

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی و کاربردهای بهینه‌سازی در مهندسی

(مرجع کاربردی GAMS)

مؤلفین

دکتر بهادی مختاری: عضو هیات علمی دانشگاه کاشان

دکتر علی سلماں نیا: عضو هیات علمی دانشگاه قم

سرشناسه	: مختاری ، هادی ، ۱۳۶۳
عنوان و نام پدیدآور	: میانی و کاربرد های بهینه سازی در مهندسی (مرجع کاربردی GAMS) مولفین هادی مختاری ، علی سلماس نیا.
مشخصات نشر	: قم : دانشگاه قم ، انتشارات ، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۵۶۸ ص :. مصور ، جدول، نمودار
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۲۱-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: واژه نامه
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: سامانه های پشتیبانی تصمیم گیری - نرم افزار
موضوع	: Decision support systems - Software
موضوع	: تصمیم گیری با معیارهای چند گانه- داده پردازی
موضوع	: Multiple criteria decision making- Data processing
شناسه افزوده	: سلماس نیا ، علی ، ۱۳۶۴
شناسه افزوده	: دانشگاه قم - انتشارات
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۶ م ۳ / ۶۲ / ۵۸ TA
رده بندی دیویی	: ۶۵۸ / ۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۰۸۶۷۰۷



انتشارات دانشگاه قم

عنوان: منابع و کاربردهای بهینه سازی در مهندسی (مرجع کاربردی GAMS)

نویسنده: هادی مختاری، علی سلماس نیا

چاپ و صحافی: هوشنگی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

طراح جلد: اشکان گرافیک

نوبت و سال چاپ: اول، زمستان ۱۳۹۶

شمارگان: ۵۰۰

بهاء: ۲۵۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۲۱-۸

ISBN: 978-600-8436-21-8

آدرس الکترونیکی: Publication@ Qom. ac.ir

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۳۲۱۰۳۳۴۴ - ۰۳۲۱۰۳۳۴۵ - ۰۳۲۱۰۳۳۴۵

فهرست مطالب

فصل اول: اهمیت و جایگاه بهینه‌سازی در مهندسی ۱۳

- ۱-۱- بهینه‌سازی شاخه‌ای از علم تصمیم‌گیری..... ۱۴
- ۱-۱-۱- تشخیص مسئله ۱۵
- ۱-۱-۲- تعریف مسئله..... ۱۶
- ۱-۱-۳- مدل‌سازی..... ۱۷
- ۱-۱-۴- به دست آوردن جواب (حل مدل)..... ۲۰
- ۱-۱-۵- تحلیل حساسیت ۲۱
- ۱-۱-۶- آزمودن جواب ۲۱
- ۱-۱-۷- اجرا و پیاده‌سازی..... ۲۲
- ۲-۱- پیشینه‌ی بهینه‌سازی..... ۲۳
- ۳-۱- طراحی بهینه در مهندسی..... ۲۸
- ۴-۱- ساختار یک مسئله‌ی بهینه‌سازی..... ۳۹
- ۴-۱-۱- بردار طراحی (متغیرهای تصمیم) ۴۰
- ۴-۱-۲- محدودیت‌های طراحی (قیود) ۴۱
- ۴-۱-۳- ناحیه‌ی شدنی..... ۴۲
- ۴-۱-۴- تابع هدف ۴۳
- ۴-۱-۵- منحنی تابع هدف (خطوط کانتور) ۴۵

فصل دوم: فرآیند مدل‌سازی و تکنیک‌های پرکاربرد ۴۷

- ۱-۲- فرآیند مدل‌سازی ۴۸
- ۲-۲- بیان مفهومی مسئله‌ی بهینه‌سازی ۴۹
- ۳-۲- تحلیل جواب‌های یک مسئله ۵۱
- ۴-۲- مدل‌سازی یک مسئله‌ی نمونه ۵۳
- ۵-۲- تکنیک‌ها و فنون پرکاربرد مدل‌سازی ۵۶
- ۵-۲-۱- محدودیت‌های از نوع تقدم و تأخر..... ۵۷
- ۵-۲-۲- تصمیمات بله یا خیر..... ۵۸
- ۵-۲-۳- محدودیت‌های این یا آن ۵۹

انتخاب K محدودیت از N محدودیت	۴-۵-۲
متغیرها و توابع با N مقدار ممکن	۵-۵-۲
تصمیمات مشروط و گزینه‌های دو به دو ناسازگار	۶-۵-۲
اتصال محدودیت‌ها و تابع هدف	۷-۵-۲
توابع خطی تکه‌ای	۸-۵-۲
تقریب توابع غیرخطی	۹-۵-۲
حاصلضرب متغیرهای باینری	۱۰-۵-۲
برنامه‌ریزی کسری	۱۱-۵-۲
متغیرهای آزاد در علامت	۱۲-۵-۲
تغییر ماهیت تابع هدف و جهت محدودیت‌ها	۱۳-۵-۲
قدر مطلق	۱۴-۵-۲
تابع هدف مینیماکس minimax	۱۵-۵-۲
تابع هدف ماکسیمین maximin	۱۶-۵-۲
محدودیت با کران بالا و پایین	۱۷-۵-۲
محدودیت احتمالی	۱۸-۵-۲
متغیر با مقادیر ناپیوسته	۱۹-۵-۲
هزینه‌های ثابت	۲۰-۵-۲
گزاره‌های منطقی	۲۱-۵-۲
حداقل برای چند متغیر پیوسته	۲۲-۵-۲
حداکثر برای چند متغیر پیوسته	۲۳-۵-۲
حداقل برای چند متغیر باینری	۲۴-۵-۲
حداکثر برای چند متغیر باینری	۲۵-۵-۲
حاصلضرب متغیر باینری و پیوسته	۲۶-۵-۲
نمایش متغیر عدد صحیح توسط متغیرهای باینری	۲۷-۵-۲

فصل سوم: دسته‌بندی جامع مسائل بهینه‌سازی..... ۱۰۵

- ۱-۳- دسته‌بندی بر اساس وجود/عدم وجود محدودیت‌ها..... ۱۰۵
- ۲-۳- دسته‌بندی بر اساس ماهیت متغیرهای طراحی..... ۱۰۸
- ۱-۲-۳- بهینه‌سازی استاتیک..... ۱۰۹
- ۲-۲-۳- بهینه‌سازی دینامیک..... ۱۰۹
- ۳-۳- دسته‌بندی بر اساس ساختار فیزیک مسئله..... ۱۱۰
- ۴-۳- دسته‌بندی بر اساس ماهیت معادلات دخیل در مسئله..... ۱۱۵
- ۱-۴-۳- برنامه‌ریزی خطی..... ۱۱۵
- ۲-۴-۳- برنامه‌ریزی غیرخطی..... ۱۱۹
- ۳-۴-۳- برنامه‌ریزی هندسی..... ۱۲۱
- ۴-۴-۳- برنامه‌ریزی درجه دو (کوآدراتیک)..... ۱۲۹
- ۵-۴-۳- برنامه‌ریزی کسری..... ۱۳۶
- ۵-۳- دسته‌بندی بر اساس مقادیر مجاز متغیرهای طراحی..... ۱۴۲
- ۱-۵-۳- برنامه‌ریزی عدد صحیح..... ۱۴۲
- ۲-۵-۳- برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط..... ۱۴۹
- ۶-۳- دسته‌بندی بر اساس قطعیت متغیرها..... ۱۵۵
- ۷-۳- دسته‌بندی بر اساس تفکیک‌پذیری توابع..... ۱۵۷
- ۸-۳- دسته‌بندی بر اساس تعداد توابع هدف..... ۱۶۰
- ۱-۸-۳- برنامه‌ریزی چند هدفه..... ۱۶۰
- ۲-۸-۳- برنامه‌ریزی دو سطحی..... ۱۶۲

فصل چهارم: اصول حل مسائل بهینه‌سازی با GAMS ۱۶۵

۱-۴- مقدمه	۱۶۵
۲-۴- ساختار مدل GAMS	۱۶۹
۳-۴- مجموعه ها Sets	۱۷۱
۱-۳-۴- نکات مهم در مورد مجموعه‌ها	۱۷۲
۲-۳-۴- مجموعه‌های پویا Dynamic Sets	۱۷۵
۳-۳-۴- عملگرهای مجموعه Set operations	۱۷۷
۴-۳-۴- مجموعه‌های چندبعدی multi-dimensional sets	۱۷۸
۴-۴- داده‌ها Data	۱۸۱
۱-۴-۴- ورود داده‌ها با فهرست	۱۸۱
۲-۴-۴- ورود داده‌ها به وسیله جدول	۱۸۳
۳-۴-۴- ورود داده‌ها به روش تخصیص مستقیم	۱۸۵
۴-۴-۴- مقداردهی به پارامتر با شرط گذاشتن	۱۸۶
۱-۴-۴-۴- عبارات شرطی	۱۸۶
۲-۴-۴-۴- عبارات عددی	۱۸۷
۳-۴-۴-۴- عملگرهای رابطه‌ای	۱۸۷
۴-۴-۴-۴- عملگرهای منطقی	۱۸۸
۵-۴-۴-۴- عملگر دلار	۱۸۹
۵-۴- متغیرها Variables	۱۹۲
۶-۴- معادلات Equations	۱۹۶
۱-۶-۴- اعلان معادلات	۱۹۶
۲-۶-۴- تعریف معادله	۱۹۷
۷-۴- دستورهای مدل Model و حل Solve	۲۰۰
۸-۴- دستور نمایش display	۲۰۲
۹-۴- خروجی GAMS	۲۰۳
۱-۹-۴- نسخه برگشتی مدل	۲۰۴
۲-۹-۴- پیغام‌های خطا	۲۰۵
۳-۹-۴- فهرست معادلات	۲۱۱
۴-۹-۴- فهرست ستون (متغیرها)	۲۱۲

۲۱۳	۴-۹-۵- آمار مدل
۲۱۴	۴-۹-۶- گزارش وضعیت
۲۱۷	۴-۹-۷- گزارش جواب
۲۱۹	۴-۱۰- option دستور
۲۲۱	۴-۱۱- عبارات محاسباتی
۲۲۱	۴-۱۱-۱- تابع‌های دامنه‌دار
۲۲۲	۴-۱۱-۲- مهمترین تابع‌ها در GAMS
۲۲۴	۴-۱۱-۳- تعیین محدوده محاسباتی
۲۲۶	۴-۱۲- ویژگی‌های پیشرفته برنامه‌نویسی
۲۲۶	۴-۱۲-۱- دستور Loop
۲۲۹	۴-۱۲-۲- دستور If-Elseif-Else
۲۳۰	۴-۱۲-۳- دستور while
۲۳۱	۴-۱۲-۴- دستور For
۲۳۲	۴-۱۳- انتقال داده بین GAMS و EXCEL
۲۳۴	۴-۱۴- انتقال داده بین GAMS و text file

فصل پنجم: محاسبات ریاضی پر کاربرد با GAMS ۲۴۱

۲۴۱	۵-۱- محاسبه‌ی معکوس ماتریس
۲۴۴	۵-۲- معکوس، دترمینان و رتبه‌ی دترمینان ماتریس
۲۴۶	۵-۳- حل دستگاه معادلات خطی مختلط
۲۴۷	۵-۴- معکوس‌سازی یک ماتریس مختلط و حل دستگاه متناظر، با مقدار سمت راست مختلط
۲۴۷	
۲۴۹	۵-۵- یافتن چند ضلعی با بیشترین مساحت، در بین تمامی چند ضلعی‌هایی با nv ضلع و قطر کمتر از یک
۲۵۴	۵-۶- یافتن کوچکترین دایره با تعداد مشخصی از نقاط
۲۵۷	۵-۷- مسئله‌ی پیشینه‌سازی مساحت شش ضلعی با قطر کوچکتر یا مساوی یک
۲۶۰	۵-۸- مسئله‌ی سطح کمینه (کمترین مساحت)
۲۶۳	۵-۹- ایجاد عدد اول

فصل ششم: کاربردهای بهینه‌سازی در مهندسی برق ۲۶۷

- ۱-۶- کمینه‌سازی هزینه‌ی طراحی یک ترانسفورماتور ۲۶۷
- ۲-۶- طراحی بهینه یک مدار الکتریکی ۲۷۰
- ۳-۶- توزیع الکترون‌ها روی یک کره ۲۷۳
- ۴-۶- زمانبندی توان استاتیک ۲۷۶
- ۵-۶- زمانبندی توان دینامیک ۲۷۹
- ۶-۶- توزیع اقتصادی بار برای توان ۳۰۰ مگاوات با سه واحد ژنراتور تولید توان ۲۸۳
- ۷-۶- توزیع اقتصادی بار برای توان ۱۹۸۰ مگاوات با ۱۵ واحد ژنراتور تولید توان ۲۸۷
- ۸-۶- بهینه‌سازی تخصیص سوخت ۲۹۰
- ۹-۶- تحلیل پایداری مقاوم برای یک سیستم خطی ۲۹۴
- ۱۰-۶- تحلیل پایداری مقاوم برای Daimler-Benz 0305 Bus ۲۹۹
- ۱۱-۶- تحلیل حاشیه‌ی پایداری موتور احتراق جرقه‌ای Fiat Dedra ۳۰۲

فصل هفتم: کاربردهای بهینه‌سازی در مهندسی مکانیک ۳۱۱

- ۱-۷- طراحی بهینه‌ی یک کاهنده‌ی سرعت برای موتور هواپیمای ملخی ۳۱۲
- ۲-۷- طراحی بهینه‌ی یک مخزن تحت فشار ۳۱۶
- ۳-۷- کمینه‌سازی وزن فنر کششی/فشاری ۳۲۰
- ۴-۷- طراحی بهینه تیر جوش داده شده ۳۲۲
- ۵-۸- طراحی بهینه‌ی یک زنجیره از چرخ‌دنده‌ها (گیربکس) ۳۲۸
- ۶-۷- طراحی بهینه‌ی کمپرسور انتقال گاز ۳۲۹
- ۷-۷- ظرفیت بهینه‌ی تسهیلات تولید گاز ۳۳۲
- ۸-۷- طراحی بهینه‌ی ترمز دیسکی ۳۳۴
- ۹-۷- طراحی بهینه‌ی خرابای سه میله‌ای ۳۳۷
- ۱۰-۷- طراحی بهینه‌ی خرابای چهار میله‌ای ۳۳۹
- ۱۱-۷- طراحی بهینه‌ی یک ستون لوله‌ای ۳۴۲
- ۱۲-۷- طراحی بهینه‌ی چرخ لنگر (چرخ طیار) ۳۴۵
- ۱۳-۷- بهینه‌سازی ماشین تراش خودکار چندمحوره ۳۴۷
- ۱۴-۷- طراحی بهینه‌ی یاتاقان محوری هیدرواستاتیک ۳۵۰
- ۱۵-۷- طراحی بهینه‌ی فنر مارپیچ ۳۵۸

۳۶۱	۱۶-۷- مسئله‌ی سینماتیک روبات.....
۳۶۳	۱۷-۷- توزیع فشار در یاتاقان ژورنال.....
۳۶۸	۱۸-۷- طراحی زنجیر آویزان.....
۳۷۲	۱۹-۷- بهینه‌سازی دینامیکی یک موشک.....
۳۷۸	۲۰-۷- بیشینه کردن مساحت دهانه‌ی شیر.....
۳۸۲	۲۱-۷- کمینه‌سازی زمان برای حرکت بازوی روبات بین دو نقطه.....
	۲۲-۷- کمینه‌سازی زمان حرکت توسط یک ذره تحت نیروی پیشران ثابت برای رسیدن به
۳۸۸	سرعت و ارتفاع مشخص.....
۳۹۱	۲۳-۷- بیشینه کردن برد گلايدر تحت یک جریان گرمایی رو به بالا.....
۳۹۷	۲۴-۷- میدان دمایی بهینه در یک ناحیه‌ی مستطیلی (دیفیوژن).....
۴۰۹	۲۵-۷- جریان پایای یک سیال تراکم‌ناپذیر در یک ناحیه‌ی مستطیلی.....

فصل هشتم: کاربردهای بهینه‌سازی در مهندسی شیمی..... ۴۲۳

۴۲۴	۱-۸- طراحی بهینه راکتور.....
۴۲۶	۲-۸- تعیین صورتبندی مولکولی شبه اتان.....
۴۲۸	۳-۸- طراحی بهینه‌ی سیستم سردخانه صنعتی.....
۴۳۲	۴-۸- مسئله‌ی طراحی شبکه‌ای از راکتورها.....
۴۳۵	۵-۸- عملکرد بهینه‌ی یک واحد آلکیلدار کردن.....
۴۴۰	۶-۸- مسئله‌ی تعادل فازي و شیمیایی (معادله واندروالس).....
۴۴۴	۷-۸- مسئله‌ی ادغام: اختلاط با ۴ ماده اولیه، یک مخزن و دو محصول نهایی.....
۴۵۰	۸-۸- مسئله ادغام: اختلاط یک سیستم ادغام با ۵ خوراک، ۳ مخزن و ۵ محصول.....
۴۵۸	۹-۸- جداسازی غیر کامل پروپان، ایزو بوتان و n -بوتان در دو برج تقطیر.....
۴۶۲	۱۰-۸- جداسازی غیر کامل پروپان، ایزو بوتان، n -بوتان و ایزو پنتان در سه برج تقطیر.....
	۱۱-۸- تعیین روش اختلاط بهینه دو کاتالیزور در امتداد طول یک راکتور جریان پیوستونی
۴۷۲	لوله‌های شامل واکنش‌های متعدد.....
۴۷۵	۱۲-۸- کنترل بهینه راکتور شیمیایی هم‌نندار.....
۴۸۱	۱۳-۸- طراحی بهینه شبکه مبدل حرارتی با سه جریان گرم.....
۴۸۴	۱۴-۸- طراحی بهینه شبکه مبدل حرارتی با سه جریان گرم موازی.....

- ۸-۱۵- طراحی بهینه شبکه مبدل‌های حرارتی موازی همراه با گردش مجدد با دو جریان گرم و یک جریان سرد ۴۹۰
- ۸-۱۶- طراحی بهینه‌ی یک مبدل حرارتی ۴۹۴
- ۸-۱۷- کنترل بهینه‌ی یک راکتور ناپیوسته ۴۹۷
- ۸-۱۸- تولید بهینه پروتئین کدگذاری شده در یک راکتور با خوراک ناپیوسته ۵۰۱

فصل نهم: کاربردهای بهینه‌سازی در مهندسی صنایع ۵۰۵

- ۹-۱- مسئله‌ی حمل و نقل ۵۰۵
- ۹-۲- مسئله‌ی برنامه‌ریزی تولید ۵۱۱
- ۹-۳- مسئله‌ی تعیین برنامه‌ی غذایی ۵۱۷
- ۹-۴- مسئله‌ی جریان در شبکه ۵۲۱
- ۹-۵- مسئله‌ی پورتفولیو ۵۲۶
- ۹-۶- مسئله‌ی کول‌هپشتی ۵۳۰
- ۹-۷- تشخیص نشانه‌های مرتبط با بیماری‌ها ۵۳۴
- ۹-۸- مسئله انتخابات انجمن مهندسی صنایع ۵۳۸
- ۹-۹- مسئله‌ی تعیین جدول زمانی آموزشی ۵۴۵
- ۹-۱۰- مدل مکان‌یابی گسسته ۵۵۱
- ۹-۱۱- برنامه‌ریزی مشارکت واحدها ۵۵۹

مقدمه نویسندگان

یکی از موضوعات بین‌رشته‌ای که در بسیاری از علوم مهندسی کاربرد پیدا کرده است، علم بهینه‌سازی است. مروری گذرا بر تحقیقات دانشگاهی طی چندین سال گذشته نشان می‌دهد که روند صعودی توجه به تکنیک‌های بهینه‌سازی در میان پژوهشگران رشته‌های مختلف مهندسی به شکل محسوس و معناداری در حال توسعه است. علوم مهندسی شامل تعدادی از فعالیت‌های منسجم از جمله تجزیه و تحلیل، تحقیق و توسعه، طراحی، ساخت، و فروش می‌باشند. وجود تعداد زیادی از سیستم‌های پیشرفته‌ی مهندسی همانند ساختمان‌ها، پل‌ها، بزرگراه‌ها، خودروها، هواپیماها و سیستم‌های سخت‌افزاری مختلف شواهدی واضح بر توسعه‌ی علوم مهندسی است. در طول سالیان گذشته، مهم‌ترین دغدغه‌ی متخصصان حوزه‌های مختلف مهندسی، تحقق ساختار فنی موردنظر بوده و جنبه‌های بهره‌وری و بهینه‌سازی کمتر مورد توجه قرار می‌گرفته است. امروزه با شکل‌گیری و تکامل ساختارهای فنی و مهندسی، مهندسان به دنبال رویکردهای نوینی هستند تا با بهبود در روش‌های انجام کار بجای خلق تکنولوژی جدید، ارزش افزوده‌ی بیشتری را در استفاده از ساختارهای موجود ایجاد نمایند. در این میان کاربرد علم بهینه‌سازی در مهندسی جایگاه و کاربرد ویژه‌ای پیدا کرده است. امروزه یک گام ضروری در بسیاری از فرآیندهای مهندسی، فاز بهینه‌سازی است. هدف از فرآیند بهینه‌سازی، کمک به تعیین مناسب‌ترین گزینه از میان گزینه‌های موجود برای فرآیندهای طراحی و اجرا است. کتاب حاضر با کارکرد آشنایی و آموزش کاربردی مدل سازی ریاضی برای انواع مسائل رشته‌های مختلف مهندسی و همچنین نحوه برنامه‌نویسی آنها در نرم‌افزار GAMS نگاشته شده است. معرفی مفاهیم و آموزش کاربردی مدل‌سازی ریاضی برای دانشجویان رشته‌های مختلف مهندسی در مقاطع مختلف (به ویژه تحصیلات تکمیلی) ویژگی منحصر بفرد این کتاب است. به ویژه اینکه در سرفصل مصوب اکثر رشته‌های مهندسی، دروس اجباری و حتی اختیاری در خصوص مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی تعریف نشده است، درحالی‌که در فرایند تحقیق به آن نیاز خواهند داشت. از این‌رو این کتاب برای این دسته از دانشجویان بسیار راهگشا خواهد بود. همچنین آرایه‌ی مسائل متنوع در

رشته‌های مختلف مهندسی دید خوبی به محققان این رشته‌ها در حل مسائل بهینه‌سازی خواهد داد. ارائه کدهای برنامه‌نویسی برای مسائل رشته‌های مختلف مهندسی از دیگر مزیت های این کتاب است.

بنابراین کتاب حاضر یک بسته‌ی پرکاربرد و سودمند برای پژوهشگران علوم مختلف علی‌الخصوص اساتید دانشگاهها و دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی فراهم می‌کند. محتوای این کتاب شامل حوزه‌های کلیدی در علم بهینه‌سازی شامل فرایند مدل‌سازی و تکنیک‌های پرکاربرد آن، دسته‌بندی جامع مسائل بهینه‌سازی، اصول حل مسائل بهینه‌سازی با GAMS، محاسبات پرکاربرد ریاضی با GAMS، و همچنین آرایه‌ی کاربردهای عملی از بهینه‌سازی در مسائل مختلف مهندسی برق، مهندسی مکانیک، مهندسی شیمی و مهندسی صنایع است.

دکتر هادی مختاری

(عضو هیات علمی دانشگاه کاشان)

دکتر علی سلماسنیا

(عضو هیات علمی دانشگاه قم)