
برنامه ریزی خطی و جریان های شبکه ای
ویراست چهارم

مختار اس. بازارا
جان جی. جارویس
حنیف دی. شرالی
ترجمه اسماعیل خرم



نشر کتاب دانشگاهی

سرشناسه	بازارا، مختار اس.	Bazarra, Mokhtar S.
عنوان و نام پدیدآور	برنامه ریزی خطی و جریان های شبکه ای / مختار اس. بازارا، جان جی. جارویس، حنیف دی. شرالی؛ ترجمه اسماعیل خرم	
مشخصات نشر	تهران: نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۹۰	
مشخصات ظاهری	۳۴۴ ص: مقصور، جدول، نمودار	
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۰۷-۵۲-۴	
یادداشت	کتاب حاضر ترجمه ۶ فصل اول کتاب زیر است: "Linear Programming and Network Flows, 4th ed., c2010"	

یادداشت	واژه نامه	
موضوع	برنامه نویسی خطی	
موضوع	برنامه ریزی شبکه ای	
شناسه افزوده	جارویس، جان جف، ۱۹۴۱-م.	
شناسه افزوده	Jarvis, John Jeff	
شناسه افزوده	شرالی، حنیف دی، ۱۹۵۲-م.	
شناسه افزوده	Sherali, Hanif D.	
شناسه افزوده	خرم، اسماعیل، ۱۳۳۱-، مترجم	
ردیفی کنگره	۱۳۹۰ ۴۰۱۳ ۲/۷۲/ ۳۵۷	
ردیفی دیگری	۵۱۹/۷۲	
شماره کتاب شناس ملی	۲۵۵۳۲۳۳	



نشر کتاب دانشگاهی

مختار اس. بازارا، جان جی. جارویس، حنیف دی. شرالی

برنامه ریزی خطی و جریان های شبکه ای

ویراست چهارم

ترجمه اسماعیل خرم

ویرایش فنی و آماده سازی پیش از انتشار
خدیجه حسینی، الهام احمدی، فاران اتحاد

چاپ اول ۱۳۹۱

لیتوگرافی مهران نگار

چاپ و صحافی قدیانی

تعداد و قطع صفحات ۳۲۴، وزیری

۱۵۰۰ نسخه

۹۵۰۰ تومان

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۰۷-۵۲-۴

۲۳۸۷۶

خیابان بزرگمهر، بین وصال و قدس، شماره ۸۷، تلفکس ۶۶۲۶۷۲۲۶

Website: www.ketabedane shaghi.ir E-mail: info@ketabedane shaghi.com

حقوق چاپ و نشر دائم این اثر محفوظ و مخصوص نشر کتاب دانشگاهی است.

پیشگفتار مؤلفان

برنامه‌ریزی خطی با مسئله مینیم‌سازی یا ماکزیم‌سازی یک تابع خطی با محدودیت‌های خطی در شکل مساوی و/یا نامساوی سروکار دارد. از زمان معرفی روش سیمپلکس توسط جورج بی. دانتزیک در سال ۱۹۴۷ تاکنون، برنامه‌ریزی خطی در ارتش، صنعت، حکومت، شهرسازی و دیگر حوزه‌ها کاربرد وسیعی داشته است. ویژگی برنامه‌ریزی خطی، از عوامل متعددی، چون توانمندی مدل‌سازی مسائل بزرگ و پیچیده و نیز به‌کارگیری کامپیوترهای نسل جدید در حل مسائل بزرگ با استفاده از الگوریتم‌های کارا ناشی شده است.

در طول جنگ جهانی دوم و پس از آن معلوم شد که طرح‌ریزی و هماهنگی پروژه‌های مختلف و استفاده مؤثر از منابع کمیاب ضروری است. تیم SCOOP^۱ (محاسبات علمی برنامه‌های بهینه) نیروی هوایی ایالات متحده کار جدی خود را در ژوئن ۱۹۴۷ شروع کرد که نتیجه آن، ابداع روش سیمپلکس توسط جورج بی. دانتزیک در پایان تابستان ۱۹۴۷ بود. برنامه‌ریزی خطی به سرعت مورد توجه اقتصاددانان، ریاضی‌دانان، آماردانان و مؤسسات دولتی قرار گرفت. در تابستان ۱۹۴۹ با مسئولیت کمیته کارل کنفرانسی در برنامه‌ریزی برای تحقیق در اقتصاد برگزار شد. مقالات ارائه‌شده در این کنفرانس اندکی بعد در سال ۱۹۵۱ به همت تی. سی. کوپمنز در کتابی با عنوان تحلیل فعالیت و تولید و تخصیص جمع‌آوری شد.

از زمان ابداع روش سیمپلکس تاکنون تعدادی از محققان و متخصصان در پیشرفت برنامه‌ریزی خطی، در قالب تئوری ریاضی آن، معرفی روش‌ها و کدهای محاسباتی کارا، کشف الگوریتم‌های نوین و کاربردهای جدید، و کاربرد برنامه‌ریزی خطی به عنوان ابزاری برای حل مسائل پیچیده، مثل برنامه‌های گسترده، برنامه‌های غیرخطی، مسائل ترکیباتی، مسائل برنامه‌ریزی احتمالی و مسائل کنترل بهینه مشارکت داشته‌اند.

این کتاب از برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای بحث می‌کند و تئوری عمومی و مشخصات این نوع مسائل، بهینه‌سازی و نیز الگوریتم مؤثر حل آن‌ها را ارائه می‌دهد. الگوریتم سیمپلکس دید عمیقی از تئوری برنامه‌ریزی خطی فراهم می‌آورد و در عمل، الگوریتم کارایی را به دست می‌دهد. از این رو، در کتاب حاضر این روش را به تفصیل مطالعه می‌کنیم. در صورت نیاز از الگوریتم سیمپلکس در به‌کارگیری ساختار مسئله، نظیر مسائل جریان شبکه استفاده می‌شود. افزون بر آن، الگوریتم بیضوی خاچیان و الگوریتم نقطه درونی تصویری کارمارکار را ارائه می‌دهیم، که هر دوی آن‌ها روش‌های چندجمله‌ای-زمانی برای مسائل برنامه‌ریزی خطی هستند. روش دوم دسته‌ای از روش‌های نقطه درونی را رهنمود شده است که با روش سیمپلکس به‌ویژه در مسائل بزرگ مقیاس کلی و تنگ قابل رقابت هستند، و بنابراین به تفصیل بحث می‌شود. به طور کلی، ابتدا مفاهیم الگوریتم‌های نقطه درونی مؤثر محاسباتی در این دسته، شامل روش‌های مقیاس‌بندی، روش‌های تعقیب مسیر اولیه و دوگان، روش‌های پیش‌گویی تصحیح‌گر بررسی می‌شود. اثبات‌های اساسی و فنون الگوریتمی را ارائه می‌دهیم، و سپس آن‌ها را با مثال‌های عددی شرح می‌دهیم، و سرانجام دیدگاه عمیق‌تری همراه با تحلیل ریاضی و دلایل آن‌ها فراهم می‌آوریم. با وجود آن‌که این روش ممکن است

بعضی از خوانندگان را دچار زحمت کند ولی معتقدیم شکل و سطح ریاضی به کار رفته در این کتاب دیدگاه عمیق و پرمشغله‌ای را برای کسانی فراهم می‌آورد که می‌خواهند فنون را بیاموزند و روش استفاده از آن‌ها را بدانند و هم چنین برای کسانی که می‌خواهند تئوری و الگوریتم‌ها را در سطح عمیق‌تری مطالعه کنند بسیار روان و مناسب است.

دانشجویان ممتاز دوره کارشناسی و دانشجویان سال اول کارشناسی ارشد رشته‌های مهندسی صنایع، مدیریت، تحقیق در عملیات، علوم کامپیوتر، ریاضی و دیگر رشته‌هایی که با مباحث برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای سروکار دارند، می‌توانند از این کتاب به عنوان مرجع و کتاب درسی استفاده کنند. با وجودی که مطالب کتاب با ریاضی پیشرفته سروکار دارد، تنها جبر خطی و ریاضی عمومی پیش‌نیاز آن است. برای راحتی خواننده، نتایج مورد نیاز جبر خطی و آنالیز محذب در فصل ۲ خلاصه شده است.

از این کتاب می‌توان به چند روش استفاده کرد. آن را در دو درس متوالی برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای به کار برد، که در این صورت باید همه مطالب را به سادگی پوشش داد؛ یا آن را در یک ترم برای درس برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای به کار برد که در این صورت، استاد درس می‌تواند بعضی از مطالب را به صلاح دید خود حذف کند؛ هم چنین می‌توان به عنوان یک متن درسی در برنامه‌ریزی خطی یا در جریان‌های شبکه‌ای به کار برد.

به دنبال مطالب مقدماتی فصل اول، در فصل دوم نتایج اساسی جبر خطی و آنالیز محذب با نگرشی عمیق، بحث و سبب هندسی ساختار مجموعه‌های چندوجهی ارائه می‌شود. بعد از آن کتاب به دو بخش تقسیم می‌شود: برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای. بخش برنامه‌ریزی خطی شامل فصل‌های ۳ تا ۸ است. در فصل ۳ روش سیمپلکس به تفصیل بحث می‌شود. و در فصل ۴ راه‌اندازی روش سیمپلکس با استفاده از متغیرهای مصنوعی و مسئله تهایدگی و دُورافتادگی همراه با مفاهیم هندسی بحث می‌شود. در فصل ۵ بعضی از ویژگی‌های روش سیمپلکس و توسعه معیار بهینگی در برنامه‌ریزی خطی مطالعه می‌شود. در فصل ۶، مسئله دوگان را بررسی می‌کنیم، چندین رهیافت محاسباتی براساس دوگان را بسط می‌دهیم و درباره آنالیز حساسیت (از جمله رهیافت تحمل‌پذیری) و آنالیز پارامتری بحث می‌کنیم. در فصل ۷ اصل تجزیه و برنامه‌ریزی با مقیاس بزرگ به خواننده معرفی می‌شود. برابری و تعادل چند فن تجزیه در مسائل برنامه‌ریزی خطی به بحث گذاشته می‌شود. فصل ۸ درباره برخی از موضوع‌های پیچیده محاسباتی اصلی بحث می‌کند، بدترین حالت رفتار نمایی الگوریتم سیمپلکس را نمایش می‌دهد، و الگوریتم چندجمله‌ای-زمانی کارمارکار را ارائه می‌دهد. الگوریتم بیضوی چندجمله‌ای خاچیان و شکل مقیاس آفینی الگوریتم کارمارکار در تمرین‌ها ارائه می‌شود.

بخش جریان‌های شبکه‌ای شامل فصل‌های ۹ تا ۱۲ است. در فصل ۹ مشخصه‌های اصولی ساختار شبکه مسائل برنامه‌ریزی خطی را مطالعه می‌کنیم و درباره شکل ویژه الگوریتمی برای حل این مسائل بحث می‌کنیم. درباره ساختارهای فهرستی، که از نظر اصطلاحی و اجرایی مفید است نیز به تفصیل بحث می‌شود. در فصل ۱۰ با مسائل معروف حمل‌ونقل و جریان شبکه تخصیص سروکار داریم. با وجودی که اعتبار الگوریتم‌ها و بعضی از فنون خاص بر مطالب فصل ۹ استوار است، در صورتی که کسی به خواص اساسی و الگوریتم‌های حمل‌ونقل و مسائل تخصیص علاقه‌مند باشد می‌تواند فصل ۱۰ را جداگانه مطالعه کند. فصل ۱۱ الگوریتم خارج از ترتیب را همراه با بعضی از مواد اساسی انواع الگوریتم‌های اولیه-دوگان مربوط به مسائل جریان شبکه ارائه می‌دهد. سرانجام، فصل ۱۲ مباحث

خاص مسئله ماکزیم جریان، مسئله کوتاه‌ترین مسیر (ازجمله چند الگوریتم چندجمله‌ای زمانی کارا برای حل این مسئله معروف)، جریان مینیم هزینه چندمنظوره، و مسئله طراحی یا ترکیب شبکه را پوشش می‌دهد. ادامه این مباحث هم‌چنین با فنون توسعه‌یافته در مسائل آنالیز، نمونه مسائلی که در بقیه کتاب مطالعه می‌شوند، کامل می‌شود.

در ویرایش دوم، دو هدف اساسی را دنبال کردیم. هدف اول ارائه مفاهیم پیش‌تر و عمیق‌تر تئوری برنامه‌ریزی خطی و فنون الگوریتمی بود. به این منظور، سبب‌های هندسی مطالبی که با ساختار مجموعه‌های چندوجهی، شرایط بهینگی، و طبیعت الگوریتم‌های حل پدیده‌های ویژه نظیر دوری سروکار دارد، به تفصیل اضافه شد. هم‌چنین مثال‌ها و نکاتی را در طول کتاب افزودیم که سبب فهم پیش‌تر و بهتر مطالب می‌شود و مباحث موردبحث را به هم ربط می‌دهد. هدف دوم به‌روزرسانی کتاب با فناوری‌های جدید بود طوری که وضوح مطالب و سادگی آن‌ها حفظ شود.

به این منظور، مباحث جدیدی نظیر پدیده دوری، ایست و مانعیت از آن‌ها (شامل رهیافت‌های ویژه مسائل جریان شبکه)، روش‌های اجرای پایدار عددی و مطالعات تجربی مربوط به الگوریتم سیمپلکس، رهیافت تحمل‌پذیری آنالیز حساسیت، معادل بودن تجربه دانتز یک‌کلف، روش افراز پندر و روش‌های تخفیف لاگرانژ در مسائل برنامه‌ریزی خطی، موضوعات پیچیدگی محاسباتی، بدترین رفتار روش سیمپلکس، چندجمله‌ای‌های زمانی کارمارکار و خاچیان در مسائل برنامه‌ریزی خطی، ساختار فهرست در کاربردهای سیمپلکس شبکه، الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر متوالی در مسائل تخصیص خطی، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر چندجمله‌ای زمانی و مسائل طراحی و ترکیب را بین مطالب دیگر معرفی کردیم. سبک نوشتاری مطالب به گونه‌ای است که استاد می‌تواند بسیاری از این مباحث پیشرفته را بدون به هم خوردن پیوستگی مطالب در یک درس کارشناسی یا کارشناسی ارشد مقدماتی ارائه دهد. هم‌چنین چندین تمرین جدید ازجمله تمرینات ویژه‌ای که هم‌زمان خواننده را در مباحث پیشرفته مربوط آموزش می‌دهد، اضافه شده و یادداشت‌ها و مراجع بخش‌ها و کتابنامه تعمیم داده شده است.

مجدداً از دکتر جف کنینگتون، دکتر جین رمزی، دکتر ران رارین، و دکتر مایکل ناد به‌خاطر پیشنهادهای ارزنده و متعددشان در طول آماده‌سازی و از دکتر رابرت ان. لور مدیر سابق مدرسه مهندسی صنایع و سیستم‌های مؤسسه تکنولوژی جورجیا به‌خاطر حمایتش، از آقای کارن اچ. وولر برای تهیه کتابنامه و از خانم‌ها آلیس جارویس، کارولین پیرزما، کی واتکینز، امیلیا ویلیامز برای کمک به تایپ، مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را اعلام می‌داریم. هم‌چنین از دکتر فیض‌الخیال، دکتر دیک کاتل، دکتر جوتا لنو، دکتر کریگ تووی، و دکتر هوسام زاکي و بسیاری از کسان دیگر به‌خاطر توصیه‌های مفیدشان در آماده‌سازی این کتاب تشکر می‌کنیم. از دکتر باربارا فرات تشکر می‌کنیم. برای مطالعه دقیق و بازخورد آن در چاپ سوم کتاب، و آماده‌سازی جزوه جواب برای ارائه در چاپ (چهارم)، و به‌ویژه از کی-هوان بیی برای مشاوره‌اش درباره ویراستاری کتابنامه، سپاسگزاریم. سرانجام، از خانم سمان شرالی برای کمک در تایپ بازنگری‌های این چاپ قدردانی می‌کنیم. به‌خصوص از دکتر سلیمان توفکی، و دکتر جوتا لنو و از دکتر ژوانجی لیو برای تهیه و تنظیم جلد اول و دوم راهنمای تمرین تشکر می‌کنیم.

مختار اس. بازارا

جان جی. جارویس

حنیف دی. شرالی

پیشگفتار مترجم

روش‌های برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای و نیز حوزه به‌کارگیری آن‌ها همراه با پیشرفت‌های علوم رایانه و فناوری‌های نوین توسعه چشمگیری یافته است. این روش‌های پیشرفته رهیافتی در مسائل مدیریتی و برنامه‌ریزی، امور مالی و اقتصادی و علمی محسوب می‌شوند و سرعت به‌کارگیری آن‌ها روز به روز بیشتر می‌شود.

کمبود منابع فارسی در این زمینه، به‌ویژه در دروس دانشگاهی همواره موجب نگرانی دانشجویان عزیز بوده و تجربه نشان داده است که منابع غیرفارسی دروس بنیادی برای بیشتر دانشجویان مفید واقع نمی‌شود و آموخته‌های آن‌ها به جزو‌ها و یادداشت‌های غیرمستند محدود می‌شود. از این رو ضرورت انتشار منابع فارسی برای استفاده‌های بعدی از مقالات و منابع خارجی احساس می‌شود. این اقدام موجب گسترش بنیادی علوم پایه و مهندسی میان جوانان و دانش‌پژوهان خواهد شد و زمینه را برای مطالعه دیگر علوم وابسته فراهم خواهد آورد. بر این اساس، کتاب برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای تألیف مختار اسی، ازارا، جان جی، جارویس و حنیف دی، شرالی در دو جلد، جلد اول شامل فصل‌های ۱ تا ۶ و جلد دوم شامل فصل‌های ۷ تا ۱۲، تقدیم دانشجویان و علاقه‌مندان شده است. آنچه پیش رو دارید ترجمه ویراست چهارم جلد اول کتاب است که این کتاب از مراجع اصلی و بنیادی تحقیق در عملیات و اساساً یک کتاب درسی است. دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته‌های مهندسی صنایع، مدیریت، تحقیق در عملیات، علوم کامپیوتر و مهندسی کامپیوتر، ریاضی و دیگر رشته‌ها می‌توانند از این اثر استفاده کنند.

فصل‌های ۱ تا ۴ و بخش‌هایی از فصل ۶ را می‌توان برای دوره کارشناسی تدریس کرد که در این باره، اثبات بعضی از قضایای مشکل را می‌توان به صلاح دید استاد حذف و بر تعبیر و تفسیر مطالب و الگوریتم‌ها و حل عددی آن‌ها تأکید کرد و به تبع آن مسائلی را که با مطالب کلاس تطبیق دارد به کمک دانشجویان حل و درباره آن‌ها بحث کرد. همه مطالب شش فصل و حل مسائل آن در دوره کارشناسی ارشد کاربرد دارد و می‌توان بنابه رشته تحصیلی و نظر استاد بر برخی مطالب آن تأکید کرد.

گفتنی است برای راحتی خوانندگان، کتابنامه در CD ضمیمه کتاب گنجانده شده است. از صاحب‌نظران و دانشجویان عزیز درخواست می‌کنم که با ارائه انتقادات و پیشنهادها خود ما را در ویرایش بهتر این کتاب در چاپ‌های بعدی یاری کنند.

در پایان، شایسته است از زحمات و کمک‌های بی‌دریغ آقای مسعود پایدار، مدیر نشر کتاب دانشگاهی، و همکارانشان برای آماده‌سازی و انتشار کتاب شکر و قدردانی کنم.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱	۱-۱ مسئله برنامه‌ریزی خطی	۱
۶	۲-۱ مدل‌بندی و مثال‌های برنامه‌ریزی خطی	۶
۱۶	۳-۱ حل هندسی	۱۶
۲۰	۴-۱ فضای ایجاب	۲۰
۲۴	۵-۱ نمادها	۲۴
۲۴	تمرین‌ها	۲۴
۳۶	یادداشت‌ها و مراجع	۳۶
۳۷	۲ جبر خطی، آنالیز محدب و مجموعه‌های چندوجهی	۳۷
۳۷	۱-۲ بردارها	۳۷
۴۲	۲-۲ ماتریس‌ها	۴۲
۵۲	۳-۲ معادلات خطی همزمان	۵۲
۵۵	۴-۲ مجموعه‌های محدب و توابع محدب	۵۵
۶۰	۵-۲ مجموعه‌های چندوجهی و مخروط‌های چندوجهی	۶۰
۶۱	۶-۲ نقاط رأسی، وجوه، جهت‌ها و جهت‌های رأسی مجموعه‌های چندوجهی: دیدگاه هندسی	۶۱
۶۵	۷-۲ نمایش مجموعه‌های چندوجهی	۶۵
۷۲	تمرین‌ها	۷۲
۷۸	یادداشت‌ها و مراجع	۷۸
۷۹	۳ روش سیمپلکس	۷۹
۷۹	۱-۳ نقاط رأسی و بهینگی	۷۹
۸۳	۲-۳ جواب‌های شدنی پایه	۸۳
۹۱	۳-۳ کلید روش سیمپلکس	۹۱
۹۲	۴-۳ سبب هندسی روش سیمپلکس	۹۲
۹۵	۵-۳ جبر روش سیمپلکس	۹۵
۱۰۱	۶-۳ خاتمه: بهینگی و نامحدود بودن	۱۰۱
۱۰۶	۷-۳ روش سیمپلکس	۱۰۶
۱۱۱	۸-۳ روش سیمپلکس در قالب جدول	۱۱۱
۱۱۸	۹-۳ محورگیری چندگانه	۱۱۸
۱۲۰	تمرین‌ها	۱۲۰
۱۳۲	یادداشت‌ها و مراجع	۱۳۲

۱۳۳	۲	شروع حل و همگرایی
۱۳۳	۱-۲	جواب شدنی پایه آغازین
۱۳۶	۲-۲	روش دوفازی
۱۴۷	۳-۲	روش A1-بزرگ
۱۵۴	۴-۲	A1-بزرگ چه قدر باید بزرگ باشد؟
۱۵۵	۵-۲	روش تک متغیر مصنوعی
۱۵۷	۶-۲	تجربه‌ای، دوری و ایست
۱۶۳	۷-۲	اعتبار قاعدهٔ ممانعت از دوری
۱۶۸		تمرین‌ها
۱۷۹		یادداشت‌ها و مراجع
۱۸۱	۵	عملکردهای ویژهٔ سیمپلکس و شرایط بهینگی
۱۸۱	۱-۵	روش سیمپلکس اصلاح شده
۲۰۰	۲-۵	روش سیمپلکس متغیرهای کران دار
۲۱۲	۳-۵	لم فارکاس از طریق روش سیمپلکس
۲۱۵	۴-۵	شرایط بهینگی کروش-کان-تاکر
۲۲۱		تمرین‌ها
۲۳۳		یادداشت‌ها و مراجع
۲۳۵	۶	دوگان و تحلیل حساسیت
۲۳۵	۱-۶	فرمول‌بندی مسئلهٔ دوگان
۲۴۰	۲-۶	روابط اولیه-دوگان
۲۴۶	۳-۶	تغییر اقتصادی دوگان
۲۵۲	۴-۶	روش سیمپلکس دوگان
۲۶۰	۵-۶	روش اولیه-دوگان
۲۶۷	۶-۶	یافتن جواب شدنی آغازین دوگان: روش محدودیت مصنوعی
۲۶۹	۷-۶	تحلیل حساسیت
۲۸۴	۸-۶	تحلیل پارامتری
۲۹۳		تمرین‌ها
۳۱۰		یادداشت‌ها و مراجع
۳۱۱		واژه‌نامه