دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه:

بیشینه سازی سختی سازه های دو بعدی با استفاده از روش تبرید تدریجی (SA)

مولف:

سید مهدی سیدی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین ابوالبشری

تابستان ۹۱

فرم چکیده رساله تحصیلات تکمیلی

نام دانشجو: **سید مهدی** نام خانوادگی دانشجو: **سیدی**

استاد راهنما: **محمد حسین ابوالبشری**

دانشکده: **مهندسی** گروه: **مهندسی مکانیک** گرایش: **طراحی کاربردی** مقطع: **کارشناسی ارشد**

تاریخ دفاع: **۱۳۹۱/۶/۳۱** تعداد صفحات: **۱۰۷**

عنوان پایان‌نامه: **بیشینه سازی سختی سازه های دو بعدی با استفاده از روش تبرید تدریجی (**SA**)**

کلمات کلیدی: **بهینه سازی- الگوریتم تبرید تدریجی (SA)- روش ESO**

چکیده:

در این پژوهش روش SA برای بیشینه سازی سختی سازه‌های دو بعدی مورد استفاده قرار گرفته است. سه مثال در این پایان نامه مطرح شده که عبارتند از صفحه مربعی، صفحه مستطیل شکل و تیر با تکیه گاه ساده (MBB). هدف از این پژوهش تحلیل مسایل با روش بهینه سازی تبرید تدریجی (SA) و بررسی معایب و مزایای آن نسبت به سایر روش‌های بهینه سازی که توسط پژوهشگران قبلی انجام شده است می‌باشد. بهینه سازی صفحه مربعی توسط ابوالبشری و فرض حجم ثابت، صفحه مستطیل شکل توسط Chu و با فرض کاهش حجم سازه و تیر MBB توسط Chu و با فرض کاهش حجم سازه مورد حل و بررسی قرار گرفته است. این پژوهشگران از روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها (ESO) استفاده کرده‌اند.

بهینه سازی شکل صفحات مربعی با وزن ثابت و ضخامت‌های گسسته، با هدف بیشینه سازی سختی آن‌ها به کار گرفته شده و نتایج با روش ESO مقایسه شده است. در این پژوهش پنج مجموعه ضخامت صفحه گسسته، یعنی صفحات با سه، پنج، هفت، نه و یازده ضخامت بررسی شده است. در شکل‌های بهینه به دست آمده، تغییر مکان نقطه هدف تا ٪۵۰ کاهش یافته است. دو مثال دیگر یعنی صفحه مستطیل شکل و تیر MBB نیز همانند صفحه مربعی با روش SA و قید ثابت ماندن وزن مورد حل و بررسی قرار گرفته است.

در این پایان نامه روش SA برای بهینه سازی صفحه مربعی با هدف کمینه کردن تغییر مکان مرکز صفحه، صفحه مستطیل شکل با هدف کمینه کردن تغییر مکان انتهای صفحه و تیر MBB با هدف کمینه کردن تغییر مکان وسط تیر ارایه می‌شود، که در هر سه مورد وزن سازه ثابت فرض شده است. برای این منظور برنامه‌ای کامپیوتری در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شده که ضمن تحلیل، ضخامت صفحه‌ای مربعی را با دو نوع بارگذاری متمرکز و گسترده با تکیه گاه‌های مفصلی و یا گیردار با قید ثابت ماندن وزن برای داشتن تغییر مکان کمینه بهینه می‌نماید.

در حل صفحه مربعی در بهترین حالت که مربوط به صفحه با ۳ ضخامت، بار گذاری گسترده و تکیه گاه گیردار می‌باشد جواب SA حدود ٪۷ بهتر از جواب ESO شده است. در صفحه مستطیل شکل جواب SA حدود ٪۴ بهتر از جواب ESO در هر دو حالت ۳ و ۵ ضخامت می‌باشد. در تیر MBB جواب حاصل از روش ESO حدود ۳ درصد بهتر از جواب حاصل از روش SA است.

تأییدیه گروه مکانیک

پایان نامه حاضر تحت عنوان:

بیشینه سازی سختی سازه های دو بعدی با استفاده از روش تبرید تدریجی (SA) که

توسط **سید مهدی سیدی** تهیه و به هیات داوران ارایه گردیده است مورد تایید کمیته تحصیلات تکمیلی گروه می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۹۱/۶/۳۱ نمره: درجه ارزشیابی:

اعضاء هیات داوران:

نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه علمی	امضاء
۱- دکتر ابوالبشری	استاد راهنما	استاد	
۲- دکترکلاهان	استاد ممتحن	دانشیار	
۳- دکتر حسنی	استاد ممتحن	دانشیار	
۴- دکتر طهانی	نماینده تحصیلات تکمیلی	استاد	

تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ را شکر می‌کنم که به من این توانایی را داد که بتوانم مقطع کارشناسی ارشد را تا این مرحله سپری کنم و پایان نامه کارشناسی ارشد را به اتمام برسانم. با تشکر از پدر و مادر عزیزم که از ابتدایی تا کارشناسی ارشد تمام امکانات تحصیل را در اختیار من قرار دادند و همواره در این راه من را یاری دادند.

با تشکر از آقای دکتر ابوالبشری که همواره با راهنمایی‌های خود بنده را در انجام پروژه یاری دادند و با صبر و حوصله بر نحوه انجام پروژه نظارت داشتند و با کمک‌های ایشان، بنده توانستم پایان نامه را به اتمام برسانم. از سایر اساتید گروه مهندسی مکانیک که در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد ما را از علم و دانش خود بهره‌مند کردند نهایت قدردانی را دارم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- فصل اول: مقدمه	۱
۱-۲- پیشینه روش‌های بهینه سازی سازه ها	۶
۲- فصل دوم: بهینه سازی به روش تبرید تدریجی	۸
۲-۱- الگوریتم تبرید تدریجی	۱۲
۲-۲- الگوریتم متروپولیس	۱۲
۲-۲-۱- پارامترهای SA	۱۳
۲-۲-۲- نقطه شروع	۱۳
۲-۲-۳- فرآیند حل	۱۳
۲-۲-۴- مقدار اولیه دما	۱۴
۲-۲-۵- تابع سرمایش	۱۴
۲-۲-۶- یک طرح از الگوریتم برای مینیمم کردن تابع هزینه	۱۵
۲-۲-۷- معیار توقف	۱۵
۳- فصل سوم: بهینه سازی صفحه مربعی با حجم ثابت با استفاده از روش SA	۱۷
۳-۱- سازه برای چندین حالت بارگذاری و چندین حالت تکیه گاهی	۱۸
۳-۱-۱- سازه برای چندین حالت بارگذاری	۱۸
۳-۱-۲- سازه برای چندین حالت تکیه گاهی	۱۹
۳-۲- حل مساله مورد نظر	۱۹
۳-۳- سازه هایی با قید سختی یا تغییر مکان	۲۱
۳-۳-۱- قید سختی کلی	۲۲
۳-۳-۲- تحلیل اجزای محدود	۲۳
۳-۴- رابطه سازی مسأله و الگوریتم بهینه سازی	۲۶
۳-۵- شکلهای شطرنجی	۲۷
۳-۶- بحث نتایج	۲۸
۴- فصل چهارم: بهینه سازی صفحه مستطیل شکل با حجم ثابت با استفاده از روش SA	۴۷
۵- فصل پنجم: بهینه سازی تیر MBB	۵۷

۶- نتایج و پیشنهادات ۶۳
۶-۱- نتیجه گیری ۶۴
۶-۲- پیشنهادات جهت کارهای آینده ۶۶
۷- مراجع ۶۷
۸- پیوست (برنامه کامپیوتری) ۷۱

فهرست نمادها و نشانه‌ها

a	طول ضلع یک جزء
B_κ	بردار مشتقات تغییر مکان و دوران‌ها
B_γ	بردار مشتقات تغییر مکان و دوران‌ها
C_b	ضریب لنگر خمشی داخلی
C_s	ضریب نیروی برشی
E	ضریب ارتجاعی مصالح
$\{F^j\}$	بردار بار واحد مجازی
H_w	بردار بار بر واحد سطح کل سازه
h_i	توابع شکلی
J	ماتریس ژاکوبی جزء
K	ماتریس سختی جزء
[k]	ماتریس سختی کل سازه
m	عدد ثابت برای در نظر گرفتن غیر یکنواختی تنش‌های برشی
{P}	بردار بار گرهی
p	بارگذاری جانبی در واحد سطح
R_s	بردار بار سازگار هر جزء
s, r	مختصات محلی جزء
t	ضخامت یک جزء
u_j	تغییر مکان هدف
{u}	بردار تغییر مکان گرهی کلی
$\hat{u}$	بردار تغییر مکان‌ها و دوران‌های گره‌های یک جزء
$\{u^i\}$	بردار تغییر مکان جزء iام به واسطه اعمال بار حقیقی {P}
$\{u^{ij}\}$	بردار تغییر مکان جزء iام به واسطه اعمال بار مجازی $\{F^j\}$
v, u, w	مؤلفه‌های تغییر مکان یک نقطه

نمادهای یونانی

β_x	دوران عمود بر صفحه میانی در صفحه $x-z$
β_y	دوران عمود بر صفحه میانی در صفحه $y-z$
$[\Delta k^i]^+$	اثر افزایش ضخامت روی ماتریس سختی جزء iام
$[\Delta k^i]^-$	اثر کاهش ضخامت روی ماتریس سختی جزء iام

Δu_j	تغییرات در تغییر مکان هدف به علت تغییر ضخامت جزء iام
δ	عامل تغییرات (دیفرانسیل)
ε	عدد مثبت بسیار کوچک
γ	ضریب نیروهای برشی
γ_i^+	عدد حساسیت برای بررسی تأثیر افزایش ضخامت
γ_i^-	عدد حساسیت برای بررسی تأثیر کاهش ضخامت
κ	ضریب لنگر خمشی داخلی
ν	ضریب پواسان مصالح
Π	انرژی پتانسیل کل
θ_x^i	گشتاورهای حول محور x گره iام
θ_y^i	گشتاورهای حول محور y گره iام

زیر نویسها

i, j	شماره جزء

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

مهندسی متشکل از تعدادی فعالیت است که خوب پایه ریزی شده‌اند و به شکل مناسبی در کنار هم قرار گرفته‌اند. این فعالیت‌ها عبارتند از: تحلیل، طراحی، ساخت، فروش، پژوهش و توسعه‌ی سیستم‌ها. طراحی سیستم‌ها یک زمینه اصلی در حرفه‌ی مهندسی است. فرآیند طراحی و ساخت سیستم‌ها طی قرن‌ها تدوین و به کار می‌رفته است. وجود ساختمان‌ها، پل‌ها، بزرگراه‌ها، خودروها، هواپیماها و دیگر سیستم‌های پیچیده شاهدی عالی بر این مدعاست.

روش‌های جستجوی بهینه را به عنوان روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی هم می‌شناسند که عموماً به صورت بخشی از تحقیق در عملیات مطالعه می‌شوند. تحقیق در عملیات شاخه‌ای از ریاضیات است که به کاربرد روش‌های علمی در مسائل تصمیم‌گیری و رسیدن به بهترین جواب، یا جواب بهینه می‌پردازد. با پیشرفت سریع علم و تکنولوژی هر روزه مسائل جدیدی مطرح می‌شود، مسائلی که گاه پیچیده و دشوار می‌گردند [۱]. علم بهینه‌سازی هم از این مسائل بی‌بهره نیست و با مسائلی روبرو می‌شود که به سادگی قابل حل نیستند. بنابراین روش‌های حل سنتی و استاندارد کارایی لازم را نداشته و عموماً مستلزم صرف زمان‌های محاسباتی طولانی هستند. خوشبختانه، با پیشرفت فن‌آوری کامپیوتر و ارتقاء قابلیت‌های محاسباتی، امروزه استفاده از روش‌های ابتکاری و جستجوگرهای هوشمند متداول گردیده است.

روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در یافتن مینیمم تابعی از چند متغیر با توجه به مجموعه‌ای از قیدها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مسائلی که با مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی با توزیع احتمال مشخص توصیف می‌گردند، از روش‌های فرآیند تصادفی استفاده می‌شود. روش‌های تصادفی امکان تحلیل داده‌های آزمایشی و ساختن مدل‌های تجربی را برای دستیابی به دقیق‌ترین ارایه وضعیت‌های فیزیکی فراهم می‌سازد [۱].

با این همه، تکامل این سیستم‌ها کند بوده است. فرآیند کلی بسیار هزینه بر و طولانی است و به منابع انسانی و مادی عمده‌ای نیاز دارد. این مراحل عبارت بودند از طراحی، ساخت و استفاده یک سیستم بدون توجه به این که بهترین است یا خیر. سیستم‌های بهبود یافته فقط هنگامی طراحی می‌شدند که قسمت اعظم سرمایه بازگشت شده بود. این سیستم‌های جدید با عملکردی مشابه و یا عملکرد بهتر، کم هزینه‌تر و با بازده بیشتر بودند. از آنجا که تحلیل و طراحی همه‌ی حالت‌های ممکن بسیار وقت‌گیر و پر هزینه است، معمولاً یک نوع انتخاب شده و با تمام جزییات طراحی می‌شود.

طراحی سیستم‌های پیچیده نیاز به محاسبات عظیم و پردازش داده‌ها دارد. در طی سه دهه گذشته، انقلابی در فن‌آوری رایانه و محاسبات عددی به وقوع پیوست. رایانه‌های امروزی محاسبات پیچیده و پردازش داده‌های بسیار بزرگ را به طور مؤثری انجام می‌دهند. فرآیند طراحی مهندسی از این انقلاب بسیار بهره‌مند شده است. سیستم‌های بهتری را با تحلیل پارامترهای اختیاری متعددی می‌توان در زمان کوتاهی طراحی کرد. این نوع تحلیل‌ها و طراحی‌ها بسیار مورد توجه هستند، زیرا حاصل آن سیستم‌های بهتر، کم هزینه‌تر، با ظرفیت‌های بیشتر و عملکرد و نگهداری ساده‌تر خواهد بود.

طراحی سیستم‌ها می‌تواند به عنوان مسائل بهینه‌سازی رابطه سازی شود به طوری که یک معیار عملکرد بهینه شود و همه قیود برآورده شوند. در سال‌های اخیر، روش‌های عددی بهینه سازی به میزان زیادی توسعه و بهبود یافته‌اند.

هر مسئله‌ای که در آن کمیت‌های مشخصی باید به دست آید که قیود را برآورده کند می‌تواند به عنوان مسئله طراحی بهینه رابطه سازی شود. این یک اصل تقریباً قبول شده‌ای است که رابطه سازی صحیح یک مسئله حدود نصف کل تلاشی است که برای حل آن مورد نیاز است. بنابراین، تبعیت از فرآیندهای تعریف شده‌ی مناسب برای رابطه سازی مسایل طراحی بهینه بسیار مهم است. رابطه سازی یک مسئله طراحی بهینه عبارت است از بیان مسئله به صورت یک عبارت ریاضی. فرآیند رابطه سازی با معرفی مجموعه‌ای از متغیرها که سیستم را مشخص می‌کنند که به آن‌ها متغیرهای طراحی می‌گویند. وقتی مقادیر عددی متغیرها مشخص شد یک طراحی از سیستم داریم.

تمامی سیستم‌ها برای عمل کردن در محدوده‌ی مجموعه‌ای از قیود که محدودیت‌هایی روی منابع، شکست مصالح، پاسخ سیستم، اندازه اعضاء و غیره‌اند طراحی می‌شوند. قیود باید با متغیرهای طراحی متأثر شوند. زیرا در آن صورت است که اعمال آن‌ها معنی پیدا می‌کند. اگر یک طرح تمامی قیود را برآورده کند، یک سیستم قابل قبول داریم [۲].

برای قضاوت این که یک طرح از طرح دیگر بهتر است معیاری لازم است. این معیار تابع هدف یا هزینه نامیده می‌شود. یک تابع هدف باید از متغیرهای مسئله طراحی متأثر شود، یعنی باید تابعی از متغیرهای طراحی باشد. بنابراین رابطه سازی مسئله طراحی بهینه (با هر روش بهینه سازی) شامل سه مرحله است:

۱. تعیین متغیرهای طراحی

۲. تعیین تابع هدف (هزینه)
۳. تعیین قیود مسئله

در نظر گرفتن سختی سازه‌ها یکی از الزامات مهم در طراحی سازه‌هایی مانند ساختمان‌ها و پل‌هاست که طراحان باید آن را مورد توجه قرار دهند. در اکثر موارد طراحان باید سازه را چنان طراحی کنند که خیز (تغییر مکان) بیشینه نقطه هدف از یک حد تعریف شده کمتر باشد. تا کنون بهینه سازی شکل سازه‌ها به منظور کمینه سازی تغییر مکان یک نقطه از آن توسط بسیاری از پژوهشگران مورد بحث قرار گرفته است. معمولاً در این گونه بهینه سازی‌ها حجم سازه ثابت در نظر گرفته می‌شود.

در بسیاری از کاربردهای مهندسی بهینه سازی سازه‌ها، متغیرهای طراحی باید از میان مجموعه‌ای از مقادیر گسسته‌ی داده شده انتخاب شوند. برای مثال اعضای سازه‌ها باید از ضخامت‌ها و سطح مقطع‌های استانداردی که صنعت ارایه می‌دهد انتخاب شوند. روش‌های بهینه سازی مشهور از قبیل برنامه‌ریزی ریاضی و معیار بهینگی برای مسایلی که مقادیر متغیرهای طراحی پیوسته دارند معتبر است. همچنین توابع قید و هدف باید صریح، پیوسته و مشتق پذیر باشند.

چنانچه بخواهیم از این روش‌ها برای متغیرهای طراحی گسسته استفاده کنیم به عملیات ریاضی پیچیده‌ای نیاز است. اغلب مسئله با فرض پیوستگی تمام متغیرهای طراحی برای پاسخ بهینه‌ی پیوسته حل می‌شود. سپس با استفاده از روش‌هایی از قبیل روند سازی، شاخه و کران، سرد شدن تدریجی شبیه سازی شده و الگوریتم ژنتیکی حل گسسته بدست می‌آید [۳ تا ۵]. معمولاً مقادیر داده شده برای هر یک از متغیرهای طراحی گسسته باید به دیگر مقادیر نزدیک باشد تا تبدیل حل بهینه‌ی پیوسته به حل گسسته معتبر باشد.

روش شاخه و کران به طور گسترده برای بهینه سازی مسائل گسسته استفاده می‌شود. بعد از به دست آمدن حل بهینه‌ی پیوسته، متوالیاً به هر متغیر یک مقدار گسسته اختصاص می‌یابد و مسئله برای متغیرهای باقیمانده دوباره حل می‌شود. دیده می‌شود که با افزایش تعداد متغیرها، تعداد چرخه‌های حل مسئله و زمان محاسبات نیز افزایش می‌یابد.

Atrek[۶] با تهیه یک برنامه به نام SHAPE که برای بهینه سازی سازه‌های پیوسته به کار می‌رود، شکل بهینه یک صفحه مربعی با تکیه گاه ساده را با فرض یک تغییر مکان مشخص در مرکز و تحت اثر یک بار متمرکز در مرکز صفحه به دست آورد. کار او بر دست یافتن به شکلی از صفحه که کمترین وزن را دارا باشد

متمرکز بود. همین مسئله توسط Chu و همکارانش [۷] نیز مورد بحث قرار گرفته است. آن‌ها توانستند با استفاده از روش ESO وزن صفحه را تا ٪۳۶ نسبت به شکل اولیه کاهش دهند. در یک پژوهش دیگر [۸]، یک صفحه که وزن آن ثابت است با در نظر گرفتن ضخامت به عنوان متغیرهای طراحی گسسته با روش ESO ساده بهینه سازی شده است. صفحه دارای تکیه گاه‌های ساده و یک بار متمرکز در مرکز است. در پژوهش آن‌ها نشان داده شد که تغییر مکان مرکز صفحه در شکل بهینه را می‌توان با در نظر گرفتن سه و پنج ضخامت گسسته به ترتیب ٪۴۱/۷ و ٪۴۱/۵ بهبود داد. آن‌ها همچنین یک معیار برای بهینگی صفحات تحت خمش ارایه کردند. در پژوهش آن‌ها یک روش نرم (Smoothing) معرفی شده که با استفاده از آن از به وجود آمدن شکل‌های شطرنجی در فرآیند بهینه سازی جلوگیری می‌شود.

شکل‌های شطرنجی به حالتی گفته می‌شود که بعضی از اجزا به اجزای همسایه خود به طور ضعیفی متصل شده‌اند و از نظر کاربردی غیر قابل قبول ارزیابی می‌شود. بهینه سازی شکل و ساختار صفحات تحت خمش با قید تغییر مکان توسط Liang و همکارانش [۹] مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها با معرفی یک معیار عملکرد (Performance Index) که شکل و ساختار بهینه را در فرآیند چرخه‌ای بهینه سازی تکاملی سازه‌ها تعیین می‌کند، به شکل و ساختارهای بهینه دست یافتند.

در پژوهش آن‌ها با حذف اجزای ناکارآمد برای سه قید مختلف تغییر مکان در مرکز صفحه، که یک بار متمرکز نیز در آنجا وارد می‌شود، شکل و ساختار بهینه که دارای حجم کمینه نیز است به دست آمد. کمینه سازی وزن یک صفحه برای داشتن یک تغییر مکان مشخص در مرکز وقتی که یک موتور در مرکز صفحه قرار داشته و یک بار سینوسی به آن وارد می‌کند توسط Falco و همکارانش [۱۰] مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها با تعریف دو حالت سه و شش متغیر طراحی برای ضخامت صفحه، به شکل‌های بهینه دست یافتند. پژوهش آن‌ها نشان داد که در حالت شش متغیر طراحی می‌توان حجم صفحه را تا ٪۱۹/۲ کاهش داد.

تاکنون روش‌های گوناگونی برای بهینه سازی در زمینه های مختلف ایجاد شده است. یکی از روش‌هایی که اخیراً برای بهینه سازی سازه‌ها پیشنهاد شده روش بهینه سازی تکاملی سازه‌ها (ESO) است که توسط ابوالبشری و همکاران [۱۱] انجام شد و تغییر مکان نقطه هدف تا ٪۴۴ کاهش یافت. اما در این دو مرجع از به وجود آمدن شکل‌های شطرنجی در فرآیند بهینه سازی جلوگیری نشده و شکل‌های شطرنجی در هر دو مورد وجود دارد. در این پایان نامه مسئله مذکور با روش تبرید تدریجی (SA) حل می‌شود و با روش (ESO) اصلاح شده (عدم وجود شکل‌های شطرنجی در فرآیند بهینه سازی) مقایسه می‌گردد.

۱-۲- پیشینه روش‌های بهینه سازی سازه‌ها

بهینه سازی سازه‌ها ترکیبی است از شاخه‌های مختلف مهندسی، ریاضی، علوم و تکنولوژی با هدف دستیابی به بهترین اجزا برای یک سازه از قبیل یک پل، یک وسیله نقلیه فضایی و یا یک قاب عینک. در این نوع بهینه سازی تمام جنبه‌های محیطی یک سازه باید در نظر گرفته شود.

به علت پیچیدگی‌های ریاضیاتی، موضوع بهینه سازی سازه‌ها تا بیست سال قبل هنوز به صورت یک علم دانشگاهی باقی مانده بود. تا اینکه این موضوع مورد بازنگری قرار گرفت و عده‌ی زیادی از دانشمندانی که در زمینه تحلیل المان محدود مهارت داشتند درباره‌ی این موضوع تحقیق کردند. دو عامل همزمان موضوع بهینه سازی سازه‌ها را از محدودیت قبلی به مرحله‌ای رساند که این موضوع برای دانشمندان و مهندسان قابل کاربرد و پیاده سازی شد. اول توانایی اجرای کامپیوتری با سرعت بالا و هزینه کم و دوم پیشرفت سریع الگوریتم‌های بهینه سازی، که در آن‌ها می‌توان هزاران پارامتر طراحی و قید را به کار برد.

در زیر نام الگوریتم‌های مختلف بهینه سازی آمده است:

- شاخه و حد (branch & bound)
- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (تبرید تدریجی) (simulated annealing, SA)
- الگوریتم تقسیم و حل (Divide and conquer, D&C)
- الگوریتم تپه نوردی (Hill-Climbing)
- الگوریتم تکاملی (Evolutionary)
- الگوریتم جستجوی محلی (Local search)
- الگوریتم جستجوی ممنوعه (Tabu Search)
- الگوریتم حریصانه (Greedy Algorithms)
- الگوریتم کوله پشتی (Knapsack)
- الگوریتم لونبرگ-مارکارد (Levenberg-Marquardt, LMA)
- الگوریتم‌های متا هیوریستیک (فرا ابتکاری) (Meta-heuristic)
- الگوریتم ژنتیک (genetic algorithm, GA)
- برنامه‌ریزی پویا (Dynamic Programming)
- برنامه‌سازی تکاملی (Evolutionary programming, EP)
- روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات یا الگوریتم پرندگان (Particle swarm optimization)
- روش بهینه‌سازی گروه مورچه‌ها (Ant Colony Optimization, ACO)

- روش تقسیم و حل (Divide & Conquer Technique)
- روش پنالتی (penalty method)
- ضرب زنجیره‌ای ماتریس (chain-matrix multiplication)
- مسئله زیر آرایه بیشینه (maximum subarray problem)
- هوش ازدحامی (Swarm Intelligence)
- پوشش مجموعه (set cover problem, SCP)
- الگوریتم گاوس-نیوتون (Gauss–Newton algorithm, GNA)
- الگوریتم رقابت استعماری (Imperialist Competitive Algorithm, ICA)
- الگوریتم فاخته (Cuckoo search, CS)
- سیستم‌های ایمنی مصنوعی (Artificial immune systems, AIS)
- بهینه سازی کلونی زنبورها (Bee Colony Optimization, BC)

فصل دوم

بهینه‌سازی به روش تبرید تدریجی (SA)

۲- بهینه‌سازی به روش تبرید تدریجی (SA)

روش تبرید تدریجی بر پایه یک تکنیک جستجوی اتفاقی است، که رفتار آن بر اساس مقایسه میان راه‌هایی که فلزات مذاب سرد می‌شوند، تا ساختار کریستالی آن‌ها کمترین انرژی را داشته باشد پایه ریزی شده است.

زمان مینیمم کردن یک تابع، هر گام نزولی قبول می‌شود و فرآیند از این نقطه جدید آغاز می‌شود. هر گام صعودی نیز ممکن است پذیرفته شود. بنابراین، می‌تواند از بهینه محلی خارج شود. چگونگی حرکت صعودی به وسیله ضوابط متروپولیس تصمیم گیری می‌شود. هنگامی‌که فرآیند بهینه‌سازی پیش می‌رود، طول گام کاهش می‌یابد و الگوریتم بر روی یک بهینه مطلق بسته می‌شود. درجه قوت این الگوریتم می‌تواند، به وسیله کاربر تنظیم شود. در واقع، تبرید تدریجی می‌تواند به عنوان یک بهینه ساز محلی برای توابع مشکل به‌کار رود [۱۲].

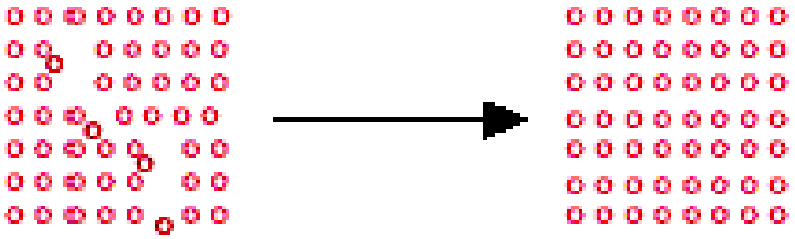
این شیوه پایه‌ای برای تکنیک بهینه سازی برای مسائل ترکیبی و یا باقی مسائل می‌باشد. SA تا سال ۱۹۸۳ توسعه بسیاری یافته بود و با مسائل غیرخطی بسیاری سروکار داشت. رویکرد SA به مسائل یکپارچه بهینه سازی مانند بالا و پایین رفتن توپی است که در میان دره‌ها و کوه‌ها بالا و پایین می‌رود. فرآیند تبرید تدریجی از یک درجه حرارت بالا آغاز می‌گردد، این درجه حرارت بالا پرش‌های بلند را در حل فراهم می‌سازد که پرش‌های بلند این امکان را می‌دهد که از بالای یک کوه به هر دره‌ای که می‌خواهد بپرد. هنگامی که الگوریتم SA پیش می‌رود، درجه حرارت کاهش می‌یابد و توپ نمی‌تواند پرش‌های خیلی بلندی داشته باشد و در ناحیه‌ای که شامل محدودهٔ کوچک‌تری از دره‌ها باشد، حرکت می‌کند [۱۳].

همان گونه که ذکر شد روش تبرید تدریجی بر اساس یک الگوریتم جستجوی مرحله‌ای اتفاقی پایه ریزی شده و برای اهداف عملی در مسائل بهینه‌سازی بسیاری یک راه حل بسیار مؤثر می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این روش اجرا و پیاده سازی بسیار ساده این الگوریتم می‌باشد.

نام و روش کاری این الگوریتم از فرآیند آنیلینگ[۱] (باز پخت) در متالورژی آمده که یک تکنیک شامل حرارت دهی و کنترل سرمایش یک ماده برای افزایش سایز کریستال‌های آن (جهت تقویت کریستال) و کاهش عیوب آن‌هاست. شکل ۲-۱ کامل و بدون عیب شدن کریستال‌ها را نشان می‌دهد. در وضعیت بدون عیب:

[۱] Annealing

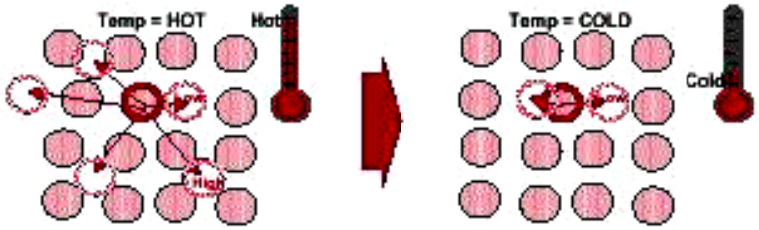
۱- تمامی اتم‌ها، بر روی مکان‌های شبکه کریستالی به خط شده‌اند.
۲- این حالت کمترین انرژی است که این اتم‌ها تشکیل داده‌اند.



شکل ۲-۱- کامل و بدون عیب شدن کریستال‌ها

در دماهای بالا مولکول‌های مذاب آزادانه نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. اگر مایع به آهستگی سرد گردد تحرک‌های حرارتی کاهش می‌یابد. اتم‌ها بارها می‌توانند سطح انرژی خودشان را بالا ببرند و شکل کریستال‌های خالص را بگیرند که در این صورت این فواصل تا مدت‌های زیادی کاملاً منظم باقی می‌مانند، این کریستال‌ها کمترین انرژی را برای این سیستم به نمایش می‌گذارند.

حرارت باعث می‌شود که اتم‌ها از موقعیت ابتدایی خود (یک مینیمم محلی از انرژی داخلی) حالت جدا و غیر چسبنده بگیرند و به طور تصادفی داخل حالاتی از انرژی بالاتر سرگردان شوند. با سرمایش آهسته‌ای که به آن‌ها داده می‌شود، فرصت بیشتری برای یافتن پیکره بندی و شکل گیری با انرژی داخلی پایین‌تر نسبت به حالت اولیه دارند. شکل ۲-۲ چگونگی دست یافتن به حالت کمترین انرژی را نشان می‌دهد [۱۲].



شکل ۲-۲- چگونگی دست یافتن به کمترین انرژی

با بررسی و مقایسه فرآیند فیزیکی سرد کردن فلزات[۱] و الگوریتم بهینه‌سازی به روش تبرید تدریجی بدست می‌آید که، در هر گام از الگوریتم تبرید تدریجی، راه حل جاری، با یک راه حل تصادفی نزدیک، توسط

[۱] Annealing

یک تابع احتمال که به تفاوت بین پاسخ‌های متناظر با آن راه حل‌ها و پارامتر دما T وابسته است مقایسه می‌شود و در صورت ارضاء تابع احتمال حل تصادفی جایگزین حل جاری می‌شود و به تدریج در طول فرآیند با کاهش دما، میزان تابع احتمال کاهش می‌یابد. در روش SA، هر یک از نقاط جستجو با یک حالت از سیستم فیزیکی مقایسه شده و تابع $E(s)$ مینیمم می‌شود که به عنوان انرژی داخلی مینیمم سیستم در آن وضعیت می‌باشد. بنابراین هدف آن است که سیستم از یک حالت ابتدایی مطلق به یک حالت با حداقل انرژی ممکن برسد.

الگوریتم مینیمم سازی، بر اساس روشی توضیح داده شده است، که توزیع احتمالی بولتزمن نامیده می‌شود [۱۴]. این ایده اظهار می‌کند، که سیستمی که در تعادل گرمایی قرار دارد، در دمای T، توزیع احتمالی انرژی در میان همهٔ حالات انرژی متفاوت E را دارا می‌باشد.

کمیت K_B (ثابت بولتزمن) یک ثابت طبیعی است که دما را برای انرژی توصیف می‌کند، به عبارت دیگر، هنگامی که سیستم یک سربالایی را طی می‌کند، خیلی راحت‌تر از یک مسیر سرپایینی می‌باشد.

در ۱۹۵۳ متروپلیس و کوورکرز، اولین شرکتی بودند که اصول محاسبات عددی را بیان کردند [۱۴]. برای هر سیستمی که انرژی آن از E_1 به E_2 برود برای هر دما یک احتمال وجود دارد که این احتمال برابر P می‌باشد.

$$P = \frac{1}{Z(T)} \exp\left(-\frac{(E_2 - E_1)}{K_B \cdot T} \right) \qquad (۱-۲)$$

باید توجه داشت که اگر $E_2 \langle E_1$، احتمال بیشتر از واحد می‌شود. در چنین حالتی به طور قرار دادی این احتمال برابر $P = 1$ قرار داده می‌شود. در این احتمال، T دما می‌باشد. K_B ثابت بولتزمن است. $Z(T)$ ضریب نرمالیزه کردن می‌باشد.

با کاهش دما تابع بولتزمن بر روی حالت کم انرژی متمرکز می‌شود. به عبارت دیگر در دماهای نزدیک به صفر تنها حالت‌هایی با کمترین سطح انرژی احتمال وقوع دارند، در تبرید بسیار وسیع، ذرات در موقعیت‌های با انرژی بالاتر به صورت غیر تعادلی منجمد می‌شوند. در الگوریتم SA جواب‌های قابل قبول متناظر با حالات جسم هستند و تابع هزینه ΔC و پارامتر کنترلی C_K نقش انرژی و دمای سیستم را دارند، حالت‌های تعادلی سیستم، متناظر با همسایگی جواب‌ها می‌باشند.

این یک طراحی کلی است، برای اینکه این الگوریتم را برای سیستم‌های دیگر ترمودینامیکی مورد استفاده قرار دهیم، می‌بایست شرایط زیر را مهیا کنیم:

۱. توصیفی از پیکربندی سیستم امکان پذیر ارایه شود.
۲. ایجاد یک تولید کننده انتخاب تصادفی داخل پیکربندی سیستم، این انتخاب‌گر گزینه‌ای است که درون سیستم ایجاد می‌شود.
۳. یک تابع هدف E (مانند انرژی) که هدف فرآیند بهینه کردن آن می‌باشد.
۴. پارامتر کنترلی T (مانند دما) [۱۴].

۲-۱- الگوریتم تبرید تدریجی

SA یک ابتکار برای هر دو مسئله مجزا و پیوسته است. این روش قبل از ژنتیک الگوریتم ایجاد شده و به تدریج برای کاربردهای زیادی جانشین شد.

در بهینه سازی به وسیله تبرید تدریجی، وقتی پارامتر (دما) زیاد هست، مقدار زیادی از حرکات تصادفی در حل تحمل می‌شود و وقتی پارامتر دما پایین‌تر است حرکات تصادفی کمتری بدست می‌آید، تا وقتی حل به حالت (منجمد) برسد.

این الگوریتم ساده اجازه می‌دهد وقتی دما بالا است فضای حل گسترده باشد و با کم شدن دما به تدریج حرکت کم می‌شود. وقتی دما بالا است به راه حل اجازه می‌دهد به بیرون بهینه محلی حرکت کند.

۲-۲- الگوریتم متروپولیس

SA بر اساس تحقیقات اولیه متروپولیس و همکاران [۱۴] برای حل مسایل بهینه سازی ترکیبی است. ترکیب اساسی دیگری در روش SA، کاهش تدریجی دما به عنوان یک نتیجه شبیه‌سازی شده است. الگوریتم متروپولیس فقط به طور مکرر مدل‌های متناسب با انرژی‌های «معقول و ممکن» را در یک دمای ثابتِ داده شده، در نظر می‌گیرد. به بیان دیگر، ممکن است خطر غفلت از بهترین مدل (ترکیب)، وجود داشته باشد. برای کاهش این خطر، بایستی یک دمای به اندازه کافی زیاد برای اطمینان از اینکه در یک مینیمم محلی گرفتار نشود، در نظر گرفت [۱۴].