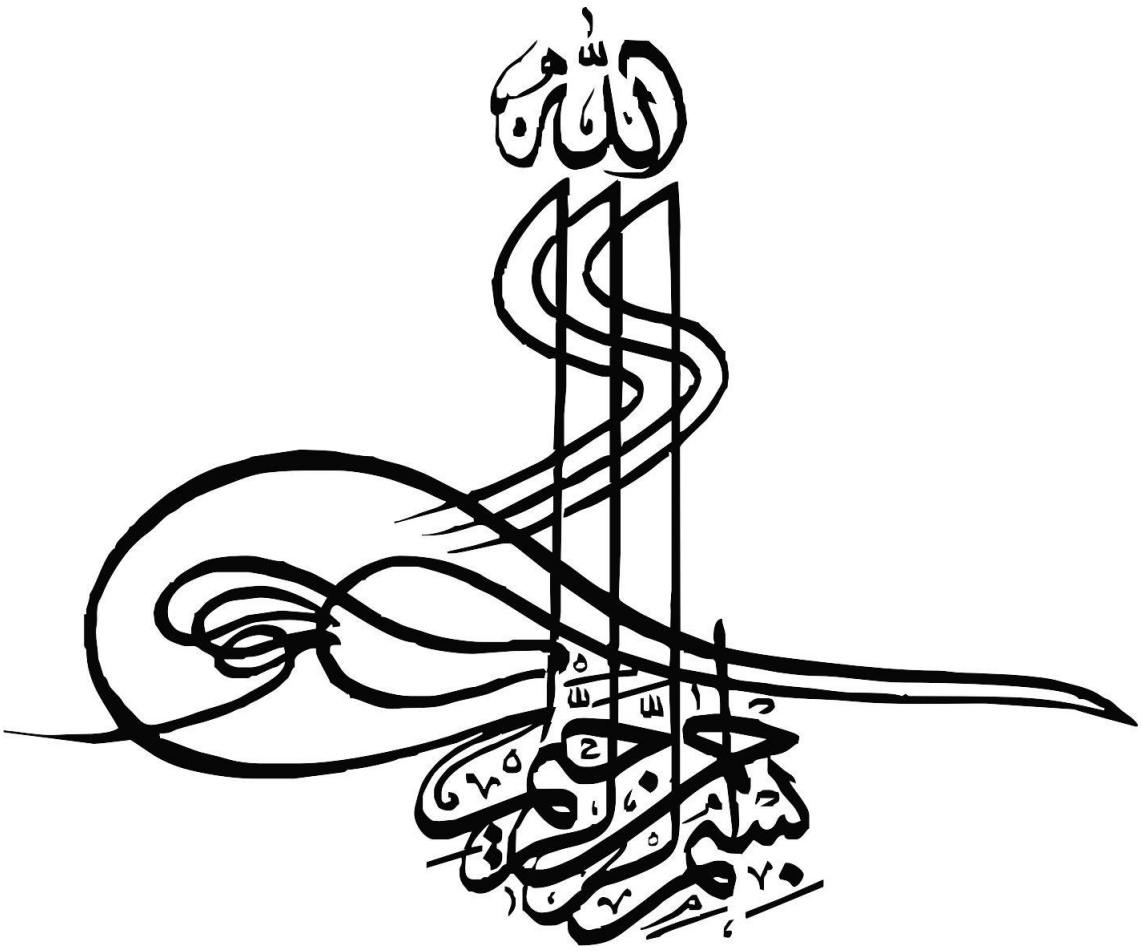
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس بین المللی ارس
گروه مهندسی عمران سازه

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران سازه

عنوان

بهینه سازی تکاملی سازه‌ها برای به حداقل رساندن تنش با استفاده از تغییر ضخامت

استادان راهنما

دکتر ناصر تقی زادیه

دکتر سامان یغمایی

استاد مشاور

دکتر کامبیز کوهستانی

پژوهشگر

مهدی سیاه چشم

شهریور ماه ۱۳۹۳

تقدیر و تشکر

در انجام این پایان نامه از راهنمایی هـا و توجهـات بسـیار صـمیمانه و بخردانه اساتید گرامی

آقای دکتر ناصر تقی زادیه،

آقای دکتر سامان یغمایی و

آقای دکتر کامبیز کوهستانی

بهره بسیار بردم که لازم می دانـم از ایشـان کمـال تشـکر را بنمـایم، خداوند به همه ما توفیق قدم نهادن در راه علم و دانش را عطاء بفرماید.

تقدیم به

روح پاک پدرم که ۲۶ سال از عمر گرانمایه خود را صرف تدریس علم زمین شناسی در دانشکده علوم دانشگاه تبریز نمود و همچنین مادر عزیز و همسر مهربانم که تمام موفقیتهای خود را مدیون فداکاریهای ایشان بوده و هستم و مشوقی دلسوز در تمام دوران تحصیلم بوده اند .

نام خانوادگی دانشجو : سیاه چشم **نام** : مهدی

عنوان پایان نامه : بهینه سازی تکاملی سازه‌ها برای به حداقل رساندن تنش با استفاده از تغییر ضخامت

استادان راهنما : ۱- دکتر ناصر تقی زادیه ۲- دکتر سامان یغمایی

استاد مشاور: دکتر کامبیز کوهستانی

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

دانشکده : پردیس بین المللی ارس **تاریخ فارغ التحصیلی** : تیر ماه۱۳۹۳ **تعداد صفحات** : ۹۰

کلید واژه ها: بهنیه سازی تکاملی سازه ها، حداقل کردن تنش، طراحی با تغییر ضخامت

چکیده :

در سال‌های اخیر روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها موسوم به Evolutionary Structural Optimization (ESO) به‌عنوان یک ابزار قوی در طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار می گیرد. مبنای این روش استفاده از نتایج تحلیل المان محدود مسئله در هر مرحله و فرآیند حذف تدریجی مواد زائد بر مبنای نتایج می‌باشد. روش ESO یکی از روش‌های متعدد علم بهینه سازی سازه‌ها می باشد که اولین بار در سال ۱۹۹۲ مطرح شد و بر پایه حذف تدریجی مواد غیر ضروری سازه شکل گرفته است. [۲]

در این تحقیق، یک معیار تکاملی جدید برای مسائل مربوط به طراحی با استفاده از تغییر ضخامت (بر اساس به حداقل رساندن حداکثر تنش در سازه) ارائه می‌گردد. در این راستا فایل های مختلفی برای نشان دادن توانایی استفاده از روش بهنیه سازی تکاملی سازه ها ارائه شده است و این مثالها در برنامه Ansys مدل سازی و پس از اعمال شرایط تکیه گاهی تحلیل می شوند و نهایتا در طراحی بهینه با مقایسه نتایج بدست آمده از خروجی برنامه Ansys به هدف کلی طرح می رسیم.

فهرست مطالب :

مقدمه ۱

فصل اول : پایه های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱ مروری بر تحقیقات گذشته ۴

۱-۲ روش‌های عمده بهینه سازی ۶

۱-۲-۱ تابع هدف ۷

۱-۳ تحلیل المان محدود ۸

۱-۴ بهینه سازی تکاملی سازه‌ها ۱۰

فصل دوم : مبانی روش ESO

۲-۱ مسائل ویژه در بهینه سازی شکل ۱۳

۲-۲ بهینه سازی تکاملی سازه‌ها ۱۴

۲-۲-۱ روش ESO ۱۴

۲-۲-۲ المان مورد استفاده در بهینه سازی ۱۴

۲-۲-۳ معیار حذف المانها ۱۸

۲-۲-۴ کاربرد ESO در زمینه های مختلف بهینه سازی ۱۹

۲-۲-۴-۱ ESO برای بارهای چندگانه و شرایط تکیه گاهی مختلف ۱۹

۲-۲-۴-۲ بهینه سازی براساس سختی ۲۰

۲-۲-۴-۳ بهینه سازی براساس جابجایی ۲۱

۲-۲-۴-۴ سایر کاربردهای ESO ۲۲

۲-۲-۴-۵ شاخص عملکرد (PI) ۲۳

فصل سوم : مدل سازی به روش عناصر محدود

۳-۱ مقدمه ۲۷

۳-۲ کلیاتی در مورد روش عناصر محدود ۲۸
۳-۳ معرفی نرم افزار مورد استفاده و نگاهی اجمالی بر آن ۲۹
۳-۴ تحلیل غیر خطی در نرم افزار ANSYS ۳۱
۳-۴-۱ دلایل بروز رفتار غیر خطی ۳۱
۳-۴-۱-۱ غیر خطی مصالح ۳۲
۳-۴-۱-۲ غیر خطی هندسی ۳۲
۳-۴-۱-۳ تغییر شرایط و وضعیت سازه ۳۳
۳-۴-۲ توضیحاتی در مورد انجام تحلیل غیر خطی در نرم افزار ANSYS ۳۳
۳-۴-۲-۱ بار گذاری گام به گام ۳۳
۳-۴-۲-۲ تلورانس همگرایی ۳۵
۳-۴-۲-۳ گامهای بارگذاری و ریز گامها ۳۶
۳-۵ المان مورد استفاده در مدلسازی عناصر محدود ۳۷
۳-۶ معیار تسلیم مورد استفاده برای مصالح ۳۸

فصل چهارم : بهینه سازی با نرم افزار ANSYS و مثال های حل شده

۴-۱ بهینه سازی با نرم افزار ANSYS ۴۰
۴-۲ شرایط مرزی ۴۰
۴-۳ تغییر ضخامت ۴۳
۴-۳-۱ تغییر ضخامت در گروه A ۴۳
۴-۳-۲ تغییر ضخامت در گروه B ۶۴
۴-۳-۳ تغییر ضخامت در گروه C ۷۵
۴-۳-۴ تغییر ضخامت در گروه D ۷۹
۴-۳-۵ تغییر ضخامت در گروه E ۸۴
۴-۳-۶ تغییر ضخامت در گروه F ۸۸

فصل پنجم : بحث و نتایج

۵-۱ نتیجه گیری ۹۴

۵-۲ پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ۹۶
فهرست مراجع ۷۹

فهرست اشکال :

شکل (۱-۱) : پروسه بهینه سازی با استفاده از المان محدود ۹

شکل (۲-۱) : فرآیند بهینه سازی با استفاده از روش ESO ۴۱

شکل (۲-۲) : المان چهار گوش در مختصات کلی ۱۵

شکل (۲-۳) : المان چهار گوش در مختصات طبیعی ζ و □ ۱۶

شکل (۲-۴) : خرپای ساده جهت محاسبه PI ۲۳

شکل (۳-۱) : مقایسه روش گام به گام عادی با روش نیوتن- رافسون ۳۴

شکل (۳-۲) : مقایسه بین روش ARC-LENGTH و روش نیوتن رافسون ۳۵

شکل (۳-۳) : بارگذاری با ۲ گام و ۵ ریز گام در گام اول ۳۶

شکل (۳-۴) : المان Shell 181 در نرم‌افزار ANSYS ۳۷

شکل (۳-۵) : نمودار تنش _ کرنش فولاد ۳۸

شکل (۴-۱) : شرایط مرزی گروه A ۴۱

شکل (۴-۲) : شرایط مرزی گروه B ۴۱

شکل (۴-۳) : شرایط مرزی گروه C ۴۱

شکل (۴-۴) : شرایط مرزی گروه D ۴۲

شکل (۴-۵) : شرایط مرزی گروه E ۴۲

شکل (۴-۶) : شرایط مرزی گروه F ۴۲

شکل (۴-۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A09-09 ..... ۴۳

شکل (۴-۸) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A07-07 ..... ۴۴

شکل (۴-۹) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A05-05 ..... ۴۴

شکل (۴-۱۰) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-035 ..... ۴۵

شکل (۴-۱۱) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A09-09 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۴۵

شکل (۴-۱۲) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A07-07 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۴۶

شکل (۴-۱۳) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A05-05 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۴۶

شکل (۴-۱۴) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-035 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۴۷
شکل (۴-۱۵) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه A در لبه فوقانی صفحه ۴۷
شکل (۴-۱۶) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه A در لبه تحتانی صفحه ۴۸
شکل (۴-۱۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A09-06 ..... ۴۹
شکل (۴-۱۸) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A09-03 ..... ۴۹
شکل (۴-۱۹) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A07-0467 ..... ۵۰
شکل (۴-۲۰) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A07-0234 ..... ۵۰
شکل (۴-۲۱) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A05-0334 ..... ۵۱
شکل (۴-۲۲) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A05-0167 ..... ۵۱
شکل (۴-۲۳) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-0234 ..... ۵۲
شکل (۴-۲۴) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-0117 ..... ۵۲
شکل (۴-۲۵) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-0087 ..... ۵۳
شکل (۴-۲۶) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A09 در لبه فوقانی صفحه ۵۳
شکل (۴-۲۷) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A07 در لبه فوقانی صفحه ۵۴
شکل (۴-۲۸) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A05 در لبه فوقانی صفحه ۵۴
شکل (۴-۲۹) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A035 در لبه فوقانی صفحه ۵۵
شکل (۴-۳۰) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A09 در لبه تحتانی صفحه ۵۵
شکل (۴-۳۱) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A07 در لبه تحتانی صفحه ۵۶
شکل (۴-۳۲) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A05 در لبه تحتانی صفحه ۵۶
شکل (۴-۳۳) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A035 در لبه تحتانی صفحه ۵۷
شکل (۴-۳۴) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A09-06 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۵۷
شکل (۴-۳۵) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A09-03 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۵۸
شکل (۴-۳۶) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A07-0467 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۵۸
شکل (۴-۳۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A07-0234 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۵۹
شکل (۴-۳۸) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A05-0334 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۵۹

شکل (۴-۳۹) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A05-0167 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۰
شکل (۴-۴۰) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-0234 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۰
شکل (۴-۴۱) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-0117 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۱
شکل (۴-۴۲) : دیاگرام توزیع تنش نمونه A035-0087 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۱
شکل (۴-۴۳) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه A در لبه فوقانی صفحه ۶۲
شکل (۴-۴۴) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه A در لبه تحتانی صفحه ۶۲
شکل (۴-۴۵) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A035-035 و A035-0117 در لبه فوقانی صفحه ۶۳
شکل (۴-۴۶) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های A035-035 و A035-0117 در لبه تحتانی صفحه ۶۳
شکل (۴-۴۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B09-09 ..... ۶۴
شکل (۴-۴۸) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B07-07 ..... ۶۵
شکل (۴-۴۹) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B05-05 ..... ۶۵
شکل (۴-۵۰) : نمودار توزیع تنش نمونه B09-09 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۶
شکل (۴-۵۱) : نمودار توزیع تنش نمونه B07-07 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۶
شکل (۴-۵۲) : نمودار توزیع تنش نمونه B05-05 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۶۷
شکل (۴-۵۳) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه B در لبه فوقانی صفحه ۶۷
شکل (۴-۵۴) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه B در لبه تحتانی صفحه ۶۸
شکل (۴-۵۵) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B09-06 ..... ۶۹
شکل (۴-۵۶) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B09-03 ..... ۶۹
شکل (۴-۵۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B07-0467 ..... ۷۰
شکل (۴-۵۸) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B07-0234 ..... ۷۰
شکل (۴-۵۹) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های B09 در لبه فوقانی صفحه ۷۱
شکل (۴-۶۰) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های B07 در لبه فوقانی صفحه ۷۱
شکل (۴-۶۱) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های B09 در لبه تحتانی صفحه ۷۲
شکل (۴-۶۲) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های B07 در لبه تحتانی صفحه ۷۲
شکل (۴-۶۳) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B09-06 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۷۳

شکل (۴-۶۴) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B09-03 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه..... ۷۳
شکل (۴-۶۵) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B07-0467 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه..... ۷۴
شکل (۴-۶۶) : دیاگرام توزیع تنش نمونه B07-0234 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه..... ۷۴
شکل (۴-۶۷) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه B در لبه فوقانی صفحه ۷۵
شکل (۴-۶۸) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه B در لبه تحتانی صفحه..... ۷۵
شکل (۴-۶۹) : دیاگرام توزیع تنش نمونه C09-09 ..... ۷۶
شکل (۴-۷۰) : دیاگرام توزیع تنش نمونه C07-07 ..... ۷۶
شکل (۴-۷۱) : دیاگرام توزیع تنش نمونه C05-05 ..... ۷۷
شکل (۴-۷۲) : نمودار توزیع تنش نمونه C09-09 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه..... ۷۷
شکل (۴-۷۳) : نمودار توزیع تنش نمونه C07-07 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۷۸
شکل (۴-۷۴) : نمودار توزیع تنش نمونه C05-05 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه..... ۷۸
شکل (۴-۷۵) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه C در لبه فوقانی صفحه ۷۹
شکل (۴-۷۶) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه C در لبه تحتانی صفحه..... ۷۹
شکل (۴-۷۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه D09-09 ..... ۸۰
شکل (۴-۷۸) : دیاگرام توزیع تنش نمونه D07-07 ..... ۸۰
شکل (۴-۷۹) : دیاگرام توزیع تنش نمونه D05-05 ..... ۸۱
شکل (۴-۸۰) : نمودار توزیع تنش نمونه D09-09 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۸۱
شکل (۴-۸۱) : نمودار توزیع تنش نمونه D07-07 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۸۲
شکل (۴-۸۲) : نمودار توزیع تنش نمونه D05-05 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۸۲
شکل (۴-۸۳) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه D در لبه فوقانی صفحه..... ۸۳
شکل (۴-۸۴) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه D در لبه تحتانی صفحه ۸۳
شکل (۴-۸۵) : دیاگرام توزیع تنش نمونه E09-09 ..... ۸۴
شکل (۴-۸۶) : دیاگرام توزیع تنش نمونه E07-07 ..... ۸۵
شکل (۴-۸۷) : دیاگرام توزیع تنش نمونه E05-05 ..... ۸۵
شکل (۴-۸۸) : نمودار توزیع تنش نمونه E09-09 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه..... ۸۶

شکل (۴-۸۹) : نمودار توزیع تنش نمونه E07-07 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۸۶
شکل (۴-۹۰) : نمودار توزیع تنش نمونه E05-05 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۸۷
شکل (۴-۹۱) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه E در لبه فوقانی صفحه ۸۷
شکل (۴-۹۲) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه E در لبه تحتانی صفحه ۸۸
شکل (۴-۹۳) : دیاگرام توزیع تنش نمونه F09-09 ۸۹
شکل (۴-۹۴) : دیاگرام توزیع تنش نمونه F07-07 ۸۹
شکل (۴-۹۵) : دیاگرام توزیع تنش نمونه F05-05 ۹۰
شکل (۴-۹۶) : نمودار توزیع تنش نمونه F09-09 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۹۰
شکل (۴-۹۷) : نمودار توزیع تنش نمونه F07-07 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۹۱
شکل (۴-۹۸) : نمودار توزیع تنش نمونه F05-05 در لبه فوقانی و تحتانی صفحه ۹۱
شکل (۴-۹۹) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه F در لبه فوقانی صفحه ۹۲
شکل (۴-۱۰۰) : نمودار توزیع تنش نمونه‌های گروه F در لبه تحتانی صفحه ۹۲

فصل اول

پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

مقدمه

اگر چه تفکر بهینه سازی از سالهای نسبتاً دور پدید آمده است و روشهای مختلفی هم برای بهینه سازی ارائه شده، اما رشته بهینه سازی هنوز هم رشته نسبتاً جدیدی است و پیوسته از نظر روشها و رویکردها در معرض تغییرات سریع قرار دارد .نکته مهم این است که ما بین تعداد زیاد نوشته ها و در مقابل تعداد کم کاربرد در مسائل طراحی عملی، عدم تعادل جدی وجود دارد .ولی این عدم تعادل به تدریج در حال جبران شدن است .در نتیجه ی رشد فزاینده کاربردها، جهت گیری پژوهش ها در رشته های بهینه سازی سازه ها، با مسائل واقعی روز همسو شده است.

به طور کلی بهینه سازی در ارتباط تنگاتنگ با المان محدود قرار دارد، زیرا با توجه به زمان و هزینه صرف شده،تحلیل المان محدود، زمانی مفید و دارای معنی خواهد بود که با هدف طراحی بهینه صورت گیرد، در غیر اینصورت برای طراحی نیازی به تحلیلهای پیچیده المان محدود نبوده و می توان از طراحی دست بالا سود برد، همچنان که در طی سالیانی که المان محدود وجود نداشت، این نوع طراحی بسیار مقبول بوده است.

اما امروزه با توجه به رقابت های شدید در کیفیت محصولات و هزینه پایین و همچنین نیازهای تکنولوژی های جدید به قطعات سبکتر و کوچکتر، طراحی بهینه به صورت یک نیاز اساسی مطرح شده است [۱].

بیشتر مهندسانی که سازه ها را طراحی می نمایند، برای طراحی و تحلیل، بسته های نرم افزاری پیچیده ای را به کار می برند که در اغلب موارد به کدهای برنامه دسترسی نداشته و حتی گاهی اوقات از جزئیات الگوریتم های تحلیل سازه ای که در این نرم افزارها به کار می روند، تنها آگاهی مختصری دارند .چنین واقعیت هایی، انگیزه اقبال به روشهای بهینه سازی با پیچیدگی کمتر را ایجاد کرده است.

در میان تمامی این روشها که جهت بهینه سازی وجود دارد، روش ESO که مخفف کلمه Evolutionary Structural Optimization می باشد جهت این مطالعه انتخاب شده است. روش ESO از سال 1992 به بعد به وجود آمده و قادر است توانایی خود را در حل مسائل بهینه سازی بیان کند.

این روش بر پایه نظریه ساده حذف مرحله به مرحله مواد غیرموثر از سازه قرار دارد .نکته اساسی و مهم در روش ESO فهم و یادگیری آسان آن است به طوری که در زمان کمی می توان به نتایج قابل اعتمادی دست یافت [۲].

نکته مهم دیگر، قابلیت انطباق این روش با تمامی جنبه های رفتار سازه است به طوری که محدودیت های بهینه شدن می تواند شامل تنش، سختی -تغییر مکان، دوره تناوب، بار کمانش و ... باشد که جهت حل هر یک از آنها ضوابط خاص آن موضوع قابل بررسی و کاربرد است.

در این تحقیق بهینه سازی توزیع تنش در یک صفحه مستطیلی با تغییر شرایط مرزی و تغییر ضخامت صفحه در دو حالت یکنواخت و غیریکنواخت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سازه‌ها به صورت سازه‌های تحت تنش مسطح (Plain Stress) مدلسازی می‌شوند. لازم به ذکر است برای مسائل بهینه سازی مدل‌های تحلیلی از نرم افزار المان محدود ANSYS ویرایش 12.1 [۳] بهره گرفته می‌شود.

۱-۱ مروری بر تحقیقات گذشته

تحقیق روی بهینه کردن سختی و تنش سازه طی تحقیقی که در سال ۱۹۸۹ توسط Rozvany و همکاران [۴] صورت گرفت آغاز شد، که نتیجه این تحقیق ابداع روش کانتینم بود. در سال ۱۹۹۵ Rozvany و Birker [۵] یک مساله حداقل سازی وزن را تحت شرایط تنش و تغییر مکان حل نمودند. در همین سال Haftka [۶] مساله مشابهی با روش معیارهای گسسته را بررسی نمودند. Yang و Chen [۷] یک تابع وزنی خطی از تنش و سختی متناسب با وزن مخصوص هر المان محدود را تشکیل دادند.

Patnaik [۸] در سال ۱۹۹۸ روش MFUD را توسعه دادند. این روش شامل دو گام اساسی است، در گام اول یک FSD تولید می‌شود و سپس در گام دوم یک تقسیم بندی یکنواخت روی SDF برای بدست آوردن FUD انجام می‌شود. در این روش نیز وزن سازه بعنوان یک تابع هدف انتخاب شده است و سختی و تنش هر دو به عنوان قید مساله انتخاب شده‌اند. در سال ۱۹۹۸ Shimoda [۹] مسائل مین- ماکز را برای معیار تنش و تغییر مکان مورد مطالعه قرار داد، اما هر دوی این موضوعات جدا از دیگری در نظر گرفته شده بودند.

از مروری که بر تحقیقات گذشته که در مورد بهینه سازی معیارهای سختی و تنش انجام گرفته بودند مشخص می‌شود که در همه این تحقیقات تنش به عنوان یک قید در نظر گرفته شده است و به عنوان یک تابع هدف مد نظر می‌رسد که در نظر گرفتن این دو معیار به صورت همزمان در بهینه سازی امری ضروری است. دلیلی که برای این موضوع می‌توان بیان نمود این است که بررسی تنش به عنوان یک تابع هدف ممکن است نتایج متفاوتی از بررسی آن به صورت قید داشته باشد. در ادامه تاریخچه-ای از بهینه سازی چند معیاری بیان می‌شود.

بهینه سازی چند معیاری در اوایل سال ۱۹۴۴، توسط von Numann و Morgenstern [نقل از ۱۰] برای یک مساله بهینه سازی در ارتباط با معاملات اقتصادی مطرح گردید. این مساله ترکیبی نامتداول و عجولانه از چندین مساله متضاد بود، که در ریاضیات کلاسیک چنین مساله‌ای مطرح نشده بود.

پایه ریزی فرمول بندی ریاضی این نوع بهینه سازی به سال‌های ۱۸۹۵ تا ۱۹۰۶ بر می‌گردد. در طول این مدت، Cantor و Housdorff [نقل از ۱۰] پایه‌های فضاهای با ابعاد نامحدود را پی ریزی کردند. همچنین کانتور شرایط کافی برای وجود جواب عمومی را معرفی کرد. Housdorff نیز اولین مثال با مرتبه کامل را معرفی کرد. Kuhn و Tucker [نقل از ۱۰] مساله بردار ماکزیمم که در آن بهینه ساری چند معیاری به صورت یک مساله ریاضی بیان می‌شود را معرفی کردند.

با همه اینها، تئوری بهینه سازی چند معیاری تا دهه ۱۹۵۰ پیشرفت چندانی نداشت. در دهه ۱۹۶۰ اصول بهینه سازی چند معیاری خیلی جدی توسط ریاضیدانان مورد بررسی قرار گرفت تا اینکه Hurwicz [نقل از ۱۰] نتایج کارهای Kuhn و Tucker را برای فضاهای برداری توپولوژیکی تعمیم داد. بهینه سازی چند معیاری توسط Marglin [نقل از ۷] برای طراحی مخازن آب استفاده شد. اولین کاربرد مهندسی این نوع بهینه سازی در اوایل دهه ۱۹۶۰ از Zadeh [نقل از ۱۰] گزارش شده است. به هر حال تا دهه ۱۹۷۰ استفاده از بهینه سازی چند معیاری تعمیم داده شد. با معرفی شدن

الگوریتم‌های تکاملی، Rosenberg [نقل از ۱۰] اولین کسی بود که به قابلیت این روش در بهینه سازی چند معیاری اشاره کرد. در اواسط دهه ۱۹۸۰ Schaffer کاربرد علمی این روش را بسط داد.

در بهینه سازی چند معیاری معمولاً از دو روش الگوریتم ژنتیک و ESO استفاده می‌گردد. Coello و Christiansen در سال ۱۹۹۹ با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی چند معیاری خرپاها پرداخته‌اند. در این تحقیق روشی برای بهینه کردن چندمعیاری خرپاها آورده شده است. در این تحقیق، معیارهای وزن و تغییرمکان ماکزیمم و تنش استفاده شده‌اند.

با ارائه روش ESO که در سال ۱۹۹۲ توسط steven و Xie صورت گرفت، بهینه سازی دچار تحولی اساسی شد، مخصوصاً بهینه کردن سازه‌های پیوسته با این روش بسیار ساده‌تر گردید. روش ESO روشی ساده برای بهینه سازی است و براساس حذف مصالح از قسمت‌های غیر ضروری سازه و اضافه نمودن به قسمت‌های مهم و حیاتی کار می‌کند. این روش به مدت یک دهه برای بهینه سازی تک معیاری استفاده شد و بعداً به دلیل سهولتی که در اجرای این روش وجود دارد از آن برای بهینه سازی چندمعیاری در تحقیقات بعدی استفاده شده است. در سال ۲۰۰۱ Querin و همکاران [۱۱] اولین کسانی بوده‌اند که از روش ESO برای بهینه سازی چندمعیاری در سازه‌های صفحه‌ای استفاده کردند. معیارهای مورد استفاده در این تحقیق سختی و فرکانس طبیعی مد اول ارتعاش سازه هستند. در تحقیق ارائه شده توسط این دو اصول و نحوه رابطه بندی روش ESO چندمعیاری به طور کامل تشریح شده است و از آن به عنوان مرجع اصلی بهینه سازی چندمعیاری با ESO می‌توان نام برد.

۱-۲ روش های عمده بهینه سازی

در محدوده بهینه سازی روشهای کارآمد مختلفی جهت بهینه سازی متغیرهای طراحی موجود است . این روشها را از لحاظ پایه ای می توان در دو گروه مختلف طبقه بندی کرد:

روشهای مبتنی بر گرادیان Gradient based Methods

روشهای مبتنی بر تجربه یافت Heuristic based Methods

روشهای مبتنی بر گرادیان براساس محاسبه مشتقات توابع هدف و قیود برای به دست آوردن مقدار بهینه استوار است .البته در این روشها برای وجود جواب، توابع باید دارای خصوصیاتی باشند که از آن جمله می توان مشتق پذیر بودن را نام برد [۱۲].

روشهای مبتنی بر تجربه یافت در دو حالت بینش مبتنی بر درک مستقیم از مساله و یا پاره ای از استدلالهای قابل قبول بر اساس مشاهداتی از طبیعت استوار شده است.این روشها بر اساس قوانینی نسبی و ساده بنا نهاده شده است.اگر چه این روشها میتوانند جوابهای بهینه ای ارائه دهند،لذا به علت کمبود پایه های فرمول بندی ریاضیاتی آنها،به طور مطلق نمیتوان گفت که یک روش بهینه سازی کامل هستند.بسیاری از این روشها از یک الگوی وارونه بهینه سازی استفاده میکنند،به طوری که بر اساس مشاهداتی از رفتار طبیعت به دست آمده اند.روش ژنتیک نمونه ای از این روشهاست.

۱-۲-۱ تابع هدف

منظور از تابع هدف آن است که تابع شایستگی $f(x)$ یا توابع شایستگی

$$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)] \qquad (۱-۱)$$

وجود داشته باشد که بتواند بهبود یابد و از آن به عنوان معیار موثر بودن طراحی استفاده شود اصطلاح معمول جهت چنین توابعی، توابع هدف است.

برای مسائل بهینه سازی سازه ها، وزن، تغییر مکانها، تنشها، بسامدهای ارتعاشی، بارهای کمانشی و هزینه و یا ترکیبی از آنها را می توان به عنوان توابع هدف به کار برد.ولی اغلب و در بسیاری از حالات