دانشگاه یزد

دانشکده عمران

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

عمران- سازه

عنوان

بهینه سازی اندازه، شکل و توپولوژی سازه‌های خرپایی تحت بارهای دینامیکی

استاد راهنما

دکتر بهروز احمدی ندوشن

استاد مشاور

دکتر حسینعلی رحیمی بندرآبادی

پژوهش و نگارش

ذبیح الله تیاره

اسفند ۱۳۹۳

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های 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 می‌دانم 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 استادگران قدرم آقای **دکتر احمدی** که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم.

از استاد عالی قدرم جناب آقای **دکتر رحیمی** که زحمت مشاوره این پایان نامه را متحمل شدند، صمیمانه تشکر می کنم.

سپاس آخر را به مهربان ترین همراهان زندگی ام، به **پدر و مادر عزیزم** تقدیم می کنم که حضورشان در فضای زندگی ام مصداق بی ریای سخاوت بوده است.

تقدیم به:

عزیزانی که دعای خیرشان بدرقه راهم بوده و هست.

چکیده

در این پایان نامه بهینه‌سازی شکل، اندازه و توپولوژی سازه‌های خرپایی انجام شده است؛ در روند بهینه سازی خرپا پارامترهای دینامیکی و پاسخ سازه خرپایی تحت بارهای دینامیکی مورد توجه بوده و از قیود فرکانس طبیعی و قیود پاسخ دینامیکی در بهینه‌سازی خرپا استفاده شده است. با توجه به پیچیدگی و غیرخطی بودن مسائل تحلیل دینامیکی سازه، استفاده از روش‌های معمول ریاضی برای حل مسائل بهینه‌سازی با قیود دینامیکی امکان پذیر نیست و این روش‌ها کارآیی چندانی نخواهد داشت؛ از این رو در این پایان نامه الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و الگوریتم جستجوی فاخته برای حل مسائل بهینه‌سازی خرپا بکار گرفته شده است. نتایج عددی در دو حالت قیود فرکانس طبیعی و قیود پاسخ دینامیکی سازه ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم فاخته نسبت به سایر روش‌های استفاده شده کاراتر بوده و باعث بهتر شدن جواب مسائل بهینه‌سازی شده است. بکارگیری بهینه‌سازی شکل در کنار بهینه‌سازی اندازه باعث افزایش متغیرهای طراحی شده و شکل سازه در روند بهینه‌سازی دائماً در حال تغییر است؛ از این رو باعث بهبود جواب مسئله بهینه‌سازی شده است. در نظر گرفتن بهینه‌سازی توپولوژی در کنار بهینه‌سازی شکل و اندازه در بهینه‌سازی سازه خرپایی موثر بوده و با حذف اعضای سازه در روند بهینه‌سازی توپولوژی، مطلوب‌ترین جواب برای مسئله بهینه‌سازی خرپا حاصل شده است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی خرپا، بارهای دینامیکی، قیود دینامیکی، الگوریتم فاخته

فهرست مطالب

۱- فصـــل اول ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تاریخچه بهینه سازی سازههای خرپایی ۴
۱-۳- ساختار پایا ن نامه ۷

۲-فصـــل دوم..... ۹
۲-۱- تعریف ۱۰
۲-۲- مقایسه طراحی بهینه و طراحی غیر بهینه ۱۰
۲-۳- رابطه سازی مسئله طراحی بهینه ۱۳
۲-۴- متغیرهای طراحی ۱۵
۲-۴-۱- متغیرهای طراحی صحیح و گسسته..... ۱۵
۲-۵- تابع هدف ۱۶
۲-۶- قیود ۱۷
۲-۶-۱- مجموعه قابل قبول ۱۸
۲-۶-۲- قیود فعال/غیرفعال/نقض شده ۲۰
۲-۷- انواع بهینهسازی سازهها..... ۲۰
۲-۷-۱- بهینهسازی اندازه ۲۱
۲-۷-۲-بهینهسازی شکل ۲۲
۲-۷-۳- بهینهسازی توپولوژی..... ۲۲
۲-۸- روشهای بهینه سازی ۲۳

۳- فصـل سوم ۲۵
۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- نحوه زندگی و تخمگذاری فاختهها ۲۶
۳-۳- پرواز لوی ۲۷
۳-۴- اصول الگوریتم جستجوی فاخته (CS) ۳۰
۳-۴-۱- گام های اصلی در الگوریتم جستجوی فاخته..... ۳۱
۳-۴-۲- ویژگیهای جستجوی فاخته ۳۳
۳-۵- الگوریتم جستجوی فاخته ی بهبود یافته (MCS)..... ۳۳
۳-۵-۱- اصلاحات ایجاد شده در الگوریتم جستجوی فاخته ی بهبود یافته ۳۴
۳-۵-۲- نحوه ی انتخاب جمعیت اولیه در الگوریتم MCS ۳۴
۳-۵-۳- ویژگیهای جستجوی فاختهی اصلاح شده ۳۵

۳-۶- الگوریتم بهینه سازی فاخته (COA) ۳۵
۳-۶-۱- تولید محل های سکونت اولیه فاخته‌ها (جمعیت اولیه جواب‌های کاندید) ۳۶
۳-۶-۲- مهاجرت فاخته‌ها ۳۸
۳-۶-۳- همگرایی الگوریتم بهینه سازی فاخته ۳۹
۳-۷- حل مسائل بهینه سازی مقید با استفاده از الگوریتم فاخته..... ۴۰
۳-۷-۱- روش تابع جریمه برای حل مسائل بهینه سازی مقید ۴۰

۴- فصـــل چهارم..... ۴۲
۴-۴- تعریف ۴۳
۴-۲- مقایسه طراحی بهینه و طراحی غیر بهینه ۴۳
۴-۳- رابطه سازی مسئله طراحی بهینه ۴۶
۴-۴- متغیرهای طراحی..... ۴۸
۴-۴-۱- متغیرهای طراحی صحیح و گسسته ۴۸
۴-۵- تابع هدف ۴۹
۴-۶- قیود ۵۰
۴-۶-۱- مجموعه قابل قبول ۵۱
۴-۶-۲- قیود فعال/غیرفعال/نقض شده ۵۳
۴-۴- انواع بهینه‌سازی سازه‌ها ۵۳
۴-۷-۱- بهینه‌سازی اندازه ۵۴
۴-۷-۲- بهینه‌سازی شکل ۵۵
۴-۷-۳- بهینه‌سازی توپولوژی ۵۵
۴-۸- روش های بهینه سازی ۵۶

۵- فصـل پنجم..... ۵۸
۵-۱- مقدمه ۵۹
۵-۲- نحوه زندگی و تخم‌گذاری فاخته‌ها..... ۵۹
۵-۳- پرواز لوی..... ۶۰
۵-۴- اصول الگوریتم جستجوی فاخته (CS) ۶۳
۵-۴-۱- گام های اصلی در الگوریتم جستجوی فاخته ۶۴
۵-۴-۲- ویژگی‌های جستجوی فاخته.....۶۶
۵-۵- الگوریتم جستجوی فاخته ی بهبود یافته (MCS) ۶۶
۵-۵-۱- اصلاحات ایجاد شده در الگوریتم جستجوی فاخته ی بهبود یافته ۶۷

۵-۵-۲- نحوه ی انتخاب جمعیت اولیه در الگوریتم MCS ۶۷
۵-۵-۳- ویژگی‌های جستجوی فاخته‌ی اصلاح شده ۶۸
۵-۶- الگوریتم بهینه سازی فاخته (COA) ۶۸
۵-۶-۱- تولید محل های سکونت اولیه فاخته‌ها (جمعیت اولیه جواب‌های کاندید) ۶۹
۵-۶-۲- مهاجرت فاخته‌ها ۷۱
۵-۶-۳- همگرایی الگوریتم بهینه سازی فاخته ۷۲
۵-۷-حل مسائل بهینه سازی مقید با استفاده از الگوریتم فاخته ۷۳
۵-۷-۱- روش تابع جریمه برای حل مسائل بهینه سازی مقید ۷۳

۶- فصـــل ششم ۷۵
۶-۱- تعریف ۷۷
۶-۲- مقایسه طراحی بهینه و طراحی غیر بهینه ۷۷
۶-۳- رابطه سازی مسئله طراحی بهینه ۸۰
۶-۴- متغیرهای طراحی ۸۲
۶-۴-۱- متغیرهای طراحی صحیح و گسسته ۸۲
۶-۵- تابع هدف ۸۳
۶-۶- قیود ۸۴
۶-۶-۱- مجموعه قابل قبول ۸۵
۶-۶-۲- قیود فعال/غیرفعال/نقض شده ۸۷
۶-۷- انواع بهینه‌سازی سازه‌ها ۸۷
۶-۷-۱- بهینه‌سازی اندازه ۸۸
۶-۷-۲- بهینه‌سازی شکل ۸۹
۶-۷-۳- بهینه‌سازی توپولوژی ۸۹
۶-۸- روش های بهینه سازی ۹۰

۷- منابع و مآخذ ۹۲

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ بهینه سازی سازه [۲۸] ۱۰
شکل ۲-۲ مراحل طراحی متداول سیستم [۲۷] ۱۱
شکل ۲-۳ مراحل طراحی بهینه سیستم [۲۷] ۱۲
شکل ۲-۴ مقطع تیر مستطیلی با متغیرهای طراحی پیوسته [۱۴] ۱۶
شکل ۲-۵ خرپای چهار عضوی تحت اثر نیروی P[۲۹] ۱۷
شکل ۲-۶: سطوح قید در یک فضای طراحی دوبعدی [۳۰]. ۱۹
شکل ۲-۷: بهینه‌سازی اندازه [۲۸] ۲۱
شکل ۲-۸: بهینه‌سازی اندازه با متغیرهای بهینه‌سازی اندازه از نوع گسسته [۲۹] ۲۲
شکل ۲-۹: بهینه‌سازی شکل [۳۰] ۲۲
شکل ۲-۱۰: بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ی گسسته [۳۱] ۲۳
شکل ۲-۱۱: بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ی پیوسته [۱۳] ۲۳
شکل ۳-۱:پرواز لوی با توزیع کوشی $\boldsymbol{\alpha = 1 , \beta = 0}$ ۲۸
شکل ۳-۲:پرواز لوی با توزیع کوشی $\boldsymbol{\alpha = 1 , \beta = 2}$ ۲۸
شکل ۳-۳: فلوچارت الگوریتم جستجوی فاخته ۳۲
شکل ۳-۴ : فلوچارت الگوریتم بهینه سازی فاخته ۳۷
شکل ۳-۵: شعاع تخم‌گذاری فاخته ۳۸
شکل ۳-۶: مهاجرت فاخته‌ها به سمت بهترین هدف ۳۹
شکل ۴-۱ بهینه سازی سازه [۲۸] ۴۳
شکل ۴-۲ مراحل طراحی متداول سیستم [۲۷] ۴۴
شکل ۴-۳ مراحل طراحی بهینه سیستم [۲۷] ۴۵
شکل ۴-۴ مقطع تیر مستطیلی با متغیرهای طراحی پیوسته [۱۴] ۴۹
شکل ۴-۵ خرپای چهار عضوی تحت اثر نیروی P[۲۹] ۵۰

شکل ۴-۶: سطوح قید در یک فضای طراحی دوبعدی [۳۰]. ۵۲
شکل ۴-۷: بهینه‌سازی اندازه [۲۸].....۵۴
شکل ۴-۸: بهینه‌سازی اندازه با متغیرهای بهینه‌سازی اندازه از نوع گسسته [۲۹] ۵۵
شکل ۴-۹: بهینه‌سازی شکل [۳۰].....۵۵
شکل ۴-۱۰: بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ی گسسته [۳۱] ۵۶
شکل ۴-۱۱: بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ی پیوسته [۱۳].....۵۶
شکل ۵-۱:پرواز لوی با توزیع کوشی $\boldsymbol{\alpha = 1 , \beta = 0}$ ۶۱
شکل ۵-۲:پرواز لوی با توزیع کوشی $\boldsymbol{\alpha = 1 , \beta = 2}$ ۶۱
شکل ۵-۳: فلوچارت الگوریتم جستجوی فاخته ۶۵
شکل ۵-۴ : فلوچارت الگوریتم بهینه سازی فاخته ۷۰
شکل ۵-۵: شعاع تخم‌گذاری فاخته.....۷۱
شکل ۵-۶: مهاجرت فاخته‌ها به سمت بهترین هدف.....۷۲
شکل ۶-۱ بهینه سازی سازه [۲۸] ۷۷
شکل ۶-۲ مراحل طراحی متداول سیستم [۲۷] ۷۸
شکل ۶-۳ مراحل طراحی بهینه سیستم [۲۷] ۷۹
شکل ۶-۴ مقطع تیر مستطیلی با متغیرهای طراحی پیوسته [۱۴] ۸۳
شکل ۶-۵ خرپای چهار عضوی تحت اثر نیروی P[۲۹] ۸۴
شکل ۶-۶: سطوح قید در یک فضای طراحی دوبعدی [۳۰]. ۸۶
شکل ۶-۷: بهینه‌سازی اندازه [۲۸].....۸۸
شکل ۶-۸: بهینه‌سازی اندازه با متغیرهای بهینه‌سازی اندازه از نوع گسسته [۲۹] ۸۹
شکل ۶-۹: بهینه‌سازی شکل [۳۰].....۸۹
شکل ۶-۱۰: بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ی گسسته [۳۱] ۹۰
شکل ۶-۱۱: بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ی پیوسته [۱۳].....۹۰

فصـــل اول

«مقـــــدمه»

۱-۱- مقدمه

با پیشـــرفت روز افزون دانش بشـــر برای دســـتیابی به اهداف مورد نظر خود همواره در فکر اســـتفاده بهینه از امکانات محدودی اســـت که در اختیار دارد. عواملی چون پیشـــرفت صـــنعت و تکنولوژی، اثرات زیســت محیطی، کاهش منابع و در عین حال مشکلات اقتصادی باعث شده است که پارامترهای زمان، هزینه و کارآیی در کنار معیارهایی چون مقاومت و پایداری در طراحی سازه‌ها در نظر گرفته شـود؛ و به منظور تحقق این امر کاربرد گسترده یکی از شاخه‌های علم ریاضیات که بهینه‌سازی نامیده می‌شود، در بیشتر زمینه‌ها گسترش یافته است. بهینه‌سازی یکی از قدیمی‌ترین علومی اسـت که حتی در زندگی روزانه هم با آن روبرو هسـتیم، در واقع بهینه‌سـازی عبارتست از رسـیدن به بهترین نتیجه در یک عملیات در حالی‌که محدودیت‌های مشـخصـی برآورده شـود؛ به عبارت دیگر بهینه‌سازی موضوع یافتن یک یا چند راه‌حل است که معادل با کمینه یا بیشینه شدن یک یا چند تابع مشـخص می‌باشد. در طراحی، ساخت و نگهداری هر سیستم مهندسی، مهندسان بـایـد تصـــمیمـات تکنولوژی و مـدیریتی بســـیاری را در چند مرحله بگیرند؛ هدف نهایی چنین تصمیماتی کمینه کردن تلاش لازم و یا بیشینه بودن سود مورد نظر است. کاربردهایی از روش‌های بهینه‌سـازی در مهندسی خودرو، هوافضا، عمران و سایر رشته‌های مهندسی وجود دارد. این شاخه از علم ریاضی در بخش سازه‌ها نیز عملکرد خود را به اثبات رسانده است؛ اهمیت طراحی سازه‌های با وزن کمینه اولین بار توسط صنایع هوافضا مورد توجه قرار گرفت. بهینه‌سازی در مفهوم گسترده خود، می‌تواند در هر مسئله مهندسی بکار گرفته شود [۱].

ویژگی‌های منحصـر به فرد سازه‌های خرپایی باعث توجه روز افزون معماران و طراحان برای استفاده از آن‌ها در سازه‌های جدید شده است. سازه‌های خرپایی اگر برای پوشش دهانه‌های بزرگ اســتفاده شــوند دارای تعداد زیادی عضــو خواهند بود و اگر بعنوان دکل‌های انتقال نیرو بکار روند، معمولاً به تعداد زیادی ساخته خواهند شد؛ بنابراین با بهینه‌سازی این نوع سازه‌ها می‌توان به میزان قابل توجهی در منابع و هزینه‌ها صرفه‌جویی کرد [۲].

در بهینه‌سازی خرپا هدف تعیین سطح مقطع اعضا، شکل سازه و نحوه‌ی ارتباط بین اعضای خرپا می‌باشـد به گونه‌ای که ضمن ارضای قیود، سازه را با حداقل وزن طراحی شود؛ یعنی طراحی

بهینه خرپا فقط به سطح مقطع اعضا بستگی ندارد، بلکه توپولوژی آن هم باید در نظر گرفته شود. از سوی دیگر شکل خرپا در بهینه‌سازی اندازه آن موثر بوده و این پیوند ذاتی بین شکلِ سازه و سطح مقطع اعضا به صراحت نشان می‌دهد که بهینه‌سازی شکل و یا اندازه خرپا نباید به طور مستقل انجام شود [۳]. بطور کلی می‌توان گفت در بهینه‌سازی خرپا بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که بهینه‌سازی اندازه، شکل و توپولوژی همزمان انجام شود؛ چون با بزرگتر شدن فضای طراحی مسئله معمولاً نتایج مفیدتری حاصل می‌شود؛ اما پیچیدگی و نامحدب بودن این مسائل باعث شده است تا مطالعات کمتری در این زمینه صورت گیرد [۳].

در طراحی سازه‌ها پارامترهای دینامیکی سازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و بمنظور کاهش دامنه ارتعاش و جلوگیری از پدیده تشدید در پاسخ دینامیکی، فرکانس طبیعی سازه باید در یک محدوده قابل قبول قرار گیرد. همچنین برای به حداقل رساندن اثر مخرب بارهای دینامیکی، در بهینه‌سازی سازه از قیود پاسخ دینامیکی (جابجایی، تنش، شتاب و غیره) استفاده می‌شود. چون فرکانس طبیعی سازه به شرایط بارگذاری بستگی ندارد؛ زمانی که از قیود فرکانس طبیعی استفاده شود بارهای وارده می‌تواند بصورت استاتیکی، لرزه‌ای و هارمونیک بوده و یا اینکه سازه همزمان تحت بارگذاری دینامیکی و استاتیکی قرار گیرد. در برخی موارد هم بهینه‌سازی با قیود فرکانس طبیعی سازه بدون در نظر گرفتن بار روی آن انجام شده است.

در سه دهه اخیر روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر پدیده‌های طبیعی به علت عدم نیاز به انجام محاسبات سنگین ریاضی، عدم وابستگی به نقاط انتخابی اولیه و قابلیت بهینه‌یابی کلی نسبت به سایر روش‌ها در زمینه بهینه‌سازی ترکیبی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. روش‌های مبتنی بر پدیده‌های طبیعی سعی در قانونمند کردن روند جستجوی تصادفی با استفاده از قوانین حاکم بر طبیعت دارند. تجربه نشان می‌دهد که پیروی از ویژگی‌های طبیعت الگوریتم‌های کارآمدی را ایجاد می‌کند، مخصوصاً استفاده از سیستم‌های بیولوژیکی که بطور طبیعی در طی میلیون‌ها سال تکامل یافته است [۲].

بسیاری از الگوریتم‌های کلاسیک و مرسوم در بهینه‌سازی از گرادیان استفاده کرده و جواب قطعی را می‌دهند اما اگر تابع هدف ناپیوسته باشد همگرایی توسط این الگوریتم‌ها دشوار است.

همچنین در مسائل بهینه‌سازی که دارای متغیرهای طراحی متنوع می‌باشد الگوریتم‌هایی که جستجوی محلی انجام می‌دهند مناسب نیستند و باید از الگوریتم‌های کلی استفاده کنیم. بعنوان مثال قیود فرکانس در طراحی سازه‌های خرپایی غیرخطی، غیرمحدب و نسبت به متغیرهای طراحی ضمنی می‌باشند؛ بنابراین روش‌های برنامه‌نویسی ریاضی در بهینه‌سازی این مسائل سخت و وقت‌گیر خواهد بود. از این رو استفاده از یک روش بهینه‌سازی جستجوی کلی که این مشکلات را برطرف کند اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. در این پایان نامه بهینه‌سازی شکل، اندازه و توپولوژی خرپا، تحت بارهای دینامیکی با استفاده از الگوریتم فاخته انجام شده است.

۱-۲- تاریخچه بهینه‌سازی سازه‌های خرپایی

ماکسول[۱] برای نخستین بار در سال ۱۸۷۲ مسئله بهینه‌سازی را در سازه‌ها پایه‌گذاری کرد. ماکسول بهینه‌سازی سازه‌هایی که تحت بارهای محوری قرار دارند را مورد بررسی قرار داد؛ هدف وی انتخاب بهترین چیدمان در این سازه‌ها بود به نحوی که سازه حاصل کمترین میزان وزن را داشته باشد[۱]. بطور کلی روش پیشنهاد شده توسط ماکسول قابل اعمال به همه سازه‌ها نبود و فقط در مورد سازه‌های خاص کاربرد داشت.

میشل[۲]در سال ۱۹۰۴ کار ماکسول را ادامه داد؛ او به بررسی کرنش‌ها در سازه پرداخت و اعضای خرپا را در محل‌های بیشینه کرنش قرار داد؛ با این روش در اعضای خرپا تنش بیشینه بوجود می‌آید. پژوهش میشل اولین کار بنیادی بود که به بهینه‌سازی توپولوژی خرپا پرداخته بود [۱]؛ اصول او در حال حاضر به نام نظریه چیدمان بهینه توسعه یافته است ودانشمندان متعددی در این زمینه تلاش کردند که از بین آن‌ها کارهای همپ[۳] [۴]، پراگر و همکاران[۴] [۵] و رزوانی و همکاران[۵] [۶] از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

توسعه تکنولوژی کامپیوترها از سال ۱۹۶۰ انجام محاسبات ریاضی تکراری را با سهولت

[۱] Maxwell
[۲] Michell
[۳] Hemp
[۴] Prager et al
[۵] Rozvany et al

نسبی و در مدت زمان معقول برای محققان فراهم نمود. با ترکیب روش‌های عددی مانند روش اجزا محدود و روش المان مرزی با این تکنولوژی، صحنه برای پیشرفت و توسعه روش‌های جدید بهینه‌سازی فراهم شد [۷].

اشمیت[۱] اولین کسی بود که در سال ۱۹۶۰حداقل کردن وزن سازه را تحت قید تنش و جابجایی با استفاده از روش‌های برنامه‌سازی غیرخطی[۲] پایه‌ریزی نمود. بعدها در سال ۱۹۶۵ این فرمول‌بندی توسط فاکس[۳] با معرفی تحلیل حساسیت بهبود داده شد؛ تحلیل حساسیت با محاسبه مشتق تابع هدف و قیود نسبت به متغیرهای طراحی انجام می‌گردد. با استفاده از تحلیل حساسیت مسائل غیرخطی قابلیت حل توسط روش‌های تخمینی خطی‌سازی را خواهند داشت [۸].

بهینه‌سازی با بررسی پارامترهای دینامیکی سازه اولین بار در سال ۱۹۶۷ توسط جاناتان[۴] مطرح شد. او برای یک تیر یک سر گیردار بعنوان یک سازه پیوسته با استفاده از روش اجزای محدود و تغییرات بهینه‌سازی را انجام داد [۹].

پس از آن در سال ۱۹۶۸ ریموندبریچ[۵] بهینه‌سازی یک تیر ساده را تحت بارهای دینامیکی انجام داد. او با تعریف مقاطع مختلف و مقایسه پاسخ سازه در حالت‌های مختلف، بهترین سطح مقطع را برای حداقل شدن وزن سازه انتخاب کرد [۱۰].

در سال ۱۹۷۰ ریموند پلانت[۶] بهینه‌سازی را برای یک تیر کنسولی تحت بارهای دینامیکی انجام داد. وی با در نظر گرفتن پاسخ دینامیکی سازه در هر نقطه از تیر سطح مقطع مناسب را تعریف کرد و در نهایت او یک سازه بهینه با سطح مقطع متغیر بدست آورد [۱۱].

هاگ[۷] و آرورا[۸] برای اولین بار در سال ۱۹۷۷ بهینه‌سازی خرپا را تحت بارهای دینامیکی مطرح کردند و با استفاده از روش لاگرانژ بهینه‌سازی یک سازه خرپایی ساده را با قیدهای جابجایی

---

۱ Schmit
۲ Nonlinear Programming
۳ Fox
۴ Jonatan
۵ Raymond Brach
۶ Raymond. P
۷ Haug
۸ Arora

و فرکانس انجام دادند [۱۲].

جان‌کی‌سالگ[۱] اولین کسی بود که در سال ۱۹۷۸ بهینه‌سازی خرپا با قیود فرکانس را بطور جدی مطرح کرد. او با استفاده از روش معیار بهینگی کهن- تاکر بهینه‌سازی را انجام داد. جان با در نظر گرفتن فرکانس‌های طبیعی بعنوان قید و تغییر هندسه و سطح مقطع اعضای خرپا، بهترین سازه از نظر وزن را تعیین کرد [۱۳]. وی در سال ۱۹۸۷ همان روش قبلی را برای سازه‌های بزرگتر نیز مطرح کرد؛ همچنین گراندهی[۲] و همکارانش کسانی بودند که در این زمینه مطالعات بیشتری انجام دادند و برای سازه‌های خرپایی جدید بهینه‌سازی با قیدهای فرکانس را مطرح کردند [۱۴].

تقریباً به مدت یک دهه هیچ گونه مطالعه جدی در زمینه بهینه‌سازی خرپا با قیدهای دینامیکی مطرح نشد تا اینکه در سال ۲۰۰۲ صداقتی و همکارانش به این موضوع پرداختند و با استفاده از روش تغییرات لاگرانژ مسئله بهینه‌سازی را حل کردند [۱۵].

وانگ[۳] و همکارانش در سال ۲۰۰۴ مطالعات صداقتی را کامل کردند و سازه‌های خرپایی نمونه برای بهینه‌سازی مطرح کردند [۱۶]. سازه‌های خرپایی بررسی شده توسط وانگ و همکارانش تاکنون بعنوان مثال‌های نمونه کارآمد در مقالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است.

در سال ۲۰۰۵ لینگ‌یوم[۴] بهینه‌سازی خرپا با قید فرکانس را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام داد. او اولین کسی بود که از الگوریتم‌های فرااکتشافی برای بهینه‌سازی خرپا با قیود دینامیکی استفاده کرد [۱۷].

در سال ۲۰۱۰ کاوه و طلعت‌اهری الگوریتم جدید جستجوی شارژ را معرفی کردند و در سال ۲۰۱۱ کاوه و ذوالقدر برای حل مسائل بهینه‌سازی خرپا با قید فرکانس استفاده کردند [۱۸].

پس از آن تاکنون مطالعات فراوان و گسترده‌ای در زمینه بهینه‌سازی خرپا با قیدهای فرکانس انجام شده است [۲۴-۲۰].

برخلاف مسائل بهینه‌سازی خرپا با قیدهای فرکانس، بهینه‌سازی خرپا تحت بارهای

---

[۱] Jaan .K

[۲] Grandhi et al

[۳] Wang et al

[۴] Lingyun

دینامیکی به دلیل پیچیدگی و دشواری و هم چنین زمان بر بودن حل اینگونه مسائل کمتر مطرح شـده اسـت. بهینه‌سـازی خرپا تحت بارهای دینامیکی اولین بار توسط شی‌لی‌آن[1] و همکارانش در سـال ۲۰۰۱ مطرح شـد؛ آن‌ها با اسـتفاده از روش معادل اسـتاتیکی مسئله دینامیکی سازه را حل کردند و بهینه‌سازی اندازه و توپولوژی را انجام دادند [۲۵].

آن‌ها در سـال ۲۰۰۶ مجدداً از روش معادل اسـتاتیکی، این بار برای بهینه‌سـازی چیدمان خرپا اسـتفاده کردند [۲۶]. پس از آن تاکنون هیچ گونه مطالعه جدی در مورد بهینه‌سـازی خرپا تحت بارهای دینامیکی انجام نشده است.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

این پایان نامه در شش فصل تدوین شده است. در فصل اول مقدمه آمده است؛ در این فصل کلیات مربوط به موضـوع پایان نامه و همچنین خلاصـه‌ای از تاریخچه بهینه‌سازی شرح داده شده است.

در فصـل دوم مبانی بهینه‌سـازی آمده اسـت. در این فصـل کلیات و تعاریف مربوط به بهینه‌سازی و همچنین نحوه‌ی رابطه‌سازی مسئله بهینه‌سازی شرح داده شده‌است؛ انواع بهینه‌سازی سازه‌ای و همچنین روش‌های بهینه‌سازی توضیح داده شده‌است.

فصـل سـوم به معرفی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته اختصاص یافته‌است. در این فصل تعاریف مربوط به الگوریتم فاخته و همچنین توضیحات مربوط به نحوه زندگی فاخته‌ها و روش بهینه‌سازی با استفاده از این الگوریتم آمده‌است.

در فصـل چهارم روش بهینه‌سـازی خرپا با اسـتفاده از الگوریتم فاخته شرح داده شده است. هدف از این فصـل مشـخص کردن روند حل مسـئله بهینه‌سـازی و همچنین نحوه‌ی اعمال قیود طراحی می‌باشـد. در این فصل تعاریف و رابطه‌سازی مسئله بهینه‌سازی شکل، اندازه و توپولوژی به تفکیک شرح داده شده است.

در فصـل پنجم مثال‌های مسـائل بهینه‌سازی خرپا آمده است. در این فصل مثال‌های نمونه

[1] Shi Lian

پرکاربرد انتخاب شـده و با اسـتفاده از الگوریتم فاخته مسـئله بهینه‌سـازی حل شده است. در این فصل تعداد هفت مثال بهینه‌سازی خرپا آمده است.

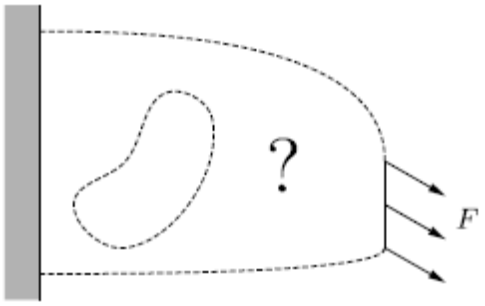
در فصل ششم نتایج حاصل از این پایان‌نامه بطور خلاصه شرح داده شده است.

فصـــل دوم

«اصــول و مبــانی بهینــه‌ســازی ســازه»

۲-۱- تعریف

بهینه‌سازی عبارتست از رسیدن به بهترین نتیجه در مورد یک عملیات؛ درحالی‌که محدودیت‌های مشخصی برآورده شده باشند. انسان محصور در طبیعت ذاتاً تمام فعالیتش را به شکلی انجام می‌دهد که در انرژی صرفه‌جویی شود یا ناراحتی و دردش به حداقل برسد؛ از این رو سعی می‌شود از منابع محدود حداکثر خروجی یا سود حاصل شود. اختراعات اولیه اهرم‌ها یا مکانیزم قرقره به روشنی تمایل بشر را به افزایش بازدهی مکانیکی نشان می‌دهد. منظور از طراحی بهینه سازه‌ها بکارگیری جدیدترین متدها و تکنیک‌های روز علم سازه و زلزله دنیا برای رسیدن به اقتصادی‌ترین و ایمن‌ترین طرح ممکن برای سازه است. این طرح دو عامل بهینه‌سازی رفتار سازه و اقتصاد پروژه را توأماً در نظر می‌گیرد و در نهایت علاوه بر ایمنی سازه به طور قابل توجهی کاهش هزینه‌های ساخت و پرهیز از هدر رفت مصالح و سرمایه‌های ملی را تضمین می‌کند. بطور معمول برای یک دستگاه نیرو و نیز یک مشخصات مواد ثابت مطابق شکل ۲-۱چندین سازه مختلف را می‌توان طراحی کرد؛ اما آن سازه‌ای که کلیه اهداف مورد نظر را برآورده کرده و هزینه کمتری داشته باشد یک سازه بهینه خواهد بود. برای بهینه‌سازی سازه‌ها باید با یک الگوی ریاضی کار را آغاز کرد و با یک فن محاسباتی تحلیل و طراحی را ادامه داد و آن را به انجام رسانید.



شکل ۲-۱ بهینه‌سازی سازه [۲۸]

۲-۲- مقایسه طراحی بهینه و طراحی غیر بهینه

طراحی سیستم‌های کارا و ارزان با برآورده شدن همه نیازهای عملکردی برای مهندسان یک چالش محسوب می‌شود. هر دو فرایند طراحی متداول و بهینه می‌توانند در طی مراحل مختلف تکامل سیستم مورد استفاده قرار گیرند. فرآیند طراحی متداول بستگی به آموزش، تجربه و مهارت