

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه تربت حیدریه

# بهینه‌سازی چندهدفه کاربردی Applied Multi-Objective Optimization

نیلانجان دی

محمد رضا قریب

(دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تربت حیدریه)

(۱۴۰۳)

سرشناسه

دی، نیلانجان، ۱۹۸۴-م.

Dey, Nilanjan, 1984

عنوان و نام پدیدآور	:	بهینه‌سازی چندهدفه کاربردی/نویسندگان نیلانجان دی ؛ مترجم محمدرضا قریب..
مشخصات نشر	:	تریت حیدریه: دانشگاه تربت حیدریه، انتشارات، سال ۱۴۰۳
مشخصات ظاهری	:	۲۹۸ ص:؛ جدول، نمودار (رنگی).
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۸۳۳۵-۴۵-۰
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Applied Multi-objective Optimization.
موضوع	:	الگوریتم‌های فراابتکاری Metaheuristics بهینه‌سازی ریاضی Mathematical optimization تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه Multiple criteria decision making
شناسه افزوده	:	قریب، محمدرضا، ۱۳۶۰- مترجم
شناسه افزوده	:	دانشگاه تربت حیدریه، انتشارات
رده بندی کنگره	:	QA ۷۶/۹
رده بندی دیویی	:	۱۳۳۳/۰۰۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۹۸۵۷۴۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه تربت حیدریه

این اثر مشمول قانون حمایت از مؤلفان و مصنفان و هنرمندان است. هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر، پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

بهینه‌سازی چندهدفه کاربردی

نویسنده: دی، نیلانجان.

مترجم: محمدرضا قریب.

چاپ اول

به:

نشانی ناشر: تربت حیدریه، کیلومتر هفت جاده مشهد، دانشگاه دولتی تربت حیدریه

مسئولیت کلیه مطالب این کتاب به عهده نگارنده می‌باشد. دانشگاه تربت حیدریه هیچگونه مسئولیتی در قبال صحت و سقم مطالب ندارد.

## مقدمه

بهینه‌سازی چندهدفه به الگوریتم‌هایی اطلاق می‌شود که هدف آن‌ها حل مسائل با چندین هدف رقابتی است که نیاز به کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی دارند. بهینه‌سازی چندهدفه کاربردی یکی از شاخه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به مسائل بهینه‌سازی ریاضیاتی می‌پردازد که شامل چندین تابع هدف است و این توابع باید به‌طور همزمان بهینه شوند. این موضوع همچنین با عناوینی همچون برنامه‌نویسی چندهدفه، بهینه‌سازی برداری، بهینه‌سازی چندمعیاره، بهینه‌سازی چندویژگی و یا بهینه‌سازی پاراتو شناخته می‌شود. این کتاب به معرفی مفاهیم پایه‌ای بهینه‌سازی چندهدفه و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف علمی پرداخته است.

کتاب شامل هشت فصل است که در فصل اول، بنرجی و همکاران به معرفی مفاهیم اولیه و رویکردهای مختلف بهینه‌سازی چندهدفه برای پژوهشگران و دانشمندان فعال در این حوزه پرداخته‌اند. در فصل دوم، حسن و همکاران به توضیح تبیین‌های فرضی پرداخته و یادگیری فدرال را برای بهینه‌سازی تجزیه و تحلیل داده‌ها بررسی کرده‌اند. در فصل سوم، فرهمندتبار و همکاران از بهینه‌سازی تفاضلی هدایت‌شده تطبیقی چندهدفه در ساختارهای کنترل‌شده غیرفعال با دمپر جرمی تنظیم‌شده استفاده کرده‌اند. در فصل چهارم، هارکار و همکاران به بررسی رویکردهای مختلف برای بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه جهت انتخاب بهترین راه‌حل در تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته‌اند.

در فصل پنجم، فرهمندتبار استفاده از الگوریتم لیتنبرگ چندهدفه را برای طراحی بهینه ساختارهای خرپایی بررسی کرده است. در این فصل، آن‌ها به بهینه‌سازی چندهدفه ساختارهای خرپایی از طریق الگوریتم لیتنبرگ (MOLA) پرداخته‌اند که قادر به پردازش متغیرهای پیوسته است. در فصل ششم، بوپاتی و همکاران تحلیلی از عملکرد یک کنترل‌کننده PID مبتنی بر تابع هدف چندهدفه برای تنظیم فرکانس سیستم معرفی کرده‌اند. در فصل هفتم، فرهمندتبار و آفراسیابی به مسئله مسیریابی چندمدلی در شبکه‌های حمل‌ونقل شهری با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات کوانتومی چندهدفه پرداخته‌اند. در این فصل، آن‌ها به چالش‌های مسیریابی در شبکه‌های حمل‌ونقل شهری با رویکرد بهینه‌سازی ازدحام ذرات کوانتومی چندهدفه (MOQPSSO) پرداخته‌اند. در فصل پایانی، دولتشاهی و هاشمی بررسی تحلیلی از بهینه‌سازی چندهدفه برای انتخاب ویژگی‌ها ارائه داده‌اند. این فصل به بررسی روش‌های انتخاب ویژگی با تمرکز بر رویکرد MOP می‌پردازد.

ویراستار از نویسندگان و داوران برجسته برای مشارکتهای ارزشمندشان در انتشار این کتاب تشکر و قدردانی می‌کند. کار سخت و همکاری آنها منجر به انتشار این اثر برجسته شده است. همچنین از اعضای تیم اشپرینگر برای حمایت از نشر این کتاب تشکر می‌شود.

کوالکاتا، ایندیا

نیلانجان دی

## مؤلف و همکاران

### درباره مؤلف

نیلانجان دی استاد همراه در دپارتمان علوم کامپیوتر و مهندسی دانشگاه تکنو اینترنشنال نیو تاون، کلکته، هند است. او پژوهشگر مهمان دانشگاه ریدینگ، انگلستان است. وی در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ به‌عنوان دانشمند مهمان افتخاری در شرکت فناوری‌های بیومدیکال جهانی در کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا فعالیت کرده است. دی دکترای خود را از دانشگاه جاداوپور در سال ۲۰۱۵ دریافت کرده است. او بیش از ۷۰ کتاب با انتشاراتی مانند الزویر، وایلی، CRC Press و اشپرینگر تألیف یا ویرایش کرده و بیش از ۳۰۰ مقاله منتشر کرده است. او سردبیر مجله *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IGI Global)* و *Journal of Ambient Computing and Intelligence* و ویراستار همکار *IEEE Access* و *International Journal of Information Technology* (اشپرینگر) است. همچنین او سردبیر سری *Springer Tracts in Nature-Inspired Computing*، سردبیر همکار سری *Advances in Ubiquitous Sensing Applications for Healthcare* (الزویر) و سردبیر سری *CRC* است. علایق تحقیقاتی اصلی وی شامل تصویربرداری پزشکی، یادگیری ماشین، داده‌کاوی و ... است. او عضو برجسته *IETE* و عضو ارشد *IEEE* می‌باشد.



## معرفی مشارکت کنندگان

پرستو افراسیابی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

آرچیسمن بانرجی، دپارتمان مهندسی الکترونیک و مخابرات، دانشگاه KIIT، بوبانشور، هند

د. بوپاتی، دپارتمان مهندسی برق، کالج مهندسی پاوایی، نمکال، تامیلنادو، هند  
سایان چاکرابورتی، دپارتمان علوم کامپیوتر و مهندسی، دانشگاه تکنو اینترنشنال نیو تاون، کلکته، هند

م.ب. دولت شاهی، دپارتمان مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

سالار فرهمندتبار، دپارتمان مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

ویجی هارکار، دپارتمان مهندسی کامپیوتر، کالج مهندسی Dwarkadas J. Sanghvi، بمبئی، هند

سید ایرتیجا حسن، دانشگاه وولونگونگ، وولونگونگ، استرالیا

ا. هاشمی، دپارتمان مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

ک. جاگتیسان، دپارتمان مهندسی برق، کالج مهندسی پاوایی، نمکال، تامیلنادو، هند

ساجین آر. جین، دانشگاه ایالت او کلاهاما، استیل واتر، او کلاهاما، ایالات متحده آمریکا

محمد سرور کمال، دانشگاه چارلز استورت، تورگونا، استرالیا

رامچاندرا مانگروولکار، دپارتمان مهندسی کامپیوتر، کالج مهندسی Dwarkadas J. Sanghvi،

بمبئی، هند

بیتان میسرا، دپارتمان علوم کامپیوتر و مهندسی، دانشگاه تکنو اینترنشنال نیو تاون، کلکته، هند

کانندرا نایدو، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تکنولوژی مارا، شاه عالم، مالزی

سونیا فاهانا نیممی، دانشگاه نیو ساوت ولز، سیدنی، استرالیا

سانکارشان پراadhan، دپارتمان مهندسی الکترونیک و مخابرات، دانشگاه KIIT، بوبانشور، هند

سوراو سامانت، دانشگاه فناوری، باردهامان، بنگال غربی، هند

سینا شیرگیر، دپارتمان مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
آنکار ثورات، دانشکده علوم کامپیوتر، موسسه فناوری زبان، دانشگاه کارنگی ملون، پیتسبورگ،  
ایالات متحده آمریکا

## مقدمه مترجم

کتاب حاضر با عنوان "بهینه‌سازی چندهدفه کاربردی" به بررسی الگوریتم‌ها و تکنیک‌های نوین در حوزه بهینه‌سازی چندهدفه پرداخته و کاربردهای آن را در حل مسائل پیچیده علمی و مهندسی به‌طور جامع معرفی می‌کند. بهینه‌سازی چندهدفه یکی از شاخه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری است که به تحلیل و حل مسائل بهینه‌سازی با چندین تابع هدف می‌پردازد که به‌طور هم‌زمان باید بهینه‌سازی شوند. این روش به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در بسیاری از زمینه‌ها، از جمله طراحی سیستم‌ها، بهینه‌سازی فرآیندها، و حل مسائل دنیای واقعی کاربرد دارد.

کتاب حاضر مجموعه‌ای از فصل‌های تخصصی است که به بررسی آخرین تحولات و پیشرفت‌ها در زمینه بهینه‌سازی چندهدفه می‌پردازد. این کتاب شامل هشت فصل است که هر یک از آن‌ها به جنبه‌های مختلف این حوزه پرداخته‌اند. در فصل اول، بانرجی و همکاران به معرفی مفاهیم پایه‌ای و رویکردهای مختلف در بهینه‌سازی چندهدفه پرداخته‌اند. در فصل‌های بعدی، مقالات متعددی از جمله استفاده از الگوریتم‌های تکاملی، بهینه‌سازی با الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت، و همچنین کاربرد این روش‌ها در طراحی سازه‌ها، بهینه‌سازی سیستم‌ها و مسائل حمل‌ونقل شهری مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

این کتاب برای پژوهشگران، مهندسان، و علاقه‌مندان به علوم کامپیوتر و مهندسی به‌ویژه کسانی که در زمینه‌های بهینه‌سازی، هوش مصنوعی، و یادگیری ماشین فعالیت می‌کنند، یک منبع جامع و مفید به‌شمار می‌آید. در این مجموعه، همچنین به تحلیل روش‌های جدید انتخاب ویژگی‌ها و کاربردهای مختلف بهینه‌سازی چندهدفه در علوم مختلف از جمله زیست‌شناسی محاسباتی، داده‌های کلان، پردازش سیگنال و تصویر، و علوم بهداشت پرداخته شده است.

امید است که این کتاب بتواند گامی مؤثر در گسترش دانش و تحقیقات در زمینه بهینه‌سازی چندهدفه و کاربردهای آن در مسائل واقعی بردارد و الهام‌بخش پژوهشگران برای پیشبرد این حوزه باشد.



## فهرست مطالب

فصل ۱ راهنمای جامع الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی چندهدفه: مفاهیم و رویکردها ...	۱
۱-۱ مقدمه .....	۱
۲-۱ الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه .....	۵
۱-۲-۱ الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه .....	۵
۲-۲-۱ الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه .....	۸
۳-۲-۱ الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان در مسائل چندهدفه .....	۱۱
۴-۲-۱ الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه .....	۱۳
۵-۲-۱ سایر الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه .....	۱۶
۳-۱ تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی چندهدفه .....	۱۷
۱-۳-۱ روش مجموع وزنی .....	۱۷
۲-۳-۱ روش قید اسیلون .....	۱۸
۳-۳-۱ روش تسلط پارتو .....	۲۰
۴-۳-۱ سایر تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه .....	۲۰
۴-۱ کاربردها .....	۲۱
۵-۱ چالش‌ها و دامنه آینده .....	۲۴
۶-۱ نتیجه گیری .....	۲۵
۷-۱ منابع .....	۲۶
فصل ۲ ارتقاء بهینه‌سازی تحلیل داده‌ها با رویکرد توضیحات پادواقعی و یادگیری فدرال .....	۳۲
۱-۲ مقدمه .....	۳۲
۲-۲ مرور ادبیات .....	۳۴
۳-۲ روش شناسی .....	۴۰

- ۴۲..... ۱-۳-۲ یادگیری فدرال
- ۴۴..... ۴-۲ نظریه گراف در تجزیه و تحلیل بیان ژن برای تحقیقات سرطان
- ۴۴..... ۱-۴-۲ مدل گراف تعاملات ژنی
- ۴۵..... ۲-۴-۲ الگوریتم‌های گراف توزیع شده برای داده‌های ژنومی مقیاس بزرگ
- ۴۵..... ۳-۴-۲ مدل‌های بیزین سلسله‌مراتبی برای بیان ژن در تحقیقات سرطان
- ۴۸..... ۵-۲ تحلیل سناریوهای جایگزین
- ۴۹..... ۱-۵-۲ تحلیل سناریوهای جایگزین و نظریه گراف
- ۵۰..... ۲-۵-۲ توضیحات پیشامدی و آمار
- ۵۰..... ۳-۵-۲ توضیحات پیشامدی و ریاضیات
- ۵۱..... ۶-۲ مدل‌های علی ساختاری برای داده‌های بیان ژن
- ۵۲..... ۱-۶-۲ تنظیم جزئیات
- ۵۲..... ۷-۲ اجزا
- ۵۳..... ۱-۷-۲ ساختن گراف جهت دار بدون دور
- ۵۳..... ۸-۲ مداخلات
- ۵۳..... ۱-۸-۲ استدلال فرضی
- ۵۴..... ۲-۸-۲ برآورد و استنباط
- ۵۴..... ۹-۲ نتایج تجربی
- ۵۵..... ۱-۹-۲ توصیف داده‌ها
- ۵۵..... ۲-۹-۲ تحلیل ژن بهینه
- ۵۷..... ۳-۹-۲ گراف شبکه برای ژن‌های بهینه
- ۵۹..... ۴-۹-۲ تحلیل ژن‌ها برای هر بیمار به صورت جداگانه
- ۶۳..... ۱۰-۲ بحث

۶۴	۱۱-۲ نتیجه گیری
۶۴	۱۲-۲ منابع
۶۸	فصل ۳ تکامل تفاضلی چندهدفه تطبیقی برای سازه‌های کنترل شده با دمپر جرمی تنظیم شده
۶۸	۱-۳ مقدمه
۷۱	۲-۳ کارهای مرتبط با کنترل بهینه مبتنی بر TMD
۷۵	۳-۳ تکامل تفاضلی هدایت شده تطبیقی چندهدفه
۷۸	۱-۳-۳ اصول پایه AGDE
۸۰	۲-۳-۳ مدل AGDE برای بهینه‌سازی چندهدفه
۸۵	۴-۳ طرح کلی برای طراحی بهینه TMDها
۸۹	۵-۳ مطالعه عددی
۹۳	۶-۳ نتایج و بحث
۹۷	۷-۳ نتیجه گیری
۹۸	۳-۸ منابع
	فصل ۴ رویکردهای تکاملی برای بهینه‌سازی چندهدفه و انتخاب راه‌حل پارتو-بهینه در تحلیل داده‌ها
۱۰۴	۱-۴ مقدمه
۱۰۴	۲-۴ مرور کلی بر بهینه‌سازی چندهدفه
۱۰۹	۱-۲-۴ اصطلاحات در بهینه‌سازی چندهدفه
۱۱۰	۲-۲-۴ تعریف و تدوین مسائل
۱۱۱	۳-۲-۴ روش‌های سنتی برای بهینه‌سازی چندهدفه
۱۱۴	۴-۲-۴ روش‌های سنتی برای انتخاب راه‌حل‌های بهینه پارتو
۱۱۵	۳-۴ مسائل بهینه‌سازی چندهدفه در تحلیل داده
۱۱۶	۱-۳-۴ مرور کلی بر تحلیل داده

- ۲-۳-۴ دیدگاه MOO در مسائل تجزیه و تحلیل داده‌ها ..... ۱۱۶
- ۴-۴ بررسی کلی الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت ..... ۱۱۸
- ۱-۴-۴ ورود به دوران جدید الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت ..... ۱۱۸
- ۲-۴-۴ الگوریتم‌های تکاملی ..... ۱۱۹
- ۳-۴-۴ الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحامی ..... ۱۲۱
- ۴-۴-۴ بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها ..... ۱۲۳
- ۵-۴-۴ شبکه‌های عصبی ..... ۱۲۶
- ۶-۴-۴ مرور کلی بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت ..... ۱۳۱
- ۵-۴-۵ بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی ..... ۱۳۳
- ۱-۵-۴ ساختار مسائل ..... ۱۳۴
- ۲-۵-۴ مرور رویکردها و تکنیک‌های مورد استفاده در EMOO ..... ۱۳۶
- ۳-۵-۴ عملکرد EMOO در تحلیل داده‌ها ..... ۱۳۷
- ۴-۵-۴ انتخاب راه‌حل بهینه پارتو تکاملی ..... ۱۳۹
- ۵-۵-۴ آخرین پژوهش‌ها در زمینه EMOO ..... ۱۴۳
- ۶-۴-۶ نتیجه‌گیری ..... ۱۴۶
- ۷-۴ منابع ..... ۱۴۷
- فصل ۵ الگوریتم لیتنبرگ چندهدفه برای طراحی بهینه سازه‌های خرپایی ..... ۱۵۱
- ۱-۵ مقدمه ..... ۱۵۱
- ۲-۵ ادبیات مرتبط در بهینه‌سازی چندهدفه خرپا ..... ۱۵۵
- ۳-۵ الگوریتم لیتنبرگ چندهدفه ..... ۱۵۷
- ۴-۵ مسئله بهینه‌سازی خرپای چندهدفه ..... ۱۶۴
- ۵-۵ نتایج و بحث در مورد مثال‌های عددی ..... ۱۶۵

۱۶۶	..... ۱-۵-۵ ساختار خرپا ۶۰ میله‌ای
۱۶۹	..... ۲-۵-۵ ساختار خرپا ۲۰۰ میله‌ای
۱۷۳	..... ۶-۵ نتیجه‌گیری‌ها
۱۷۴	..... ۷-۵ منابع
	فصل ۶ تحلیل عملکرد یک کنترل‌کننده PID مبتنی بر تابع چندهدفه برای تنظیم فرکانس سیستم
۱۸۱	.....
۱۸۱	..... ۱-۶ مقدمه
۱۸۶	..... ۱-۱-۶ سازمان‌دهی فصل
۱۸۷	..... ۲-۱-۶ اهمیت فصل
۱۸۷	..... ۲-۶ سیستم تحقیقاتی
۱۸۹	..... ۳-۶ رویکرد کنترلر با تابع هدف
۱۹۰	..... ۴-۶ الگوریتم مای‌فلای
۱۹۴	..... ۵-۶ نتایج و بحث
۱۹۴	..... ۱-۵-۶ تحلیل ۱: تحلیل عملکرد مجموع وزنی کنترلر PID
۱۹۸	..... ۲-۵-۶ تحلیل ۲: تحلیل عملکرد مجموع وزنی کنترلر PID با کنترلر کلاسیک
۲۰۳	..... ۶-۶ نتیجه‌گیری
۲۰۴	..... ۶-۷ منابع
	فصل ۷ مسیریابی چند مدلی در شبکه حمل و نقل شهری با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات کوانتومی چندهدفه
۲۰۷	.....
۲۰۷	..... ۱-۷ مقدمه
۲۰۹	..... ۲-۷ آثار مرتبط با مسیریابی چند مدلی
۲۱۰	..... ۳-۷ الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات کوانتومی
۲۱۰	..... ۱-۳-۷ مفهوم پایه‌ای بهینه‌سازی ازدحام ذرات

۲۱۱	..... ۲-۳-۷ بهینه‌سازی ازدحام ذرات با رفتار کوانتومی
۲۱۳	..... ۳-۳-۷ بهینه‌سازی ازدحام ذرات با رفتار کوانتومی چندهدفه
۲۱۸	..... ۴-۷ وضعیت مسئله بهینه‌سازی
۲۱۹	..... ۱-۴-۷ منطقه موردنظر برای مطالعه
۲۱۹	..... ۲-۴-۷ مسیریابی چندمدلی
۲۲۳	..... ۳-۴-۷ مدل‌سازی
۲۲۵	..... ۵-۷ بحث نتایج در مورد مطالعات موردی
۲۳۱	..... ۶-۷ نتیجه‌گیری‌ها
۲۳۲	..... ۷-۷ منابع
۲۳۷	..... فصل ۸ مروری بر بهینه‌سازی چندهدفه برای انتخاب ویژگی‌ها
۲۳۷	..... ۱-۸ مقدمه
۲۳۹	..... ۲-۸ بهینه‌سازی چندهدفه
۲۴۰	..... ۳-۸ انتخاب ویژگی
۲۴۴	..... ۴-۸ انتخاب ویژگی‌ها بر اساس MOP
۲۴۴	..... ۱-۴-۸ روش‌های انتخاب ویژگی بر اساس MOP با استفاده از فیلتر
۲۴۶	..... ۲-۴-۸ روش‌های انتخاب ویژگی مبتنی بر MOP به روش Wrapper
۲۵۵	..... ۳-۴-۸ روش‌های انتخاب ویژگی مبتنی بر MOP هیبریدی
۲۵۷	..... ۴-۴-۸ طبقه‌بندی بر اساس دیدگاه نظارت
۲۵۸	..... ۵-۵-۸ نتیجه‌گیری
۲۵۹	..... ۶-۸ منابع

# فصل ۱

## راهنمای جامع الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی چندهدفه: مفاهیم و رویکردها

آرچیسمن بانرجی؛ سانکارشان پرادهان؛ بیتان میسرا<sup>۱</sup> و سایان چاکرابورتی<sup>۲</sup>

۱-۱ مقدمه

در حوزه فناوری و صنایع، مسائل و چالش‌های مختلفی وجود دارد که نیازمند بهینه‌سازی هم‌زمان اهداف یا مقاصد متعددی می‌باشند [۱]. اگرچه برخی مسائل عملی را می‌توان به مسائل تک‌هدفه تبدیل کرد، اما انجام این کار برای همه مسائل بسیار دشوار است. بنابراین، تعریف اهداف متعدد برای یافتن بهترین راه‌حل برای یک مسئله یا وظیفه ضروری است. روش بهینه‌سازی چندهدفه (شکل ۱ را ببینید) در این زمینه بسیار مفید بوده است. این روش‌ها در حل مسائل دنیای واقعی و در زمینه‌های متعددی محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند [۲].

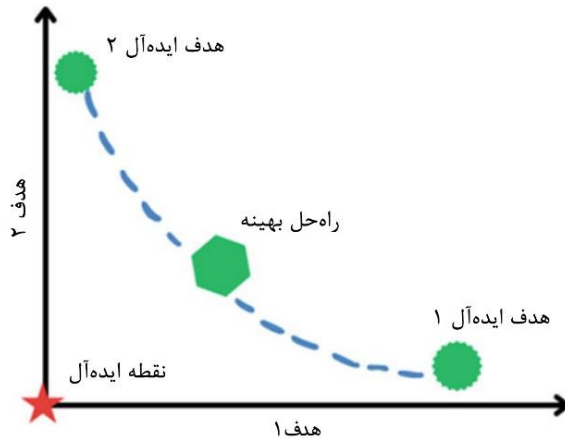
---

<sup>۱</sup> Archisman Banerjee: Department of Electronics and Telecommunication Engineering, KIIT University, Bhubaneswar, India

<sup>۲</sup> Sankarshan Pradhan: Department of Electronics and Telecommunication Engineering, KIIT University, Bhubaneswar, India

<sup>۳</sup> Bitan Misra: Department of Computer Science and Engineering, Techno International New Town, Kolkata, India

<sup>۴</sup> Sayan Chakraborty



شکل ۱: تکنیک بهینه‌سازی چندهدفه

بهینه‌سازی تک‌هدفه رویکردی است که ویژگی‌های مسئله را به خوبی نشان می‌دهد، اما به طور کلی نمی‌تواند مجموعه‌ای از راه‌حل‌های مختلف را برای مدیریت اهداف متضاد فراهم کند. یکی از مزایای به کارگیری اهداف متعدد در فرایند حل مسئله این است که مجموعه‌ای گسترده از راه‌حل‌های جایگزین مشاهده می‌شود [۳]. علاوه بر این، مدل‌سازی مسئله به صورت چندهدفه عملی‌تر خواهد بود. بهینه‌سازی چندهدفه تصمیم‌گیری و سازمان‌دهی مسئله را تسهیل می‌کند.

بهینه‌سازی چندهدفه، معمولاً چندین راه‌حل بهینه ارائه می‌دهد که اغلب به آن‌ها راه‌حل‌های غیرازدحامی یا جبهه‌های بهینه پارتو گفته می‌شود، به ویژه در مواردی که اهداف در تضاد نیستند و تنها یک راه‌حل یکتا وجود دارد. با به کارگیری بهینه‌سازی چندهدفه و تولید راه‌حل‌های غیرازدحامی، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند درک بهتری از تبادل کمی بین اهداف به دست آورند. بر اساس نتایج و ارزیابی شخصی خود، آن‌ها می‌توانند یکی از بهترین گزینه‌ها را انتخاب کنند.

بهینه‌سازی چندهدفه از دو رویکرد اساسی پیروی می‌کند. اولین رویکرد شامل ترکیب تمامی اهداف تک‌هدفه در یک تابع هدف پیچیده است. برای انجام این کار معمولاً از نظریه مطلوبیت یا تکنیک

مجموع وزنی استفاده می‌شود. دومین رویکرد هر هدف ممکن به جز یکی را در مجموعه‌ای از اهداف قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر، بهبودسازی چندهدفه به‌عنوان روشی محبوب برای حل مسائل واقعی مانند کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبودسازی کارآمد نیروگاه‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۸].

الگوریتم‌های فراابتکاری، الگوریتم‌هایی می‌باشند که برای یافتن راه‌حل‌های مناسب برای مسائل پیچیده و دشوار طراحی شده‌اند. این الگوریتم‌ها با الهام از پدیده‌های طبیعی مانند ژنتیک، رفتار دسته‌ای، و بقای گونه‌های قوی‌تر در فرآیند تکامل توسعه یافته‌اند. برخی از نمونه‌های برجسته این الگوریتم‌ها شامل الگوریتم بهبودسازی ازدحام ذرات (PSO)، تکامل تفاضلی (DE)، الگوریتم ژنتیک (GA)، و بهبودسازی کلونی مورچه‌ها (ACO) هستند. این الگوریتم‌ها در حل مسائل پیچیده در حوزه‌های مهندسی، بازرگانی و کشاورزی بسیار محبوب می‌باشند [۴].

الگوریتم‌های فراابتکاری با استفاده از تکرارهای مکرر، یک مسئله را محاسبه و بهبود می‌کنند. این الگوریتم‌ها در فضای جستجوی راه‌حل‌های ممکن به دنبال بهترین راه‌حل می‌گردند و بهترین نتیجه ممکن را به دست می‌آورند. یکی از مزایای اصلی این الگوریتم‌ها این است که به مقدار اولیه مسئله وابسته نیستند و به دلیل عدم فرضیات زیاد، می‌توانند برای حل مسائل بلادرنگ در حوزه‌های مختلف استفاده شوند [۵، ۶].

کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در بهبودسازی چندهدفه در سال‌های اخیر افزایش یافته است. هنگامی که روش‌های معمول بهبودسازی چندهدفه قادر به حل مسائل پیچیده غیرخطی نیستند، الگوریتم‌های فراابتکاری می‌توانند راه‌حل مؤثری ارائه دهند. این الگوریتم‌ها راه‌های جدیدی برای بهبودسازی چندهدفه در حوزه‌هایی مانند ارتباطات بی‌سیم، مدیریت بحران‌های بهداشتی، کشاورزی،

---

<sup>۱</sup>particle swarm optimization

<sup>۲</sup>differential evolution

<sup>۳</sup>genetic algorithm

<sup>۴</sup>ant colony optimization

بخش‌بندی تصویر و غیره فراهم می‌کنند. یکی دیگر از دلایل محبوبیت این الگوریتم‌ها در حل مسائل چندهدفه، ارائه بهترین راه‌حل بهینه از میان مجموعه‌ای گسترده از راه‌حل‌ها است.

الگوریتم ژنتیک، به عنوان یک الگوریتم تکاملی، در بهینه‌سازی فرآیندهای جستجوی پیچیده بسیار محبوب و کارآمد است. الگوریتم الهام گرفته از زیست‌شناسی مانند بهینه‌سازی تغذیه باکتریایی در شبکه‌های عصبی و مسائل مرتبط با یادگیری ماشین مفید است. خوشه‌بندی داده‌ها، داده‌کاوی، و پیش‌بینی سری‌های زمانی را می‌توان با کمک الگوریتم PSO به خوبی انجام داد. الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری نیز در فرآیند بخش‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در حوزه علوم فضایی و پژوهش کاربرد دارد [۷].

الگوریتم‌های فراابتکاری همچنین در بهینه‌سازی ساختارهای عمیق شبکه‌های عصبی بسیار مفید هستند. این ساختارهای عمیق اخیراً در فرآیند طبقه‌بندی تصاویر برای تشخیص عفونت‌های قفسه سینه در دوران همه‌گیری کووید-۱۹ به کار گرفته شده‌اند [۹]. مسائل مربوط به جلوگیری از وقوع تشدید در فرکانس‌های خاص در سازه‌های خرابایی نیز می‌توانند با استفاده از این الگوریتم‌ها حل شوند [۱۰]. در صنایع حمل‌ونقل کالا، انبارداری و بهینه‌سازی برش مواد به منظور کاهش ضایعات، مسئله بسته‌بندی اقلام یکی از چالش‌های رایج است که می‌توان آن را با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به خوبی حل کرد [۱۱].

الگوریتم‌های فراابتکاری در تحلیل دقیق عملکرد سازه‌های هیدرولیکی و بررسی پارامترهای مرتبط با جریان آب و نیروها نیز بسیار کمک‌کننده است. علاوه بر این، این رویکرد در مطالعه عملیات مخزن و کنترل جریان سیال در صنایع نیروگاهی کاربرد دارد [۱۲]. انواع مختلفی از هندسه‌های آرایه آنتن را می‌توان مطالعه و الگوی تابش آن‌ها را به طور کارآمد با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری بهبود داد. این امر در سیستم‌های ارتباطات بی‌سیم، که کاربردهای گسترده‌ای در کاربردهای نظامی و فضایی، از جمله طراحی سیستم‌های تسلیحاتی، ناوبری، ارتباطات، ماهواره‌ها و سیستم‌های پرتاب دارند، بسیار حائز اهمیت است.

در حوزه مهندسی، اکثر مسائل غیرخطی هستند. علاوه بر این، مسائل مرتبط با آرایه‌های آنتن، شبکه‌های عصبی و هوش مصنوعی شامل مجموعه داده‌های بزرگی هستند. بنابراین، حل این گونه مسائل پیچیده با الگوریتم‌های متعارف دشوار می‌شود. الگوریتم‌های فراابتکاری به دلیل زمان محاسباتی کمتر و دقت تقریباً بالا نسبت به دیگر الگوریتم‌ها ترجیح داده می‌شوند [۱۳].

کاربردهای متعددی از بهینه‌سازی چندهدفه در مدیریت و مهندسی یافت می‌شود. اکثر مسائل بهینه‌سازی که در کاربردهای عملی مطرح می‌شوند، اهداف متعددی دارند و در نتیجه به‌عنوان مسائل چندهدفه طبقه‌بندی می‌شوند. مسائل چندهدفه ممکن است به‌صورت عددی حل شوند، هرچند به دلیل پیچیدگی‌های نظری و محاسباتی، انجام این کار دشوار است. از این‌رو، بهینه‌سازی چندهدفه در چند سال اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته است و الگوریتم‌های فراابتکاری در حل این نوع مسائل مؤثر بوده‌اند.

## ۲-۱ الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه

انواع مختلف الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، و تکامل تفاضلی می‌توانند در مسائل واقعی که نیاز به بهینه‌سازی چندهدفه دارند، به کار گرفته شوند. در بخش زیر، اجرای این الگوریتم‌ها در مسائل مختلف بهینه‌سازی چندهدفه مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۱-۲-۱ الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برای حل مسائل بهینه‌سازی مقید و غیرمقید است که بر پایه انتخاب طبیعی، روشی که تکامل زیستی را هدایت می‌کند، بنا شده است. الگوریتم ژنتیک چندهدفه یک روش جستجوی مستقیم برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است. الگوریتم ژنتیک رویکردی محبوب برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است. این الگوریتم به‌جای یافتن یک پاسخ واحد پارتو، به دنبال شناسایی تعدادی از راه‌حل‌های پارتو است. نتیجه الگوریتم ژنتیک چندهدفه، مجموعه‌ای از

راه‌حل‌ها به نام جبهه پارتو یا مجموعه پارتو است. این راه‌حل‌ها نشان‌دهنده نحوه معامله بین اهداف متعارض هستند، به طوری که بهبود یک هدف به قیمت کاهش هدف دیگر تمام می‌شود. هنگام استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، باید تنوع و برتری راه‌حل‌ها را در نظر گرفت.

استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه دارای مزایای متعددی است:

**رویکرد مبتنی بر جمعیت:** الگوریتم ژنتیک جمعیتی از راه‌حل‌های احتمالی را ردیابی می‌کند که این امر امکان کاوش در فضای پاسخ و یافتن چندین پاسخ بهینه پارتو را فراهم می‌کند.

**تعادل بین تنوع و برتری:** برای جلوگیری از همگرایی به یک راه‌حل واحد، الگوریتم ژنتیک بین تنوع در گزینه‌ها و محافظت از بهترین راه‌حل‌ها (برتری) تعادل ایجاد می‌کند.

**کاوش مؤثر در فضای پاسخ:** الگوریتم ژنتیک از استراتژی‌های ترکیب و جهش برای کاوش در مناطق مختلف فضای پاسخ استفاده کرده و مجموعه‌ای متنوع از راه‌حل‌های بهینه پارتو را به دست می‌آورد.

**انعطاف‌پذیری:** الگوریتم ژنتیک برای انواع مختلف مسائل بهینه‌سازی مناسب است، زیرا می‌تواند متغیرهای تصمیم‌گیری پیوسته و گسسته را مدیریت کند.

بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک با موفقیت در حل مسائل نگهداری روسازی در مقاله [۱۴] به کار رفته است. هدف اصلی سیستم نگهداری روسازی، شناسایی روش‌های مقرون‌به‌صرفه برای حفظ شرایط قابل استفاده روسازی‌ها در یک بازه زمانی مشخص است. در این مطالعه، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با هزینه حداقلی و وضعیت حداکثری برای شبکه جاده‌ای مورد استفاده، توسعه داده شده است. این مدل برای شبکه‌های جاده‌ای به کار گرفته شده و یک راه‌حل بهینه به دست آمده است. از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت روسازی با

محدودیت‌های بودجه‌ای خاصی روبه‌رو است و مدیران روسازی می‌توانند میزان سرمایه‌گذاری لازم را با توجه به شرایط موردنظر شبکه جاده‌ای در طول زمان تعیین کنند. بنابراین، این مسئله به‌عنوان یک مسئله چندهدفه شناسایی شده و با موفقیت توسط GA حل شده است.

در مقاله [۱۵]، GA همراه با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای ارزیابی پروژه‌های بازسازی ساختمان به‌کار گرفته شد. در این مطالعه موردی، یک ساختمان مدرسه برای نشان دادن ارزش بهینه‌سازی و شناسایی مشکلات احتمالی استفاده شد. این مطالعه اساساً شامل بهینه‌سازی توابع هدف با تمرکز بر ویژگی‌ها و عملکرد ساختمان‌ها است، از جمله هزینه بازسازی، مصرف انرژی، و نگهداری حرارت.

الگوریتم ژنتیک در چرخه ترمودینامیکی یک موتور توربوجت ایده‌آل نیز [۱۶] مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان آن را به‌عنوان یک مسئله چندهدفه شناسایی کرد. تکنیک به‌کار رفته در این مطالعه، بهینه‌سازی بر اساس رویکرد پارتو است. در این مطالعه، عوامل هدف شامل رانش ویژه (نیروی رانش تولید شده به ازای واحد جریان جرمی هوا ورودی به موتور) (ST)، مصرف سوخت ویژه (TSFC)، راندمان پیش‌رانه، و راندمان حرارتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای بهینه‌سازی دوهدفه، از جفت‌های مختلف توابع هدف در این مورد استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده به‌وضوح نشان می‌دهد که الگوریتم استفاده‌شده در حفظ کیفیت روش پارتو در فرآیندهای بهینه‌سازی دوهدفه و چندهدفه برتر است.

همانطور که در مقاله [۱۷] مشاهده می‌شود، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمغلوب (راه‌حلی که توسط هیچ راه‌حلی دیگری در همه یا حداقل یک جنبه بهتر و در هیچ جنبه‌ای بدتر نباشد) (NSGA-)

---

<sup>۱</sup>artificial neural network

<sup>۲</sup>Specific thrust

<sup>۳</sup>thrust-specific fuel consumption