







# بهینه‌سازی مهندسی

معرفی به همراه کاربردهایی از الگوریتم‌های فراابتکاری

تالیف: **شین شی یانگ**

ترجمه: **دکتر محمد گلستانی - دکتر علیرضا سپاسیان**

(اعضای هیئت علمی دانشگاه فسا)

سرشناسه: یانگ، شین-شی، ۱۹۶۵-م. Yang, Xin-She, 1965  
عنوان و نام پدیدآور: بهینه‌سازی مهندسی معرفی به همراه کاربردهایی از الگوریتم‌های فراابتکاری / شین-شی یانگ؛  
مترجمان محمد گلستانی، علیرضا سپاسیان.  
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه الزهرا (س)، انتشارات، ۱۳۹۹.  
مشخصات ظاهری: ۳۶۲ ص. شابک: 978-622-6114-63-9  
وضعیت فهرست نویسی: فیبا  
عنوان اصلی: Engineering optimization : an introduction with metaheuristic applications, c2010.  
موضوع: برنام‌نویسی تجربه‌ای موضوع: Heuristic programming  
موضوع: بهینه‌سازی ریاضی  
موضوع: Mathematical optimization  
موضوع: ریاضیات مهندسی موضوع: Engineering mathematics  
شناسه افزوده: گلستانی، محمد، ۱۳۵۹- مترجم شناسه افزوده: سپاسیان، علیرضا، ۱۳۵۶- مترجم  
شناسه افزوده: دانشگاه الزهراء (س). انتشارات شناسه افزوده: Alzahra University press  
رده بندی کنگره: T۵۷/۸۴ رده بندی دیویی: ۶۲۰/۰۰۱۵۱۹۶ شماره کتابشناسی ملی: ۷۳۱۰۹۵۱



## بهینه‌سازی مهندسی

معرفی به همراه کاربردهایی از الگوریتم‌های فراابتکاری

تالیف: شین شی یانگ

ترجمه: دکتر محمد گلستانی - دکتر علیرضا سپاسیان  
(اعضای هیئت علمی دانشگاه فسا)

ناشر: دانشگاه الزهراء (س)

طراح جلد: هدیه جمشیدی

صفحه‌آرایی: دانشگاه الزهراء (س)

چاپ و صحافی: چاپخانه دانشگاه پیام نور

نوبت چاپ: اول - تابستان ۱۳۹۹

شمارگان: ۳۰۰ نسخه

قیمت: ۷۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۱۱۴-۶۳-۹

مرکز بخش:

ونک، دانشگاه الزهراء (س) / تلفن: ۸۵۶۹۲۷۶۹-۸۸۰۴۸۹۳۳

وبگاه فروش اینترنتی: <https://book.alzahra.ac.ir>

تقدیم بہ او کہ آموخت مرا تا بیا موزم و یکران را،  
تقدیم بہ خانوادہ کہ منظر عشق، آراش و الطاف خداوندی است،  
و تقدیم بہ کلیہ پویندگان طریق علم و معرفت.



# فهرست مطالب

ص	پیشگفتار
ط	پیشگفتار مترجمان
ع	مقدمه
۱	<b>اول اصول بهینه‌سازی و الگوریتم‌ها</b>
۳	۱ تاریخچه مختصری از بهینه‌سازی
۳	۱.۱ قبل از ۱۹۰۰
۶	۲.۱ قرن بیستم
۸	۳.۱ روش‌های ابتکاری و فراابتکاری
۱۱	تمرین‌ها
۱۲	منابع
۱۵	۲ <b>بهینه‌سازی مهندسی</b>
۱۵	۱.۲ بهینه‌سازی
۱۶	۲.۲ انواع بهینه‌سازی
۱۹	۳.۲ الگوریتم‌های بهینه‌سازی
۲۱	۴.۲ فراابتکاری‌ها
۲۲	۵.۲ نماد مرتبه
۲۳	۶.۲ پیچیدگی الگوریتم
۲۵	۷.۲ قضایای «ناهار رایگان وجود ندارد»
۲۶	تمرین‌ها
۲۷	منابع
۲۹	۳ <b>اصول ریاضی</b>
۲۹	۱.۳ کران‌های بالا و پایین
۳۱	۲.۳ حساب پایه
۳۴	۳.۳ بهینگی
۳۴	۱.۳.۳ پیوستگی و همواری
۳۶	۲.۳.۳ نقاط پایداری
۳۷	۳.۳.۳ محک بهینگی
۳۹	۴.۳ بردار و نرم‌های ماتریسی
۴۳	۵.۳ مقادیر ویژه و معین بودن
۴۳	۱.۵.۳ مقادیر ویژه

۴۵	۲.۵.۳	معین بودن
۴۸	۶.۳	توابع خطی و آفین
۴۸	۱.۶.۳	توابع خطی
۴۹	۲.۶.۳	توابع آفین
۴۹	۳.۶.۳	فرم درجه دوم
۵۰	۷.۳	گرادیان و ماتریس‌های هسین
۵۰	۱.۷.۳	گرادیان
۵۰	۲.۷.۳	هسین
۵۱	۳.۷.۳	تقریب توابع
۵۲	۴.۷.۳	بهینگی توابع چندمتغیره
۵۳	۸.۳	تحدب
۵۳	۱.۸.۳	مجموعه محدب
۵۴	۲.۸.۳	توابع محدب
۵۷		تمرین‌ها
۵۸		منابع

#### ۴ روش‌های بهینه‌سازی بخش اول

۵۹	۱.۴	بهینه‌سازی غیرمقید
۶۰	۲.۴	روش‌های براساس گرادیان
۶۰	۱.۲.۴	روش نیوتن
۶۱	۲.۲.۴	روش سریع‌ترین کاهش
۶۳	۳.۲.۴	جستجوی خطی
۶۴	۴.۲.۴	روش گرادیان مزدوج
۶۵	۳.۴	بهینه‌سازی مقید
۶۶	۴.۴	برنامه‌ریزی خطی
۶۷	۵.۴	روش سیمپلکس
۶۸	۱.۵.۴	رویه اساسی
۶۹	۲.۵.۴	جمع بندی روش
۷۳	۶.۴	بهینه‌سازی غیرخطی
۷۳	۷.۴	روش جریمه
۷۴	۸.۴	ضرایب لاگرانژ
۷۷	۹.۴	شرایط کاروش-کان-تاکر
۸۰		تمرین‌ها
۸۱		منابع

#### ۵ روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک بخش دوم

۸۳	۱.۵	روش BFGS
۸۳	۲.۵	روش نلدر-مید
۸۴	۱.۲.۵	یک سادک
۸۴	۲.۲.۵	سادک سرایشی نلدر-مید
۸۶	۳.۵	روش ناحیه-اطمینان
۸۸	۴.۵	برنامه‌ریزی درجه دوم دنباله‌ای
۸۸	۱.۴.۵	برنامه‌ریزی درجه دوم
۸۹	۲.۴.۵	برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی
۹۱		تمرین‌ها
۹۲		منابع



۹۳	<b>۶ بهینه‌سازی محدب</b>
۹۳	۱.۶ شرایط KKT
۹۵	۲.۶ مثال‌هایی از بهینه‌سازی محدب
۹۷	۳.۶ بهینه‌سازی با قیود تساوی
۹۹	۴.۶ توابع مانعی
۱۰۱	۵.۶ روش نقطه درونی
۱۰۳	۶.۶ بهینه‌سازی استوار و تصادفی
۱۰۵	تمرین‌ها
۱۰۶	منابع
۱۰۷	<b>۷ حساب تغییرات</b>
۱۰۷	۱.۷ معادله اویلر-لاگرانژ
۱۰۷	۱.۱.۷ انحنا
۱۰۹	۲.۱.۷ معادله اویلر-لاگرانژ
۱۱۵	۲.۷ تغییرات با قیود
۱۲۰	۳.۷ تغییرات برای متغیرهای چندگانه
۱۲۱	۴.۷ کنترل بهینه
۱۲۱	۱.۴.۷ مساله کنترل
۱۲۲	۲.۴.۷ اصل پونتریاگین
۱۲۴	۳.۴.۷ کنترل‌های چندگانه
۱۲۵	۴.۴.۷ کنترل بهینه تصادفی
۱۲۶	تمرین‌ها
۱۲۷	منابع
۱۲۹	<b>۸ مولدهای عدد تصادفی</b>
۱۲۹	۱.۸ الگوریتم‌های متجانس خطی
۱۳۰	۲.۸ توزیع یکنواخت
۱۳۲	۳.۸ توزیع‌های دیگر
۱۳۶	۴.۸ الگوریتم‌های متروپلیس
۱۳۷	تمرین‌ها
۱۳۸	منابع
۱۳۹	<b>۹ روش‌های مونت کارلو</b>
۱۳۹	۱.۹ تخمین $\pi$
۱۴۲	۲.۹ انتگرال مونت کارلو
۱۴۴	۳.۹ اهمیت نمونه‌برداری
۱۴۶	تمرین‌ها
۱۴۷	منابع
۱۴۹	<b>۱۰ گام‌زدن تصادفی و زنجیره مارکف</b>
۱۴۹	۱.۱۰ فرآیند تصادفی
۱۵۱	۲.۱۰ گام‌زدن تصادفی
۱۵۱	۱.۲.۱۰ گام‌زدن تصادفی یک بعدی
۱۵۳	۲.۲.۱۰ گام‌زدن تصادفی در ابعاد بالاتر
۱۵۴	۳.۱۰ پروازهای لوی
۱۵۶	۴.۱۰ زنجیره مارکف
۱۵۶	۵.۱۰ مونت کارلو با زنجیره مارکف

۱۵۹	۱.۵.۱۰ الگوریتم‌های متروپلیس-هستینگ
۱۶۱	۲.۵.۱۰ گام‌زدن تصادفی
۱۶۲	۶.۱۰ زنجیره مارکف و بهینه‌سازی
۱۶۴	تمرین‌ها
۱۶۵	منابع

## ۱۶۷ **دوم الگوریتم‌های فراابتکاری**

۱۶۹	<b>۱۱ الگوریتم ژنتیک</b>
۱۶۹	۱.۱۱ مقدمه
۱۷۰	۲.۱۱ الگوریتم‌های ژنتیک
۱۷۰	۱.۲.۱۱ فرآیند عمومی الگوریتم
۱۷۲	۲.۲.۱۱ تعیین مقدار پارامترها
۱۷۳	۳.۱۱ پیاده‌سازی الگوریتم
۱۷۵	تمرین‌ها
۱۷۶	منابع

۱۷۷	<b>۱۲ الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده</b>
۱۷۷	۱.۱۲ تبرید و احتمال
۱۷۸	۲.۱۲ انتخاب پارامترها
۱۷۹	۳.۱۲ الگوریتم SA
۱۸۰	۴.۱۲ پیاده‌سازی الگوریتم
۱۸۳	تمرین‌ها
۱۸۴	منابع

۱۸۵	<b>۱۳ الگوریتم‌های مورچگان</b>
۱۸۵	۱.۱۳ رفتار مورچگان
۱۸۶	۲.۱۳ الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان
۱۸۸	۳.۱۳ مسئله دو پل
۱۸۹	۴.۱۳ الگوریتم مورچه‌های مجازی
۱۹۱	تمرین‌ها
۱۹۱	منابع

۱۹۳	<b>۱۴ الگوریتم‌های زنبور</b>
۱۹۳	۱.۱۴ رفتار زنبورهای عسل
۱۹۴	۲.۱۴ الگوریتم‌های زنبور
۱۹۴	۱.۲.۱۴ الگوریتم زنبور عسل
۱۹۶	۲.۲.۱۴ الگوریتم زنبورهای مجازی
۱۹۷	۳.۲.۱۴ الگوریتم اجتماع زنبورهای مصنوعی
۱۹۷	۳.۱۴ کاربردها
۱۹۸	تمرین‌ها
۱۹۸	منابع

۱۹۹	۱۵ بهینه‌سازی توده ذرات
۱۹۹	۱.۱۵ هوش گروهی
۲۰۰	۲.۱۵ الگوریتم‌های PSO
۲۰۰	۳.۱۵ تسریع PSO
۲۰۳	۴.۱۵ اجرا
۲۰۳	۱.۴.۱۵ توابع چند اکسترممی
۲۰۴	۲.۴.۱۵ اعتبار سنجی
۲۰۵	۵.۱۵ محدودیت‌ها
۲۰۶	تمرین‌ها
۲۰۶	منابع

۲۰۹	۱۶ جستجوی هماهنگ
۲۰۹	۱.۱۶ الگوریتم‌های بر اساس موسیقی
۲۱۰	۲.۱۶ جستجوی هماهنگ
۲۱۲	۳.۱۶ پیاده‌سازی
۲۱۳	تمرین‌ها
۲۱۴	منابع

۲۱۵	۱۷ الگوریتم کرم شب تاب
۲۱۵	۱.۱۷ رفتار کرم‌های شب تاب
۲۱۶	۲.۱۷ الگوریتم الهام گرفته از کرم شب تاب
۲۱۶	۱.۲.۱۷ الگوریتم کرم شب تاب
۲۱۶	۲.۲.۱۷ شدت نور و جذابیت
۲۱۹	۳.۲.۱۷ مقیاس بندی و بهینه سراسری
۲۱۹	۴.۲.۱۷ دو حالت خاص
۲۲۰	۳.۱۷ پیاده‌سازی
۲۲۰	۱.۳.۱۷ چندین بهینه سراسری
۲۲۱	۲.۳.۱۷ توابع چند اکسترممی
۲۲۱	۳.۳.۱۷ گونه‌های مختلف FA
۲۲۳	تمرین‌ها
۲۲۳	منابع

## ۲۲۵ سوم کاربردها

۲۲۷	۱۸ بهینه‌سازی چند هدفه
۲۲۷	۱.۱۸ بهینگی پارتو
۲۳۱	۲.۱۸ روش مجموع وزنی
۲۳۳	۳.۱۸ روش تابع سودمندی
۲۳۶	۴.۱۸ جستجوی فرا ابتکاری
۲۳۶	۵.۱۸ الگوریتم‌های دیگر
۲۳۸	تمرین‌ها
۲۳۹	منابع

۲۴۱	۱۹ کاربردها در مهندسی
۲۴۱	۱.۱۹ طراحی فنر
۲۴۲	۲.۱۹ مخزن تحت فشار
۲۴۴	۳.۱۹ بهینه‌سازی شکل
۲۴۶	۴.۱۹ بهینه‌سازی مقادیر ویژه و فرکانس
۲۵۰	۵.۱۹ تحلیل معکوس اجزاء محدود
۲۵۳	تمرین‌ها
۲۵۳	منابع

## پیوست‌ها

### آ توابع آزمایشی در بهینه‌سازی

۲۶۳	ب برنامه‌های Matlab®
۲۶۳	۱.ب الگوریتم ژنتیک
۲۶۶	۲.ب تیرید شبیه‌سازی شده
۲۶۹	۳.ب بهینه‌سازی اجتماع ذرات
۲۷۱	۴.ب جستجوی هماهنگ
۲۷۴	۵.ب الگوریتم کرم شب تاب
۲۷۷	۶.ب سیستم‌های بزرگ تنک خطی
۲۷۸	۷.ب بهینه‌سازی غیر خطی
۲۷۹	ب.۱.۷ طراحی فنر
۲۸۱	ب.۲.۷ مخزن تحت فشار

### پ جواب تمرین‌ها

#### ت واژه نامه فارسی به انگلیسی

#### ث واژه نامه انگلیسی به فارسی

### منابع

### نمایه

# فهرست تصاویر

۱۱	بازتاب نور از یک آینه	۱.۱
۱۷	طبقه‌بندی مسائل بهینه‌سازی	۱.۲
۲۰	طبقه‌بندی الگوریتم‌ها	۲.۲
۳۵	(a) یک پرش ناپیوستگی در $x_0$ است، اما قطعه‌ای پیوسته است، جاییکه نقطه توپر را شامل است در ولی دایره توخالی یعنی این‌که نقطه را شامل نیست. (b) $ \sin(x) $ هموار قطعه ایست (اما در $x = 0, \pm\pi, \pm 2\pi, \dots$ غیرمشتق‌پذیر است).	۱.۳
۳۶	(a) $ x $ در $x = 0$ مشتق‌پذیر نیست، (b) $1/x$ یک نقطه تکین در $x = 0$ دارد.	۲.۳
۳۷	علامت مشتق دوم در یک نقطه پایداری. (الف) $f''(x) > 0$ ، (ب) $f''(x) = 0$ و (ج) $f''(x) < 0$ .	۳.۳
۳۷	تابع سینوس $\sin(x)$ و نقاط پایداری آن با $(-)$ و نقاط عطف با $(\circ)$ مشخص شده است.	۴.۳
۳۸	بیشینه و کمینه قوی و ضعیف. $A$ بیشینه موضعی ضعیف؛ نقطه $B$ یک بیشینه موضعی ضعیف با ناپیوستگی؛ $C$ و $D$ ، به ترتیب، کمینه و بیشینه است. $E$ یک کمینه موضعی ضعیف است. نقطه $F$ متناظر با یک بیشینه قوی و همچنین بیشینه سراسری است، در حالی‌که نقطه $G$ کمینه موضعی قوی سراسری است.	۵.۳
۵۳	تحدب: (a) غیرمحدب و (b) محدب.	۶.۳
۵۳	تحدب: (a) مجموعه آفین $x = \theta x_1 + (1 - \theta)x_2$ که در آن $\theta \in \mathbb{R}$ ، (b) پوش محدب $x = \sum_{i=1}^k \theta_i x_i$ با $\sum_{i=1}^k \theta_i = 1$ و $\theta_i \geq 0$ ، و (c) مخروط محدب $x = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2$ با $\theta_1 \geq 0$ و $\theta_2 \geq 0$ .	۷.۳
۵۳	تحدب تابع $f(x)$ . وتر $AB$ بالای قطعه منحنی واصل $A$ و $B$ قرار دارد. برای هر نقطه $P$ ، داریم	۸.۳
۵۵	$L =  x_B - x_A $ و $L_\beta = \beta L$ ، $L_\alpha = \alpha L$ .	۵.۵
۶۷	نمایش نموداری برنامه‌ریزی خطی. اگر $\alpha = 2$ ، $\beta = 3$ ، $n_1 = 16$ ، $n_2 = 10$ و $n = 20$ ، آن‌گاه جواب بهینه در $B(10, 10)$ است.	۱.۴
۷۶	کمینه یک تابع با دو قید تساوی.	۲.۴
۸۰	ناحیه موجه جواب‌های غیرموجه (مشخص شده با $\circ$ ) و نقطه بهینه (مشخص شده با $\bullet$ ).	۳.۴
۸۴	مفهوم سادک: (a) ۱-سادک، (b) ۲-سادک، و (c) ۳-سادک.	۱.۵
۸۵	اعمال سادک‌ها: (a) بازتاب با حجم ثابت (مساحت)، (b) توسعه و انقباض در طول خط بازتاب، (c) کاهش.	۲.۵
۱۰۰	روش مانع: (a) مانع $\log$ نزدیک مرز، و (b) مسیر اصلی برای $n = 2$ و $N = 4$ .	۱.۶
۱۰۳	استواری جواب بهینه.	۲.۶
۱۰۸	مفهوم انحنا.	۱.۷
۱۰۹	انحنای دایره در هر نقطه $1/r$ است.	۲.۷
۱۱۰	تغییرات در مسیر $y(x)$ .	۳.۷

- ۴.۷ یک مسیر جغرافیایی روی سطح کره. . . . . ۱۱۲
- ۵.۷ یک پاندول ساده. . . . . ۱۱۴
- ۱.۸ هیستوگرام ۵۰۰۰ عدد تصادفی تولید شده از یک توزیع یکنواخت در بازه  $(0, 1)$ . . . . . ۱۳۱
- ۲.۸ هیستوگرام اعداد با توزیع نرمال که توسط روش وارون انتقال ساده تولید شده است. . . . . ۱۳۴
- ۱.۹ تخمین  $\pi$  با تکرار پرتاب سوزن یا انداختن سکه . . . . . ۱۳۹
- ۲.۹ نمایش انتگرال مونت کارلو . . . . . ۱۴۳
- ۱.۱۰ گام‌زدن تصادفی در خط یک-بعدی. در هر نقطه، احتمال حرکت به راست یا چپ برابر  $1/2$  است. ۱۵۲
- ۲.۱۰ گام‌زدن تصادفی و مسیر ۱۰۰ گام متوالی با نقطه شروع  $0$ . . . . . ۱۵۲
- ۳.۱۰ حرکت برآونی در دوبعدی: گام‌زدن تصادفی با توزیع طول گام گوسی و مسیری با ۱۰۰ گام و شروع مبدا  $(0, 0)$  (مشخص شده با  $\bullet$ ). . . . . ۱۵۳
- ۴.۱۰ پروازهای لوی دوبعدی با شروع مبدا  $(0, 0)$  (مشخص شده با  $\bullet$ ). . . . . ۱۵۵
- ۱.۱۱ تقاطع در یک نقطه (مکان) تصادفی در الگوریتم ژنتیک . . . . . ۱۷۱
- ۲.۱۱ نمایش عمل جهش در یک مکان با تغییر مقدار یک بیت که به صورت تصادفی انتخاب شده است  $(1 \rightarrow 0)$ . . . . . ۱۷۲
- ۳.۱۱ تبدیل همه متغیرها به یک رشته بلند . . . . . ۱۷۳
- ۴.۱۱ تابع ایسام  $f(x) = -\cos(x)e^{-(x-\pi)^2}$  برای  $x \in [-10, 10]$  دارای یک نقطه بیشینه سراسری در  $x_* = \pi$  با مقدار  $f_{\max} = 1$  است. . . . . ۱۷۴
- ۵.۱۱ یک خروجی از یک اجرای معمولی. بهترین تخمین به مقدار  $\pi$  نزدیک می‌شود و تابع برازندگی به  $f_{\max}$  همگراست. . . . . ۱۷۵
- ۱.۱۲ تابع روزنبرگ با مقدار بهینه سراسری  $f_* = 0$  در نقطه  $(1, 1)$ . . . . . ۱۸۱
- ۲.۱۲ محاسبه در الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده. بهترین جواب سراسری یافته شده با  $\bullet$  نشان داده شده است. . . . . ۱۸۱
- ۳.۱۲ تابع شانه تخم مرغ با نقطه کمینه سراسری  $f_* = 0$  در نقطه  $(0, 0)$ . . . . . ۱۸۲
- ۴.۱۲ مسیرهای حرکت در خلال تکرارهای الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده. . . . . ۱۸۳
- ۱.۱۳ مسئله دوپل برای تعیین اولویت مسیر: مسیر (۲) از مسیر (۱) کوتاه‌تر است. . . . . ۱۸۸
- ۲.۱۳ انتخاب مسیر توسط الگوریتم: (a) در ابتدا مورچه‌ها هر مسیر را با احتمال  $50 - 50$  انتخاب می‌کنند و (b) بعد از ۵ تکرار تقریباً همه مورچه‌ها از مسیر کوتاه‌تر حرکت می‌کنند. . . . . ۱۸۹
- ۳.۱۳ شکل و توزیع فرمون در تابع چند قله ای . . . . . ۱۹۰
- ۱.۱۵ نمایش شماتیک حرکت یک ذره  $i$  در PSO که حرکت آن به طرف بهترین جواب سراسری  $g^*$  و بهترین جواب  $x_i^*$  است. . . . . ۲۰۰
- ۲.۱۵ یک تابع چند اکسترممی با مقدار بهینه سراسری  $f_* = 0$  در نقطه  $(0, 0)$ . در این جا نقطه  $(0, 0)$  یک نقطه تکین است. . . . . ۲۰۳
- ۳.۱۵ تابع میخانیلوویچ با نقطه کمینه سراسری در حدود  $(1/57049, 2/20319)$ . . . . . ۲۰۴
- ۴.۱۵ مکان ابتدایی و نهایی ۲۰ ذره بعد از ۱۰ تکرار. . . . . ۲۰۵
- ۱.۱۶ هماهنگی دو نت با نسبت فرکانس ۳:۲ و امواج آن‌ها. . . . . ۲۰۹
- ۲.۱۶ نت‌های تصادفی . . . . . ۲۱۰
- ۳.۱۶ تغییرات هماهنگ در جستجوی هماهنگ . . . . . ۲۱۳
- ۴.۱۶ تابع موج یانگ با نقطه کمینه سراسری در  $(0, 0)$ . . . . . ۲۱۴

- ۱.۱۷. نمای یک تابع با دو نقطه بیشینه برابر. ۲۲۰
- ۲.۱۷. مکان ابتدایی ۲۵ گرم شب تاب (شکل سمت چپ) و مکان نهایی آن‌ها بعد از ۲۰ تکرار (شکل سمت راست). ۲۲۱
- ۳.۱۷. نمای تابع دویعدی آکلی با بهینه سراسری  $\circ$  در نقطه  $(\circ, \circ)$ . ۲۲۲
- ۴.۱۷. مکان ابتدایی ۲۵ گرم شب تاب (شکل سمت چپ) و مکان نهایی آن‌ها بعد از ۲۰ تکرار (شکل سمت راست). ۲۲۲
- ۱.۱۸. مجموعه غیر مغلوب، جبهه پارتو و بردارهای ایده‌آل در یک مسئله کمینه‌سازی با دو تابع هدف  $f_1$  و  $f_2$ . ۲۳۰
- ۲.۱۸. سه تابع هدف با نقطه کمینه سراسری در  $x_* = \beta$  و  $y_* = \alpha - \gamma$ . ۲۳۲
- ۳.۱۸. مکان نهایی  $\circ$  ذره بعد از ۵ تکرار. نقطه بهینه در  $(1/3, \circ)$  با  $\circ$  نشانه‌گذاری شده است. ۲۳۳
- ۴.۱۸. یافتن جواب پارتو با حداکثر سودمندی در یک مساله بیشینه‌سازی با دو تابع هدف. ۲۳۴
- ۵.۱۸. جبهه پارتو خطی است که نقطه  $A(5, \circ)$  را به نقطه  $B(\circ, 5/\alpha)$  وصل می‌کند. جواب پارتو با بیشترین مقدار سودمندی برابر  $U_* = 25$  است که در نقطه  $A$  برقرار می‌شود. ۲۳۶
- ۱.۱۹. طراحی بهینه یک فنر ساده. ۲۴۲
- ۲.۱۹. طراحی مخزن فشار و بهینه‌سازی آن. ۲۴۳
- ۳.۱۹. دامنه مستطیلی طراحی به  $N$  قسمت تقسیم می‌شود. با توجه به بهینه‌سازی و نحوه توزیع مصالح، شکل طراحی به صورت یک خرپا در می‌آید. ۲۴۴
- ۴.۱۹. ارتعاشات هماهنگ. ۲۴۷
- ۵.۱۹. یک میله مستطیلی با ویژگی‌های ناهمگن مواد. ۲۵۱
۱. پ. اثبات هرون برای کوتاه‌ترین مسیر. ۲۸۶
۲. پ. ناحیه موجه متغیرهای تصمیم برای یک مسئله برنامه‌ریزی خطی. ۲۸۷
۳. پ. نمودار  $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$ . ۲۸۸
۴. پ. نمودار  $f(x) = x^2 + 25 \cos^2(x)$ . ۲۸۹
۵. پ. تابع جریمه درجه دوم  $\Pi(x, \mu) = 100(x-1)^2 + \pi + \frac{\mu}{2}(x-a)^2$  و  $\mu = 2000$ . ۲۹۱
۶. پ. یک مسیر ساده برای گردش بین ۴ شهر. ۲۹۲





# فهرست الگوریتم‌ها

۶۳	روش جستجوی خطی	۱
۸۴	روش BFGS	۲
۸۷	روش سادک کاهشی نلدر-مید	۳
۸۹	روش ناحیه اطمینان	۴
۹۱	برنامه ریزی درجه دوم متوالی	۵
۹۸	روش نیوتن برای بهینه‌سازی مقید تساوی	۶
۱۰۲	رویه روش مانعی برای بهینه‌سازی محدب	۷
۱۴۴	الگوریتم انتگرال مونت‌کارلو	۸
۱۶۰	الگوریتم متروپلیس-هستینگ	۹
۱۶۳	الگوریتم زنجیره مارکف گانه-اسمیت	۱۰
۱۷۱	الگوریتم ژنتیک	۱۱
۱۸۰	الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده	۱۲
۱۸۷	الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان	۱۳
۱۹۵	الگوریتم زنبور عسل	۱۴
۲۰۱	الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات	۱۵
۲۱۲	الگوریتم جستجوی هماهنگ	۱۶
۲۱۷	الگوریتم کرم شب تاب	۱۷



# پیشگفتار

بهینه‌سازی در همه‌جا، از طراحی مهندسی تا علوم کامپیوتر و از برنامه‌ریزی تا اقتصاد وجود دارد، اما فهمیدن اینکه مسئله بهینه‌سازی است، حل مسئله را ساده‌تر نمی‌کند. در حقیقت، بسیاری از مسائلی که ساده به نظر می‌آیند، هنگام حل بسیار مشکل هستند. یک مثال معروف مسئله فروشنده دوره‌گرد است که فروشنده باید به ۵۰ شهر، و هر کدام دقیقاً یک‌بار، مسافت کند به‌گونه‌ای که مسافت پیموده شده یا هزینه مسافت کمینه گردد. هیچ الگوریتم کارایی برای چنین مسائل دشواری وجود ندارد. جدیدترین پیشرفت‌ها در طول دو دهه اخیر در جهت الگوریتم‌های فراابتکاری بوده است. در حقیقت، قسمت اعظم روش‌های بهینه‌سازی مدرن اغلب ابتکاری و (یا) فراابتکاری است. الگوریتم‌های فراابتکاری مانند تبرید شبیه‌سازی شده، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، جستجوی هماهنگ و الگوریتم‌های ژنتیک در حل مسائل دشوار بهینه‌سازی، بسیار قدرتمند می‌باشد و تقریباً در تمام شاخه‌های علوم و مهندسی همانند کاربردهای صنعتی به‌کار گرفته شده‌اند.

کتاب حاضر تمام الگوریتم‌های فراابتکاری مهم و کاربردهای آن را در بهینه‌سازی معرفی می‌کند. این کتاب درسی دارای سه بخش است: بخش اول: معرفی و اصول بهینه‌سازی و الگوریتم‌ها؛ بخش دوم: الگوریتم‌های فراابتکاری؛ و بخش سوم: کاربردهای الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی مهندسی. بخش اول شامل معرفی مختصری از طبیعت بهینه‌سازی و رویکردهای معمول در مسائل بهینه‌سازی، تولید عدد تصادفی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو است. در بخش دوم تمام الگوریتم‌های فراابتکاری اصلی (و یا آن‌هایی که به‌گسترده‌گی استفاده می‌شوند) با جزئیات کامل معرفی می‌شوند که شامل الگوریتم‌های ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی شده، الگوریتم‌های مورچه، الگوریتم‌های زنبور، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم‌های کرم شب تاب، جستجوی هماهنگ و چند نمونه دیگر می‌باشد. در بخش سوم، به اختصار بهینه‌سازی چندهدفه را معرفی می‌کنیم. همچنین درباره بازه گسترده‌ای از کاربردهای الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی در دنیای واقعی بحث خواهیم کرد. در پیوست‌ها برخی از الگوریتم‌های مهم (و یا عمومی) در Matlab® و (یا) Octave پیاده‌سازی شده‌اند تا خوانندگان از آن‌ها برای یادگیری و یا حل سایر مسائل بهینه‌سازی استفاده کنند. فایل برنامه‌های کامپیوتری این کتاب در منزگاه وایلی به آدرس ذیل قابل دسترسی است:

[ftp://ftp.wiley.com/public/sci\\_tech\\_med/engineering\\_optimization](ftp://ftp.wiley.com/public/sci_tech_med/engineering_optimization)

این کتاب منحصر به‌فرد دارای تعداد زیادی مثال مرحله به مرحله و تمرین‌های متنوع است. این کتاب می‌تواند به‌عنوان یک کتاب درسی مناسب برای دانشجویان و پژوهشگران، جهت یادگیری الگوریتم‌های فراابتکاری و بهینه‌سازی مهندسی استفاده شود.

شین-شی یانگ

کمبریج

آوریل ۲۰۱۰



# پیشگفتار مترجمان

به جرأت می‌توان گفت که «بهینه‌سازی» پرکاربردترین شاخه در ریاضی و یک مبحث کاملاً بین رشته‌ایست. از علوم مهندسی مانند برق، مکانیک و سازه گرفته تا علوم تصمیم‌گیری و مدیریتی و همچنین علم اقتصاد، بهره زیادی از بهینه‌سازی برده‌اند.

تاکنون کتاب‌های زیاد و مفیدی در زمینه بهینه‌سازی نگاشته شده است که مترجمین این کتاب، از آن‌ها بهره‌های زیادی برده‌اند. لیکن این کتاب‌ها عموماً دارای دو ویژگی هستند که استفاده از آن‌ها را برای دانشجویان مهندسی تا حدودی محدود می‌کند. دسته اول کتاب‌ها به مفاهیم بنیادین بهینه‌سازی می‌پردازد. هر چند که بخش مهمی از بهینه‌سازی مفاهیم بنیادی و تئوریک است، اما خواندن آن برای یک دانشجوی مهندسی سخت و کسل‌کننده است. دسته دیگری از کتاب‌ها به نحوه استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی پرداخته است؛ اما معمولاً این کتاب‌ها با محوریت یک رشته خاص مهندسی نوشته شده است و یا اینکه تنها به چند روش مشهور بهینه‌سازی اکتفا کرده است.

کتاب حاضر مبحث بهینه‌سازی را به شکل کاربردی معرفی کرده و از یک جامع‌نگری نیز در این حوزه برخوردار است. اما این ویژگی اصلی این کتاب نیست. در واقع مزیت اصلی این کتاب بررسی الگوریتم‌های نوین در بهینه‌سازی است که به روش‌های ابتکاری و فراابتکاری معروفند.

از آن‌جا که عمر زیادی از الگوریتم‌های فراابتکاری نمی‌گذرد، وجود یک کتاب جامع در این مباحث یکی از نیازهای اصلی این حوزه است. با توجه به این‌که اکثر الگوریتم‌های فراابتکاری در این کتاب بررسی شده‌است، این کتاب را می‌توان به عنوان یکی از مراجع اصلی در این زمینه قلمداد کرد.

کتاب پیش رو را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد: قسمت اول شامل مقدمات ریاضی مورد نیاز است و قسمت دوم متشکل از بخش دوم و سوم، به الگوریتم‌ها و کاربردها می‌پردازد. خوانندگانی که با مقدمات ریاضی آشنایی نسبی دارند می‌توانند این قسمت را نادیده گرفته و مستقیماً به قسمت دوم مراجعه نمایند.

در ترجمه تلاش شده است که وفاداری به متن اصلی حفظ شود؛ ولی در پاره‌ای از موارد برای راحتی خواننده ناگزیر به ترجمه روان به جای ترجمه تحت‌اللفظی شده‌ایم. در ضمن، اشتباهات کوچک در متن اصلی را در ترجمه تصحیح کرده‌ایم. همچنین برای اینکه خواندن کتاب راحت‌تر شود از بسته XqPersian در نرم‌افزار  $\text{\LaTeX}$  استفاده شده است.

از آن‌جا که هرکار انسانی مصون از خطا نیست، مترجمان نیز کار خود را بدون نقص نمی‌دانند. خواهشمندیم هرگونه پیشنهاد و در صورت مشاهده هرگونه نقص و اشتباه، موارد را به آدرس [golestani@fasau.ac.ir](mailto:golestani@fasau.ac.ir) یا [sepasian@fasau.ac.ir](mailto:sepasian@fasau.ac.ir) ارسال نمایید.

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از جناب آقای دکتر کنزی و جناب آقای دکتر منبئی که متقبل بررسی علمی کتاب

و جناب آقای دکتر علیزاده که زحمت ویراستاری نگارشی کتاب را کشیدند تشکر نمایم. همچنین از آقایان دکتر شعبانی، دکتر برومند، دکتر روحی و دکتر مقیمی که راهنمایی‌های سازنده‌ای داشتند و سرکار خانم تفاح از دانشگاه فسا، مسئولین انتشارات دانشگاه الزهرا به ویژه سرکار خانم معماری و سرکار خانم موسوی که برای به نشر در آمدن این کتاب زحمات بسیاری کشیدند و همچنین همه کسانی به هر نحو ما را در ترجمه این کتاب یاری رساندند سپاسگزاری می‌نمایم.

محمد گلستانی و علیرضا سپاسیان  
(اعضای هیات علمی دانشگاه فسا)

مرداد ماه ۱۳۹۹