بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان‌نامه:

بهینه‌سازی سازه‌های پیوسته با استفاده از روش الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد

مولف:

بهزاد لطف خدایی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما :

دکترمحمدحسین ابوالبشری

تابستان 1391

فرم چکیده رساله تحصیلات تکمیلی

نام دانشجو : **بهزاد** نام خانوادگی دانشجو: **لطف خدایی**

استاد راهنما: **محمد حسین ابوالبشری**

دانشکده: **مهندسی** گروه: **مهندسی مکانیک** گرایش: **ساخت و تولید** مقطع: **کارشناسی ارشد**

تاریخ دفاع: 31 /6/ 1391 تعداد صفحات:

عنوان پایان‌نامه: **بهینه‌سازی سازه‌های پیوسته با استفاده از روش الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد**

کلمات کلیدی: **بهینه‌سازی سازه، سازه پیوسته، المان محدود، روش تبرید تدریجی کارآمد**

چکیده:

این پژوهش کاربرد یک الگوریتم بهینه‌سازی پایه‌ریزی شده بر اساس تبرید تدریجی را در بهینه‌سازی وزن و استحکام سازه‌های پیوسته دوبعدی ارائه می‌کند. الگوریتم CMLPSA که الگوریتم تبرید چند نقطه‌ای- چند سطحی اصلاح-شده نام دارد، یک روش پیشرفته جستجو برای حالت‌هایی است که هر طرح کاندیدا از میان جمعیتی از نقاط که به صورت تصادفی تولید شده‌اند، می تواند انتخاب می‌شود. اصطلاح چند نقطه‌ای برای همه طرح‌های عملی و غیرعملی ارائه می‌شود. افزون بر این CMLPSA دارای یک استراتژی چند سطحی برای حالت‌های آزمایشی تولید شده به وسیله ادغام همه متغیرهای طرح به صورت یکجا و تک به تک می‌باشد. در این پژوهش تاثیر شرایط تکیه‌گاهی، نوع المان بندی، پارامتر حذف المان و سرعت حذف المان به روش الگوریتم CMLPSA در بهینه‌سازی سازه‌های پیوسته دو بعدی و سه بعدی بررسی شده و با نتایج تحقیقات قبلی مقایسه می‌شود. مزیت این روش در مقایسه با روش‌های دیگر مانند ESO، زمان کوتاه‌تر حل مسئله و ارائه سازه‌ای با حجم نهایی کمتر و میزان تنش کمتر می‌باشد.

اصالت اثر

اینجانب **بهزاد لطف خدایی** تأیید می‌نمایم مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب بوده و در صورت استفاده موردی از دستاوردهای پژوهشی دیگران مطابق مقررات با آن‌ها ارجاع شده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرکی هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و قانونی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

امضاء دانشجو

بهزاد لطف خدایی **تاریخ**

امضاء استاد راهنما

محمد حسین ابوالبشری **تاریخ**

تأییدیه گروه مکانیک

پایان نامه حاضر تحت عنوان :

بهینه‌سازی طرح سازه‌های پیوسته با استفاده از روش الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد که توسط آقای **بهزاد لطف خدایی** تهیه و به هیئت داوران ارائه شده، به عنوان کار پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، مورد تایید شورای تحصیلات تکمیلی گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

تاریخ دفاع: نمره: درجه ارزشیابی

اعضای هیئت داوران:

نام و نام خانوادگی	سِمت	امضا
1- **دکتر محمد حسین ابوالبشری**	استاد راهنما	
2- **دکتر فرهاد کلاهان**	استاد ممتحن	
3- **دکتر بهروز حسنی**	استاد ممتحن	
4- **دکتر مجید معاونیان**	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تقدیم به

پدر و مادر دلسوزم

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس به درگاه خداوند بلند مرتبه که نعمات خود را بر ما ارزانی داشت. بدون شک دستیابی به موفقیت‌های حاصل شده تنها در سایه حمایت‌ها و راهنمایی‌های استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر محمدحسین ابوالبشری ممکن بود.

جا دارد از زحمات مدیریت محترم کتابخانه، آموزش کل دانشگاه و واحد انتشارات دانشکده مهندسی تقدیر نمایم.

ضمن قدردانی از کلیه دوستان عزیزی که در این کار سهم داشته‌اند از ایشان نام برده می‌شود: آقای مهندس سعید امیر نژاد، آقای مهندس مهدی نادری، آقای مهندس محمد هوشمند و آقای مهندس آیدین رسائی.

فهرست

فصل اول: مقدمه

1-1- بهینه‌سازی سازه‌ها 2
2-1- ساختار پایان‌نامه 6

فصل دوم: روش‌های بهینه‌سازی سازه‌ها

1-2- مقدمه 8
2-2- روش های دقیق 8
3-2- روش‌های ابتکاری 9
1-3-2- روش تبرید تدریجی عمومی 11
2-3-2- روش همگن سازی 12
3-3-2- نظریه چیدمان بهینه 13
4-3-3- بهینه‌سازی شکل 14
5-3-3- بهینه‌سازی ساختاری 15

فصل سوم: الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد CMPLSA

1-3- تعیین پارامترهای اولیه 19
2-3- بررسی عملی بودن طرح 19
3-3- انجام آنیلینگ کلی و ادغام تمامی متغیرها 21
4-3- بهبود دامنه طرح 22
5-3- ارزیابی و انتخاب بهترین طرح کاندیدا 23
6-3- بررسی کاهش تابع هدف توسط طرح کاندیدا 23
7-3- آنیلینگ محلی 24
8-3- بررسی یک طرح عملی یا طرح نقض‌کننده قیود 25
9-3- بررسی همگرایی فرآیند بهینه‌سازی 27
10-3- تعیین پارامترها برای چرخه جدید 28

فصل چهارم: بهینه سازی سازه‌های پیوسته دوبعدی توسط الگوریتم CMLPSA

1-4- بررسی سازه دوبعدی با دو تکیه‌گاه ثابت 31
1-1-4- بررسی تأثیر سرعت رشد حذف المان 33
2-1-4- بررسی تأثیر پارامتر اولیه حذف المان 43

4-1-3- بررسی تأثیر المان بندی..... 49
4-2- بررسی سازه دوبعدی با یک تکیه‌گاه ثابت و یک تکیه‌گاه غلتکی 61
4-1-3- بررسی تأثیر المان بندی..... 61

فصل پنجم: بهینه سازی سازه‌های پیوسته سه‌بعدی توسط الگوریتم CMLPSA
5-1- بررسی سازه سه‌بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت..... 74
5-2- بررسی سازه سه‌بعدی با یک تکیه‌گاه ثابت و چهار تکیه‌گاه غلتکی..... 78
5-2-1- بررسی تأثیر سرعت رشد حذف المان..... 78
5-2-2- بررسی تأثیر المان بندی..... 89
5-3- بررسی سازه سه‌بعدی با دو تکیه‌گاه ثابت و دو تکیه‌گاه غلتکی..... 97
5-3-1- بررسی تأثیر المان بندی..... 97

فصل ششم: نتیجه‌گیری
8-1- نتایج 109
8-2- پیشنهاد برای کارهای آینده..... 111

مراجع 112

پیوست‌ها..... 115
1-کد نوشته شده جهت بهینه‌سازی طرح سازه میشل با یک تکیه‌گاه ثابت و یک تکیه‌گاه غلتکی..... 115
2-کد نوشته شده جهت بهینه‌سازی سازه سه‌بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت 120

فهرست شکل‌ها

شکل2-1: ساختار سازه در محلی که قسمت AB باید بهینه گردد 16
شکل3-1: فلوچارت الگوریتم CMLPSA 20
شکل3-2: ایجاد دامنه Ω شامل جمعیتی از طرح‌های کاندیدا 22
شکل3-3: بررسی استراتژیکیCMLPSA در فضای غیر محدب 25
شکل3-4: بررسی استراتژیکی CMLPSA در مورد طرح‌های غیرعملی 26
شکل4-1: سازه میشل 31
شکل4-2: سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت 32
شکل4-3: سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی 33
شکل4-4: توپولوژی نهایی سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 0/25% 33
شکل4-5: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت 34
شکل4-6: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 0/25% 35
شکل4-7: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 0/25% 35
شکل4-8: توپولوژی نهایی سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان1%و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% 36
شکل4-9: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% 36
شکل4-10: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% 37
شکل4-11: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% 38
شکل4-12: توپولوژی نهایی سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 1% 39
شکل4-13: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 1% 39
شکل4-14: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 1% 40
شکل4-15: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان 1% 40
شکل4-16: نمودار تغییرات حجم به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان مختلف 41
شکل4-17: نمودار تغییرات تنش سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 1% و پارامتر سرعت حذف المان مختل. 42
شکل4-18: توپولوژی نهایی سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 5% و سرعت حذف المان 0/5% 43
شکل4-19: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 5% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% .. 44
شکل4-20: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 5% و پارامتر سرعت حذف المان0/5% 44
شکل4-21: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای پارامتر اولیه حذف المان 5% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% 45

شکل4-22: توپولوژی نهایی سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 7/5% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5%.....45
شکل4-23: نمودار تغییرات حجم به ازای پارامتر اولیه حذف المان 7/5% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5%.....46
شکل4-24: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم سازه به ازای پارامتر اولیه حذف المان 7/5% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5%.....47
شکل4-25: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای پارامتر اولیه حذف المان 7/5% و پارامتر سرعت حذف المان 0/5% 47
شکل4-26: نمودار تغییرات حجم سازه با پارامتر اولیه حذف المان مختلف و پارامتر سرعت حذف المان 5/%.....48
شکل4-27: نمودار تغییرات تنش سازه با پارامتر اولیه حذف المان مختلف و پارامتر سرعت حذف المان 5/%.....48
شکل4-28: فرآیند تکاملی تا نیل به ساختار بهینه سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی30×15....50
شکل4-29: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی30×15.....51
شکل4-30: تغییرات مربوط به تنش فن‌مایزز المان‌ها در آغاز تحلیل سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی30×15.....51
شکل4-31: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی30×15.....52
شکل4-32: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی30×15.....52
شکل4-33: فرآیند تکاملی تا نیل به ساختار بهینه سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی40×20....53
شکل4-34: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی40×20.....54
شکل4-35: تغییرات مربوط به تنش فن‌مایزز المان‌ها در آغاز تحلیل سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی40×20.....54
شکل4-36: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی40×20.....55
شکل4-37: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی40×20.....55
شکل4-38: فرآیند تکاملی تا نیل به ساختار بهینه سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی50×25....56
شکل4-39: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی50×25.....57
شکل4-40: تغییرات مربوط به تنش فن‌مایزز المان‌ها در آغاز تحلیل سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی50×25.....57
شکل4-41: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی50×25.....58
شکل4-42: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی50×25.....58
شکل4-43: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی‌های مختلف.....59
شکل4-44: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی‌های مختلف.....59
شکل4-45: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی30×15 61
شکل4-46: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی30×15.....62
شکل4-47: تغییرات مربوط به تنش فن‌مایزز المان‌ها در آغاز تحلیل سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی30×15.....62

شکل4-48: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی30×15..63
شکل4-49: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی30×15.....63
شکل4-50: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی40×20.....64
شکل4-51: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی40×20.....65
شکل4-52: تغییرات مربوط به تنش فن مایزز المان‌ها در آغاز تحلیل سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی40×20.....65
شکل4-53: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی40×20...66
شکل4-54: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی40×20.....66
شکل4-55: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی50×25.....67
شکل4-56: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی50×25.....68
شکل4-57: تغییرات مربوط به تنش فن مایزز المان‌ها در آغاز تحلیل سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی50×25.....68
شکل4-58: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی50×25...69
شکل4-59: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی50×25.....69
شکل4-60: نمودار تغییرات حجم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی‌های مختلف.....70
شکل4-61: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی‌های مختلف.....70
شکل5-1: سازه سه بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت.....74
شکل5-2: سازه سه بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت دارای کمترین وزن.....75
شکل5-3: توپولوژی‌های سازه سه‌بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت در تکرارهای مختلف.....76
شکل5-4: نمودار تغییرات حجم سازه سه بعدی با چهار تکیه گاه ثابت.....77
شکل5-5: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه سه‌بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت.....77
شکل5-6: تغییرات تنش حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس سازه سه بعدی با چهار تکیه‌گاه ثابت.....78
شکل5-7: سازه سه‌بعدی با سه تکیه گاه غلتکی و یک تکیه گاه ثابت.....78
شکل5-8: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای سرعت حذف المان 0/25%.....79
شکل5-9: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت حذف المان 0/25%.....80
شکل5-10: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه به ازای سرعت حذف المان 0/25%.....81
شکل5-11: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای سرعت حذف المان 0/25%.....81
شکل5-12: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای سرعت حذف المان 0/5%.....82
شکل5-13: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت حذف المان 0/5%.....83
شکل5-14: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه به ازای سرعت حذف المان 0/5%.....84
شکل5-15: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم افزار انسیس به ازای سرعت حذف المان 0/5%.....84

شکل5-16: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای سرعت حذف المان 1% 85
شکل5-17:نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت حذف المان 1% 86
شکل5-18: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه به ازای سرعت حذف المان 1% 87
شکل5-19: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم افزار انسیس به ازای سرعت حذف المان 1% 87
شکل5-20: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت‌های حذف المان مختلف 88
شکل5-21: نمودار تغییرات تنش ماکزیمم و مینیمم سازه به ازای سرعت‌های حذف المان مختلف 88
شکل5-22: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای المان بندی14×14 90
شکل5-23: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای المان بندی14×14 91
شکل5-24: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای المان بندی14×14 91
شکل5-25: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم افزار انسیس به ازای المان بندی14×14 92
شکل5-26: فرآیند کاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای المان بندی16×16 93
شکل5-27: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای المان بندی16×16 94
شکل5-28: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای المان بندی16×16 94
شکل5-29: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای المان بندی16×16 95
شکل5-30: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت‌های المان بندی‌های مختلف 95
شکل5-31: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای المان بندی‌های مختلف 96
شکل5-32: سازه سه‌بعدی با دو تکیه‌گاه غلتکی و دو تکیه‌گاه ثابت 97
شکل5-33: فرآیند تکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای المان بندی 98
شکل5-34: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت‌های المان بندی10×10 99
شکل5-35: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای المان بندی10×10 99
شکل5-36: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای المان بندی10×10 100
شکل5-37: فرآیندتکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای المان بندی14×14 101
شکل5-38: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت‌های المان بندی14×14 102
شکل5-39: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای المان بندی14×14 102
شکل5-40: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای المان بندی14×14 103
شکل5-41: فرآیندتکاملی تا رسیدن به ساختار بهینه به ازای المان بندی16×16 104
شکل5-42: نمودار تغییرات حجم سازه به ازای سرعت‌های المان بندی16×16 105
شکل5-43: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای المان بندی16×16 105
شکل5-44: تغییرات تنش سازه حاصل از خروجی نرم‌افزار انسیس به ازای المان بندی16×16 106
شکل5-45: نمودار تغییرات تنش حجم سازه به ازای سرعت‌های المان بندی‌های مختلف 106
شکل5-46: نمودار تغییرات تنش مینیمم سازه به ازای سرعت‌های المان بندی‌های مختلف 107

فهرست جداول

جدول4-1: مقایسه تنش فن مایزز و حجم نهایی سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی 50×25 و در نظر گرفتن پارامتر حذف المان1%و سرعت رشد پارامتر حذف المان0/5%با روش ESO.....42
جدول4-2: مقایسه تنش ماکزیمم فن مایزز و حجم نهایی سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت به ازای المان بندی‌های مختلف با روش ESO.....60
جدول4-3: مقایسه تنش ماکزیمم فن مایزز و حجم نهایی سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی‌های مختلف با روش ESO.....71
جدول4-4: مقایسه تنش فن مایزز و حجم نهایی سازه میشل با دو تکیه‌گاه ثابت و غلتکی به ازای المان بندی50×25و در نظر گرفتن پارامتر حذف المان 1%و سرعت رشد پارامتر حذف المان 0/5%با روش ESO.....72
جدول5-1: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف برای سازه شکل 5-1.....76
جدول5-2: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای سرعت حذف المان0/25%.....80
جدول5-3: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای سرعت حذف المان0/5%.....83
جدول5-4: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای سرعت حذف المان1%.....86
جدول5-5: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای المان بندی14×14.....90
جدول5-6: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای المان بندی16×16.....93
جدول5-7: مقایسه تنش فن‌مایزز و کاهش حجم نهایی سازه به ازای المان بندی‌های مختلف با روش ESO 96
جدول5-8: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای المان بندی10×10.....97
جدول5-9: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای المان بندی14×14.....101
جدول5-10: حجم سازه در تعداد تکرارهای مختلف به ازای المان بندی× 16.....104
جدول5-11: مقایسه میزان تنش و کاهش حجم نهایی به ازای المان بندی‌های مختلف با روش ESO... 107

فصل اول

مقدمه

1-1- بهینه‌سازی سازه‌ها

بهینه‌سازی عبارتست از تعیین بهترین نتیجه یا خروجی ممکن برای یک عملکرد یا سیستم معین به نحوی که همزمان محدودیت‌ها و قیود را نیز برآورده کند. در واقع هر مسئله‌ای که در آن پارامترهای معینی برای محاسبه قیود لازم باشد، می‌تواند به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی رابطه سازی گردد. بنابراین محدوده کاربرد روش طراحی بهینه تقریباً بدون محدودیت است و تنها میزان توانایی و مهارت طراح آن را محدود می‌کند[1].

هدف مهندسان، طراحی سیستم‌هایی برای کاربردهای مهندسی خودرو، هوافضا، مکانیکی، ساختمانی، شیمیایی، صنعتی، برقی، مهندسی پزشکی، کشاورزی، دریایی، هسته ای و غیره است. در دنیای پررقابت امروز دیگر کافی نیست سیستمی طراحی کنیم که عملکرد آن مطابق آنچه می‌خواهیم باشد، بلکه لازم است آن سیستم بهترین باشد. بهترین سیستم به معنای سیستمی است کارآمد، همه‌جانبه، منحصر به فرد و مقرون به صرفه. این بدان معناست که اگر چه سیستم‌های متعددی می‌توانند وظیفه مشابهی را انجام دهند، ولی بعضی از آن‌ها از بقیه بهترند.

در بخش‌های گوناگونی از دنیای اطراف می‌توان سازه‌های بهینه‌شده را مشاهده نمود. به عنوان مثال در بدن ما بسیاری از استخوان‌ها و مفاصل به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با توجه به قیود و محدودیت‌های موجود، بهترین و مناسب‌ترین شکل، جنس و اندازه ممکن را متناسب با عملکرد خود دارا می‌باشند. در طبیعت برگ‌ها، میوه‌ها، حشرات و حیوانات هر یک به نوعی نشانگر طراحی بهینه برای محیط اطراف و کارکرد خاص خود هستند. در دنیای مهندسی نیز هنگام طراحی پل‌ها، هواپیماها و بسیاری ماشین‌آلات و ابزار دیگر، بهینگی سازه‌ای هدف مطلوبی است که به ندرت می‌توان به آن رسید [2].

انسان همواره علاقه‌مند به بهینه کردن محیط اطراف خود بوده است. به همین دلیل مطالعه بهینه‌سازی به عنوان یک مبحث علمی و توسعه رابطه سازی ریاضی آن اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. نخستین بار موضوع بهینه‌سازی برای تعیین مقادیر ماکزیمم و مینیمم فراگیر یک تابع پیوسته مطرح گردید. ولی با گذشت زمان مهندسان علاقه‌مند شدند که از این مفهوم نوین به منظور یافتن بهترین پاسخ در مسائل مهندسی

نیز استفاده کنند و موفق شدند اصول بهینه‌سازی را با یافته‌های تحلیلی خود ترکیب کرده، از آن‌ها برای بهینه‌سازی سازه‌ها و اجزای سازه‌ای استفاده کنند.

ماکسول[1] نخستین کسی بود که این دو مفهوم را در سال 1872 همزمان بکار برد[3]. کار او مینیمم کردن وزن خرپاهایی بود که نیرو در همه اعضای آن‌ها علامت یکسانی داشت. ولی این کار به اندازه کافی عمومی نبود تا قابل تعمیم به همه انواع سازه‌های خرپایی باشد. سی و دو سال طول کشید تا میشل[2] توانست اصول بنیادین تئوری خود را موسوم به" تئوری چیدمان بهینه[3]" معرفی کند[4].

فلسفه بهینه‌سازی سازه، تولید بهترین یا مناسب‌ترین طراحی مطابق با اهداف سازه می‌باشد. در مهندسی سازه، وظیفه سیستم‌های سازه تحمل بارهای مؤثر و معمولاً انتقال نیرو به تکیه‌گاه‌هاست. این سیستم‌ها، علاوه بر آن که باید ایمن و کارآ باشند، در عین حال بایستی از کمترین هزینه و به نوعی از کمترین مصرف مصالح برخوردار باشند. در بحث‌های مربوط به المان محدود، بهینه‌سازی شکل به عنوان یک چالش اساسی نیازمند تغییر موقعیت گره‌ها در مدل المان محدود یا حذف المان با شرط پیوستگی سازه می‌باشد[5]. معمولاً در صورتی که ایجاد حفره در طول فرآیند بهینه‌سازی مجاز باشد، این فرآیند بهینه‌سازی توپولوژی نامیده می‌شود. تحقیقات انجام گرفته بیانگر اینست که بهینه‌سازی توپولوژی، کارایی سازه را به طور وسیعی بهبود می‌بخشد [6] .دانشمندان بسیاری در صد سال گذشته روی بهینه‌سازی سازه‌ها کار کرده‌اند که از قابل‌توجه‌ترین آن‌ها می‌توان به کار همپ[4][7] اشاره کرد.

به موازات تئوری چیدمان بهینه، بهینه‌سازی محاسباتی مسائل سازه‌ای نیز توسعه پیدا کرد[8]. هرچند که این روش‌ها برای مسائل نسبتا کوچک و ساده مناسب می‌باشند، ولی مسائلی که به وسیله روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی محاسباتی حل شده‌اند، پاسخ‌های استانداردی برای مقایسه نتایج حاصل از روش‌های دیگر بهینه سازی فراهم آورده‌اند.

1-Maxwell
2-Michell
3-Optimal layout theory
4-Hemp

پیشرفت تکنولوژی رایانه این امکان را برای محققان فراهم آورد تا محاسبات ریاضی را با روش‌های چرخه‌ای نسبتا ساده‌تر و در مدت زمان معقول‌تری انجام دهند. با ترکیب روش‌های بهینه‌سازی و روش‌های عددی تحلیل سازه‌ها مانند روش اجزای محدود یا روش مرز محدود، روش‌های سریع‌تر و کاراتری ارائه شده‌اند. یکی از این روش‌ها روش تحلیل حساسیت شکل[1] می‌باشد. در این روش سازه با استفاده از المان‌های هم پارامتر[2] تقسیم‌بندی می‌گردد. سپس پارامتر حساسیت در هر المان محاسبه شده، برای اصلاح بردارهای مختصات سازه استفاده می‌شود.

توسعه روش همگن‌سازی[3] توسط بندسو[4][9] پیشرفت مهمی در بهینه‌سازی سازه‌ها بود. این روش قادر است همزمان دو کار انجام دهد: هم پیکره[5] سازه و خم ریز ساختارهای ماده تشکیل‌دهنده سازه را مشخص کند. این کار با مینیمم کردن کامپلیانس[6] سازه با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی درجه دو، با فرض چگالی ماده در هر المان به عنوان متغیر طراحی انجام می‌شود.

در سال 1992 روش جدیدی برای بهینه‌سازی سازه‌ها به وسیله ژای[7] و استیون[8] ارائه گردید که روش بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها[9] یا ESO نامیده شد[3]. پایه این روش حذف تدریجی المان‌های کم تنش یا غیرضروری از دامنه ماکزیمم اولیه سازه در یک روش تکاملی بود. محصول نهایی این روش، سازه‌ای با توزیع تنش یکنواخت می‌باشد. از آن زمان تاکنون کاربردهای روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها به شدت افزایش یافته است، ولی همچنان راهی طولانی تا رسیدن به مرحله‌ای که بتوان از آن به عنوان یک ابزار مهندسی استفاده کرد وجود دارد. گام‌های اولیه توسعه روش بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها برای اثبات کارآیی این روش، با تحلیل مسایل کلاسیک دارای یک بارگذاری صورت گرفت. پس از اثبات کارآیی و دقت روش به وسیله ژای و استیون [10-14]، از آن در مسائل متداول‌تر استفاده شد. دیگران در مسائل دارای چند

1-Shape sensitivity analysis
2-Isoparametric elements
3-Homogenization
4-BendesØe
5-Toplogy
6-Compliance
7-Xie
8-Steven
9-Evolutionary Structural Optimization

بارگذاری [14] و در مسائل دینامیک [15] از روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها استفاده کردند پس از آن روش بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها در طراحی کامپوزیت‌ها به وسیله ریسپلر[1] و دیگران و طراحی قطعات تعمیری هواپیما به وسیله استیون و دیگران استفاده شد. سپس چاو[2] و دیگران [16] از قید سختی به عنوان معیار بهینگی در روش بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها استفاده کردند.

با گذشت زمان کاربرد بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها در مسایل کمانش به وسیله مانیکاراجا[3]، جابجایی، فرکانس طبیعی به وسیله ژائو[4]، مرزهای متحرک[5] به وسیله استیون و دیگران [1] و رفتار غیرخطی سازه به وسیله کوئرین[6] [17] مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که ممکن است معادلاتی که یک پدیده را توصیف می‌کنند بسیار پیچیده باشند، این‌گونه معادلات برای استفاده عملی باید ساده‌سازی گردند. روش بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها از این‌گونه ساده‌سازی‌ها برای استفاده از معادلات حاکم بر پدیده‌های مکانیکی شکل توسعه یافته استفاده می‌کند. روش کلاسیک BESO، بهینه‌سازی تکاملی دو جهتی سازه‌ها[7] یا بهینه‌سازی تکاملی سازه‌ها است که از افزودن المان نیز در کنار حذف المان استفاده می‌کند به عبارت دیگر این روش به صورت اضافه کردن المان‌های مؤثر و کارآ و حذف المان‌های ناکارآ در ساختار مینیمم اولیه را در حل مسائلی با قیود تنش، کرنش، تغییر مکان BESO سازه می‌باشد[3]. ژای و استیون قدرت روش BESO را در حل مسائلی با قیود تنش، کرنش، تغییر مکان و فرکانس اثبات کرده‌اند[18]. اخیراً نیز با معرفی روش کنترل مرز[8] اثربخشی و کارآیی روش برای حل مسائل بهینه‌سازی همزمان شکل و ساختار بهبود داده شده شده است[19].

الگوریتم تبرید تدریجی چند نقطه‌ای - چند سطحی (CMLPSA) یکی از مدل‌های جدید اصلاح‌شده الگوریتم تبرید تدریجی می‌باشد[20]. طرح‌های کاندیدا در این روش برای قرار گرفتن روی جهات تولیدی

1-Rispler
2-Chau
3-Manickarajah
4-Zha
5-Moving boundaries
6-Querin
7-Bidirectional Evolutionary Structural Optimization
8-Perimeter control

انتخاب می‌شوند[21,22]. مکانیسم ادغام متغیرهای طراحی توافق شده در CMLPSA به منظور استفاده از روش‌های درست برای گسترش تابع هدف فعلی اصلاح شده است. در حقیقت ادغام متغیرها به گونه‌ای است که سرعت تغییرات آشکار شده توسط تابع هدف را دنبال کند و جابه‌جایی طرح‌های غیرعملی متوسط نیز بهبود یابد[20]. به نظر می‌رسد که ترکیب الگوریتم CMLPSA مزایای بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر الگوریتم SA دارد. در وهله اول هر طرح تولیدشده توسط CMLPSA می‌تواند به طور موثر طرح بهینه فعلی را بهبود دهد. ثانیاً می‌تواند استراتژی جستجوی پایه‌ریزی شده روی همگرایی فعلی را تغییر دهد (طرح‌های عملی، جزئی و یا شدیداً غیرعملی متوسط). ثالثاً CMLPSA همگرایی محلی دامنه قیدها را بررسی می‌کند[20]. این بررسی به طور چشمگیر احتمال عبور از مینیمم محلی را بدون استفاده از هیچ معیار احتمال افزایش می‌دهد. در نهایت این عمل به طور چشمگیر خطر همگرایی زودرس را کاهش می‌دهد[23,24].

1-2- ساختار پایان‌نامه

هدف این پایان‌نامه تحقیقی بر کارآیی، انطباق و پیاده‌سازی الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد به عنوان روشی برای بهینه‌سازی طرح و استحکام سازه‌ها و مقایسه نتایج حاصل می‌باشد. فصل دوم به معرفی روش‌های بهینه‌سازی سازه‌ها اختصاص دارد و ضمن تبیین اصول بهینه‌سازی سازه‌ها به معرفی روش‌های مختلف بهینه‌سازی سازه‌ها پرداخته شده است. در فصل سوم به معرفی روش الگوریتم تبرید تدریجی و سپس الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد، پارامترها و روابط تعریف شده در آن پرداخته شده است. در فصل چهارم و پنجم به ترتیب به کاربرد روش الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد در بهینه‌سازی طرح و استحکام سازه‌های دوبعدی و سه بعدی پیوسته با ارائه مثال‌های مختلف بررسی شده و تغییر عوامل مختلفی از قبیل شرایط تکیه‌گاهی، المان بندی و پارامترهای حذف المان مطالعه شده است. در فصل آخر نتایج حاصله و راهکارهای پیشنهادی برای ادامه کار ارائه شده است. در پیوست موجود در انتهای این پایان‌نامه، برنامه‌ها و کدهای نوشته شده برای پیاده‌سازی الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد آورده شده است.