



آشنایی با
نظریه قابلیت اعتماد

مجید اسدی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



آشنایی با نظریه قابلیت اعتماد

تألیف: مجید اسدی

ویراسته بهاءالدین خالدی
نسخه پرداز: فاطمه پیوندی
طراح جلد: سیمه عابدینی
حروفچینی و صفحه‌آرایی: مینا مهرایی فرد و همکاران
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۹۲
تعداد ۵۰۰
چاپ دیجیتال و صحافی: آریانا
۱۳۰۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، رویه‌روی سینما سپیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۰۸۸۹۱، ۶۶۴۱۰۶۸۶
نشانی فروشگاه و نمایشگاه دائمی: خیابان دکتر بهشتی، خیابان خالد اسلامبولی، پش خیابان دهم، شماره ۵۰، تلفن: ۸۸۷۲۵۹۵۴

فروش اینترنتی: www.bookinp.ir

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: اسدی، مجید: ۱۳۴۳-

عنوان و نام پدیدآور: آشنایی با نظریه قابلیت اعتماد / مجید اسدی.

مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۲.

مشخصات ظاهری: هفت، ۲۷۲ ص: مصور، جدول، نمودار.

فروست: مرکز نشر دانشگاهی: ۱۴۵۰. ریاضی، آمار، و رایانه: ۱۶۹.

شابک: 978-964-01-1450-6

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

موضوع: اطلاعات‌پذیری (مهندسی) - الگوهای ریاضی

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۲ ۵۱۵ الف / ۱۶۹ TA

رده‌بندی دیویی: ۶۲۰/۰۰۲۵۲

شماره کتابشناسی ملی: ۳۱۴۴۲۶۱

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
۵	۱ ساختار سیستم‌ها
۵	۱.۱ مقدمه
۶	۲.۱ سیستم و اجزای آن
۷	۳.۱ توابع ساختار سیستم‌های منسجم
۷	۱.۳.۱ سیستم متوالی
۸	۲.۳.۱ سیستم‌های موازی
۱۰	۳.۳.۱ سیستم‌های k از n
۱۱	۴.۳.۱ سیستم‌های موازی-متوالی و سیستم‌های متوالی-موازی
۱۲	۴.۱ نمایش ساختار سیستم‌ها براساس بردارهای مسیر و بردارهای قطع‌کننده
۲۰	مینیمال
۲۰	۵.۱ مسائل

۲۳	۲ قابلیت اعتماد سیستم‌های منسجم
۲۳	۱.۲ مقدمه
۲۴	۲.۲ قابلیت اعتماد سیستم‌های منسجم با اجزای مستقل
۲۵	۱.۲.۲ سیستم متوالی
۲۵	۲.۲.۲ سیستم موازی
۲۶	۳.۲.۲ سیستم k از n
۲۷	۴.۲.۲ سیستم‌های منسجم کلی‌تر
۳۱	۳.۲ اهمیت نسبی قابلیت اعتماد اجزای سیستم
۳۴	۴.۲ قابلیت اعتماد سیستم‌های منسجم با اجزای وابسته
۳۹	۵.۲ مسائل
۴۳	۳ قابلیت اعتماد وابسته به زمان و مفاهیم سالخوردگی
۴۳	۱.۳ مقدمه
۴۴	۲.۳ تابع قابلیت اعتماد
۴۶	۳.۳ تابع نرخ خطر
۵۱	۴.۳ میانگین و میانگین عمر باقیمانده
۵۷	۵.۳ مفاهیم سالخوردگی
۵۹	۶.۳ متغیرهای طول عمر گسسته
۶۲	۷.۳ توزیع طول عمر سیستم‌های منسجم
۶۸	۸.۳ مسائل
۷۳	۴ توزیع‌های طول عمر
۷۳	۱.۴ مقدمه
۷۴	۲.۴ توزیع نمایی
۸۲	۱.۲.۴ آماره‌های ترتیبی توزیع نهایی
۸۴	۳.۴ توزیع وایبول
۹۲	۴.۴ توزیع گاما
۹۹	۵.۴ توزیع نرمال

۱۰۳	۶.۴ توزیع لگ نرمال
۱۰۸	۷.۴ چند توزیع پیوسته دیگر
۱۱۰	۸.۴ مسائل
۱۱۶	۵ روش‌های استنباط پارامتری در قابلیت اعتماد
۱۱۶	۱.۵ مقدمه
۱۱۸	۲.۵ نگاهی اجمالی به برآورد پارامترها
۱۲۱	۳.۵ داده‌های قابلیت اعتماد و انواع سانسور
۱۲۳	۱.۳.۵ سانسور نوع I
۱۲۳	۲.۳.۵ سانسور نوع II
۱۲۴	۴.۵ روش گشتاری
۱۳۰	۵.۵ روش ماکسیمم درستنمایی
۱۳۱	۱.۵.۵ تابع درستنمایی براساس شیوه‌های مختلف جمع‌آوری داده‌ها
۱۳۴	۶.۵ بازه‌های اطمینان تقریبی
۱۳۷	۷.۵ استنباط در مورد توزیع نمایی
۱۳۷	۱.۷.۵ برآورد تحت داده‌های کامل
۱۴۰	۲.۷.۵ برآورد تحت داده‌های سانسور شده
۱۴۳	۳.۷.۵ برآورد تحت داده‌های گروهی
۱۴۴	۸.۵ استنباط در مورد توزیع وایبول
۱۴۴	۱.۸.۵ برآورد تحت داده‌های کامل
۱۴۷	۲.۸.۵ برآورد تحت داده‌های سانسور شده
۱۴۹	۳.۸.۵ برآورد تحت داده‌های گروهی
۱۵۰	۹.۵ استنباط در مورد توزیع‌های نرمال و لگ نرمال
۱۵۰	۱.۹.۵ برآورد تحت داده‌های کامل
۱۵۱	۲.۹.۵ برآورد تحت داده‌های سانسور شده
۱۵۵	۳.۹.۵ برآورد تحت داده‌های گروهی
۱۵۶	۱۰.۵ تعیین اندازه نمونه در آزمون‌های طول عمر
۱۶۲	۱۱.۵ مسائل

۱۶۸	۶ روش‌های استنباط ناپارامتری در قابلیت اعتماد
۱۶۸	۱.۶ مقدمه
۱۶۹	۲.۶ برآورد تابع توزیع با داده‌های کامل
۱۷۳	۳.۶ جداول عمر
۱۷۸	۴.۶ برآوردگر کاپلان-مهیر
۱۸۳	۵.۶ تبدیل TTT برای بررسی رفتار تابع نرخ خطر
۱۸۹	۶.۶ مسائل
۱۹۲	۷ نمودارهای احتمال
۱۹۲	۱.۷ مقدمه
۱۹۳	۲.۷ نحوه ساختن نمودار احتمال
۱۹۶	۳.۷ نمودار احتمال توزیع نمایی
۱۹۷	۴.۷ نمودار احتمال توزیع‌های وایبول و مقدار کرانگین
۱۹۹	۵.۷ نمودار احتمال توزیع‌های نرمال و لگ نرمال
۲۰۱	۶.۷ برآورد پارامترها با استفاده از کاغذ احتمال
۲۰۴	۷.۷ نمودار احتمال برای داده‌های سانسور شده
۲۰۶	۸.۷ مسائل
۲۱۰	۸ آزمون‌های طول عمر تسریع یافته
۲۱۰	۱.۸ مقدمه
۲۱۱	۲.۸ آزمون‌های AL
۲۱۳	۱.۲.۸ تسریع در توزیع نمایی
۲۱۴	۲.۲.۸ تسریع در توزیع وایبول
۲۱۸	۳.۸ مدل‌های AL
۲۱۸	۱.۳.۸ مدل آرنوس
۲۲۲	۲.۳.۸ مدل آیرینگ
۲۲۲	۳.۳.۸ مدل قانون توانی (رابطه ولتاژ)
۲۲۵	۴.۸ مسائل

۲۲۷	۹ الگوهای تعمیر و نگهداری سیستم‌ها
۲۲۷	۱.۹ مقدمه
۲۲۸	۲.۹ تعمیر کامل با زمان تعمیر آنی
۲۳۳	۳.۹ تعیین کران‌هایی برای توزیع $N(t)$
۲۳۸	۴.۹ تعمیر مینیمال با زمان تعمیر آنی
۲۳۹	۵.۹ تعمیر کامل با زمان تعمیر تصادفی
۲۴۲	۶.۹ الگوهای نگهداری پیشگیرانه
۲۴۳	۱.۶.۹ تعویض بلوکی با شاخص هزینه
۲۴۶	۷.۹ تعویض سنی — شاخص هزینه
۲۴۸	۸.۹ مسائل
۲۵۱	پیوستها
۲۵۲	I. توزیع تجمعی نرمال استاندارد
۲۵۳	II. نقاط درصد توزیع خنثی دو
۲۵۴	III. نمودارهای کاغذ احتمال توزیع‌ها
۲۵۷	مراجع
۲۵۹	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۲۶۴	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۲۶۹	نمایه

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، کاربرد علم آمار در شاخه‌های مختلف علمی سبب شده است که این رشته، به‌عنوان ابزاری قوی در توسعه علوم و فن‌آوری مطرح شود. امروزه به جرئت می‌توان ادعا کرد که استفاده از فنون آماری در تحلیل پدیده‌های گوناگون تصادفی امری اجتناب‌ناپذیر است. استفاده از علم آمار در مدل‌سازی و تحلیل پدیده‌های تصادفی، در شاخه‌های مختلف مهندسی و صنعت، یکی از بسترهای مهم کاربرد این علم است. پیشرفت فن‌آوری و بالا رفتن سطح زندگی مردم با استفاده از دستاوردهای صنعتی، رقابت شدیدی بین تولیدکنندگان برای ارائه محصولات و خدمات مرغوب‌تر پدید آورده است. در تولید محصولات راهبردی، چنانچه شرکت تولیدی نتواند کیفیت و قابلیت محصولات خود را براساس استانداردهای مطلوب ارائه کند، دیر یا زود از گردونه تولید خارج می‌شود. توسعه سریع اقتصادی و تجارت آزاد بین‌المللی سبب شده است که محصولات مشابه از کشورهای متفاوت وارد بازار شده و وجود منابع مختلف اطلاعاتی، به مشتریان این امکان را می‌دهد که خصوصیات محصولات را از نظر قیمت، خدمات، قابلیت اعتماد و جنبه‌های دیگر مقایسه کرده و بهترین گزینه را انتخاب کنند. با توجه به این موضوع، معمولاً شرکت‌های معتبر تولیدی در این رقابت به استفاده از فنون مختلف، برای بالا بردن قابلیت اعتماد محصولات خود نیاز دارند. یکی از مشخصه‌های مهم تولیدات صنعتی، بحث عملکرد محصول در طول زمان است به‌طوری که به‌نحو مطلوب وظیفه خود را انجام دهد. با توجه به اینکه عملکرد سیستم در طول زمان پدیده‌ای

تصادفی است نقش احتمال و آمار در بررسی خواص تصادفی کارکرد سیستم به وضوح مشخص می شود. قابلیت اعتماد آماری، مجموعه ای از فنون مهندسی و آماری است که به مطالعه خواص تصادفی و برآورد شاخص های مختلف طول عمر محصولات و سیستم ها می پردازد. این شاخه از علم در سال های اخیر گسترش فراوانی یافته و در بالابردن کیفیت و قابلیت محصولات سهم بسزایی داشته است. اکنون در بسیاری از دانشگاه های معتبر، مبحث قابلیت اعتماد آماری به صورت یک یا چند درس، برای دانشجویان علوم پایه و مهندسی تدریس شده و کتاب های متعددی در این زمینه به چاپ رسیده است.

کتاب حاضر مقدمه ای درباره روش های آمار و احتمال در مدل سازی و تحلیل داده های طول عمر است. این کتاب حاصل سال ها تدریس درس قابلیت اعتماد آماری، در سطوح کارشناسی و کارشناسی ارشد در دانشگاه اصفهان است. مجموعه حاضر می تواند به عنوان درسی ۳ واحدی برای دانشجویان کارشناسی آمار، کارشناسی صنایع و دیگر رشته های مهندسی که با مبحث قابلیت اعتماد روبه رو می شوند، ارائه گردد. پیش نیاز لازم برای استفاده بهتر از این کتاب، گذراندن یک درس آمار و احتمال مقدماتی است، هرچند که آشنایی دانشجویان با مفاهیم برآورد و مفاهیم اولیه فرایندهای تصادفی می تواند مفید واقع شود.

این کتاب شامل ۹ فصل است. فصل ۱، مقدمه ای درباره سیستم های متداول در صنعت است. در این فصل ابتدا ساختار یک سیستم را به عنوان تابعی از اجزای آن تعریف می کنیم. سپس سیستم های متداول در صنعت مانند سیستم های متوالی، موازی، از n از n و به طور کلی سیستم های منسجم را معرفی کرده و نشان می دهیم که چگونه می توان تابع ساختار یک سیستم منسجم را برحسب بردارهای مسیر و قطع کننده های مینیمال نمایش داد.

در فصل ۲، قابلیت اعتماد سیستم های منسجم را مورد مطالعه قرار می دهیم. ابتدا، حالتی را در نظر می گیریم که اجزای سیستم، مستقل از یکدیگر کار می کنند. در این حالت قابلیت اعتماد سیستم را، به عنوان تابعی از قابلیت اعتماد اجزای آن به دست می آوریم. در این فرایند، دو روش «قضیه تجزیه» و استفاده از «بردارهای مسیر مینیمال و بردارهای قطع کننده آن»، مورد بررسی قرار گرفته و در این حالت کران هایی برای قابلیت اعتماد سیستم منسجم ارائه می کنیم.

فصل ۳، درباره قابلیت اعتماد به عنوان تابعی از زمان است. در این فصل تابع قابلیت اعتماد را به عنوان تابعی از زمان معرفی کرده، و پس از معرفی مفاهیم مهم در بحث سالخوردگی مانند: مفهوم تابع نرخ خطر، تابع میانگین عمر باقیمانده، ... و خواص آنها را مورد بحث قرار می دهیم.

در فصل ۴، به توزیع های مطرح شده در قابلیت اعتماد و خواص آنها می پردازیم. توزیع نمایی، توزیع وایبول، توزیع لگ نرمال، توزیع گاما و غیره از معروفترین توزیع هایی هستند که در مدل سازی

پیشگفتار ۳

داده‌های طول عمر به‌کار می‌روند. در این فصل، پس از معرفی این توزیع‌ها، رفتار و خواص سالخوردگی آنها را به‌عنوان تابعی از پارامتر توزیع بررسی می‌کنیم. همچنین با ارائه مثال‌هایی نشان می‌دهیم که هر یک از این توزیع‌ها چگونه در مطالعات طول عمر و تحلیل داده‌های بقا، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فصل ۵، در مورد استنباط پارامتری در قابلیت اعتماد است. یکی از وجوه تمایز مبحث قابلیت اعتماد نسبت به دیگر شاخه‌های آمار، موضوع جمع‌آوری داده‌هاست. معمولاً، در مباحث طول عمر، ممکن است در مورد زمان شکست برخی از آزمودنی‌ها اطلاع دقیق نداشته باشیم، در چنین حالتی می‌گوییم داده‌ها سانسور شده‌اند. در این فصل، ابتدا انواع سانسورشدگی را مورد بحث قرار می‌دهیم. سپس در مدل‌های ویژه مانند نمایی، وایبول، لگ نرمال، ... نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان پارامترهای مدل را با انواع سانسور برآورد کرد. متداول‌ترین روش برآورد، روش ماکسیمم درست‌نمایی است، که در این فصل به اختصار خواص این نوع برآورد نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در فصل ۶، استنباط آماری به روش ناپارامتری مورد بحث قرار می‌گیرد. بر این اساس، نخست برآورد تجربی تابع توزیع را معرفی کرده و نشان می‌دهیم درحالتی که داده‌ها کامل نیستند چگونه می‌توان تابع قابلیت اعتماد را برآورد کرد. در فرایند انجام این کار، جداول عمر را معرفی کرده و برآوردگر معروف کاپلان-میر را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. در این فصل همچنین روشی برای بررسی رفتار تابع نرخ خطر برحسب زمان ارائه می‌کنیم.

در فصل ۷، نمودارهای احتمال و کاغذهای احتمال را به‌عنوان ابزاری برای بررسی کفایت یک مدل آماری و برآورد پارامترهای مدل معرفی می‌کنیم. این نمودارها معمولاً به‌دلیل کاربری آسان، بیشتر مورد استقبال مهندسان قرار می‌گیرد. در این فصل، نحوه ساختن این نمودارها را در چارچوبی کلی مورد مطالعه قرار داده و سپس برای مدل‌های مختلف با ارائه مثال، نحوه استفاده از آنها را شرح خواهیم داد.

در فصل ۸، آزمون‌های طول عمر تسریع‌یافته معرفی می‌شود. از آنجایی که به‌دست آوردن داده در مبحث قابلیت اعتماد مستلزم صرف وقت بسیاری است، آزمون‌های تسریع‌یافته این امکان را فراهم می‌کند که با صرف زمان کمتری بتوان مشاهدات مورد نیاز را به‌دست آورد. در این فصل، مقدماتی در مورد تسریع کردن طول عمر ارائه می‌کنیم که نشان می‌دهد چگونه می‌توان با تبدیلی مناسب، طول عمر را در شرایط طبیعی تخمین زد. مدل‌های مطرح در آزمون تسریع‌یافته مانند مدل آریئوس، آیرینگ و قانون توانی، در این فصل معرفی می‌شوند.

در فصل ۹، که فصل پایانی کتاب است خواننده را با مباحث مقدماتی در الگوهای احتمالی

تعمیر و نگهداری سیستم‌ها آشنا می‌کنیم. بدین ترتیب، نخست مقدمه‌ای بر فرایند تجدید ارائه کرده و سپس توزیع احتمالی تعداد خرابی‌های یک سیستم را در بازه زمانی معینی مورد بررسی قرار می‌دهیم. پس از معرفی الگوهای تعمیر کامل و تعمیر مینیمال، به ارائه الگوهای نگهداری پیشگیرانه می‌پردازیم که دو بخش تعویض بلوکی و تعویض سنی، با در نظر گرفتن ملاک هزینه را شامل می‌شود.

بی‌تردید مجموعه حاضر خالی از اشکال نیست. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که اشکالات موجود در کتاب را به آگاهی اینجانب برسانند صمیمانه سپاسگزار خواهم بود. از این رو مزید امتنان خواهد بود اگر دیدگاه‌های خود را درباره کتاب به نشانی رایانه‌ای m.asadi@sci.ui.ac.ir ارسال فرمایید.

در پایان، لازم می‌دانم از همکاران محترم جناب آقای دکتر محمدقاسم وحیدی اصل، استاد دانشگاه شهید بهشتی، که مشوق اینجانب در تألیف این کتاب بوده‌اند و جناب آقای دکتر بهاءالدین خالدی، استاد دانشگاه رازی کرمانشاه، برای ویرایش علمی کتاب صمیمانه سپاسگزاری نمایم. همچنین از آقای محسن بهلولی، دانش‌آموخته کارشناسی-ارشد آمار دانشگاه اصفهان که در رسم نمودارها و تحلیل‌های نرم‌افزاری برخی از مثال‌ها اینجانب را یاری نمودند تشکر می‌کنم.

مجید اسدی

گروه آمار، دانشگاه اصفهان

عضو قطب داده‌های ترتیبی و فضایی دانشگاه فردوسی مشهد