

برنامه‌ریزی و عملیات شبکه‌های هوایی

تألیف

دکتر مسعود بازرگان

استاد دانشگاه هوافضای امبری ریدل آمریکا

ترجمه

دکتر محسن صادق عمل‌نیک

استاد دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۹۳۷۵

شماره انتشار ۳۹۰۰

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: بازرگان، مسعود	Bazargan, Massoud
عنوان و نام پدیدآور	: برنامه‌ریزی و عملیات شبکه‌های هوایی / تألیف مسعود بازرگان؛ ترجمه محسن صادق عمل‌نیک.	
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۶.	
مشخصات ظاهری	: ۳۱۶ ص: مصور، جدول، نمودار.	
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۹۰۰.	
شابک	: 978-964-03-7157-2	
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا	
یادداشت	: عنوان اصلی: Airline Operations and Scheduling, 2nd. ed,c2010.	
یادداشت	: کتابنامه.	
موضوع	: هواپیمایی (خطوط) -- مدیریت	
یادداشت	: حمل و نقل هوایی	
موضوع	: هواپیمایی (خطوط) -- سامانه‌های رزرو	
موضوع	: تحقیق عملیاتی	
موضوع	: هواپیمایی (خطوط) -- جدول‌های زمانی	
شناسه افزوده	: صادق عمل‌نیک، محسن، ۱۳۳۶-، مترجم	
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات	
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۶ ب۲/ب۵۵۲ TL	
رده‌بندی دیویی	: ۳۸۷ / ۷۰۶۸۵	
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۹۸۸۷۸۸	

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

ISBN:978-964-03-7157-2



9 789640 371572

عنوان: برنامه‌ریزی و عملیات شبکه‌های هوایی
 تألیف: دکتر مسعود بازرگان
 ترجمه: دکتر محسن صادق عمل‌نیک
 ویرایش ادبی: نسترن حسین‌پور
 تاریخ انتشار: ۱۳۹۶
 شمارگان: ۵۰۰ نسخه
 ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
 چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجم است»

بها: ۲۱۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
 پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>
 پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

فهرست مطالب

پیشگفتار مترجم	ذ
پیشگفتار مؤلف	ر
فصل اول - کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ تحقیق در عملیات و خطوط هوایی	۳
۱-۳ طرح کلی این کتاب	۳
۱-۴ نرم‌افزارهای کاربردی	۵
بخش اول - برنامه‌ریزی بهینه‌سازی	۷
فصل دوم - جریان شبکه و مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح	۹
۲-۱ مقدمه	۹
۲-۲ شبکه‌ها	۹
۲-۳ مدل‌های جریان شبکه	۱۳
۲-۳-۱ مسئله کوتاه‌ترین مسیر	۱۳
۲-۳-۲ مسئله حداقل هزینه جریان	۱۶
۲-۳-۳ مسئله حداکثر جریان	۱۸
۲-۳-۴ مسئله چندکالایی	۲۱
۲-۴ مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح	۲۴
۲-۴-۱ مسائل پوشش/جزبندی عناصر مجموعه	۲۴
۲-۴-۲ مسئله فروشنده دوره‌گرد	۲۹
فصل سوم - زمان‌بندی پرواز	۳۵
۳-۱ مقدمه	۳۵
۳-۲ فرایند توسعه مسیر و زمان‌بندی پرواز	۳۷
۳-۳ مطالعه موردی	۴۱

۴۷	فصل چهارم - تخصیص ناوگان
۴۷	۴-۱ مقدمه
۴۸	۴-۲ تعاریف شاخص‌ها
۵۰	۴-۳ مدل ریاضی
۵۲	۴-۳-۱ هزینه‌های عملیاتی
۵۳	۴-۳-۲ هزینه‌های سرریز مسافر
۶۲	۴-۴ تحلیل سناریو
۶۳	۴-۵ مدل تخصیص ناوگان (FAM)
۶۷	فصل پنجم - مسیریابی هواپیما
۶۷	۵-۱ مقدمه
۶۸	۵-۲ الزامات نگهداری و تعمیرات
۶۹	۵-۳ رویکرد ریاضی
۷۰	۵-۴ مسیریابی، نگهداری و تعمیرات
۷۵	۵-۵ مولدهای مسیر
۸۶	۵-۶ مدل‌های ریاضی مسیریابی هواپیما
۸۹	فصل ششم - برنامه‌ریزی خدمه
۸۹	۶-۱ مقدمه
۹۰	۶-۲ همگام‌سازی خدمه
۹۳	۶-۳ مولد همگام‌سازی
۱۰۰	۶-۴ مدل ریاضی همگام‌سازی خدمه
۱۰۱	۶-۵ لیست‌بندی خدمه
۱۰۷	۶-۶ مدل ریاضی لیست‌بندی خدمه
۱۱۱	فصل هفتم - برنامه‌ریزی نیروی انسانی
۱۱۱	۷-۱ مقدمه
۱۱۱	۷-۲ مدل‌سازی ریاضی مطالعه موردی
۱۱۶	۷-۳ مدل ریاضی برنامه‌ریزی نیروی انسانی
۱۱۹	بخش دوم - بهینه‌سازی عملیات و اجرا
۱۲۱	فصل هشتم - مدیریت درآمد
۱۲۱	۸-۱ مقدمه

فهرست مطالب □ ج

۱۲۲.....	۸-۲ مسئله کنترل موجودی صندلی
۱۲۴.....	۸-۳ درآمد حاشیه‌ای موردانتظار (EMR)
۱۲۶.....	۸-۴ مسئله کنترل موجودی صندلی تک‌مرحله‌ای
۱۲۶.....	۸-۴-۱ مدل غیر تودرتو
۱۲۸.....	۸-۴-۲ مدل تودرتو
۱۳۲.....	۸-۵ مسئله کنترل موجودی صندلی شبکه‌ای (چندمرحله‌ای)
۱۳۳.....	۸-۵-۱ مدل کنترل موجودی صندلی شبکه‌ای با تقاضای قطعی (غیرتودرتو)
۱۳۶.....	۸-۵-۲ مدل کنترل موجودی صندلی شبکه‌ای با تقاضای احتمالی (غیرتودرتو)
۱۳۹.....	۸-۵-۳ مدل کنترل موجودی صندلی شبکه‌ای (تودرتو)
۱۴۰.....	۸-۶ فوق رزرو

فصل نهم - سیستم مدیریت سوخت ۱۴۳

۱۴۳.....	۹-۱ مقدمه
۱۴۶.....	۹-۲ مصون‌سازی سوخت
۱۴۷.....	۹-۲-۱ قرارداد معاوضه‌ای وانیل ساده
۱۴۸.....	۹-۲-۲ قرارداد آینده:
۱۵۰.....	۹-۲-۳ قرارداد آتی
۱۵۰.....	۹-۳ تأمین سوخت هواپیما
۱۵۲.....	۹-۴ مطالعه موردی
۱۵۹.....	۹-۵ مدل ریاضی مخزن سوخت هواپیما

فصل دهم - عملیات غیرمعمول خطوط هوایی در زمان کمبود منابع یا اختلالات ۱۶۳

۱۶۳.....	۱۰-۱ مقدمه
۱۶۴.....	۱۰-۲ مطالعه موردی
۱۶۹.....	۱۰-۲-۱ سناریوی ۱
۱۷۴.....	۱۰-۲-۲ سناریوی ۲
۱۷۵.....	۱۰-۲-۳ سناریوی ۳
۱۷۷.....	۱۰-۳ مدل ریاضی عملیات غیرمعمول خطوط هوایی

فصل یازدهم - تخصیص جایگاه پارک هواپیما ۱۸۱

۱۸۱.....	۱۱-۱ مقدمه
۱۸۲.....	۱۱-۲ مدل ریاضی برای مطالعه موردی
۱۸۷.....	۱۱-۳ جابه‌جایی بار مسافران

ح □ برنامه‌ریزی و عملیات شبکه‌های هوایی

۱۱-۴ مدل ریاضی تخصیص جایگاه پارک ۱۹۱

فصل دوازدهم - استراتژی سوار شدن به هواپیما ۱۹۵

۱۲-۱ مقدمه ۱۹۵

۱۲-۲ استراتژی‌های معمول برای فرایند سوار شدن ۱۹۶

۱۲-۳ رویکرد ریاضی ۱۹۷

۱۲-۴ تداخل ۱۹۹

۱۲-۴-۱ تداخل صندلی ۲۰۰

۱۲-۴-۲ تداخل راهرو ۲۰۵

۱۲-۵ مدل ریاضی تداخل صندلی و راهرو ۲۰۸

۱۲-۶ مدل شبیه‌سازی تداخل ۲۱۶

۱۲-۷ نتیجه‌گیری ۲۱۷

بخش سوم - پیچیدگی محاسباتی و شبیه‌سازی ۲۱۹

فصل سیزدهم - پیچیدگی محاسباتی، روش‌های ابتکاری و نرم‌افزارهای بهینه‌سازی ۲۲۱

۱۳-۱ مقدمه ۲۲۱

۱۳-۲ نظریه پیچیدگی ۲۲۲

۱۳-۳ راه‌حل‌های فناوری اطلاعات (IT) خطوط هوایی ۲۲۴

۱۳-۳-۱ زمان‌بندی خدمه ۲۲۵

۱۳-۳-۲ عملیات پرواز ۲۲۵

۱۳-۳-۳ مدیریت درآمد ۲۲۶

۱۳-۳-۴ توزیع بلیت ۲۲۷

۱۳-۳-۵ راه‌حل‌های IT مکمل خط هوایی ۲۲۸

فصل چهاردهم - مطالعه موردی راه‌اندازی خط هوایی ۲۳۱

۱۴-۱ مقدمه ۲۳۱

۱۴-۲ رویکرد حل مسئله ۲۳۴

۱۴-۲-۱ تابع هدف ۲۳۵

۱۴-۲-۲ پوشش فراوانی پروازها ۲۳۵

۱۴-۲-۳ هواپیماهای در دسترس ۲۳۶

فصل پانزدهم - برنامه‌ریزی نیروی انسانی تعمیر و نگهداری ۲۳۹

۱۵-۱ مقدمه ۲۳۹

فهرست مطالب □ خ

۲۳۹.....	مدل شبیه‌سازی	۱۵-۲
۲۴۰.....	برنامه‌ریزی نیروی انسانی برای شرکت هواپیمایی کنتیننتال	۱۵-۳
۲۴۲.....	واحد نگهداری و تعمیرات خط	۱۵-۴
۲۴۳.....	انواع ناوگان / تجهیزات	۱۵-۵
۲۴۴.....	برنامه‌های نگهداری و تعمیرات	۱۵-۶
۲۴۵.....	زمان‌های استاندارد نگهداری و تعمیرات	۱۵-۷
۲۴۶.....	زمان‌بندی نوبت‌کاری	۱۵-۸
۲۴۷.....	چالش نیروی کار	۱۵-۹
۲۴۸.....	تجزیه و تحلیل (سناریوی پایه)	۱۵-۱۰
۲۴۹.....	مجموع تکنسین موردنیاز	۱۵-۱۱
۲۵۱.....	تحلیل حساسیت	۱۵-۱۲
۲۵۳.....	نتیجه‌گیری	۱۵-۱۳

فصل شانزدهم - یدک‌کشی هواپیما ۲۵۷

۲۵۷.....	مقدمه	۱۶-۱
۲۵۸.....	یدک‌کشی هواپیما	۱۶-۲
۲۵۸.....	مدل شبیه‌سازی	۱۶-۳
۲۵۹.....	ماژول‌های شبیه‌سازی	۱۶-۴
۲۶۱.....	تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی	۱۶-۵
۲۶۲.....	سناریوی پیشنهادی	۱۶-۶
۲۶۴.....	تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری	۱۶-۷
۲۶۶.....	یدک‌کش‌های متعدد	۱۶-۸
۲۶۷.....	پیشنهادات و نتیجه‌گیری	۱۶-۹

فصل هفدهم - طرح‌ریزی ظرفیت باند ۲۷۱

۲۷۱.....	مقدمه	۱۷-۱
۲۷۴.....	چیدمان فرودگاه در حالت کلی	۱۷-۲
۲۷۵.....	ظرفیت سیستم باند فرودگاه	۱۷-۳
۲۷۹.....	مدل‌های تخمین ظرفیت فرودگاه	۱۷-۴
۲۷۹.....	ارزیابی چیدمان فرودگاه	۱۷-۵
۲۸۰.....	طرح‌ریزی کلی فرودگاه و حریم هوایی (TAAM)	۱۷-۶
۲۸۱.....	طرح‌ریزی ظرفیت باند در فرودگاه فیلادلفیا	۱۷-۷
۲۸۷.....	نتایج شبیه‌سازی	۱۷-۸

۲۸۸.....	مقایسه و نتیجه‌گیری	۱۷-۹
فصل هجدهم - سیستم حمل‌ونقل هواپیماهای کوچک (SATS) ۲۹۳		
۲۹۳.....	مقدمه	۱۸-۱
۲۹۴.....	سیستم حمل‌ونقل هواپیماهای کوچک (SATS)	۱۸-۲
۲۹۶.....	کانون توجه پروژه	۱۸-۳
۲۹۶.....	پیش‌بینی جریان ترافیکی آینده برای KTLH	۱۸-۴
۲۹۷.....	پیش‌بینی جریان ترافیکی SATS	۱۸-۵
۲۹۸.....	فرودگاه منطقه‌ای تالاهاسی (KTLH)	۱۸-۶
۲۹۹.....	سناریوی پایه	۱۸-۷
۳۰۲.....	تحلیل شبیه‌سازی برای سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۵	۱۸-۸
۳۰۵.....	تحلیل حساسیت	۱۸-۹

پیشگفتار مترجم

ترجمه کتاب حاضر، مبتنی بر سال‌ها شناخت و تجارب حاصل از فعالیت در دانشگاه و صنعت هواپیمایی کشور است و به دلیل لزوم استفاده از روش‌های نوین برای مدیریت و بهبود فرایندهای شبکه هوایی کشور، کاهش هزینه‌ها، افزایش سوددهی و بهره‌وری به رشته تحریر درآمده است. شبکه‌های هوایی در محیطی غیرقطعی و دینامیک فعالیت می‌کنند. همچنین، محدودیت‌های قوانین و مقررات و دسترسی به منابع، از شبکه‌های هوایی، محیطی پیچیده می‌سازد. با توجه به ماهیت این مسائل، تکنیک‌های تحقیق در عملیات، نقش مهمی در کنترل این پیچیدگی‌ها دارد. کتاب‌ها و مقالات زیادی در زمینه مدل‌های بهینه‌سازی شبکه‌های هوایی وجود دارد که اکثراً در سطح پیشرفته نوشته شده‌اند. این کتاب ترجمه شده سعی دارد با ارائه روش‌های ساده‌سازی مدل‌ها و پیاده کردن آنها بر مطالعات موردی در حوزه‌های مختلف شبکه‌های هوایی، تعریف ساده‌تری از این مسائل برای درک آسان‌تر به خوانندگان ارائه دهد. روش‌های ارائه شده در این کتاب، روش‌های کاربردی مؤثری هستند که کارشناسان در کشورهای پیشرو در این حوزه، به‌صورت نظام‌مندی در سالیان متمادی از آنها استفاده کرده‌اند و به‌کارگیری آنها می‌تواند میلیاردها تومان صرفه اقتصادی برای صنعت هواپیمایی کشور داشته باشد.

بدیهی است که ترجمه کتاب، هر چقدر هم خوب باشد، عاری از اشکال نیست. لذا، از خوانندگان گرامی تقاضا می‌شود با انعکاس نظرات سازنده خود از طریق پست الکترونیکی amalnick@ut.ac.ir این جانب را در ارتقای سطح کیفیت کتاب یاری دهند. امید است با استفاده از روش‌های ارائه شده در این کتاب بتوان گام مؤثری در بهبود عملکرد شبکه هوایی کشور برداشت و زمینه‌ای برای کاهش هزینه‌ها و ارائه خدمات شایسته‌تر به مشتریان فراهم کرد. در خاتمه لازم است از آقای مهندس محمد روانبخش که این جانب را در انجام این وظیفه مهم یاری کردند، تقدیر و تشکر کنم.

دکتر محسن صادق عمل نیک

۱۳۹۶

پیشگفتار مؤلف

تألیف این کتاب، نتیجهٔ ارائهٔ درس MBA در برنامه‌ریزی و عملیات شبکهٔ هوایی در دانشکدهٔ کسب‌وکار در دانشگاه هوافضای امبری ریدل است. این درس براساس بازخوردهای دریافت‌شده از فارغ‌التحصیلانی که عمدتاً در شبکهٔ هوایی کار می‌کردند و همچنین دانشجویان کلاس درس مدیریت تحقیق در عملیات ارائه شده است. بازخوردها نشان می‌دهد که یک درس به‌طور خاص متمرکز بر برنامه‌ریزی‌های شبکهٔ هوایی بر پایهٔ روش‌های بهینه‌سازی، می‌تواند برای فرودگاه‌ها و خطوط هوایی و مخاطبان هوانوردی بسیار جذاب باشد. علاوه بر این، ایدهٔ ارائهٔ چنین درسی، حمایت مدیران فرودگاه‌ها، خطوط هوایی و دانشکده‌های هوافضا را به همراه دارد.

برخی انگیزه‌های تألیف و چاپ کتاب عبارت‌اند از:

- معرفی اهمیت و پیچیدگی برنامه‌ریزی و عملیات خطوط هوایی و فرودگاه‌ها.
- تکنیک‌های تحقیق در عملیات، ابزار بسیار مهمی برای برنامه‌ریزی عملیات در فرودگاه‌ها و خطوط هوایی است. تعداد زیادی از مقالات علمی در زمینهٔ مدل‌های بهینه‌سازی فرودگاه‌ها و خطوط هوایی وجود دارد. باین‌حال، این منابع بسیار پیشرفته‌اند و در نتیجه، تنها موردعلاقهٔ مخاطبان محدودی است. در کتاب حاضر سعی شده با ساده‌سازی مدل‌ها و به‌کارگیری آنها این شکاف پر شود و به این ترتیب در دسترس مخاطبان بیشتری قرار گیرد.
- نگرانی فزاینده‌ای در انجمن‌های تحقیق در عملیات وجود دارد که دروس ارائه‌شدهٔ تحقیق در عملیات در رشتهٔ MBA و یا کارشناسی‌ارشد رشتهٔ کسب‌وکار، در جهان سریع و پویای امروز بیش‌ازحد انتزاعی، منسوخ و بی‌ربط‌اند. این کتاب به دنبال ارائهٔ موارد جایگزین و امیدوارکننده‌تر برای چنین واحدهایی است.

دکتر مسعود بازرگان

۲۰۱۷

مخاطبان در نظر گرفته شده

این کتاب با هدف ارائه یک کتاب درسی و همچنین، موارد پشتیبان برای فارغ‌التحصیلان و دانشجویان رشته MBA، کسب‌وکار، مدیریت، حمل‌ونقل و مهندسی نوشته شده است. در حال حاضر، خطوط هوایی زمان زیادی را صرف آموزش و آشنایی نیروهای جدید خود با برنامه‌ریزی و زمان‌بندی فرایندهای عملیات مختلف می‌کنند. این کتاب می‌تواند منبع مناسبی برای ارائه چنین آموزشی باشد. مخاطبان دیگر هوانوردی از قبیل مخاطبان عمومی، مدارس پرواز، انجمن بین‌المللی حمل‌ونقل هوایی (IATA)، سازمان بین‌المللی هواپیمایی کشوری (ICAO)، مدرسان آموزش دوره، اپراتورهای اجرایی جت و خیرگان پرواز، شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی و مشاوران هواپیمایی، ممکن است موارد مرتبط و مفیدی در این کتاب مشاهده کنند.

پیش‌نیاز مطالعه کتاب

مهم‌ترین زمینه موردنیاز برای خواندن بخش عمده‌ای از این کتاب، آشنایی مقدماتی با برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح است. برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح موضوعاتی هستند که به‌طور گسترده در بسیاری از رشته‌های دانشگاهی در سطوح مختلف پوشش داده می‌شود. فصل‌های ۴ و ۸ نیاز به فهم پایه‌ای از آمار به‌طور عام و توزیع نرمال به‌طور خاص دارد.

استفاده در قالب کتاب درسی

مؤلف پیشنهاد می‌کند که محتویات این کتاب برای درس رشته MBA به این صورت ارائه شود: دانشجویان به گروه‌های سه‌نفره تقسیم شوند. هر گروه نماینده یک شرکت هواپیمایی باشد. با پیشروی درس، هر گروه مسئول تعیین مسیر انتخابی، شبکه پرواز، نوع ناوگان، مسیریابی هواپیما، مکان نگهداری و تعمیرات، سیستم‌های هاب و اسپوک^۱، زمان‌بندی خدمه زمینی و هوایی و تخصیص جایگاه پارک برای شرکت هواپیمایی‌ای که انتخاب کرده، باشد. دانشجویان باید تحقیقات جامعی درباره تقاضای سفر بین هر دو شهر، هزینه ناوگان و هزینه خدمه داشته باشند و ^۲ASM، ^۳CASM، ^۴RASM، بازده و... را برای شرکت هواپیمایی خود تعیین کنند. گروه‌ها باید مشخص کنند که چگونه کرایه خود را تعیین می‌کنند (مدیریت درآمد) و چگونه وقفه‌های غیرمنتظره را در برنامه پرواز خود جای می‌دهند (عملیات نامنظم). اگر گروه‌ها با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند ارناس^۵ آشنا هستند، آنگاه آنها از

1- Hub and Spoke
2- Available Seat Miles
3- Cost per Available Seat Mile
4- Revenue per Available Seat Mile
5- WWW.ARENASIMULATION.COM

س □ برنامه‌ریزی و عملیات شبکه‌های هوایی

شبیه‌سازی عملیات هر فرودگاه درون شبکه خود، برای ارزیابی عملیات ساده از قبیل تعداد کافی جایگاه‌های پارک در دسترس، جابه‌جاکنندگان بار و... استفاده کنند. گروه‌ها باید ارائه نهایی از شرکت هواپیمایی خود و گزارش جامعی از جزئیات این عملیات داشته باشند.