

# ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری

یک رهیافت مدل‌مبنا

دکتر محمد عبداللهی آژگی

(استاد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران)

دکتر حسن مطلبی

(استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان)

سرشناسه	: عبداللهی ازگمی، محمد، ۱۳۴۷-
عنوان و نام پدیدآور	: ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری: یک رهیافت مدل مبنا/ محمد عبداللهی ازگمی، حسن مطلبی.
مشخصات نشر	: کرمان: خدمات فرهنگی کرمان، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ۵۰۳ ص: مصور، جدول (بخشی رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۲۸۵-۴۲۵-۴
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۹۸ - ۵۰۳.
موضوع	: سیستم‌های کامپیوتری -- ارزیابی Computer systems -- Evaluation شبکه‌های کامپیوتری -- شبیه‌سازی Computer networks -- Simulation methods زنجیره‌های مارکوف Markov processes شبکه‌های پتری Petri nets شبکه‌های صف (انتقال داده‌ها) (Queuing networks (Data transmission)
شناسه افزوده	: مطلبی، حسن، ۱۳۵۹-
رده بندی کنگره	: ۹/۷۶QA
رده بندی دیویی	: ۲۴/۰۰۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۳۱۵۰۳۴

**انتشارات خدمات فرهنگی کرمان**      **دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته**  
**کرمان: خیابان شریعی، کتابفروشی فرهنگ**      **کرمان: انتهای بزرگراه بهشت باغ علوی**  
**تلفن: ۰۳۴-۳۳۲۲۴۳۳۱**      **تلفن: ۰۳۴-۳۳۷۷۶۶۱۱**

ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری (یک رهیافت مدل مبنا)

مؤلفین: محمد عبداللهی ازگمی، حسن مطلبی

صفحه‌آرایی: ملیحه یزدی‌زاده

طراحی جلد: مهنوش علیزاده، بنیامین بهرام‌پور

قیمت: ۲،۵۰۰،۰۰۰ ریال

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

نوبت چاپ: چاپ اول - تابستان ۱۴۰۲

چاپ و صحافی: مرکز چاپ و نشر دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته (www.kgut.ac.ir)

و انتشارات خدمات فرهنگی کرمان ( فرهنگ: @farhang.pri )

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۸۵-۴۲۵-۴

حق چاپ برای مرکز چاپ و نشر دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته محفوظ است.

## فهرست مطالب

### پیشگفتار

بخش نخست: مبانی ارزیابی کارایی سیستم‌ها

### فصل ۱: مفاهیم پایه ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری

۱-۱- مقدمه.....	۱۹
۲-۱- معیارهای کارایی، اتکاپذیری و انجام‌پذیری.....	۲۱
۳-۱- روش‌های ارزیابی.....	۲۹
۱-۳-۱- اندازه‌گیری.....	۲۹
۲-۳-۱- مطالعه و ارزیابی بر پایه شبیه‌سازی کامپیوتری.....	۳۱
۳-۳-۱- مدل‌سازی تحلیلی.....	۳۲
۴-۳-۱- مدل‌سازی تلفیقی (هیبرید).....	۳۴
۵-۳-۱- کاربردهای ارزیابی کارایی.....	۳۵
۴-۱- ارزیابی مدل مبنا.....	۳۶
۱-۴-۱- روش‌های تحلیلی.....	۳۷
۲-۴-۱- راه‌حل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی کامپیوتری.....	۳۹
۳-۴-۱- روش تلفیقی یا هیبرید.....	۳۹
۵-۱- چالش انفجار فضای حالت.....	۴۰
۱-۵-۱- تحمل بزرگی فضای حالت.....	۴۰
۲-۵-۱- اجتناب از بزرگی فضای حالت.....	۴۱
۶-۱- تمرین‌ها.....	۴۲

### فصل ۲: مبانی آمار و احتمال برای ارزیابی کارایی

۱-۲- مقدمه.....	۴۳
۲-۲- متغیرهای تصادفی.....	۴۵
۱-۲-۲- متغیرهای تصادفی گسسته.....	۴۷
۲-۲-۲- متغیرهای تصادفی پیوسته.....	۴۹
۳-۲- امید ریاضی و واریانس متغیر تصادفی.....	۵۲
۱-۳-۲- امید ریاضی تابعی از یک متغیر تصادفی.....	۵۳
۲-۳-۲- واریانس یک متغیر تصادفی.....	۵۴

- ۳-۳-۲- کوواریانس دو متغیر تصادفی ..... ۵۴
- ۴-۳-۲- واریانس مجموع دو متغیر تصادفی ..... ۵۶
- ۴-۲- مهمترین متغیرهای تصادفی گسسته ..... ۵۶
- ۴-۲-۱- تابع توزیع جرم احتمال ..... ۵۶
- ۴-۲-۲- برخی توابع توزیع پر کاربرد ..... ۵۷
- ۴-۲-۳- توزیع برنولی ..... ۵۸
- ۴-۲-۴- توزیع دو جمله‌ای ..... ۵۹
- ۴-۲-۵- خصوصیات متغیر تصادفی دو جمله‌ای ..... ۶۱
- ۴-۲-۶- توزیع هندسی ..... ۶۳
- ۴-۲-۷- توزیع دو جمله‌ای منفی (پاسکال) ..... ۶۶
- ۴-۲-۸- توزیع پواسون ..... ۶۸
- ۴-۲-۹- تقریب توزیع دو جمله‌ای ..... ۷۳
- ۴-۲-۱۰- توزیع فوق هندسی ..... ۷۵
- ۲-۵- مجموع متغیرهای تصادفی گسسته ..... ۷۶
- ۲-۶- مهمترین متغیرهای تصادفی پیوسته ..... ۷۹
- ۲-۶-۲- توزیع نمایی ..... ۸۲
- ۲-۶-۳- توزیع ویبول ..... ۹۱
- ۲-۶-۴- توزیع پارتو ..... ۹۱
- ۲-۶-۵- توزیع یکنواخت ..... ۹۴
- ۲-۶-۶- توزیع نرمال (گوسی) ..... ۹۶
- ۲-۶-۷- توزیع ارلنگ ..... ۹۹
- ۲-۶-۸- توزیع گاما ..... ۱۰۰
- ۲-۷- مجموع متغیرهای تصادفی پیوسته ..... ۱۰۲
- ۲-۸- قضیه حد مرکزی ..... ۱۰۳
- ۲-۹- مقدمه‌ای بر استنباط آماری ..... ۱۱۳
- ۲-۹-۱- برآورد پارامتر ..... ۱۱۷
- ۲-۹-۲- برآوردگر بازه‌ای و بازه اطمینان ..... ۱۲۰
- ۲-۹-۳- دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی ..... ۱۲۵

۱۲۵ ..... ۲-۹-۴- اندازه نمونه و دقت برآورد.....

۱۲۹ ..... ۲-۱۰-۱- تمرین‌ها.....

### فصل ۳: قوانین عملیاتی

۱۳۳ ..... ۳-۱- مقدمه.....

۱۳۳ ..... ۳-۲- قوانین عملیاتی.....

۱۳۵ ..... ۳-۲-۱- قانون لیتل.....

۱۴۰ ..... ۳-۲-۲- قانون جریان اجباری.....

۱۴۱ ..... ۳-۲-۳- قانون بهره‌وری.....

۱۴۲ ..... ۳-۲-۴- قانون زمان اقامت عمومی.....

۱۴۴ ..... ۳-۲-۵- قانون زمان پاسخ تعاملی.....

۱۴۵ ..... ۳-۳- تحلیل گلوگاه.....

۱۴۷ ..... ۳-۴- فرضیات.....

۱۴۷ ..... ۳-۵- تمرین‌ها.....

### فصل ۴: ارزیابی کارایی با روش شبیه‌سازی کامپیوتری

۱۵۱ ..... ۴-۱- مقدمه.....

۱۵۲ ..... ۴-۲- شبیه‌سازی در مقابل حل تحلیلی.....

۱۵۵ ..... ۴-۳- دسته‌بندی مدل‌های شبیه‌سازی.....

۱۵۵ ..... ۴-۳-۱- شبیه‌سازی گسسته و پیوسته.....

۱۵۶ ..... ۴-۳-۲- شبیه‌سازی قطعی و غیرقطعی.....

۱۵۷ ..... ۴-۳-۳- شبیه‌سازی خاتمه‌پذیر و حالت پایدار.....

۱۵۸ ..... ۴-۳-۴- شبیه‌سازی سنتزی یا توزیع‌محور و شبیه‌سازی مبتنی بر سابقه.....

۱۵۹ ..... ۴-۳-۵- شبیه‌سازی ترتیبی و شبیه‌سازی توزیع‌شده.....

۱۵۹ ..... ۴-۳-۶- شبیه‌سازی مبتنی بر رخداد و شبیه‌سازی مبتنی بر فرآیند.....

۱۶۰ ..... ۴-۳-۷- شبیه‌سازی نمادین.....

۱۶۰ ..... ۴-۴- دسته‌بندی ابزارهای شبیه‌سازی گسسته -رخداد.....

۱۶۰ ..... ۴-۴-۲- زبان‌های برنامه‌نویسی همه‌منظوره.....

۱۶۱ ..... ۴-۴-۳- زبان‌های شبیه‌سازی ساده.....

۱۶۲ ..... ۴-۴-۴- کتابخانه‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی.....

۱۶۲	۴-۴-۵- بسته‌های شبیه‌سازی
۱۶۲	۴-۵- تولید اعداد و نمونه‌های تصادفی
۱۶۳	۴-۵-۱- تولید اعداد تصادفی
۱۶۴	۴-۵-۲- تولید نمونه‌هایی از متغیرهای تصادفی
۱۶۴	۴-۵-۳- روش تبدیل معکوس
۱۶۶	۴-۵-۴- تولید نمونه‌های تصادفی از توزیع نرمال
۱۶۷	۴-۵-۵- تولید نمونه‌های تصادفی به روش تقلید
۱۷۰	۴-۶- شبیه‌سازی گسسته-رخداد
۱۷۲	۴-۷-۱- مثالی از ارزیابی کارایی با شبیه‌سازی گسسته-رخداد
۱۷۲	۴-۷-۱- تعریف صورت مسأله شبیه‌سازی
۱۷۳	۴-۷-۲- معیارهای کارایی مورد نظر برای ارزیابی
۱۷۴	۴-۷-۳- ساخت مدل شبیه‌سازی
۱۷۶	۴-۷-۴- محاسبه معیارهای کارایی
۱۷۶	۴-۸- تمرین‌ها

### بخش دوم: ارزیابی کارایی با مدل‌های تصادفی

#### فصل ۵: فرآیندهای تصادفی

۱۸۱	۵-۱- مقدمه
۱۸۲	۵-۲- دسته‌بندی فرآیندهای تصادفی
۱۸۲	۵-۲-۱- فرآیندهای تصادفی گسسته - حالت و پیوسته-حالت
۱۸۲	۵-۲-۲- فرآیندهای تصادفی گسسته - زمان و پیوسته-زمان
۱۸۷	۵-۲-۳- فرآیند شمارشی
۱۸۸	۵-۳- فرآیند پواسون
۱۸۹	۵-۳-۱- انشعاب و ادغام پواسون
۱۹۲	۵-۳-۲- فرآیند تجدید
۱۹۲	۵-۳-۳- فرآیند مارکوفی
۱۹۳	۵-۴- خلاصه فصل
۱۹۳	۵-۵- تمرین‌ها

## فصل ۶: زنجیره‌های مارکوف گسسته-زمان

۱۹۵	۱-۶- مقدمه
۱۹۷	۲-۶- زنجیره‌های مارکوف گسسته زمان
۱۹۸	۱-۲-۶- نمودار حالت-گذر
۱۹۹	۲-۲-۶- ماتریس احتمالات گذر
۲۰۳	۳-۲-۶- بردار احتمالات اولیه
۲۰۳	۳-۶- مثال
۲۰۹	۲-۳-۶- احتمالات گام $k$ ام
۲۰۹	۳-۳-۶- احتمالات $n$ گامی
۲۱۱	۴-۳-۶- احتمالات حدی
۲۱۹	۵-۳-۶- رفتار حالت پایدار
۲۱۹	۴-۶- دسته‌بندی حالت‌ها و زنجیره‌های مارکوف
۲۲۰	۱-۴-۶- حالت‌های گذرا و بازگشتی
۲۲۲	۲-۴-۶- حالت‌های متناوب و نامتناوب
۲۲۴	۳-۴-۶- زنجیره‌های مارکوف تقلیل‌پذیر و تقلیل‌ناپذیر
۲۳۱	۵-۶- توزیع زمان اقامت در یک حالت از DTMC
۲۳۲	۶-۶- معادلات توازن جریان
۲۳۸	۷-۶- فرآیندهای تولد - مرگ گسسته-زمان
۲۴۱	۸-۶- چندین مثال کاربردی
۲۴۱	۱-۸-۶- تحلیل یک ساختمان داده
۲۴۳	۲-۸-۶- سیستم چندپردازنده
۲۵۱	۳-۸-۶- مدل رفتار مراجعات برنامه‌ها به حافظه
۲۵۴	۴-۸-۶- تحلیل کارایی کش
۲۵۷	۹-۶- تحلیل رفتار گذرای زنجیره‌های مارکوف
۲۵۸	۱-۹-۶- احتمالات حدی در زنجیره‌های مارکوف غیریکپارچه
۲۶۰	۱۰-۶- تمرین‌ها

## فصل ۷: زنجیره‌های مارکوف پیوسته-زمان

۲۶۳	۱-۷- مقدمه
-----	------------

۲۶۳	۲-۷- زنجیره‌های مارکوف پیوسته-زمان
۲۶۵	۱-۲-۷- نمودار حالت - گذر
۲۷۰	۲-۲-۷- ماتریس نرخ گذر
۲۷۵	۳-۷- تحلیل زنجیره‌های مارکوف پیوسته-زمان
۲۷۸	۱-۳-۷- معادلات توازن جریان
۲۸۱	۲-۳-۷- تحلیل حالت گذرای DTMC
۲۸۲	۳-۳-۷- تحلیل حالت گذرای CTMC
۲۸۳	۴-۳-۷- مثال
۲۸۶	۵-۳-۷- محاسبه معیارهای کارایی با استفاده از مدل‌های پاداش مارکوف
۳۰۵	۴-۷- فرآیندهای تولد-مرگ پیوسته-زمان
۳۱۰	۵-۷- فرآیند پواسون کنترل شده با زنجیره مارکوف
۳۱۳	۶-۷- محاسبه احتمالات حالت پایدار
۳۱۵	۷-۷- یک راه حل موازی برای حل عددی زنجیره‌های مارکوف
۳۱۶	۸-۷- زنجیره‌های شبه‌مارکوف
۳۱۷	۹-۷- تمرین‌ها

### بخش سوم: ارزیابی کارایی با مدل‌های شبکه‌ای

#### فصل ۸: شبکه‌های پتری

۳۲۳	۱-۸- مقدمه
۳۲۴	۲-۸- گراف شبکه پتری
۳۲۷	۳-۸- نمایش گرافیکی شبکه‌های پتری
۳۲۷	۴-۸- تعریف صوری شبکه‌های پتری
۳۲۹	۵-۸- نشانه‌گذاری شبکه پتری
۳۳۰	۶-۸- رفتار پویای سیستم شبکه پتری
۳۳۰	۱-۶-۸- قواعد توانا بودن و اجرای گذرها
۳۳۶	۲-۶-۸- تعارض (برخورد) و همروندی گذرها
۳۳۶	۷-۸- مدل‌سازی جنبه‌های مختلف رفتار سیستم‌ها
۳۶۳	۸-۸- تحلیل شبکه‌های پتری
۳۶۶	۹-۸- ویژگی‌های شبکه‌های پتری



۳۷۶	.....تمرین‌ها	۸-۱۰
<b>فصل ۹: بسط‌های شبکه‌های پتری</b>		
۳۷۷	.....تولید خودکار زنجیره‌های مارکوف	۹-۱
۳۷۹	.....بسط‌های شبکه‌های پتری	۹-۲
۳۷۹	.....شبکه‌های پتری اولویت‌دار	۹-۲-۱
۳۸۰	.....زمان در شبکه‌های پتری	۹-۲-۲
۳۸۲	.....شبکه‌های پتری تصادفی تعمیم‌یافته	۹-۳
۳۸۳	.....گذرهای زمانی	۹-۳-۲
۳۸۵	.....گذرهای آنی	۹-۳-۳
۳۹۱	.....شبکه‌های پاداش تصادفی	۹-۴
۳۹۵	.....تحلیل مدل‌های GSPN و SRN	۹-۴-۲
۳۹۸	.....حذف نشانه‌گذاری‌های ناپدیدشونده	۹-۴-۳
۴۰۳	.....شبکه‌های فعالیت تصادفی	۹-۵
۴۰۴	.....شبکه‌های فعالیت	۹-۵-۲
۴۰۶	.....تعریف صوری شبکه‌های فعالیت	۹-۵-۳
۴۰۸	.....شبکه‌های فعالیت تصادفی	۹-۵-۴
۴۰۹	.....تحلیل شبکه‌های فعالیت تصادفی	۹-۵-۵
۴۱۰	.....شبکه‌های پتری رنگی	۹-۶
۴۱۲	.....پیوسته‌سازی در شبکه‌های پتری گسسته	۹-۷
۴۱۳	.....شبکه‌های پتری هیبرید	۹-۸
۴۱۴	.....شبکه‌های پتری هیبرید چندتکین	۹-۹
۴۱۷	.....چند مثال	۹-۲
۴۱۸	.....تعریف صوری	۹-۳
۴۲۰	.....معنای عملیاتی	۹-۴
۴۲۱	.....سرعت اجرای لحظه‌ای گذرها	۹-۵
۴۲۱	.....برخورد در شبکه‌های پتری هیبرید چندتکین	۹-۶
۴۲۱	.....سیاست اولویت‌بندی	۹-۷
۴۲۲	.....سیاست‌های مبتنی بر اشتراک جریان	۹-۸

۴۲۳	.....تمرین‌ها ۱۰-۹
	<b>فصل ۱۰: شبکه‌های صف</b>
۴۲۹	.....مقدمه ۱-۱۰
۴۲۹	.....عناصر سیستم‌های صف ۲-۱۰
۴۲۹	.....صف ۱-۲-۱۰
۴۳۱	.....جمعیت مشتریان احتمالی ۲-۲-۱۰
۴۳۱	.....ظرفیت سیستم ۳-۲-۱۰
۴۳۲	.....فرایند ورود ۴-۲-۱۰
۴۳۲	.....رفتار صف و قانون صف ۵-۲-۱۰
۴۳۴	.....فرآیند سرویس‌دهی و مکانیزم سرویس ۶-۲-۱۰
۴۳۵	.....نمادگذاری کندال ۳-۱۰
۴۳۶	.....محاسبه معیارهای کارایی ۴-۱۰
۴۳۸	.....صف‌های مارکوفی ۵-۱۰
۴۳۸	.....صف $M/M/1$ و تحلیل آن ۱-۵-۱۰
۴۴۵	.....صف $M/M/\infty$ ، صفی با بی‌نهایت سرویس‌دهنده ۲-۵-۱۰
۴۴۶	.....صف $M/M/1$ ، صفی با $m$ سرویس‌دهنده ۳-۵-۱۰
۴۴۹	.....صف $M/M/1/N$ ، فی با گنجایش محدود ۴-۵-۱۰
۴۵۲	.....صف $M/M/m/m$ ، صفی با $m$ سرویس‌دهنده و ... ۵-۵-۱۰
۴۵۴	.....صف $M/M/m/N$ ، صفی با $m$ سرویس‌دهنده و ... ۶-۵-۱۰
۴۵۶	.....قضیه برک ۷-۵-۱۰
۴۵۶	.....معکوس‌پذیری ۸-۵-۱۰
۴۵۷	.....شبکه‌های صف ۶-۱۰
۴۵۹	.....تعاریف و نمادهای مورد استفاده در شبکه‌های صف ۷-۱۰
۴۶۲	.....تحلیل شبکه‌های صف ۸-۱۰
۴۶۴	.....شبکه‌های صف شکل ضربی ۹-۱۰
۴۶۵	.....معادلات توازن محلی ۱-۹-۱۰
۴۶۶	.....شبکه‌های جکسون ۲-۹-۱۰
۴۶۹	.....شبکه‌های صف گردون-نیوویل ۳-۹-۱۰

۱۰-۱۰ - خلاصه فصل ..... ۴۷۵

۱۰-۱۱ - تمرین‌ها ..... ۴۷۵

### پیوست‌ها

پیوست الف: واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ..... ۴۸۱

پیوست ب: الفبای یونانی ..... ۴۹۳

پیوست ج: جدول توزیع نرمال ..... ۴۹۴

پیوست د: جدول ارقام تصادفی با توزیع یکنواخت ..... ۴۹۵

مراجع ..... ۴۹۶



## پیشگفتار

کتابی که پیش رو دارید حاصل سال‌ها تجربه مولفین در آموزش و پژوهش در حوزه مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها و شبکه‌های کامپیوتری است. همانند بسیاری از رشته‌های مهندسی، مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها یکی از پایه‌ای‌ترین مباحث در مهندسی کامپیوتر و از جمله مهم‌ترین دروس این رشته است که فراگیری آن برای هر دانشجویی لازم است. این کتاب در سه بخش «مبانی ارزیابی کارایی سیستم‌ها»، «ارزیابی کارایی با مدل‌های تصادفی» و «ارزیابی کارایی با مدل‌های شبکه‌ای» و در مجموع ده فصل تدوین شده است. بخش اول، «مبانی ارزیابی کارایی سیستم‌ها»، که شامل فصل‌های اول تا چهارم است به برخی مباحث مقدماتی، مبانی آمار و احتمالات مورد استفاده در ادامه کتاب و نیز روش شبیه‌سازی کامپیوتری می‌پردازد. به‌طور جزئی‌تر:

- نخستین فصل این کتاب با عنوان «مفاهیم پایه ارزیابی کارایی سیستم‌های کامپیوتری» به معرفی روش‌های مختلف ارزیابی کارایی و اصطلاحات مورد استفاده در این کتاب از جمله معیارهای مختلف کارایی، اتکاپذیری و انجام‌پذیری می‌پردازد.
- فصل دوم، با عنوان «مبانی آمار و احتمال برای ارزیابی کارایی» به یادآوری برخی مفاهیم ابتدایی نظریه احتمال می‌پردازد. در این فصل به معرفی برخی از مهم‌ترین متغیرهای تصادفی گسسته و پیوسته مورد استفاده در مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها پرداخته می‌شود. از جمله مهم‌ترین این توزیع‌ها، توزیع پواسون از بین توزیع‌های گسسته و توزیع نمایی از بین توزیع‌های پیوسته هستند که در ادامه کتاب مرتباً مورد ارجاع قرار می‌گیرند. بنابراین، لازم است علاوه بر آشنایی با مفاهیم توزیع جرم احتمال، توزیع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی مفاهیم مرتبط با این دو توزیع نیز به طور عمیق درک شوند. آشنایی با سایر توزیع‌ها و ویژگی‌ها و کاربردهای آن‌ها کاربرد کمتری در ادامه کتاب دارد. بخش آخر این فصل به مفاهیم مقدماتی استنباط آماری می‌پردازد. درک مفاهیم مطرح در این فصل کمک بسیاری به تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی کامپیوتری می‌کند.
- فصل سوم، با عنوان «قوانین عملیاتی» به تشریح قوانینی می‌پردازد که در دسته بسیار وسیعی از سیستم‌ها و تحت فرض‌های بسیار عمومی برقرار هستند. این قوانین نوعاً بیان‌گر رابطه بین معیارهای مختلف مطرح در سیستم هستند.
- فصل چهارم، با عنوان «ارزیابی کارایی با روش شبیه‌سازی کامپیوتری» به معرفی

روش‌ها، زبان‌ها و ابزارهای شبیه‌سازی کامپیوتری، به‌ویژه شبیه‌سازی گسسته-رخداد می-پردازد. روش شبیه‌سازی کامپیوتری با روش‌های تحلیلی مقایسه شده و مثالی از ارزیابی کارایی سیستم‌ها با روش شبیه‌سازی به‌صورت گام به گام ارائه می‌شود.

در بخش دوم با عنوان «ارزیابی کارایی با مدل‌های تصادفی» به مدل‌های تصادفی مورد استفاده برای توصیف و تحلیل کارایی سیستم‌های کامپیوتری می‌پردازیم. به طور جزئی تر:

- در فصل پنجم، با عنوان «فرآیندهای تصادفی» به معرفی مفهوم فرآیند تصادفی و شرح برخی از فرآیندهای تصادفی پرکاربرد خواهیم پرداخت. مفهوم فرآیند تصادفی یک مفهوم پایه‌ای است که مبنای سایر مدل‌های مورد بحث در این کتاب است.

- فصل‌های ششم و هفتم، به ترتیب با عناوین «زنجیره‌های مارکوف گسسته-زمان» و «زنجیره‌های مارکوف پیوسته-زمان» به بحث فرآیندهای مارکوفی می‌پردازند. در این دو فصل، بحث تحلیل گذرا و پایدار زنجیره‌های مارکوف با هدف محاسبه معیارهای کارایی و اتکاپذیری به همراه مثال‌های بسیاری آورده شده است.

در بخش سوم با عنوان «ارزیابی کارایی با مدل‌های شبکه‌ای» به زبان‌های مدل‌سازی سطح بالای مطرح در توصیف و تحلیل سیستم‌های کامپیوتری می‌پردازیم. از جمله این زبان‌ها، شبکه‌های پتری و بسط‌های مختلف آن و گونه‌های مختلف شبکه‌های صف هستند. به طور جزئی تر:

- در فصل هشتم، با عنوان «شبکه‌های پتری» به معرفی شبکه‌های پتری کلاسیک خواهد پرداخت. در این فصل ساختار، گرامر، معنا و رفتار و نحوه تحلیل این زبان مدل‌سازی سطح بالا در قالب مثال‌های بسیاری از کاربرد آن شرح داده شده است.

- فصل نهم، با عنوان «بسط‌های تصادفی شبکه‌های پتری» به بحث روش تحلیل بسط‌های مختلف شبکه‌های پتری می‌پردازد. این بسط‌ها عبارتند از شبکه‌های پتری تصادفی تعمیم‌یافته، شبکه‌های پاداش تصادفی و شبکه‌های فعالیت تصادفی.

- نهایتاً، در فصل دهم، با عنوان «شبکه‌های صف» به مباحث نظریه صف، انواع سیستم‌ها و شبکه‌های صف و روش‌های تحلیل آنها و کاربرد آنها در ارزیابی کارایی خواهیم پرداخت.

**ویژگی‌های این کتاب.** به دلیل فقدان یک کتاب درسی مناسب برای مقطع کارشناسی ارشد و دکتری در زمینه مدل‌سازی و ارزیابی کارایی سیستم‌ها، اقدام به نگارش این کتاب

نموده‌ایم. هدف آن بوده که کتاب تا حد امکان خودآموز باشد و برای این منظور مثال‌های حل‌شده و تمرین‌های فراوانی در کتاب گنجانده شده است. کتاب حاوی بیش از ۲۰۰ شکل و جدول بوده و به کمک مثال‌های کاربردی متعدد و با بیانی ساده و روان سعی در تشریح مفاهیم و ایده‌ها دارد. همچنین، هر فصل با تمرین‌هایی خاتمه یافته که حل آنها کمک قابل توجه‌ای به درک مطالب می‌کند. اساتید محترم می‌توانند اسلایدهای طراحی شده مربوط به این کتاب را از مولفین درخواست نمایند.

**تقدیر و تشکر.** لازم می‌دانیم که از شورای نشر دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته که در مراحل داوری، اصلاحات و نشر این کتاب کمک‌های بسیاری کرده است سپاسگزاری کنیم. به ویژه از جناب آقای دکتر محبی ریاست محترم دانشگاه به دلیل حمایت ایشان و از جناب آقای دکتر حسن‌زاده به دلیل پیگیری مصرانه‌ای که در مراحل مختلف کار داشتند تشکر می‌کنیم. از سرکار خانم مهندس مهنوش علیزاده که زحمت طراحی جلد را متقبل شدند سپاسگزاریم. همچنین از کارکنان محترم انتشارات خدمات فرهنگی کرمان، برای زحماتی که در چاپ و نشر این کتاب متحمل شده‌اند، قدردانی می‌کنیم. به ویژه از ریاست محترم این انتشارات جناب آقای سعیدی به دلیل همراهی و لطف ایشان و از سرکار خانم ملیحه یزدی‌زاده که صفحه‌آرایی کتاب را انجام دادند تشکر می‌کنیم. نهایتاً، از دانشجویان دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته که در رفع ایرادهای نسخه اولیه این کتاب همکاری داشته‌اند قدردانی می‌کنیم. با وجود تمام تلاشی که برای نگارش و تدوین بدون ایراد کتاب صورت گرفته، از دانشجویان عزیز، اساتید محترم و خوانندگان گرامی خواهشمندیم ایرادهای احتمالی و پیشنهادهای سازنده خود را در راستای بهبود این کتاب از طریق پست الکترونیکی با مؤلفین در میان بگذارند.

تابستان ۱۳۹۹

محمد عبداللهی آژگمی

(استاد، دانشگاه علم و صنعت ایران، پست الکترونیکی: [azgomi@iust.ac.ir](mailto:azgomi@iust.ac.ir))

حسن مطلبی

(استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، پست

الکترونیکی: [h.motallebi.p@gmail.com](mailto:h.motallebi.p@gmail.com))