بسم الله الرحمن الرحیم

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

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران
رشته عمران گرایش سازه

بهینه سازی توپولوژی سازه‌های فضاکار با استفاده از تیپ بندی موثر اعضا و روش بهینه سازی جستجوی گرانشی اصلاح شده

استاد راهنما
دکتر مصطفی مشایخی

استاد مشاور
پروفسور عیسی سلاجقه

نگارنده
میلاد دهقانی

شهریور ۹۳

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

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران
رشته عمران گرایش سازه

بهینه سازی توپولوژی سازه‌های فضاکار با استفاده از تیپ بندی موثر اعضا و روش بهینه سازی جستجوی گرانشی اصلاح شده

در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۲۲ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر مصطفی مشایخی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد مشاور پایان‌نامه پروفسور عیسی سلاجقه با مرتبه‌ی علمی استاد امضاء

۳- استاد داور داخل گروه دکتر سید صادق ناصرعلوی با مرتبه‌ی علمی استاد یار امضاء

۴- استاد داور داخل گروه دکتر هادی خجسته فر با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۵ – نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی دکتر پیمان عباس زاده با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های

حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه

ولی‌عصر (عج) رفسنجان است.

تقدیم به

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم

خدای مهربانم که دستان پر مهرش بر زندگیم سایه گسترده

پدر و مادر عزیزم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آنان میدانم

و همه آنان که آفتاب مهرشان در آستان قلبم همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد

سپاسگزاری

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 لگی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد ارجمند، جناب آقای پروفسر عیسی سلاجقه، که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند؛

و از استادان فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر ناصر علوی و جناب آقای دکتر خجسته فرکه زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید

چکیده

سازه‌های فضاکار از جمله سازه‌های سه‌بعدی با شکل خاص می‌باشند. اغلب سازه‌های فضاکار را می‌توان به شبکه‌ها، گنبدها و چلیک‌ها دسته‌بندی کرد. شبکه دولایه یک مثال کلاسیک در رابطه با سازه‌های فضاکار به حساب می‌آید. با پیشرفت ابزارهای محاسباتی و افزایش سرعت کامپیوترهای پیشرفته، برای ارائه یک محصول قابل رقابت، بحث بهینه سازی یک ابزار لازم الاجرا در پروسه طراحی به حساب می‌آید. عموماً بهینه سازی سازه‌ها می‌تواند در سه شاخه اندازه، شکل هندسی و توپولوژی پیگیری شود. در این مطالعه برای بهینه سازی توپولوژی شبکه‌ی دولایه و سه‌لایه دو روش موثر ارائه شده است. روش اول به وسیله‌ی اصلاح الگوریتم جستجوی گرانشی به دست می‌آید که MGSA نامیده شده است. روش دوم یک الگوریتم دومرحله‌ای با نام ESO-GPS است که حاصل ترکیب روش‌های بهینه سازی تکاملی (ESO) و الگوریتم اجتماع ذرات گرانشی (GPS) می‌باشد. برای رسیدن به الگوریتم MGSA در هر تکرار اجرام برتر شناسایی شده و به عنوان رهبر گروه انتخاب می‌شوند. دیگر اجرام به صورت تصادفی در این گروه‌ها قرار می‌گیرد بطوری که در هر گروه اجرام خوب و بد بصورت تقریباً مشابه موجود باشد. برای رسیدن به موقعیت جدید برای هریک از نمونه‌ها در این الگوریتم، فقط رهبر گروه می‌تواند به بقیه اجرام آن گروه نیرو وارد کند.

در الگوریتم ESO-GPS ابتدا توسط الگوریتم ESO یک بهینه سازی اندازه برای شبکه دولایه و سه‌لایه انجام می‌شود سپس نتایج خروجی ESO برای ارتقای الگوریتم GPS مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم GPS برای تشخیص توپولوژی بهینه‌ی سازه‌های با مقیاس بزرگ و همچنین با متغیرهای گسسته استفاده می‌شود که در آن موقعیت جدید نمونه‌ها با سرعت جدید PSO و شتاب الگوریتم GSA بدست می‌آید. تابع هدف در بهینه سازی توپولوژی مینیمم کردن وزن سازه تحت قیودی مانند جابه‌جایی گره‌ها، تنش حداکثر اعضا و ضریب لاغری اعضا می‌باشد. همچنین در این مطالعه برای کاهش فضای جستجو یک روش موثر برای تیپ‌بندی اعضا ارائه شده است. در این استراتژی پروفیل بدست آمده برای هر تیپ حاصل از الگوریتم MGSA یا GSA، برای المان‌هایی که نیروی داخلی آنها کمتر از یک مقدار مشخص است، یک یا دو شماره کاهش می‌یابد. در مسائل حل شده بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه و سه‌لایه توسط الگوریتم‌های GSA، MGSA، GPS، ESO-GPS بدست آمده است. نتایج عددی نمایان‌گر موثر بودن الگوریتم MGSA و ESO-GPS و همچنین بهبود یافتن تیپ‌بندی سازه با ارائه استراتژی جدید برای تیپ‌بندی سازه‌های بزرگ مقیاس، می‌باشد.

واژگان کلیدی: سازه فضاکار، شبکه دولایه، شبکه سه‌لایه، بهینه سازی توپولوژی، الگوریتم جستجوی گرانشی، اجتماع ذرات گرانشی، استراتژی تیپ‌بندی اعضا.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱
مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- بهینه سازی ۲
۱-۲-۱- پیاده سازی الگوریتم‌های فراابتکاری ۴
۱-۳- کاربردهای بهینه سازی در مهندسی ۵
۱-۳-۱- شکل عمومی مسائل بهینه سازی مهندسی ۵
۱-۳-۲- دسته‌بندی مسائل بهینه سازی مهندسی ۶
۱-۴- ساختار پایاننامه‌ی پیش رو ۷
فصل دوم ۹
معرفی سازه‌های فضاکار ۹
۲-۱- مقدمه‌ای بر سازه‌های فضاکار ۹
۲-۱-۱- انواع سازه‌های فضاکار گسسته ۱۰
۲-۱-۱-۱- شبکه‌ها ۱۰
۲-۱-۱-۲- شبکه‌های دولایه ۱۲
۲-۱-۱-۳- چلیک‌ها ۱۳
۲-۱-۱-۴- گنبدها ۱۴
۲-۱-۲- پیکربندی سازه‌های فضاکار و جبرفرمکس‌ها ۱۷
۲-۱-۳- مزایای سازه‌های فضاکار ۱۸
فصل سوم ۲۱
تاریخچه بهینه سازی توپولوژی و معرفی برخی از روش‌های آن در محیط‌های پیوسته .. ۲۱
۳-۱- مقدمه ۲۱
۳-۲- تاریخچه بهینه سازی توپولوژی ۲۱
۳-۳-۱- الگوریتم بهینه سازی تکامل (ESO) ۲۶
۳-۳-۲- خاستگاه شهودی روش ESO ۲۶
۳-۳-۳- دستورالعمل ابتدایی روش ESO ۲۸
۳-۳-۴- روند تکاملی و بهبود روش بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها ۲۹

عنوان | صفحه

۳-۳-۵- ترکیب روش ESO با دیگر تکنیک‌های محاسباتی و روش‌های بهینه سازی... ۳۰
۳-۴- تاریخچه بهینه سازی و بهینه سازی توپولوژی در سازههای فضاکار..... ۳۱
فصل چهارم..... ۳۳
الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) و دیگر الگوریتم‌های اکتشافی مورد مطالعه در این تحقیق ۳۳
۴-۱- الگوریتم جستجوی گرانشی..... ۳۳
۴-۱-۱- نیروی گرانش در طبیعت..... ۳۴
۴-۲- الگوریتم اجتماع ذرات گرانشی ۳۹
۴-۳- الگوریتم سیستم جستجوی ذرات باردار(CSS) ۴۱
۴-۴- الگوریتم رقابت استعماری ۴۳
فصل پنجم ۴۷
اصلاح الگوریتم جستجوی گرانشی و کاربرد آن در بهینه سازی توپولوژی شبکه‌های تخت دولایه و سه لایه..... ۴۷
۵-۱- مقدمه..... ۴۷
۵-۲- الگوریتم جستجوی گرانشی اصلاح شده (MGSA)..... ۴۷
۵-۳- کاربرد الگوریتمهای جستجوی گرانشی اصلاح شده در بهینه‌سازی و بهینه سازی توپولوژی شبکههای دولایه و سه‌لایه..... ۵۴
۵-۳-۱- تابع هدف..... ۵۵
۵-۳-۲- متغیرهای مساله..... ۵۶
۵-۳-۲-۱- متغیر وجود و عدم وجود گره‌های شبکه پایین ۵۶
۵-۳-۳- قیود مسئله..... ۵۹
۵-۳-۳-۱- قیود تنش ۶۰
۵-۳-۳-۲- ضریب نقض محدودیت و تبدیل تابع هدف مقید به تابع نامقید..... ۶۲
فصل ششم..... ۶۵
استراتژی جدید در گروه‌بندی اعضا و ارائه روش دومرحله‌ای بهینه سازی توپولوژی ۶۵
۶-۱- ارائه استراتژی جدید در گروه‌بندی اعضا ۶۵
۶-۲- روش دو مرحله‌ای جهت انجام بهینه سازی توپولوژی..... ۶۷
۶-۲-۱- مراحل گام به گام الگوریتم بهینه سازی تکاملی سازه‌ها ۶۸

عنوان | صفحه

۶-۳- روش دو مرحله‌ای ESO-GPS ۶۸
فصل هفتم ۷۳
مثالهای عددی ۷۳
۷-۱- مقدمه: ۷۳
۷-۲- مثالهای عددی ۷۴
۷-۲-۱- مثال اول ۷۵
۷-۲-۲- مثال دوم ۷۵
۷-۲-۳- مثال سوم ۷۶
۷-۳- نتایج بهینه سازی شبکه‌های تخت دولایه و سه‌لایه با الگوریتم ESO ۷۷
۷-۴-۱- نتایج الگوریتم‌های GSA و MGSA، در بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه مثال اول: ۸۲
۷-۴-۲- نتایج الگوریتم‌های GSA و MGSA، در بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه (مثال دوم): ۸۵
۷-۴-۳- نتایج الگوریتم‌های GSA و MGSA، در بهینه سازی توپولوژی شبکه سه‌لایه (مثال سوم): ۹۲
۷-۵- نتایج الگوریتم‌های GPS و ESO-GPS در بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه و سه لایه: ۹۷
۷-۵-۱- نتیجه حل مثال اول ۹۷
۷-۵-۲- نتیجه حل مثال دوم ۱۰۰
۷-۵-۳- نتیجه حل مثال سوم ۱۰۵
۷-۶-۱- مدل سازی سازه در SAP ۱۱۳
۷-۶-۲- مقایسه نتایج با کارهای پیشین ۱۱۵
فصل هشتم ۱۱۹
نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات ۱۱۹
۸-۱- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۱۹
۸-۲- پیشنهادها، جهت انجام تحقیقات آتی ۱۲۰
مراجع ۱۲۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ نمونه‌هایی از شبکه دولایه ۱۰
شکل ۲-۲ ایجاد الگوهای جدید از طریق حذف بعضی از اعضا..... ۱۱
شکل ۲-۳ نمونه از شبکه‌های دولایه ۱۲
شکل ۲-۴ نمونه‌هایی از سازه‌های چلیکی ۱۴
شکل ۲-۵ نمونه‌های از سازه‌های گنبدی ۱۵
شکل ۲-۶ نمونه‌هایی از اشکال فرازش یافته نرم افزار فورمین (الف) چلیک حلقوی فزاینده (ب) سهلوی مرکب (پ) گنبد قاچی فرازشی (سهموی) با نقش لانه‌زنبوری (ت) گنبد گل ختمی (فراخمیده) ۱۸
شکل ۳-۱ نمونه بهینه سازی توپولوژی ۲۳
شکل ۳-۲ بهینه سازی توپولوژی یک تیر کنسول با حفره تحت بار متمرکز..... ۲۵
شکل ۳-۳ تنش معادل فون میزز المان‌های مختلف یک تیر یکسر گیردار تحت یک بار متمرکز اعمال شده در سر آن ۲۷
شکل ۳-۴ کنتورهای تنشی مربوط به نیمه بالایی تیر نشان داده شده در شکل ۳-۳ در طی فرآیند کم نمودن مصالح از نقاط کم تنش (نقل از مرجع (Xie and Steven, 1997)) ۲۷
شکل ۴-۱ نیروها و شتابی که جسم تحت اثر نیروهای وارد شده می‌گیرد. ۳۶
شکل۴-۲ فلوچارت الگوریتم جستجوی گرانشی (Rashedi et al., 2009) ۳۹
شکل ۴-۳ به روز رسانی سرعت وموقعیت ذره در الگوریتم اجتماع ذرات ۴۱
شکل ۴-۳ (الف) اعمال سیاست جذب در الگوریتم رقابت استعماری. (ب) جابجایی موقعیت مستعمره با استعمارگر(Atashpaz-Gargari 2007). ۴۴
شکل ۴-۴ رقابت استعماری میان جند استعمارگر (Atashpaz-Gargari 2007). ۴۵
شکل ۵-۱ الگوریتم جستجوی گرانشی اصلاح شده MGSA. ۵۳
شکل ۵-۲ متغیرهای طراحی شده برای یک طرح..... ۵۶
شکل ۵-۳ سازه زمینه (a) و شماره گره‌های شبکه پایین (b)..... ۵۷
شکل ۵-۴ توپولوژی حاصل از (شکل ۵-۳): شبکه دولایه (a) شبکه جان (b) شبکه پایین (c) .. ۵۸
شکل ۵-۵ سازه زمینه (a)، شماره گره‌های شبکه میانی (b) و شماره گره‌های شبکه پایین (c) . ۵۸

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۵ توپولوژی حاصل از (شکل ۵-۶): شبکه دولایه (a) شبکه جان بالایی (b) شبکه میانی (c) شبکه جان پایین (c)شبکه پایین **۵۹**
شکل ۵-۷ متغیرهای طراحی شده برای یک طرح **۵۹**
شکل ۵-۸ الگوریتم‌های (GSA ، MGSA و GPS) در بهینه سازی توپولوژی. **۶۳**
شکل۶-۱ تیپ بندی اعضای سازه از روی تقارن هندسی سازه (Kaveh and Servati, 2001) **..۶۶**
شکل ۶-۲ الگوریتم ESO-GPS برای بهینه سازی توپولوژی. **۷۱**
شکل۷-۱ الف) نمای از بالا شبکه دولایه ۱۰×۱۰ ب) نمای سه بعدی **۷۵**
شکل ۷-۲ نمای بالا و نمای سه بعدی شبکه دولایه ۲۰×۲۰ ..... **۷۵**
شکل ۷-۳ نمای بالا و نمای سه بعدی شبکه سه‌لایه **۷۶**
شکل ۷-۴ موقعیت گره‌های غیر قابل حذف و قابل حذف در شبکه پایین با توجه به $IR_{min}=0.35$ **۷۷**
شکل ۷-۵ بهینه سازی شبکه دولایه با الگوریتم ESO : شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۷۸**
شکل ۷-۶ بردار حد پایین (lb_k) متغیرهای سطح مقطع **۷۸**
شکل۷-۷ بهینه سازی شبکه دولایه با الگوریتم ESO : شبکه دولایه (a)، شبکه بالا(b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۷۹**
شکل ۷-۸ موقعیت گره‌های غیر قابل حذف و قابل حذف در شبکه پایین با توجه به $IR_{min}=0.35$ **۸۰**
شکل ۷-۹ بردار حد پایین (lb_k) متغیرهای سطح مقطع **۸۰**
شکل ۷-۱۰ بهینه سازی شبکه دولایه با الگوریتم ESO : شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان بالایی (c)، شبکه میانی (d) شبکه جان پایینی (e) شبکه پایین (f) **۸۱**
شکل۷-۱۱ موقعیت گره‌های غیر قابل حذف و قابل حذف در شبکه میانی (a) و پایین (b) با توجه به $IR_{min}=0.35$ **۸۲**
شکل ۷-۱۲ بردار حد پایین (lb_k) متغیرهای سطح مقطع **۸۲**
شکل ۷-۱۳ دیاگرام تاریخچه همگرایی الگوریتم GSA و MGSA در بهینه سازی توپولوژی سازه **۸۳**

عنوان **صفحه**

شکل۷-۱۴ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم MGSA (I): شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۸۴**
شکل۷-۱۵ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم MGSA (II): شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۸۴**
شکل ۷-۱۶ شکل بهینه حالت ۱ با روش تیپ بندی (I) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا(b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۸۷**
شکل ۷-۱۷ شکل بهینه حالت ۱ با روش تیپ بندی (II) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا(b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۸۸**
شکل ۷-۱۸ شکل بهینه حالت ۳ با روش تیپ بندی (I) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا(b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۸۹**
شکل ۷-۱۹ شکل بهینه حالت ۳ با روش تیپ بندی (II) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان (c)، شبکه پایین (d) **۹۰**
شکل ۷-۲۰ دیاگرام تاریخچه همگرایی الگوریتم GSA و MGSA در بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه 20X20 ..... **۹۱**
شکل ۷-۲۱ شکل بهینه حالت ۳ با روش تیپ بندی (I) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا(b)، شبکه جان بالایی (c)، شبکه میانی (d) شبکه جان پایینی (e) شبکه پایین (f) **۹۲**
شکل ۷-۲۲ شکل بهینه حالت ۳ با روش تیپ بندی (II) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان بالایی (c)، شبکه میانی (d) شبکه جان پایینی (e) شبکه پایین (f) **۹۳**
شکل ۷-۲۳ شکل بهینه حالت ۳ با روش تیپ بندی (I) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا(b)، شبکه جان بالایی (c)، شبکه میانی (d) شبکه جان پایینی (e) شبکه پایین (f) **۹۴**
شکل ۷-۲۴ شکل بهینه حالت ۳ با روش تیپ بندی (II) . شبکه دولایه (a)، شبکه بالا (b)، شبکه جان بالایی (c)، شبکه میانی (d) شبکه جان پایینی (e) شبکه پایین (f) **۹۵**
شکل ۷-۲۵ دیاگرام تاریخچه همگرایی الگوریتم GSA و MGSA برای شبکه سه‌لایه 20X20 **۹۷**
شکل۷-۲۶ بهینه سازی شبکه دولایه با الگوریتم GPS. **۹۸**
شکل ۷-۲۷ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم GPS. **۹۸**
شکل ۷-۲۸ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم ESO-GPS **۹۹**
شکل ۷-۲۹ دیاگرام تاریخچه همگرایی الگوریتم GPS و ESO-GPS **۱۰۰**

عنوان **صفحه**

شکل ۷-۳۰ بهینه سازی شبکه دولایه با الگوریتم GPS. **۱۰۱**
شکل ۷-۳۱ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم GPS..... **۱۰۲**
شکل ۷-۳۲ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم ESO-GPS. **۱۰۳**
شکل۷-۳۳ دیاگرام تاریخچه همگرایی برای الگوریتمهای GPS و ESO-GPS در بهینه سازی توپولوژی شبکه تخت دولایه 20X20. ..... **۱۰۴**
شکل ۷-۳۱ بهینه سازی شبکه سه‌لایه با الگوریتم GPS. **۱۰۶**
شکل ۷-۳۲ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم GPS..... **۱۰۷**
شکل ۷-۳۳ بهینه سازی توپولوژی شبکه دولایه با الگوریتم ESO-GPS. **۱۰۸**
شکل ۷-۳۴ دیاگرام تاریخچه همگرایی برای الگوریتمهای GPS و ESO-GPS در بهینه سازی توپولوژی شبکه تخت سه‌لایه 20X20. ..... **۱۰۹**
شکل ۷-۳۵ موقعیت تکیه‌گاه‌ها در اطراف شبکه سه لایه **۱۱۱**
شکل ۷-۳۶ بهینه سازی توپولوژی شبکه سه‌لایه با الگوریتم GPS در حالت (I). **۱۱۱**
شکل ۷-۳۷ بهینه سازی توپولوژی شبکه سه‌لایه با الگوریتم GPS در حالت (II). **۱۱۲**
شکل ۷-۳۸ (a) نمایی از مدل سازی سازه بهینه شده سه لایه مثال ۳ با تیپ بندی جدید در نرمافزار SAP (b) شماره تیپ اعضای سازه (c) بارگذاری سازه..... **۱۱۴**

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۶-۱ گروه‌بندی گره‌ها با در نظر گرفتن تقارن ۵۷
جدول ۶-۲ گروه‌بندی گره‌ها با در نظر گرفتن تقارن ۵۸
جدول۷-۱ مشخصات مقاطع لوله‌ای شکل ۷۴
جدول۷-۲ مشخصات الگوریتم ESO ۷۷
جدول ۷-۳ مقایسه وزن بهینه سازه برای الگوریتم‌های GSA و MGSA ۸۴
جدول۷-۴ مقایسه وزن بهینه سازه برای ۷ اجرای مختلف ۸۵
جدول ۷-۵ میانگین و انحراف معیار مقادیر وزن بهینه ۸۵
جدول ۷-۶ وزن بهینه به دست آمده برای مقادیر مختلف K ۸۶
جدول ۷-۷ وزن توپولوژی بهینه با استفاده از الگوریتم MGSA و K=5 ..... ۸۶
جدول۷-۸ مقایسه وزن بهینه سازه در حالت ۲،۱ و۳ برای ۵ اجرای مختلف ۹۰
جدول۷-۹ میانگین و انحراف معیار مقادیر وزن بهینه ۹۱
جدول ۷-۱۰ مقایسه وزن بهینه سازه در حالت ۲،۱ و۳ برای ۵ اجرای مختلف ۹۶
جدول ۷-۱۱ میانگین و انحراف معیار مقادیر وزن بهینه ۹۶
جدول ۷-۱۲ مشخصات الگوریتم GPS ۹۷
جدول ۷-۱۳ مقایسه وزن بهینه سازه برای نمونه‌های ۱و۲ برای ۷ اجرای مختلف ۹۹
جدول۷-۱۴ میانگین و انحراف معیار مقادیر وزن بهینه ۹۹
جدول۷-۱۵ مقایسه وزن بهینه سازه برای الگوریتم‌های GPS و ESO-GPS ۱۰۳
جدول۷-۱۶ مقایسه وزن بهینه سازه برای الگوریتم‌های GPS و ESO-GPS برای ۵ اجرای مختلف ۱۰۴
جدول۷-۱۷ میانگین و انحراف معیار مقادیر وزن بهینه ۱۰۵
جدول۷-۱۸ مقایسه وزن بهینه سازه برای الگوریتم‌های GPS و ESO-GPS ۱۰۹
جدول ۷-۱۹ مقایسه وزن بهینه سازه برای الگوریتم‌های GPS و ESO-GPS برای ۵ اجرای مختلف ۱۱۰
جدول۷-۲۰ میانگین و انحراف معیار مقادیر وزن بهینه ۱۱۰

صفحه **عنوان**

جدول ۷-۲۱ مقایسه جواب بهینه سازه‌ها با شرایط تکیه‌گاهی متفاوت به همراه میانگین ۵ اجرای مختلف..... **۱۱۳**
جدول ۷-۲۲ مقایسه نتایج شبکه دولایه 10X10 با مرجع (Mashayekhi et al, 2011a) **۱۱۵**
جدول ۷-۲۳ مقایسه نتایج شبکه دولایه 20X20 با مرجع (Mashayekhi et al, 2012)..... **۱۱۵**
جدول ۷-۲۴ مقایسه نتایج شبکه سه‌لایه 20X20..... **۱۱۶**

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

بهینه سازی در حالت کلی به معنی انتخاب بهترین حالت ممکنه از میان حالت‌های موجود و در دسترس می باشد. کلمه " بهترین" در جمله بالا می تواند دارای تعاریف مختلفی مانند کمترین هزینه، بیشترین سود، کمترین وزن، بیشترین سختی و از این قبیل باشد. بهینه‌سازی به عنوان یکی از زیر مجموعه‌های علم ریاضیات، حجم قابل توجهی از تحقیقات علمی را به خود اختصاص داده است. درسازه‌های فضاکار، ترکیب مجموعهٔ تاشه و فرم هندسی، بارهای خارجی، نیروهای داخلی و تغییرمکان‌های سازه در یک صفحه قرار نگرفته و از آن فراتر رفته و به سه بعد گسترش می‌یابند. در عمل، سازه‌های فضاکار به گروه‌هایی از سازه‌ها، عمدتاً شامل شبکه‌های تخت، چلیک‌ها، گنبدها، دکل‌ها، شبکه‌های متشکل از کابل‌ها، سازه‌های غشایی، سازه‌های تاشو، سازه‌های کشبستی و نظایر آنها اطلاق می‌گردد. بهینه‌یابی سازهٔ فضاکار از آن جهت حایز اهمیت است که با کاهش وزن مرده سازه، علاوه بر صرفه‌جویی در مصالح و تخریب کمتر در محیط زیست، امکان افزایش دهانه‌های آزاد برای رفع نیازهای جوامع متحول فراهم خواهد گردید. در عین حال کاهش جرم به طور معمول از نظر رفتار لرزه‌ای نیز مطلوب تلقی می‌گردد. در طراحی سازه‌های فضاکار، اغلب اعضا از مجموعه منفصلی از مقاطع موجود در استانداردها یا در بازار یا تولیدات کارخانه سازنده انتخاب می‌شوند. بنابراین، روش برنامه‌ریزی ریاضی از این جنبه منفصل خواهد بود. بهینه سازی توپولوژی یکی از

مهمترین راهکارهای زیر شاخه‌های بهینه سازی می‌باشد که هدف آن تعیین بهترین آرایش سازه‌ای برای به حداکثر رساندن عملکرد سازه است. در این فصل مفهوم بهینه سازی از دیدگاه ریاضیات مورد بررسی قرار خواهد گرفت و به تقسیمات عمومی این علم اشاره خواهد گردید.

۱-۲- بهینه سازی

بهینه سازی تلاش برای بدست آوردن بهترین جواب ممکن برای مساله تحت شرایط داده می-باشد. به طور کلی در هر مساله بهینه سازی سه فاکتور اساسی دخالت دارند: تابع هدف، متغیرهای طراحی و قیود. برای حل مساله بهینه سازی، با توجه به نوع مساله راه‌های متنوعی وجود دارد ولی به طور کلی روش‌های حل مساله بهینه سازی را به سه گروه اصلی تقسیم بندی می‌کنند:

۱- روش‌های برنامه ریزی ریاضی[1]: این روش‌ها درواقع روش‌های ریاضی صرف می‌باشند و در آنها هیچ تداخلی بین اهداف طراحی سازه و الگوریتم بهینه سازی به کار رفته وجود ندارد و تنها باید فرمولاسیون مساله بهینه سازی تعیین شده و با روش‌های کاملا مبتنی بر قضایای ریاضی حل شوند.

۲- روش‌های معیار بهینگی[2] (oc): ایده اساسی در روش oc این است که اگر به جواب‌هایی دست پیدا کنیم که یک سری شرایط و معیار بهینگی را ارضا کنند، در آن صورت آن جواب، جواب بهینه خواهد بود. عمده مزیت این روش‌ها بر روش‌های کلاسیک وابستگی کم کارایی این روش‌ها به تعداد متغیرهای طراحی است. از سوی دیگر روش‌های کلاسیک بر استدلال‌های ریاضی محکمتری مبتنی هستند. لیکن کارایی آنها در مقایسه با روشهای oc کمتر است.

۳- الگوریتم‌های تکاملی[3]: روش نسبتا جدیدی تحت عنوان الگوریتم‌های تکاملی در زمینه‌ی بهینه سازی پیشنهاد شده است. ایده اساسی در این روش‌ها بر گرفته از روش‌های طبیعی می‌باشد.

سابقه‌ی روش‌های بهینه سازی به زمان نیوتن، لاگرانژ و کوشی باز می‌گردد. اما از آن زمان تا کنون الگوریتم‌های بهینه سازی دستخوش تحولات شگرفی شده‌اند. تلاش برای موثرکردن روش بهینه سازی از دهه ۱۹۷۰ آغاز شد. اهمیت این نکته در این بود که الگوریتم‌های بهینه سازی موجود برای حل مسائل بهینه سازی زمان زیادی لازم داشتند. هزینه محاسباتی این روش‌ها به قدری زیاد بود که عملا آنها را غیر قابل اجرا کرده بود. راه‌های مختلفی برای غلبه بر این مشکل پیشنهاد شد که از جمله می‌توان به روش‌های طراحی هدفدار، روش‌های تقریبی و روش معیار

[1] Mathematical Programing
[2] Optimality Criteria
[3] Evolutionary Algorithms

بهینگی اشاره کرد. این تکنیک‌ها بر پایه شرط لازم و عموماً نه کافی بهینه سازی استواراند و به صورت تکراری جواب‌ها را بدست می‌آورند. در هر تکرار اجزا به دو بخش تقسیم می‌شوند. اجزای غیر فعال که ابعادشان در حین تکرار، ثابت فرض می‌شود و اجزای فعال، که متغیرهای اصلی مساله می‌باشند. مزیت اصلی این روش عددی کارایی عددی آن است و حجم محاسبات بسیار کاهش می-یابد.

روش‌های جستجوی بهینه برای بدست آوردن کمینه‌ی تابعی از چند متغیر با توجه به مجموعه-ای از قیود، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مسائلی که با مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی و یا توزیع احتمال مشخص توصیف می‌شود، از روش‌های فرآیند تصادفی استفاده می‌گردد.

موضوع مورد بررسی در این پایان نامه مربوط به بهینه‌سازی سازه‌ها می‌باشد. در بهینه‌سازی سازه‌ها، هم از روش‌های مستقیم و هم از روش‌های غیر مستقیم استفاده می‌گردد اما باید توجه داشت که آن دسته از مسائل بهینه سازی سازه‌ای که با استفاده از روش‌های غیر مستقیم حل می‌شوند، تعداد اندک و محدودی می‌باشند. تکنیک‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی سازه‌ها عموماً از نوع مستقیم می‌باشند. قسمتی از این تکنیک‌ها همان تکنیک‌های عمومی مانند روش تندترین شیب و یا الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک می‌باشند اما تعدادی از آنها فقط به منظور استفاده در مسائل مربوط به سازه‌ها گسترش یافته‌اند مانند الگوریتم بهینه سازی تکاملی.

۱-۲-۱- الگوریتم‌های فراابتکاری

الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری (heuristic)، فراابتکاری (meta-heuristic) و فوق ابتکاری (hyper heuristic) بخش‌بندی می-شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آنها در بهینه‌های محلی، و ناتوانی آنها برای کاربرد در مسائل گوناگون است. الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این مشکلات ارائه شده‌اند. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برونرفت از بهینه محلی می‌باشند و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند. رده‌های گوناگونی از این نوع الگوریتم در دهه‌های اخیر توسعه یافته است.

برای طبقه‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری معیارهای مختلفی وجود دارد (Talebi, 2009):

مبتنی بر یک جواب و مبتنی بر جمعیت: الگوریتم‌های مبتنی بر یک جواب در حین فرایند جستجو یک جواب را تغییر می‌دهند، در حالی که در الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت در حین جستجو، یک جمعیت از جواب‌ها در نظر گرفته می‌شوند.

الهام گرفته شده از طبیعت و بدون الهام از طبیعت: بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری از طبیعت الهام گرفته شده‌اند، در این میان برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری نیز از طبیعت الهام گرفته نشده اند.

با حافظه و بدون حافظه: برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری فاقد حافظه می‌باشند، به این معنا که، این نوع الگوریتم‌ها از اطلاعات بدست آمده در حین جستجو استفاده نمی‌کنند (به طور مثال تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم جستجوی گرانشی). این در حالی است که در برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر جستجوی ممنوعه از حافظه استفاده می‌کنند. این حافظه اطلاعات بدست آمده در حین جستجو را در خود ذخیره می‌کند.

قطعی و احتمالی: یک الگوریتم فراابتکاری قطعی نظیر جستجوی ممنوعه، مسئله را با استفاده از تصمیمات قطعی حل می‌کند. اما در الگوریتم‌های فراابتکاری احتمالی نظیر تبرید شبیه سازی شده، یک سری قوانین احتمالی در حین جستجو مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از الگوریتم‌های متداول فراابتکاری مبتنی بر یک جواب می‌توان به الگوریتم جستجوی ممنوعه (Glover and Laguna, 1990) و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (Kirkpatrick et al., 1983)، اشاره کرد. از الگوریتم‌های شناخته شده فراابتکاری بر پایه جمعیت می‌توان الگوریتم‌های تکاملی (Eiben and Smith, 2003)، (الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی ژنتیک، ...)، بهینه‌سازی کلونی مورچگان (Dorigo and Stützle, 2004)، کلونی زنبورها (Yonezawa and Kikuchi, 1996) ، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Eberhart and Kennedy, 1995)، الگوریتم رقابت استعماری (Atashpaz-Gargari 2007) و الگوریتم ذرات باردار (Kaveh and Talatahari, 2010) را نام برد.

۱-۲-۱- پیاده سازی الگوریتم‌های فراابتکاری:

فرایند طراحی و پیاده سازی الگوریتم‌های فراابتکاری دارای سه مرحله‌ی متوالی است که هر کدام از آن‌ها دارای گام‌های مختلفی هستند. در هر گام فعالیت‌هایی باید انجام شود تا آن گام کامل شود. مرحله‌ی اول آماده‌سازی است که در آن باید شناخت دقیقی از مسئله‌ای که می‌خواهیم حل کنیم بدست آوریم، و اهداف طراحی الگوریتم فراابتکاری برای آن باید با توجه به روش‌های حل موجود برای این مسئله به طور واضح و شفاف مشخص شود. مرحله‌ی بعدی، ساخت نام دارد. مهمترین اهداف این مرحله انتخاب استراتژی حل، تعریف معیارهای اندازه گیری عملکرد، و طراحی الگوریتم برای استراتژی حل انتخابی می‌باشد. آخرین مرحله پیاده‌سازی است که در آن پیاده‌سازی