هایی با شکل‌های متفاوت امکان داشت. با روشن شدن اهمیت شکل سازه در رسیدن به طرح‌هایی با وزن کمتر، تلاش پژوهشگران برای وارد کردن هندسه سازه در فرآیند بهینه-سازی به صورت گسترده‌تری ادامه یافت. در این راستا، با ارائه روش سازه زمینه از سوی دورن[3]،

[1] Random Step
[2] Schmit
[3] Dorn