فصل اول

مقدمه

فصل اول: مقدمه

۱-۱مقدمه

بدست آورن بهترین نتیجه ممکن برای یک مساله با توجه به شرایط حاکم بر آن را بهینه سازی گویند. امروزه در طراحی، ساخت و نگهداری هر سیستم کلیهٔ مهندسان باید تصمیمات مدیریتی و تکنولوژیکی متعددی را در مراحل مختلف اتخاذ کنند. هدف نهایی چنین تصمیماتی، کمینه کردن انرژی لازم، برای به دست آوردن بیشترین سود ممکن خواهد بود. میزان تلاش یا سود مورد نظر در هر وضعیت عملی را می‌توان به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم گیری (طراحی) مشخص بیان کرد. بنابراین، می‌توان بهینه سازی را به عنوان فرایند یافتن شرایطی که مقدار بیشینه و یا کمینه یک تابع را به دست می‌دهد، تعریف نمود. اهمیت طراحی سازه‌های با وزن مینیمم، اولین بار توسط صنایع هوا-فضا مورد توجه قرار گرفت که در آن‌ها طراحی سازه های هواپیما بیشتر با وزن آن کنترل می‌شد و هزینه آن در نظر گرفته نمی شد. در دیگر صنایع مربوط به سیستم‌های مهندسی ساختمان، مکانیک و خودرو، ممکن 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 سازه‌های سبک، کارا و ارزان قیمت شده است. این خواست به نوبه خود بر ضرورت آگاهی یافتن مهندسان از فنون بهینه‌سازی وزن و هزینه های سازه‌ها تاکید می‌کند.

از آن‌جایی که برای حل مناسب همه مسائل موجود در بهینه سازی روش یکتایی وجود ندارد، از سال ۱۹۴۰ تاکنون روش‌های بهینه‌سازی متعددی مطرح شده‌اند که به عنوان روش‌های کلاسیک شناخته می‌شوند. بهینه کردن تابع هدف در بیشتر روش‌های کلاسیک بهینه سازی، توالی معینی از محاسبات را دارا می‌باشند. این روش‌ها یک نقطه از فضای جستجو را برای شروع در نظر می‌گیرند و به تدریج در میان صعودی‌ترین یا

نزولی‌ترین ناحیه ها بهبود می‌یابند. این شیوه نقطه به نقطه، مشکل اساسی قرار گرفتن در یک نقطه بهینه محلی[1] را به وجود می‌آورد. ساده ترین راه برای بدست آوردن یک جواب محلی بهتر، این است که بهینه سازی از نقاط اولیه متفاوتی که به شکل تصادفی انتخاب شده‌اند، تکرار شده تا جواب‌های دیگر نیز بررسی و مقایسه شوند. با این وجود، برای مسائلی که تعداد زیادی متغیر دارند امکان عدم دست‌یابی به مینیمم فراگیر[2] زیاد است مگر آن‌که فرآیند جستجو از نقاط اولیه متفاوت در تعداد دفعات زیادی انجام شود.

امروزه روش‌های عددی نظام مندی برای بهینه سازی تدوین شده است که به عنوان ابزارهایی کارا در حل بسیاری از مسائل بهینه سازی که در جستجوی مینیمم فراگیر هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این الگوریتم ها اکثرا الهام گرفته از مشاهدات پدیده هایی طبیعی‌اند و در پیاده سازی آن‌ها از فرایند انتخاب تصادفی استفاده می‌شود. در ادامه چند نمونه از این روش‌ها ذکر شده‌اند:

۱. باز پخت فلزات (Simulated Annealing)
۲. جامعه مورچگان (Ant Colony)
۳. هزینه تصادفی (Random Cost)
۴. استراتژی تکاملی (Evolution Strategy)
۵. الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm)

یکی از این روش‌های عددی الگوریتم ژنتیک[3] است. این الگوریتم بر اساس اصول تکامل طبیعی پایه گذاری شده است و رازهای سازش پذیری و بقاء بهترین آموزنده‌ای‌ست که می‌توان از مطالعه دقیق روی مثال‌های زیست شناسی به آن رسید. (Deb, 1993)

[1] Local Optimom
[2] Global
[3] Genetic Algorithm

در مهندسی عمران بهینه سازی سازه از اهمیت خاصی برخوردار است یکی از روش‌هایی که اخیرا برای بهینه سازی پیشنهاد شده است، روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها[1] یا ESO نامیده می‌شود. این روش، به منظور استفاده بهینه از مصالح، مصالح سازه را باز توزیع می کند. در این روش، حرکت تدریجی از سازه اولیه به سمت سازه بهینه صورت و با در نظر گرفتن کلیه شرایط حاکم بر سازه از قبیل شرایط ساختگاهی، تکیه گاهی، بارگذاری و... با حذف یا انتقال تدریجی مصالح غیر لازم، شکل نهایی آن ارایه و سازه به سمت بهترین نوع توزیع (مثل توزیع تنش یا ابعاد) سوق داده می‌شود. به عبارتی این توزیع به نحوی انجام می‌گیرد که مصالح از نقاط قوی تر با کارایی کمتر به نقاط ضعیف‌تر باکارایی بیشتر انتقال یافته و سازه با توجه به عملکرد مورد نظر، قابلیت بالاتری نسبت به طراحی اولیه داشته باشد. تاکنون دیدگاه‌ها و نظریات مختلفی در مورد روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها ابراز شده است. در این میان بعضی از پژوهشگران به انتقاد از این روش پرداخته و آن را در تولید ساختار بهینه ناکارا معرفی می کنند و ادعا می‌کنند روش بهینه سازی تکاملی سازه ها همیشه به جواب مطلوب منجر نمی‌شود و بعضی مواقع جواب های فوق‌العاده غیر بهینه و محلی تولید می‌کند. زیرا حذف مواد بدون در نظر گرفتن پتانسیل آن‌ها در مراحل بعد صورت می‌گیرد یعنی المان‌هایی که شاید نیاز داشته باشند در تکرارهای بعدی، معیارهای بهینگی برای آن‌ها کنترل گردد، دائما حذف می‌شوند. از این رو، روش BESO[2] امکان اضافه کردن المان ها به سازه را می‌دهد ولی نمی‌تواند بهینگی را تضمین کند. برای غلبه بر این مشکل، الگوریتم ژنتیک (GA) که یک روش جستجوی کلی می‌باشد، با روش ESO در قالب یک الگوریتم جدید ترکیب شده که (GESO)[3] نامیده شده و از رفتار عالی الگوریتم ژنتیک در جستجوی پاسخ‌های کلی بهره برده است. GESO، که احتمال و مکانیزم رقابت در یک فرایند ESO را ترکیب می‌کند، می تواند از به وجود

[1] Evolutionary Structural Optimization
[2] Bi-directional evolutionary topology optimization
[3] Genetic Evolutionary Structural Optimization

امدن این مشکل، جلوگیری کند، در این تحقیق از این الگوریتم برای بهینه سازی توپولوژی صفحه استفاده می‌شود.

دو هدف اصلی در این نوشته دنبال خواهد شد . نخست در حد امکان و به اختصار برخی از ویژگی های روشهای بهینه سازی سازه ها ارائه می شود . هر چند مطالب درج شده کلی است برای تحلیل و طراحی بهینه سازه های رشته ای و پیوسته کار برد دارد ، در بیشتر موارد ، بحث متمایل به بهینه سازی شکل سازه ها است . هدف دوم ، استفاده از یک روش نو برای بهینه‌سازی مسئله کشسان دو بعدی است . در این راستا ، روابط مورد نیاز به دست می آید و به همراه چند مثال عددی به نظر مخاطبان می رسد . با این تجربه عددی ، کاربرد روش روشن خواهد شد .

فصل دوم

بررسی منابع

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱-بررسی منابع

بهینه سازی شکل[1] و توپولوژی[2] سازه‌های پیوسته، در سال‌های اخیر زیاد مورد توجه قرار گرفته است. بهینه سازی شکل سازه تلاشی است در جهت رسیدن به شکل بهینه یک محیط پیوسته یا گسسته برای مینیمم یا ماکزیمم کردن معیاری که اغلب تابع هدف نامیده می‌شود. بهینه سازی توپولوژی به معنی یافتن تعداد، محل و شکل حفره های موجود در فضای طراحی است به گونه ای که تابع هدف بهینه شود. به عبارت دیگر بهینه سازی توپولوژیکی را می‌توان به عنوان روشی جهت توزیع بهینه جرم در فضای طراحی تعریف کرد که در نهایت ضمن در نظر گرفتن قیود حاکم بر مسئله، به ساختار مناسب دست می‌یابد. بهینه سازی توپولوژیکی با مطالعات مایکل بر روی انواع خرپاها آغاز شد ودر سال های بعد با ارائه روش هایی بر پایه ریاپیات این نوع بهینه سازی به شکل گسترده تری مورد استفاده قرار گرفت. هر چند که این روش‌ها برای مسائل بزرگ با ابعاد واقعی چندان کار آمد نبودند، اما در مقابل روش‌های دیگر مانند معیار بهینگی که به صورت غیر مستقیم به حل یک مسئله بهینه سازی می‌پرداختند، توانایی خود را در زمینه حل مسائل بهینه سازی توپولوژی با ابعاد واقعی و قیود زیاد اثبات نمودند. بهینه سازی توپولوژی سازه‌ها را می‌توان به طور عمده به دو بخش تقسیم کرد: دسته نخست بهینه سازی سازه های خرپایی است که ماهیت ناپیوسته دارند و حجم ماده مصرف شده نسبت به کل حجم سازه در آن‌ها بسیار کم است (مسائل با نسبت حجمی پایین). دسته دوم بهینه سازی توپولوژیک سازه‌های پیوسته[3] است که ماهیت پیوسته و نسبت حجمی بالا دارند. مسائلی که با سازه‌های خرپایی سرو کار دارند، به دلیل طبیعت ناپیوسته مسئله، ساده‌تر از مسائل دسته دوم هستند و به همین دلیل تحقیقات انجام شده در این زمینه بسیار قدیمی‌تر هستند. در مقابل تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی بهینه سازی توپولوژیک سازه‌های پیوسته، به

[1] Size
[2] Topology
[3] Continuum Structurers

دلیل پیچیدگی نسبی این گونه مسائل، عمری کمتر از ۳۰ سال دارند. اصول اولیه‌ی بهینه سازی توپولوژیک سازه‌های خرپایی، در حدود یک قرن پیش توسط Michell (۱۹۰۴) بیان شد. اما نخستین کارهای عددی در این زمینه توسط Gomory, Greenberg, Dorn (۱۹۶۴) انجام گرفت. آن‌ها نشان دادند که مسئله‌ی یافتن سبک‌ترین خرپا تحت اثر یک بار تنها در حالت‌های خاصی می‌توان با برنامه‌ریزی خطی حمل کرد. پس از آن رزوانی کارهای Michell را توسعه داد (۱۹۷۲) سپس با همکاری Prager (۱۹۷۷) اصول اولیه نظریه ساختار بهینه را ارائه کردند.

در زمینه بهینه سازی توپولوژیک سازه‌های پیوسته، به عنوان نخستین کار تحقیقاتی، می توان به مقاله، Cheng و Olhoff (۱۹۸۱) اشاره کرد که به بهینه سازی ورق‌های الاستیک اختصاص داشت. برای یافتن طرح بهینه ورق‌های سوراخ‌دار در حالت تنش صفحه‌ای، برخی از ریاضی دانان ریز سازه‌های[1] بهینه را مورد بررسی قرار دادند (Lurie- ۱۹۸۲، Kohn- ۱۹۸۶، Vigdergauz- ۱۹۸۶). اولین حل دقیق تحلیلی برای ورق‌های سوراخ دار، و همچنین بیان صحیح تانسور[2] سختی در ریز سازه های بهینه، توسط Rozvany و همکارانش (۱۹۸۷) ارائه شد.

به طور کلی روش‌های بهینه سازی توپولوژیکی سازه های پیوسته را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم نمود. گروه اول روش‌های بر پایه ریاضیات بوده و گروه دوم، روش‌های تکاملی[3] و شهودی می‌باشد. Hafka و Granhi (۱۹۸۶) یک بررسی بر روی بهینه سازی شکل سازه انجام دادند که در ان روش تغییرات مرزی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفت. در صورت استفاده از این روش در بهینه سازی شکل، مش بندی المان محدود[4] مدل در طی فرایند بهینه سازی تغییر کرده و اغلب نیازمند یک مش بندی جدید می‌باشد. از انواع

[1] Micro Structuers
[2] Tensor
[3] Evolutionary
[4] Finit Element

روش‌های مطرح بر پایه ریاضیات می‌توان به روش‌های همگن‌سازی[1] (Bendsoe ،۱۹۸۸ و Kikuchi) و روش Simp[2] (Bendsoe ،۱۹۸۹) اشاره نمود. روش همگن سازی از یک فضای طراحی اولیه ثابت استفاده می‌کند که به تعداد معینی سلول تقسیم شده که هر یک از آن‌ها به عنوان یک ریز سازه محسوب می‌شوند و می‌توانند خصوصیات مربوط به خود را داشته باشند. در این روش که امروزه یکی از متداول‌ترین روش‌های بهینه سازی توپولوژی سازه‌هاست، برای بیان توپولوژی، چگالی نسبی به عنوان تابعی از مختصات مسئله تعریف می‌شود و در نقاط مختلف محدوده‌ی طراحی بین یک و صفر تغییر می‌کند. چگالی نسبی یک و صفر به ترتیب به معنی وجود و عدم وجود ماده تفسیر می‌شوند. در این روش برای تحلیل مسئله معمولا از روش اجزای محدود استفاده می شود و چگالی نسبی در هر المان ثابت فرض می‌شود. به این ترتیب چگالی نسبی المان‌ها متغیرهای طراحی خواهند بود و نیازی به تغییر در شبکه‌ی المان ها نیست. این روش ضمن اینکه نتایج قابل توجهی را ارئه می‌نماید اما دارای نقاط ضعفی از قبیل همگرا شدن به جواب‌های بهینه محلی، روابط نسبتا پیچیده ریاضی و پیدایش نواقصی از قبیل چکربوردها[3] و نواحی خاکستری در نتایج آن می‌باشد هر چند که در سال‌های بعد فیلترهای مختلف جهت حداقل کردن این مشکلات ارائه گردید. Suzuki و Kikuchi (۱۹۹۱) روش همگن سازی را برای یافتن توپولوژی و شکل بهینه مسائل تنش مسطح[4] بکار بردند. روش ریز سازه‌های ایزوتروپیک جامد با تابع جریمه که به روش Simp موسوم است به طور گسترده‌ای در حل مسائل مختلف مورد استفاده قرار قرار گرفت. یکی از مزیت‌های این روش حداقل شدن پوشش ناقص مواد در ریز سازه‌ها و حداقل شدن پیدایش نواحی خاکستری در نتیجه بود، هر چند نتایج بدست امده از این روش نیز تا حدودی به مقدار توان مورد استفاده در تابع جریمه وابسته می‌باشد.

[1] Homogenization Method
[2] Solid Isotropic Microstrutures whit Penalty
[3] Checker board
[4] Plane Stress

پیچیدگی روابط ریاضی و برخی دیگر از مشکلات فوق منجر به ارائه روش‌های تکاملی گردید. روش‌های تکاملی با حذف تدریجی مواد زائد از فضای طراحی به جواب مورد نظر دست می‌یابند. از جمله روش های تکاملی می‌توان به مواردی از قبیل حداکثر تنش طراحی[۱]، مرگ نرم[۲]، افزایش معکوس[۳] و بهینه سازی تکاملی سازه‌ها اشاره کرد. روش‌های تکاملی دارای مزایایی از قبیل سهولت نسبی در برنامه نویسی و درگیر نشدن با روابط پیچیده ریاضی، عدم پیدایش نواحی خاکستری و نزدیک بودن قابل توجه نتایج بدست امده با نتایج تحلیلی می‌باشد. در سال ۱۹۹۳ یک روش بهینه سازی شکل و توپولوژی بنام ESO توسط Xie و Steven ارائه شد. این روش بر اساس حذف مصالح ناکارآمد از سازه با یک اسلوپ معین، بعد از هر تحلیل المان محدود عمل می‌کند بطوریکه کیفیت طراحی حاصل به تدریج بهبود می‌یابد. از نکات قابل توجه دیگر این روش، در تحلیل المان محدود مسئله بوده که علی‌رغم تکرار در هر مرحله، نیاز به المان بندی مجدد فضای طراحی[۴] نمی‌باشد ملاک های حذف المان بر اساس آنالیز حساسیت[۵] تعیین می‌شوند. گام‌های اولیه برای اثبات کارایی روش ESO با تحلیل مسائل کلاسیک دارای یک بار گذاری[۶] مشخص، صورت گرفت. پس از اثبات کارایی این روش، Xie و Steven از آن مسائل دارای چند بارگذاری (۱۹۹۴) در مسائل دینامیک (۱۹۹۴) استفاده کردند. Chu و همکاران (۱۹۹۶) از قید سختی به عنوان معیار بهینگی در روش ESO برای بهینه سازی شکل و توپولوژی سازه‌های پیوسته استفاده کردند. کاربرد روش ESO در مسائل کمانش صفحات به وسیله Manickarajah و همکاران (۱۹۹۵) ارائه شد. فرکانس[۷] طبیعی سازه‌های پیوسته به وسیله Zhao و همکاران (۱۹۹۶) مورد بررسی قرار گرفت. فرکانس یک سازه می‌تواند با حذف قسمتی از مصالح از طرح بر اساس آنالیز

[1] Fully Stress Design
[2] Soft kill
[3] Reverse Adaptivity
[4] Design domain
[5] Sensivity Analysis
[6] Multiple Objective load case
[7] Frequency

حساسیت، به سوی یک مسیر مطلوب انتقال یابد. Querin (۱۹۹۷) روش بهینه سازی تکاملی دو سویه[1] را برای بهینه سازی توپولوژیک سازه‌ها پیشنهاد داد که علاوه بر حذف المان‌ها، اجازه اضافه شدن ان‌ها به سازه را نیز می‌دهد. این روش کارایی خود را حل مسائل تنش- مبنا[2] با قیود سختی، جابجایی و فرکانس نشان داده است. BESO دو مزیت عمده نسبت به ESO دارد: اول اینکه بر خلاف ESO قادر است المان‌هایی که نابهنگام حذف شده‌اند را بازیافت نماید. دوم اینکه به محاسبات کمتری نیاز دارد.

Querin (۲۰۰۰) روش بهینه سازی تکاملی افزاینده در سازه ها[3] موسوم به AESO را ارئه کرد. این روش بر خلاف روش ESO بوده که از یک حداقل سازه اولیه که امکان تحلیل المان محدود آن وجود داشته باشد، آغاز شده و در هر مرحله در نقاط مورد نظر سازه نسبت به اضافه کردن مواد اقدام می‌نماید و این امر در حالی است که هیچ گونه حذف مواد صورت نمی‌گیرد.

استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی به طور خاص توسط جان هلند (۱۹۷۵) و با انتشار کتاب تطبیق سیستم های طبیعی و مصنوعی به وجود امد. وی یک چارچوب فرمول بندی شده به نام نظریه مدل هلند در مورد پیش بینی کیفیت نسل بعدی معرفی نمود. در سال ۱۹۸۰ اولین کنفرانس بین المللی در مورد الگوریتم ژنتیک در پترزبورگ پنسیلوانیا برگزار گردید و از این تاریخ به بعد رساله و مقاله‌های بسیاری در تایید این الگوریتم ارائه شد که می‌توان به بهینه سازی پیکره یخرپا توسط Hajela (۱۹۹۵) با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی توسط Rajeev, Krishnamurthy (۱۹۹۲)، بهینه سازی خرپا توسط Ohsaki (۱۹۹۵)، بهینه سازی سازه های فضاکار توسط Adeli , Cheng (۱۹۹۳) اشاره نمود. در حقیقت قدرت این الگوریتم در پیدا کردن جواب های کلی،این الگوریتم را نسبت به سایر الگوریتم ها متمایز نموده است.

[1] Bi-directional evolutionary topology optimization
[2] Stress-base
[3] Adaptiva Evolutionary Structural Optimization

۲-۲-مقایسه الگوریتم ژنتیک و دیگر شیوه های مرسوم بهینه سازی

با توجه به مطالب گفته شده، مشخص است که بین الگوریتم ژنتیک و اکثر شیوه های مرسوم جستجو و بهینه سازی تفاوت قابل توجهی وجود دارد. چهار تفاوت عمده به قرار زیراند:

۱. الگوریتم ژنتیک همزمان با یک مجموعه از نقاط جستجو می کند نه با یک نقطه تنها.
۲. الگوریتم ژنتیک از قوانین احتمال پیروی می‌کند مه از قوانین طبیعت.
۳. الگوریتم ژنتیک بر روی یک مجموعه از خواص کد شده عمل می‌کند و نه بر روی مقادیر اصلی آن‌ها (بجز در مواردی که از نمایش حقیقی در رشته‌ها استفاده می شود).
۴. الگوریتم ژنتیک به مشتق گیری و یا هر گونه اطلاعات کمکی نیازی ندارد و تنها تابع هدف و شیوه تعیین برازش از اطلاعات خام، جهت جستجو را مشخص می‌کنند.

نکته قابل توجه این است که الگوریتم ژنتیک یک مجموعه از جواب‌های بالقوه را ارائه می دهد و انتخاب جواب نهایی بر عهده کاربر است. در مواردی که مساله جواب واحدی ندارد، (مثل بهینه سازی چند هدفه[1])، الگوریتم ژنتیک برای مشخص کردن همزمان جواب‌ها مفید خواهد بود (باوی و منوچهری- ۱۳۸۹).

در دهه های اخیر استفاده از الگوریتم های هیبرید[2] نیز به عنوان ابزارهای بهینه یابی قدرتمندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. Liu و همکارانش ۲۰۰۷) روش جدید را برای بهینه سازی سازه‌ها ارائه دادند که آن را GESO نامیدند. در واقع این روش از تلفیق عملگرهای الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی تکاملی سازه بدست آمد. لئو و همکارانش از سختی به عنوان معیار بهینگی استفاده نمودند. GESO یک روش تجربه یافت[3] بوده و بیشتر از

[1] Multi Objective Optimization
[2] Hybrid
[3] Heuristic

اینکه حذف یا اضافه کردن المان ها در ان به طور قطعی و غیر احتمالی (مثل ESO و BESO) باشد، المانی که معیارهای حذف را برآورده می‌کند با شانسی بر اساس مکانیزم احتمالی[1]، در نسل های تکاملی، حذف یا ذخیره می‌شود.

روش ESO، یک روش جستجوی محلی است. با معرفی عملگرهای الگوریتم ژنتیک به ESO که یک روش جستجوس کلی می‌باشد، یک الگوریتم تکاملی جدید به نام GESO به وجود می‌آیدکه در جستجوی جواب‌های کلی، موفق‌تر از ESO عمل می‌کند. همچنین سرعت همگرایی آن به مراتب بیشتر از ESO است و فقط با چندین بار اجرای برنامه، به جواب بهینه مورد نظر می‌رسد. در واقع فرایند جهش[2] و تقاطع[3] در روش GESO، این الگوریتم را برای پیدا کردن جواب‌های کلی، یاری نموده است. بنابراین، می توان گفت روش GESO، در مقایسه با روش بهینه سازی تکاملی سازه، روشی کارا و جایگزینی مناسب می‌باشد.

با توجه به این که حجم کار انجام شده با استفاده از این الگوریتم بسیار کم می‌باشد، در این تحقیق سعی می‌شود با ارائه چند مثال از بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌های مسطح کارایی این روش بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

۲-۳-کارایی روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها در تولید ساختار بهینه

آنچه در اصطلاح به روش‌های حذف سخت[4] مشهور است، ساختار بهینه‌ی سازه را با حذف المان‌هایی که کم‌ترین تاثیر را در ساختار سازه دارند در طی چندین مرحله تولید می‌کند که این حذف بر اساس معیارهایی مانند تنش ون-میزز[5]، کامپایانس[6] (از کار انجام شده توسط نیروهای خارجی به عنوان کامپلیانس یاد می‌شود که این انرژی دو برابر کار انجام شده توسط نیروهای خارجی است). و یا دیگر معیارها انجام می‌گیرد. به علاوه در

[1] Probabilistic Mechanism
[2] Mutation
[3] Crossover
[4] Hard-Kill
[5] Von mises stress
[6] Compliance

ساختار جدید المان‌هایی که در اطراف المان حذف شده قرار گرفته‌اند، میزان بیشتری از تنش و یا انرژی کرنشی (با توجه به معیار حذف) را تحمل می‌کنند.

روش ذکر شده در بالا در نظریه رشد تطابقی بیولوژیکی (Mattheck، ۱۹۹۰) استفاده گردید. روش مشابه دیگری به نام بهینه سازی تکاملی سازه ها (ESO) توسط Xie و Steven (۱۹۹۲) معرفی گردید. از آنجائیکه روش ESO تنها مجاز به حذف المان‌ها بود، نسخه بهبود یافته آن به نام روش بهینه سازی تکاملی دو جهته سازه‌ها (BESO) توسط Querin (۱۹۹۷) معرفی گردید که در آن افزودن المان در کنار حذف المان نیز مجاز می‌باشد. روش ESO بر اساس یک نظریه‌ی ادراکی می‌باشد و بر پایه‌ی تابع هدف خاص و تعیین شده‌ای عمل نمی‌کند.

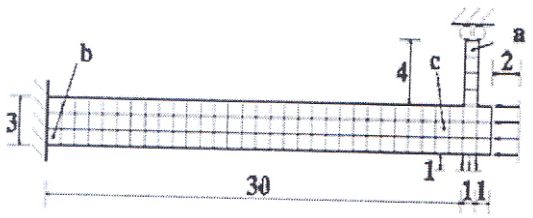
Zhao و Rozvani (۲۰۰۱) با بررسی یک مثال ساده نشان دادند که روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها و همچنین حالت دو جهته آن همیشه به جواب مطلوب منجر نمی‌شود و بعضی مواقع جواب‌هایی فوق‌العاده غیر بهینه تولید می کند.

در بررسی اولیه مشخص شد که آن‌ها در حل خود مرتکب اشتباه کوچکی شده‌اند که باعث گردیده ساختار اولیه ساز مورد بررسی کاملا تغییر ماهیت داده و به سازه دیگری تبدیل گردد. با حل مجدد مساله و اجتناب از خطای صورت گرفته، نشان داده که در مساله مورد نظر روش ESO و همچنین BESO منجر به تولید جواب بهینه می‌شوند و نتایج حاصله با نتایجی که از روش های دیگر بهینه سازی توسط دیگران انجام گرفته بود مطابقتو هم خوانی داشت. بررسی مشابهی توسط Huang و Xie (۲۰۰۷) انجام شد و آن ها نیز نشان دادند که با حفظ ساختار اصلی مساله و نوع شرایط مرزی[1]،استفاده از روش‌های ESO و BESO به ساختار بهینه می‌انجامد.

[1] Boundary Condition

۲-۳-۱-خطای صورت گرفته در تحلیل

شکل (۱-۲) یک مساله ساده بهینه سازی ساختاری را نشان می‌دهد که کامپلیانس کل آن برای نسبت‌های حجمی مختلف باید کمینه گردد. سازه در سمت چپ توسط تکیه گاه گیردار و در قسمت فوقانی توسط یک تکیه گاه غلتکی مقید شده است. ضریب الاستیسیته برای این سازه مقدار ۱ انتخاب گردیده و میزان ضریب پواسون هم برابر صفر می‌باشد. ضخامت المان‌ها می‌تواند مقدار یک و یا صفر انتخاب گردد. نیرویی به میزان ۱ واحد به صورت افقی به صورت نشان داده شده در شکل (۲-۱) به سازه اعمال می‌گردند. مدل اجزاء محدود سازه شامل ۱۰۰ المان مربعی چهار گره‌ای می‌باشد.



شکل شماره (۲-۱) مدل ابتدائی سازه با مش بندی المان محدود

در نظریه پایه‌ی ESO که توسط Xie و Steven (۱۹۹۲) بیان گردیده، در فضای طراحی قسمت‌هایی را داریم که در طول پیاده‌سازی فرایند بهینه سازی تکاملی سازه ها مجاز به حذف المان از این مناطق نیستیم که در اصطلاح به این نواحی منطقه غیر طراحی می‌گویند؛ مانند المان‌هایی که در محل تکیه‌گاه‌ها و یا در محل اعمال نیرو قرار گرفته‌اند.

در مساله‌ای که ذکر شد، المان a در شکل (۱-۲) یک المان تکیه گاهی می‌باشد و در منطقه غیر طراحی قرار می گیرد، همچنین کلیه المان‌هایی که در گره عمودی قرار گرفته‌اند نیز شامل منطقه غیر طراحی بوده و مجاز به

حذف این المان‌ها از ساختار سازه نیستیم، زیرا با حذف هر کدام از این المان‌ها از سازه،ساختار سازه به سازه‌ای دیگر تغییر ماهیت می‌دهد. در حقیقت ژائو و رزوانی با حذف المان a از سازه باعث شدند سازه مورد نظر به یک تیر یکسر گیردار تبدیل شود و ماهیت سازه به طور کلی تغییر یابد. همین‌طور اگر هر کدام از المان‌های موجود در گره عمودی حذف شود، ارتباط بین سازه و تکیه گاه غلتکی موجود در قسمت فوقانی تیر از بین می‌رود و به عبارت دیگر گویی تکیه گاه مذکور از ساختار سازه حذف گردیده و لذا سازه مورد تحلیل تبدیل به یک تیر یکسر گیردار می‌شود. از این رو نمی‌توان تنش و یا کامپلیانس کل سازه را بعد از حذف المان a با وضعیت قبل از آن مقایسه کرد زیرا در این حالت نتایج حاصل از دو مساله کاملا متفاوت با یکدیگر مقایسه شده است که کاری غیر منطقی به نظر می‌رسد.

۲-۳-۲-راه کاهای پیشنهادی برای حل مشکل

همان‌طور که ذکر شد دلیل اصلی Zhou و Rozvani برای رد نظریه بهینه سازی تکاملی سازه ها، افزایش کامپلیانس بیش از اندازه سازه در اولین مرحله از فرآیند تکاملی بود که این امر به دلیل حذف یکی از المان های تکیه گاهی به وجود امده بود. برای جلوگیری از حذف المان‌های مهم از سازه روش‌های متفاوتی را می‌توان استفاده نمود.

یکی از این روش‌ها بررسی کردن شرایط مرزی سازه بعد از هر مرحله از فرآیند تکاملی می‌باشد، یک راه برای عملی کردن این کار مشخص کردن گره های تکیه گاهی در گروه‌های خاص می‌باشد، به عنوان مثال در مساله حل شده دو گروه گره تکیه گاهی می‌توان مشخص نمود گروه اول که شامل گره های واقع در تکیه گاه ثابت سمت چپ تیر می‌باشد و گروه دوم گره های تکیه گاهی واقع در تکیه گاه غلتکی بالا باید توجه داشت در این گروه گره های مرزی همیشه گره هایی باید باشند که با المان‌ها در تماس باشند و اتصال المان ها با آن‌ها قطع

نگردد. که برای این منظور می‌توان در برنامه کامپیوتری نوشته شده برای فرآیند بهینه سازی تکاملی سازه ها این مورد را قالب شروطی در متن برنامه اضافه کرد.

راه دیگر این است که در صورتی که در مرحله‌ای از حل المان‌هایی حذف گشتند که باعث انحراف سازه از مسیر بهینه سازی شدند (مثلا افزایش شدید در کامپلیانس کل هنگامی که هدف کمینه کردن این مقدار می‌باشد) ساختار به حالت قبل از این تکرار برگردد و از حذف آن المان‌ها در مراحل بعدی جلوگیری شود که البته این روش به دو دلیل پیشنهاد نمی گردد: اول اینکه در ساختارهای پیچیده ممکن است در یک مرحله تعداد المان های زیادی حذف شود که ممکن است تعدادی از ان ها جزء المان های کم اثر باشند و یافتن اینکه کدامیک از این المان‌ها باید به ساختار اصلی برگردد کار ساده‌ای نیست. دوم اینکه المان هایی که از حذف آن‌ها جلوگیری می‌شود ممکن اس در نهایت در ساختار سازه کم اثر بوده و در سطوح پایین تنش قرار داشته باشند که حذف آن‌ها در این مرحله موجب اختلال در حل می‌شده ولی در نهایت حذف آن‌ها از سازه باعث نزدیک‌تر شدن به ساختار بهینه می گردد.

روش دیگر برای ممانعت از این اتفاق جایگزین کردن روش حذف نرم به جای روش حذف سخت می‌باشد. در این حالت المان‌ها از ساختار سازه حذف نمی‌گردند بلکه با توجه به میزان کارایی آن ها در سازه چگالی آن‌ها تغییر می‌کند. در این حالت مرزهای ساختار نهایی نسبت به ساختار اولیه تغییر نمی‌کند و ممکن است ساختار نهایی بین دو حل نوسان داشته باشد. همچنین المان هایی که وجود ان ها در ساختار سازه اصلا لزومی ندارد در سازه باقی می‌مانند و حذف المان های کم اثر یا بی اثر در سازه به طور کامل امکان‌پذیر نمی‌شود.

راه حل دیگری که به نظر می‌رسد استفاده از مش‌هایی ریزتر در تحلیل اجزاء محدود سازه می باشد. در این حالت یک المان به تعداد المان‌های بیشتری تقسیم شده و از حذف یکباره یا کامل آن المان جلوگیری می‌شودو در روش بهینه سازی تکاملی سازه ها، ساختار بهینه با حذف تدریجی مواد غیر موثر و کم اثر از ساختار سازه

حاصل می‌شود. المان‌های غیر موثر معمولا المان‌هایی هستند که کم ترین میزان تنش یا انرژی کرنشی و... را در سازه به خود اختصاص می‌دهند. حذف این المان‌ها باعث می‌شود که حجم سازه بدون اینکه تاثیر چندانی در عملکرد ان به وجود بیاید کاهش یابد و از قسمت‌های باقی مانده حداکثر بهره برداری انجام گیرد به این صورت که ساختار سازه با حذف تدریجی المان‌های ذکر شده به سمت ساختاری هم تنش و نزدیک به حد مجاز میل می‌کند. در بعضی حالات ممکن است المان هایی که به عنوان مثال کم‌ترین تنش را در توزیع تنش در بر می‌گیرند در نقاط حساس و بحرانی قرار داشته باشند و اگر آن ها از ساختار اصلی حذف شوند ماهیت سازه تغییر کرده و فرآیند از رسیدن به جواب بهینه باز می‌ماند. بنابراین حذف المان‌ها از ساختار اصلی مجاز نمی‌باشد، به عنوان مثال المان‌هایی که در محل تکیه گاه‌ها قرار گرفته‌اند و یا زمانی که ابعاد بیرونی سازه یکی از قیود مساله می‌باشد. در این وضعیت یکی از راه کارهایی که می‌تواند در رسیدن به ساختاری بهینه موثر باشد افزایش حساسیت مش ها و یا به عبارتی استفاده از المان‌هایی کوچک تر و با تعداد بیشتر می باشد.

۲-٤- مضارب لاگرانژ

برای حل مسائل بهینه سازی مقید، در قسمت قبلی که قیود برابری دارند، از انجایی که هر تابع $g_I(X)$ برابر B_I می باشد، می‌توان بدون ایجاد اشکال به جای تابع هدف $f(X)$ از تابع لاگرانژین $L(X,\lambda)$، معادله (۲-۱۳) استفاده کرد.

(۲-۱۳)

این رابطه برای مقادیر $\lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_M$ که ضرایب لاگرانژ نامیده می‌شوند صادق است. برای حل در صورت کلی مسئله، این ضرایب باید به گونه ای محاسبه شوند که X متناظر یکه تابع $L(X,\lambda)$ را مینیمم می‌سازد قیود

$g_i(X) = b_i$ را ارضا کند. برای بدست آوردن مقادیر $\lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_M, x$ که عبارت (۲-۱۳) را می‌بینیم می‌سازد باید از روابط زیر استفاده کرد:

$$\frac{\partial l(x,\lambda)}{\partial x_j} = \frac{\partial f(x)}{\partial x_i} + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \frac{\partial g_i(x)}{\partial x_j} = 0 \quad (i = 1,2, \dots, n) \qquad (۱۴-۲)$$

$$\frac{\partial l(x,\lambda)}{\partial l_i} = g(x_i \dots x_n) - b_i = 0 \qquad (j = 1,2, \dots \dots, m) \qquad (۱۵-۲)$$

با استفاده از عبارات بالا n+m مجهول $X_N \dots \dots \dots \dots \dots X_1, X_2,$ و $\lambda_N \dots \dots \dots \dots \dots \lambda_1, \lambda_2,$ بدست می‌آید که در اثر موارد قابل حل می‌باشد.

۲-۵-بهینه سازی تکاملی سازه‌ها به روش BESO

همچنان که مشاهده شد، در روش ESO، در طی مراحل مختلف بهینه سازی، المان ها از روی سازه حذف می‌شدند. در روش BESO که به بهینه سازی دو جهتی معروف است، اجزای سازه می‌توانند حذف یا اضافه شوند. در این روش، طرح یک انتخاب بین کم‌ترین تعداد اجزای متصل بین بار و تکیه گاه یا یک دامنه طرح اولیه که متناسب با ماکزیمم دامنه قابل قبول باشد مشخص می‌کند در حالیکه در روش ESO کل دامنه قابل قبول استفاده می‌شده است (Young، ۱۹۹۷).

ساختار دامنه از یک ناحیه با تنش بالا و یک ناحیه با تنش پایین تشکیل می‌شود. بنابراین اگر جزئی در ناحیه با تنش بالا معادله (I) را برآورد کند می‌تواند از آن ناحیه کاسته شود و اگر جزئی در معادله (II) صدق کند می تواند به قسمت با تنش بالا اضافه شود.

(۵۵-۳)

$$RR = r_0 + r_1 SS + a_{RR} ON \qquad 0 \leq RR \leq 1$$

$$IR = i_0 + i_1 SS + a_{IR} ON \qquad 0 \leq RR \leq 1$$

SS: عدد حالت پایدار که بیان کننده کلیه حالات پایدار در یک فرایند تکاملی است.

ON: عدد نوسانی،زمانی که سازه به حالت نوسانی می‌شرسد با گام های واحد افزایش می‌یابد.

r_1:بر حسب تجربه به صورت معمول برابر ۰/۰۰۱ در نظر گرفته می‌شود

a_{RR}:بر حسب تجربه به صورت معمول برابر ۰/۰۱در نظر گرفته می‌شود

i_1:بر حسب تجربه به صورت معمول برابر ۰/۰۱ در نظر گرفته می‌شود

a_{iR}:بر حسب تجربه به صورت معمول برابر ۰/۱در نظر گرفته می‌شود

مطالعت بیشتر در مورد تاثیر تفاوت نسبت ها در حال حاضر در دست بررسی است که ضرایب بیشتر و روش‌های قابل اعتمادتری را تولید خواهد کرد.