بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شیراز
دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک

عنوان پایان نامه:

استفاده از تکنیک های جدید بهینه سازی هوش جمعی در طراحی مدارات مجتمع آنالوگ

نگارش: مریم دهباشیان

استاد راهنما: دکتر سید حمید ظهیری

بهمن ۸۹

کلیه حقوق و مزایا اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه، اقتباس و ... از پایان نامه کارشناسی ارشد برای دانشگاه بیرجند محفوظ می‌باشد. نقل از مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

تقدیم

ای پادشه خوبان داد از غم تنهایی　　دل بی تو به جان آمد وقت است که باز آیی

مشتاقی و مهجوری دور از تو چنانم کرد　　کز دست بخواهد شد پایان شکیبایی

متواضعانه و در نهایت ادب و احترام، پایان نامه ام را به پیشگاه مقدس امام زمان (عج) تقدیم می نمایم.

باشد که با جهاد علمی از زمینه سازان ظهور حضرتش شویم.

✓ سپاسگزاری

پدر و مادر عزیزم :

وجودم بر شما همه رنج بود و وجودتان بر من همه مهر،

توانتان رفت تا به توانایی برسم و مویتان سپید شد تا رویم سپید بماند،

شما که فروغ نگاهتان، گرمی کلامتان و روشنی رویتان سرمایه جاودانی زندگیم است،

در برابر وجود نازنینتان زانوی ادب بر زمین می زنم و با دلی مالامال از عشق و محبت بر دستان گرمی بخشتان بوسه می زنم.

✓ تشکر و قدردانی

جناب آقای دکتر ظهیری:

صمیمانه از جناب عالی که در نهایت صبر و بزرگواری، تجربیات ارزنده خود را در اختیار من قرار دادید متشکرم.

بحق این جمله گرانبهای استاد شهید مرتضی مطهری شایسته زحمات شماست:

«من ستایشگر آن معلمی هستم که اندیشیدن را به من بیاموزد، نه اندیشه‌ها را»

بطور قطع جناب عالی تاثیر بسزایی در آینده علمی من داشته‌اید، از خداوند متعال توفیق روز افزون شما را در تمامی مراحل زندگی خواستارم.

✓ تقدیر

از زحمات کلیه اساتیدم در دوره کارشناسی ارشد، متواضعانه تقدیر می‌نمایم.

چکیده

امروزه با پیشرفت‌های روزافزون در تکنولوژی VLSI، امکان تحقق سیستم‌ها و مدارات مجتمع الکترونیک پیچیده میسر شده است. مدارات مجتمع الکترونیک با معرفی سیستم‌های متمرکز بر روی یک تراشه[1]، سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال را در کنار هم ارائه کرده‌اند. با اینکه بخش آنالوگ درصد کمی از کل مدار را شامل می‌شود اما جزء بخش‌های با اهمیت و حیاتی مدارات مجتمع می‌باشد. طراحی مداراتِ بخش آنالوگ در مقایسه با قسمت‌های دیجیتال از پیچیدگی بالاتری برخوردار بوده و علاوه بر هزینه بالا و زمان بَر بودن، به مهارت بالایی نیز در طراحی نیاز دارد. از این‌رو طراحی بهینه مدارات مجتمع آنالوگ را گلوگاه طراحی مدارات مجتمع الکترونیک می‌نامند.

طراحی مدارات آنالوگ فقط شامل طراحی توپولوژی و طرح اولیه[2] نیست بلکه سایزبندی و مقداردهی المان‌ها را نیز شامل می‌شود، از این جهت آن را فرایندی پیچیده و چالش برانگیز می‌دانند. روش سایزبندی المان‌ها اغلب فرایندی کند، خسته‌کننده و تکرار شونده است که میزان موفقیت آن به دانش، فراست و تجربه طراح بستگی دارد. به همین خاطر روش‌های متفاوت طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ از سوی محققین مطرح شده است.

ابزارهای جدید طراحی خودکار از دو بخش اساسی تشکیل شده‌اند: بخش سنتز و بخش بهینه‌سازی. در بخش سنتزِ مدارات مجتمع آنالوگ توسط ابزارهای طراحی خودکار، پاسخ یا پاسخ‌هایی به عنوان خروجی ارائه می‌شود. اما بدون شک پاسخ ارائه شده بهترین پاسخ ممکن نبوده و با اندکی تغییرات در پاسخ ارائه شده، نتایج بهتری به دست خواهد آمد. از این‌رو در بخش بهینه‌سازی، پاسخ‌های به دست آمده تا حد امکان به بهترین پاسخ ممکن نزدیک می‌شوند.

امروزه محققین از روش‌های بهینه‌سازی متفاوتی در ابزارهای طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ استفاده می‌کنند، رویکرد جدید محققین در سال‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری به ویژه الگوریتم‌های هوش جمعی است. در این رساله از روش‌های جستجوی بهینه‌سازی هوش جمعی به دلیل مشخصات عملکردی کارآمد، استقبال روزافزون محققین در استفاده از آنها و دارا بودن زمینه‌های بکر فراوان استفاده می‌شود. از جمله جدیدترین الگوریتم‌های هوش جمعی می‌توان به الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) اشاره کرد. این الگوریتم، با الهام از مفاهیم جرم و نیروی جاذبه و با شبیه‌سازی قوانین مربوطه ارائه شده است.

اما از آنجا که طراحی مدارات آنالوگ یک مسئله چندهدفه بوده و شاخص‌های مختلف مدارات همچون بهره، پهنای باند، حاشیه فاز و توان مصرفی با یکدیگر در تعارض هستند، بنابراین به آسانی نمی‌توان از میان جواب‌های به دست آمده بهترین پاسخ را یافت. از این‌رو بایستی میان جواب‌های به دست آمده مصالحه‌ای شایسته برقرار نمود که این امر با چند هدفه ساختن الگوریتم بهینه‌سازی میسر می‌شود.

[1] System-on-Chip
[2] Layout

در این رساله، روش جدیدی در بهینه‌سازی چند هدفه مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی به نام الگوریتم جستجوی گرانشی چند هدفه (MOGSA) ارائه می‌شود. در الگوریتم MOGSA از روش «بهینگی پَرِتو» برای شناسایی موقعیت‌های «غیر غالب» و از یک «مخزن بیرونی» به عنوان حافظه‌ای برای نگهداری این موقعیت‌ها استفاده می‌شود. برای اطمینان از صحت عملکرد روش ارائه شده در مواجهه با مسائل بهینه‌سازی چند هدفه، توسط چندین تابع استاندارد و معتبر مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نهایی نشان از رقابت تنگاتنگ روش پیشنهادی با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه رایج دارد، از این‌رو می‌توان ادعا کرد الگوریتم MOGSA بستر جدیدی از تحقیقات را فرا روی محققین قرار داده است.

در این رساله یک ابزار بهینه‌سازی جدید جهت سایزبندی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ پیشنهاد می‌شود. این ابزار توانایی جستجوی وسیع و مؤثری را در بازه‌های از پیش تعیین شده طراحی دارد. ابزار فوق در ابتدا با استفاده از یک نرم‌افزار شبیه‌ساز مدار مورد نظر را شبیه‌سازی می‌کند، سپس نتایج شبیه‌سازی به وسیله الگوریتم‌های چند هدفه هوش جمعی بهینه‌سازی شده و تا حصول نتیجه مطلوب این روند ادامه می‌یابد. الگوریتم‌های چند هدفه هوش جمعی مورد استفاده، الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه گروه ذرات (MOPSO) و الگوریتم جستجوی گرانشی چند هدفه (MOGSA) می‌باشند که در ابزار پیشنهادی به طور جداگانه بکار رفته‌اند. برنامه‌های اصلی این ابزار با نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده و شبیه‌سازی مدارات توسط نرم‌افزار HSPICE انجام می‌شود. این ابزار قابلیت سایزبندی هر نوع مدار آنالوگ را دارد.

برای بررسی توانایی سیستم پیشنهادی در بهینه‌سازی طراحی مدارات مجتمع آنالوگ عملکرد آن مورد سنجش قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه دو مسئله سایزبندی مطرح می‌شود: مسئله اول «طراحی یک تقویت کننده عملیاتی تفاضلی سه طبقه» و مسئله دوم «طراحی یک تقویت کننده عملیاتی مستقل از دما با استفاده از منبع جریان ویدلر کسکود». طراحی در هر دو مسئله با تکنولوژی CMOS افزایشی است.

در هر مسئله عملکرد ابزار پیشنهادی به همراه الگوریتم بهینه‌سازی‌اش (MOPSO و یا MOGSA) به طور کاملا مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده نه‌تنها خواسته‌های مورد نظر در طراحی را برآورده می‌سازد بلکه با ارائه دسته جواب‌های متنوع دست طراح را در انتخاب جواب مناسب از میان جواب‌های قابل قبول نهایی باز خواهد گذاشت.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱- آشنایی با روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه هوش جمعی ۱

۱-۱- بهینه‌سازی چیست؟ ۲

۱-۲- معرفی انواع روش‌های بهینه‌سازی ۵

۱-۲-۱- روش‌های ریاضی ۵

۱-۲-۲- الگوریتم‌های ابتکاری ۵

۱-۲-۲-۱- الگوریتم‌های تصادفی ۶

۱-۲-۲-۲- الگوریتم‌های زیستی ۷

الف) شبکه‌های عصبی مصنوعی ۷

ب) سیستم‌های فازی ۸

ج) الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت ۱۰

۱- الگوریتم‌های تکاملی ۱۰

۲- الگوریتم‌های هوش جمعی ۱۲

۱-۳- روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه ۱۴

۱-۳-۱- معرفی ۱۴

۱-۳-۲- بیان مفاهیم ۱۵

۱-۴- معرفی MOPSO ۱۷

۱-۴-۱- معرفی الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات PSO ۱۷

۱-۴-۲- معرفی الگوریتم بهینه سازی چند هدفه گروه ذرات MOPSO ۲۴

۱-۵- معرفی MOGSA ۲۹

۱-۵-۱- معرفی الگوریتم جستجوی گرانشی GSA ۲۹

۱-۵-۲- معرفی الگوریتم جستجوی گرانشی چند هدفه MOGSA ۳۳

۱-۵-۲-۱- بررسی عملکرد و مقایسه الگوریتم MOGSA با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه ۳۶

۲- طراحی مدارات مجتمع آنالوگ ۴۳
۲-۱- معرفی ۴۴
۲-۲- روش‌های سنتز در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ ۴۵
۲-۲-۱- روش‌های مبتنی بر دانش ۴۶
۲-۲-۲- روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی ۴۶
۲-۲-۳- مقایسه انواع روش‌های سنتز ۴۷
۲-۳- روش‌های بهینه‌سازی در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ ۴۹
۲-۳-۱- الگوریتم‌های تکاملی در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ ۵۰
۲-۳-۲- الگوریتم‌های تصادفی در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ ۵۱
۲-۳-۳- الگوریتم‌های هوش جمعی در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ ۵۱
۲-۳-۴- مقایسه انواع الگوریتم‌های ابتکاری ۵۲
۳- استفاده از تکنیک‌های جدید بهینه‌سازی هوش جمعی در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ ۵۳
۳-۱- پیشینه استفاده از الگوریتم‌های هوش‌جمعی در طراحی مدارات مجتمع آنالوگ ۵۴
۳-۲- معرفی ابزار بهینه‌سازی پیشنهادی ۵۷
۳-۳- سایزبندی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ توسط ابزار پیشتهادی ۵۹
۳-۳-۱- مسئله۱: طراحی یک تقویت کننده عملیاتی تفاضلی سه طبقه با تکنولوژی CMOS افزایشی ۵۹
۳-۳-۱-۱- شرایط مسئله نمونه ۵۹
۳-۳-۱-۲- نتایج طراحی و شبیه‌سازی ابزار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO ۶۱
۳-۳-۱-۳- نتایج طراحی و شبیه‌سازی ابزار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA ۶۶
۳-۳-۲- مسئله۲: طراحی یک تقویت کننده عملیاتی مستقل از دما با استفاده از منبع جریان ویدلر کسکود با تکنولوژی CMOS افزایشی ۷۱
۳-۳-۲-۱- شرایط مسئله نمونه ۷۱
۳-۳-۲-۲- نتایج طراحی و شبیه‌سازی ابزار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO ۷۳
۳-۳-۲-۳- نتایج طراحی و شبیه‌سازی ابزار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA ۷۸
۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۳
۴-۱- نتیجه‌گیری ۸۴
۴-۲- پیشنهاداتی برای ادامه کار ۸۶
۵- مراجع ۸۷

فهرست جدول‌ها

شماره	عنوان	صفحه
جدول ۱-۱	مشخصات الگوریتم‌های مورد مقایسه	۳۷
جدول ۱-۲	مقایسه میانگین معیار M_1^* حاصل از اجرای الگوریتم‌های NSGA-II، PAES، MOPSO و MOGSA برای سه تابع آزمون	۳۹
جدول ۳-۱	مشخصات طراحی تقویت کننده عملیاتی مسئله ۱	۶۰
جدول ۳-۲	مشخصات پارامترها در ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO	۶۱
جدول ۳-۳	مشخصات پاسخ‌های بدست آمده توسط ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO	۶۲
جدول ۳-۴	مقایسه میان محاسبات دستی و چند جواب ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO	۶۳
جدول ۳-۵	مشخصات پارامترها در ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA	۶۶
جدول ۳-۶	مشخصات پاسخ‌های بدست آمده توسط ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA	۶۷
جدول ۳-۷	مقایسه میان محاسبات دستی و چند جواب ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA	۶۸
جدول ۳-۸	مشخصات مشخصات طراحی تقویت کننده عملیاتی مسئله ۲	۷۱
جدول ۳-۹	مشخصات پارامترها در ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO	۷۳
جدول ۳-۱۰	مشخصات پاسخ‌های بدست آمده توسط ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO	۷۴
جدول ۳-۱۱	مقایسه میان محاسبات دستی و چند جواب ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOPSO	۷۵
جدول ۳-۱۲	مشخصات پارامترها در ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA	۷۸
جدول ۳-۱۳	مشخصات پاسخ‌های بدست آمده توسط ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA	۷۹
جدول ۳-۱۴	مقایسه میان محاسبات دستی و چند جواب ابزار سایزبندی خودکار پیشنهادی با الگوریتم MOGSA	۸۰

فهرست شکل‌ها

شماره	عنوان	صفحه
شکل ۱-۱	دسته‌بندی انواع روش‌های بهینه‌سازی	۴
شکل ۱-۲	نمایش ساختار شبکه عصبی MLP	۸
شکل ۱-۳	نمایش عمل ترکیب در الگوریتم ژنتیک	۱۱
شکل ۱-۴	نمایش سلول‌های تدافعی در الگوریتم ایمنی مصنوعی	۱۲
شکل ۱-۵	مفهوم غالب بودن و جبهه بهینه پَرِتو	۱۶
شکل ۱-۶	مجموعه نقاط پَرِتو بین $x = 0$ و $x = 2$	۱۷
شکل ۱-۷	نمایش حرکت دسته جمعی پرندگان و ماهی ها	۱۸
شکل ۱-۸	نمایش توپولوژی همسایگی حلقه در الگوریتم PSO	۲۱
شکل ۱-۹	نمایش توپولوژی کاملا بهم پیوسته در الگوریتم PSO	۲۱
شکل ۱-۱۰	نمایش توپولوژی شبکه ستاره‌ای در الگوریتم PSO	۲۲
شکل ۱-۱۱	نمایش توپولوژی شبکه درختی در الگوریتم PSO	۲۲
شکل ۱-۱۲	نمونه رمز یک الگوریتم PSO استاندارد	۲۳
شکل ۱-۱۳	نمونه رمز یک الگوریتم MOPSO استاندارد	۲۵
شکل ۱-۱۴	شبه کد الگوریتم جستجوی گرانشی	۳۲
شکل ۱-۱۵	فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی MOGSA	۳۴
شکل ۱-۱۶	جبهه پَرِتو تولید شده توسط الگوریتم‌های NSGA-II، PAES، MOPSO و MOGSA برای اولین تابع آزمون	۴۰
شکل ۱-۱۷	جبهه پَرِتو تولید شده توسط الگوریتم‌های NSGA-II، PAES، MOPSO و MOGSA برای دومین تابع آزمون	۴۱
شکل ۱-۱۸	جبهه پَرِتو تولید شده توسط الگوریتم‌های NSGA-II، PAES، MOPSO و MOGSA برای سومین تابع آزمون	۴۲
شکل ۲-۱	نمایش دسته‌بندی روش‌های سنتز مورد استفاده در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ	۴۵

شکل ۲-۲	مروری بر ابزارهای خودکار طراحی مدارات آنالوگ[۷۴]	۴۸
شکل ۲-۳	نمایش تقسیم‌بندی روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ	۵۰
شکل ۳-۱	الگوریتم کاری مرجع [۱۰۹]	۵۴
شکل ۳-۲	کانوایر جریان نسل دوم	۵۶
شکل ۳-۳	جبهه پرتو MOPSO در مقابل جبهه پرتو NSGA-II	۵۶
شکل ۳-۴	فلوچارت ابزار بهینه‌سازی پیشنهادی جهت سایزبندی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ	۵۸
شکل ۳-۵	ساختار پیشنهادی تقویت کننده مسئله شماره ۱	۶۰
شکل ۳-۶	تقابل بین پهنای باند و توان مصرفی در مسئله شماره ۱ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۶۴
شکل ۳-۷	تقابل بین حاشیه فاز و توان در مسئله شماره ۱ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۶۴
شکل ۳-۸	تقابل بین پهنای باند و حاشیه فاز در مسئله شماره ۱ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۶۵
شکل ۳-۹	تقابل بین پهنای باند و بهره ولتاژ در مسئله شماره ۱ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۶۵
شکل ۳-۱۰	تقابل بین پهنای باند و توان مصرفی در مسئله شماره ۱ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۶۹
شکل ۳-۱۱	تقابل بین بهره و حاشیه فاز در مسئله شماره ۱ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۶۹
شکل ۳-۱۲	تقابل بین پهنای باند و حاشیه فاز در مسئله شماره ۱ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۷۰
شکل ۳-۱۳	تقابل بین پهنای باند و بهره ولتاژ در مسئله شماره ۱ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۷۰
شکل ۳-۱۴	ساختار پیشنهادی تقویت کننده مسئله شماره ۲	۷۲
شکل ۳-۱۵	تقابل بین پهنای باند و توان مصرفی در مسئله شماره ۲ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۷۶
شکل ۳-۱۶	تقابل بین حاشیه فاز و توان در مسئله شماره ۲ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۷۶
شکل ۳-۱۷	تقابل بین پهنای باند و حاشیه فاز در مسئله شماره ۲ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۷۷
شکل ۳-۱۸	تقابل بین پهنای باند و بهره ولتاژ در مسئله شماره ۲ توسط MOPSO الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود	۷۷
شکل ۳-۱۹	تقابل بین پهنای باند و توان مصرفی در مسئله شماره ۲ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو	۸۱

ب) تمام پاسخ‌های موجود
شکل ۳-۲۰ تقابل بین حاشیه فاز و توان مصرفی در مسئله شماره ۲ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود ۸۱
شکل ۳-۲۱ تقابل بین پهنای باند و حاشیه فاز در مسئله شماره ۲ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود ۸۲
شکل ۳-۲۲ تقابل بین پهنای باند و بهره ولتاژ در مسئله شماره ۲ توسط MOGSA الف) اعضای جبهه پَرِتو ب) تمام پاسخ‌های موجود ۸۲

فصل اول

آشنایی با روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه هوش جمعی

۱-۱- بهینه‌سازی چیست؟

در طول تاریخ انسان‌ها همواره در پی این بوده‌اند تا به رفاه و امنیت بیشتری در زندگی خود دست یابند اما به وضوح مشخص است در این میان کسانی به موفقیت‌های بیشتری دست یافته‌اند که با صرف کمترین هزینه ممکن در زمان و دارایی، به بیشترین بهره‌وری ممکن از طبیعت پیرامون خود رسیده‌اند. از این رو بشر همواره در جستجوی یافتن بهترین‌ها برای رسیدن به اهداف خود بوده است. بهترین زمان، بهترین مکان، کمترین هزینه مالی، بیشترین امنیت سرمایه گذاری و بیشترین سود آورده نمونه‌ای از این آرمان‌ها هستند. بنابراین بشر از همان ابتدا به طور تجربی در پی بهینه‌سازی مسائلی بوده که به شکل روزمره با آنها مواجهه شده است. اما به طور یقین اولین بار مفهوم بهینه‌سازی به شکل علمی در علوم ریاضیات مطرح شد.

به تدریج توسعه و گسترش بهینه‌سازی در سال‌های گذشته منجر به معرفی روش‌ها و تئوری‌های مختلفی در یافتن پاسخ‌های بهینه شد. اصول اساسی تئوری بهینه‌سازی که در قرون ۱۷ و ۱۸ میلادی پایه گذاری شد، طی سالیان متمادی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است. محققان بزرگی همچون اویلر[۱] (۱۷۰۷-۱۷۸۳)، گالیله[۲] (۱۶۳۸)، ایزاک نیوتن[۳] (۱۶۴۳-۱۷۲۷)، ژاکوب برنولی[۴] (۱۶۵۵-۱۷۰۵)، ویلیام روان همیلتون[۵] (۱۸۰۸-۱۸۶۵) و لاگرانژ[۶] (۱۷۳۶-۱۸۱۳) در این زمینه تحقیقات فراوانی انجام داده و به یافته‌های ارزشمندی رسیده‌اند.

به طور کلی هدف از بهینه‌سازی توابع حقیقی، جستجوی مینیمم یا ماکزیمم آن‌ها به وسیله انتخاب مقادیر متغیرهای حقیقی یا صحیح از داخل یک مجموعه از اعداد ورودی داده شده می‌باشد. نقطه مینیمم یا ماکزیمم در اصطلاح تابع هدف[۷] نامیده می‌شود. برای یافتن مقدار بهینه توابع هدف، بایستی متغیرهای طراحی مسئله، که عملکرد توابع هدف را تحت تاثیر قرار می‌دهند، مشخص شوند. در مسائل بهینه‌یابی به توابعی که شامل پارامترهای طراحی بوده و به عنوان محدودیت بر مسئله اثر می‌نمایند، قیود طراحی می‌گویند.

---

[1] Euler
[2] Galileo Galilee
[3] Isaac Newton
[4] Jacob Bernoulli
[5] William Rowan Hamilton
[6] Lagrange
[7] Objective Function

از این رو معمولا مسائل بهینه‌یابی به دو دسته مقید[8] و نامقید تقسیم می‌شوند. در مسائل نامقید، برای بهینه‌سازی تابع هدف هیچ شرطی برای حدود متغیرها نداریم ولی در مسائل مقید، برای بهینه کردن تابع شروطی در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی، الگوی بهینه‌سازی طراحی استاندارد به صورت زیر تعریف می‌شود: «مطلوبست یافتن مقداری از متغیرهای طراحی X، $X=(x_1,x_2,...x_n)$، به طوری که $f(x)=f(x_1,x_2,...x_n)$ را ماکزیمم یا مینیمم کند و p قید مساوی و m قید نامساوی را برآورده نماید.» صورت کلی تعریف ریاضی فوق به صورت زیر بیان می‌شود:

Minimize or Maximize: $f(x)=f(x_1,x_2,...x_n)$ (۱-۱)

Subjected to :

$h_j(X)=h_j(x_1,x_2,...x_n)=0 \quad j=1,2,...,p$ (۱-۲)

$gi(X)= gi\ (x1,x2,...xn)<0 \quad i=1,2,...,m$ (۱-۳)

در روش‌های ریاضی از مشتقات تابع هدف و قیود برای جستجوی مقدار بهینه استفاده می‌کنند. این روش‌ها در ذات خود روش‌های تحلیلی هستند. در اینگونه مسائل همواره فرض می‌شد که مسئله محدب[9] است و مقدار مینیمم یافت می‌شود و پاسخ بهینه وجود دارد. ولی در بسیاری از علوم مهندسی از جمله مهندسی برق، مسائلی وجود دارد که محدب نیستند یا ممکن است ناپیوسته باشند. از سوی دیگر با گسترش دامنه‌های علم و ترکیب علوم مختلف با یکدیگر، به تدریج با مسائلی روبرو می‌شویم که دارای ابعاد و پیچیدگی وسیعی هستند. از این رو برای یافتن بهترین پاسخ نمی‌توان بر مبنای روش‌های ریاضی تمام فضای دامنه را جستجو کرد. بنابراین محققان برای حل مسائلی از این دست به روش‌های جستجوی جدیدی روی آوردند که آنها را در مجموع روش‌های جستجوی ابتکاری[10] می‌نامند.

روش‌های جستجوی ابتکاری الگوریتم‌هایی هستند که با الهام از فرایندهای فیزیکی و بیولوژیکی در طبیعت به وجود آمده‌اند و غالب آنها به صورت جمعیتی عمل می‌کنند. روش‌های جستجوی ابتکاری بر خلاف روش‌های کلاسیک بر مبنای تصادف عمل کرده و جستجوی فضا را به صورت موازی انجام می‌دهند. تفاوت

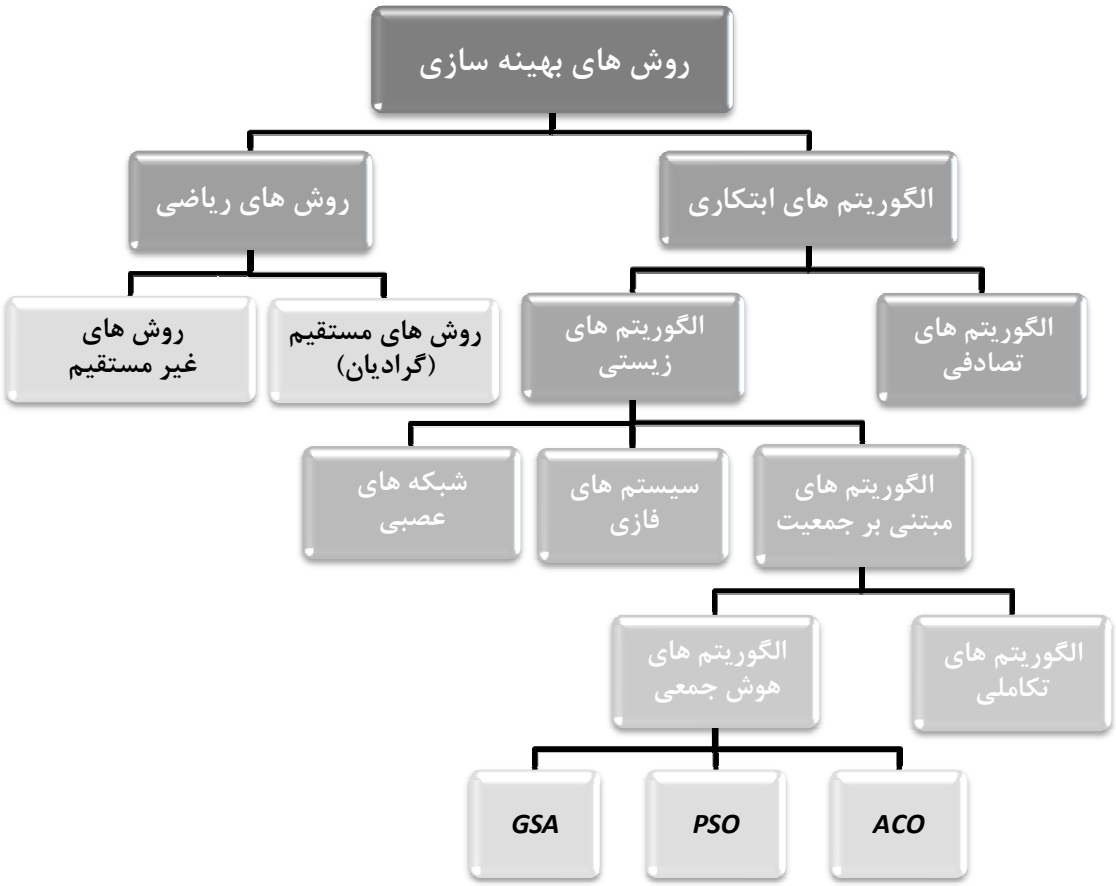
[8] Constrained Problem
[9] Convex
[10] Heuristic

دیگر آنها در استفاده نکردن از اطلاعات گرادیان[11] فضا است. این نوع روش‌ها تنها از تابع برازندگی برای هدایت جستجو استفاده می‌کنند.

بنابراین روش‌های مورد استفاده در زمینه بهینه‌سازی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی نمود:

- روش‌های ریاضی
- الگوریتم‌های ابتکاری

در شکل ۱-۱ دسته بندی جامعی از انواع روش‌های بهینه‌سازی نشان داده شده است. در ادامه هریک از این روش‌ها به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱-۱: دسته‌بندی انواع روش‌های بهینه‌سازی

[11] Gradient

۱-۲- معرفی انواع روش‌های بهینه‌سازی

۱-۲-۱- روش‌های ریاضی

به طورکلی روش‌های ریاضی به دو مجموعه مستقیم و غیر مستقیم، تقسیم می‌شوند. در روش غیر مستقیم نقطه بهینه از طریق مشتق‌گیری از تابع در تمام جهات و برابر صفر قرار دادن آنها حاصل می‌شود. این روش یک روش عمومی برای محاسبه نقطه بهینه توابع چند متغیره می‌باشد. در روش‌های مستقیم یا گرادیان، الگوریتم از یک نقطه حرکت را شروع کرده و در جهت گرادیان تابع حرکت می‌کند تا به جایی برسد که گرادیان تابع در تمام جهات صفر باشد. با وجود اینکه این دو روش، بهبود و گسترش یافته‌اند دو ایراد مهم در هر دو روش وجود دارد: الف) نیاز به وجود تابع هموار[۱۲] و پیوسته ب) به دست آوردن نقاط بهینه به صورت محلی. از طرف دیگر روش‌های محاسباتی فوق نیاز به یک تابع مشتق‌پذیر دارند و این در حالی است که بسیاری از مسائل طبیعی دارای توابع غیر پیوسته و مشتق ناپذیر می‌باشند. با یک مثال ساده می‌توان ضعف این دو روش را بیان کرد. از آنجا که در هر دو روش امکان گیر افتادن در بهینه‌های محلی بسیار می‌باشد، چنانچه تابع دارای ۲ قله باشد و نقطه شروع اولیه در همسایگی قله کوچکتر باشد، به قله بزرگتر یعنی نقطه بهینه کلی[۱۳] تابع نخواهیم رسید.

بنابراین در این گونه روش‌ها بایستی عملیات را مکررا با نقاط اولیه متفاوت انجام داد تا نهایتا نقطه بهینه کلی حاصل شود. البته همان طور که اشاره شد در هر روش، باید تابع دارای مشتقات لازم در نقاط مختلف باشد. در مسائل کاربردی، عموما با مسائلی سر و کار داریم که مشتق‌پذیر نبوده و چندین نقطه بهینه محلی، علاوه بر نقطه بهینه کلی دارند.

۱-۲-۲- الگوریتم‌های ابتکاری

امروزه با بزرگ شدن مسائل و اهمیت سرعت رسیدن به پاسخ، دیگر روش‌های ریاضی جوابگوی حل بسیاری از مسائل نیست. از این رو استفاده از الگوریتم‌های جستجوی ابتکاری در سال‌های اخیر رشد

[12] Smooth Function
[13] Global Optimum Point

چشمگیری داشته است. الگوریتم‌های ابتکاری را می‌توان به دو گروه کلی الگوریتم‌های تصادفی و الگوریتم‌های زیستی تقسیم‌بندی نمود.

۱-۲-۲-۱- الگوریتم‌های تصادفی

الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی بر مبنای درک مستقیم مسئله و مشاهدات طبیعی توسعه پیدا کرده و بر پایه قوانین نسبتا ساده و دریافت‌های مستقیم انسان ایجاد شده‌اند. اینگونه روش‌ها به دلیل عدم نیاز به محاسبات پیچیده ریاضی، توانایی خود را در جستجوی پاسخ‌های بهینه مناسب به اثبات رسانده‌اند. در الگوریتم‌های تصادفی به جای جستجوی همه جانبه فضای مسئله، بخش‌هایی از فضای مسئله به طور تصادفی مورد جستجو قرار می‌گیرد. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به الگوریتم جستجوی تابو[۱۴] و الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده[۱۵] (SA) اشاره نمود.

می‌دانیم که یک جستجوی محلی به یک بهینگی محلی منتهی می‌شود، اما از آنجا که الگوریتم جستجوی تابو[۱] حافظه دار است از بازگشت جستجو به فضاهایی که تا آن زمان بررسی شده‌اند جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، برخی فضاها باید دارای یک وضعیت ممنوعه باشند. بر خلاف انواع الگوریتم‌های گرادیانی که برای جستجوی محلی استفاده می‌شوند، در الگوریتم جستجوی تابو همسایگی‌ها به شکل پویا[۱۶] بروزرسانی می‌گردند.

الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده[۲] روشی است بر مبنای مدل مونت کارلو که از فرایندهای تکاملی ترمودینامیک الهام گرفته شده است. در این الگوریتم از یک روش جستجوی محلی شناخته شده در حل مسائل بهینه سازی استفاده می‌شود. این روش بیشتر برای حل مسائل بهینه سازی گسسته نسبت به مسائل پیوسته استفاده می‌گردد. نکته حائز اهمیت این است که این روش ابزاری را فراهم می‌نماید که بتوان از نقاط بهینه محلی[۱۷] فرار کرد و به وسیله پذیرش جواب‌های بدتر با یک احتمال مشخص، به نقطه بهینه سراسری[۱۸] دست یافت.

[14] Tabu Search
[15] Simulated Annealing
[16] Dynamic
[17] Local Optima
[18] Global Optima