



آشنایی با
قابلیت اعتماد و نگهداری بهینه سیستم‌ها

دانشگاه اصفهان

تألیف

مرضیه هاشمی، مهدی توانگر، مجید اسدی
گروه آمار، دانشگاه اصفهان



سرشناسه	: هاشمی، مرضیه، ۱۳۶۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: آشنایی با قابلیت اعتماد و نگهداری بهینه سیستم‌ها / تألیف مرضیه هاشمی، مهدی توانگر، مجید اسدی
مشخصات نشر	: اصفهان: دانشگاه اصفهان، ۱۴۰۴
مشخصات ظاهری	: خ، ۲۸۲ ص.: جدول، نمودار
فروست	: انتشارات دانشگاه اصفهان؛ ۷۷۹.
شابک	: 978-600-110-248-6
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: ص.ع. به انگلیسی
یادداشت	: واژه‌نامه
یادداشت	: کتاب‌نامه: ص. ۲۶۹ - ۲۷۰
موضوع	: مهندسی سیستم‌ها
	: اطمینان‌پذیری (مهندسی)
	: نگهداری و تعمیر
	: تعمیر‌پذیری (مهندسی)
شناسه افزوده	: توانگر، مهدی، ۱۳۶۰ -
شناسه افزوده	: اسدی، مجید، ۱۳۶۰ -
شناسه افزوده	: دانشگاه اصفهان
شناسه افزوده	: University of Isfahan
رده بندی کنگره	: TA۱۶۸
رده بندی دیوئی	: ۶۵۸/۴۰۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۰۳۴۱۶۱

عنوان کتاب:	آشنایی با قابلیت اعتماد و نگهداری بهینه سیستم‌ها
تألیف:	مرضیه هاشمی، مهدی توانگر، مجید اسدی
ویراستار ادبی:	زهره طاهری اندانی
طراح جلد:	مریم شهری
ناشر:	دانشگاه اصفهان
نوبت چاپ:	اول، تابستان ۱۴۰۴
شمارگان:	۱۰۰۰
ناظر فنی:	رضا نیکبخت
چاپ و صحافی:	دانشگاه اصفهان
قیمت:	۳/۰۰۰/۰۰۰ ریال



تمامی حقوق نشر برای ناشر محفوظ است

مراکز فروش کتاب

اصفهان: دانشگاه اصفهان، چاپخانه دانشگاه، تلفن: ۰۳۱-۳۷۹۳۲۰۹۲ و ۰۳۱-۳۷۹۳۲۱۸۵
 پُست الکترونیکی: press@res.ui.ac.ir فروش الکترونیکی کتاب: <https://press.ui.ac.ir>
 - میدان آزادی، خیابان دانشگاه، فروشگاه کتاب دانشگاه اصفهان تلفن: ۰۳۱-۳۷۹۳۲۰۶۸
 تهران: میدان انقلاب، خیابان شهید لبافی‌نژاد، بین ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۲۳۸
 مؤسسه کتابیران، مرکز پخش کتاب‌های دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۹۴۴۰۹ و ۰۲۱-۶۶۴۱۱۱۷۳

تقديم به

دو پسر عزيزمان، محمدرضا و محمدايليا

مرضيه هاشمي
مهدي توانگر

تقديم به

همسر و فرزندانم

مجيد اسدي

انتشارات دانشگاه اصفهان

پیش‌گفتار

در زندگی امروز بشر، وابستگی فزاینده به زیرساخت‌های فناوری به ویژه در اقتصادهای پیشرفته توأم با خطرات احتمالی است. حتی ازکارافتادگی کوتاه مدت برخی از زیرساخت‌ها ممکن است صدماتی جبران‌ناپذیر از جمله خسارت‌های اقتصادی و در بدترین حالت‌ها، خطرات جانی را برای انسان‌ها داشته باشد؛ بنابراین، این یک امر ضروری است که زیرساخت‌های حیاتی و اساسی در جامعه از جمله صنعت حمل و نقل، زیرساخت‌های تأمین انرژی، اینترنت، خدمات مالی و تجاری و سایر سیستم‌های مهم در صنعت و فناوری طوری طراحی شوند که بتوان در سطح معینی از احتمال، به کارکرد آن‌ها اطمینان کرد. در چند دهه گذشته و به ویژه در سال‌های اخیر، روش‌های علمی بسیار متنوع و پژوهش‌هایی بسیار گسترده در بازه مهندسی قابلیت اعتماد انجام شده‌اند که بر مبنای آن‌ها می‌توان «اطمینان‌پذیری» سیستم‌ها را پیش‌بینی و آن را ارزیابی کرد.

قابلیت اطمینان در شاخه‌های مختلف مهندسی و به ویژه مهندسی صنایع، هنگامی که در مطالعه عملکرد سیستم‌ها به کار می‌رود، یک مفهوم کلی است که در چندین موضوع و مفهوم دیگر را در بر می‌گیرد. یک تعریف کلی برای مفهوم قابلیت اطمینان عبارت است از: «توانایی برآورده کردن معیارهای مؤفقت، تحت شرایط استفاده و نگهداری معین». با توجه به این تعریف، قابلیت اطمینان شامل ویژگی‌هایی از جمله قابلیت اعتماد، دسترس‌پذیری، ایمنی، یکپارچگی و قابلیت نگهداری و تعمیر سیستم خواهد بود. در اینجا، سیستم ممکن است یک جزء (یک واحد) یا یک مجموعه پیچیده از اجزاء مانند نیروگاه‌های هسته‌ای و شیمیایی، سیستم‌های کامپیوتری، یک نرم‌افزار رایانه‌ای، شبکه‌ای هوشمند، سیستم ترافیک و غیره باشد. قابلیت اطمینان یک سیستم از یک طرف، نتیجه عواملی مهم مانند ساختار سیستم و ویژگی‌های فیزیکی و فناوری به‌کاررفته در سیستم و از طرف دیگر، نتیجه تأثیر محیط و شرایط استفاده از آن است. به عبارت دیگر، موادی

که اجزای اصلی سیستم با آن ساخته می‌شود، روش‌های مونتاز، شرایط حرارتی محیط، نحوه کار کردن اپراتور با سیستم و راهکارهای تعمیر و نگهداری سیستم در قابلیت اطمینان سیستم نقش اساسی ایفا می‌کنند. در راستای افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌ها، مدل‌سازی طول عمر سیستم با هدف مشخص کردن نقاط ضعف احتمالی و بهبود عملکرد درست آن مستلزم ترکیب هماهنگ شاخه‌های مختلف از جمله علوم مواد، آمار و احتمال و مهندسی ساخت و تعامل اپراتور، ماشین تولید و غیره است.

هدف از تألیف این کتاب، معرفی و بررسی سه ویژگی از زیرشاخه‌های قابلیت اطمینان سیستم است که در بالا به آن‌ها اشاره شد. این سه ویژگی عبارت‌اند از:

- قابلیت اعتماد سیستم: عبارت است از توانایی انجام عملکرد تعریف‌شده در یک فاصله زمانی معین؛ به عبارت دیگر، تداوم خدمت صحیح سیستم در طول زمان.
- قابلیت نگهداری و تعمیر سیستم: یعنی قابلیت نگهداری و حفظ سیستم در وضعیتی که بتواند عملکرد مورد انتظار را در شرایط معین انجام دهد. این امر شامل مواردی از جمله برطرف کردن نقص و شناسایی علت آن، تعمیر یا تعویض قطعات معیوب یا فرسوده، ایجاد شرایط محیطی مناسب برای جلوگیری از سوء عملکرد سیستم و افزایش کارایی، قابلیت اعتماد و ایمنی سیستم است.
- دسترس‌پذیری سیستم: یعنی احتمال آمادگی انجام خدمات توسط سیستم؛ به عبارت دیگر، قابلیت قرار گرفتن سیستم در وضعیتی که بتواند عملکرد مورد نیاز را تحت شرایط معین در یک لحظه از زمان یا در درازمدت داشته باشد.

علاوه بر این مفاهیم، یک موضوع مرتبط دیگر را نیز بررسی می‌کنیم که مطالعه آن در مباحث قابلیت اطمینان هم از دید تولیدکننده محصولات و هم از نظر مشتریان ممکن است بسیار اهمیت داشته باشد. این موضوع مبحث «ضمانت محصولات» است. ضمانت یک محصول عبارت است از: تضمین عملکرد یک سیستم پس از فروش برای یک دوره زمانی معین؛ به طوری که اگر محصول در این دوره تحت شرایط نرمال از کار بیفتد، توسط فروشنده تعویض یا تعمیر شود. در سال‌های گذشته، برخی از کتاب‌ها نظریه قابلیت اعتماد و تعمیر و نگهداری سیستم را مطالعه کرده‌اند. ناکاگاوا [۱۱] راهکارهای نگهداری سیستم‌ها را مطالعه کرده و راهکارهای

نگهداری بهینه را که توابع هدف مدّ نظر را مینیم یا ماکسیم می‌کنند، هم به طور تحلیلی و هم از لحاظ کاربردی بررسی کرده است. حمیدی‌زاده [۲۴] زوایایی ویژه از مدل‌ها و نظریه قابلیت اطمینان مانند مدل‌سازی توزیع زمان‌های بروز نقص در محصولات صنعتی، قابلیت اطمینان قطعات الکترونیکی، نرخ شکست و آزمون‌های قابلیت اطمینان را مطالعه کرده است. رانگاناتان [۲۶] در کتاب خود، ضمن بررسی نظریه آمار و ارتباط آن با نظریه قابلیت اعتماد، به طور ویژه تحلیل قابلیت اعتماد سیستم‌های ساختمانی و سازه‌ها را بررسی کرده است که در حوزه‌های مهندسی عمران، مکانیک و برق حائز اهمیت است. در کتاب حاج شیرمحمدی [۲۳]، ابتدا مفاهیم مرتبط با نگهداری در صنعت ارائه شده و اهمیت این بحث در تشکیلات سازمانی مشخص شده است. سپس، روش‌های محاسباتی برای برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی راهکارهای نگهداری و تعمیر تشریح شده‌اند. کتاب بیلنتون و آلن [۲۰] با هدف آشنایی مهندسان برق با مباحث اطمینان‌پذیری تأمین برق و انتقال و توزیع آن، روش‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت را بررسی می‌کند. اسدی [۱۶] نظریه قابلیت اعتماد را بررسی و روش‌های آمار و احتمال در مدل‌سازی و تحلیل داده‌های طول عمر را معرفی کرده است.

کتاب حاضر در ۸ فصل ارائه می‌شود. در فصل ۱ تعاریف و مفاهیم پایه‌ای در نظریه احتمال و مهندسی قابلیت اعتماد ارائه شده‌اند. درک عمیق این مفاهیم برای پیشبرد اهداف اصلی کتاب در فصل‌های آینده ضروری است. در فصل ۲، تعدادی از توزیع‌های آماری طول عمر را معرفی می‌کنیم. معمولاً داده‌های طول عمر، زمان شکست یک سیستم را نشان می‌دهند و تعیین این که مدل آماری مولد این داده‌ها چه توزیعی است، مسئله‌ای مهم در مطالعات قابلیت اعتماد است. در این فصل، چند توزیع متداول پیوسته و گسسته در مباحث طول عمر و برخی از ویژگی‌های آن‌ها مطالعه می‌شوند. در فصل ۳، قابلیت اعتماد سیستم‌های پیچیده را به عنوان تابعی از قابلیت اعتماد اجزای آن بررسی می‌کنیم. همچنین، ساختارهای متداول در مهندسی قابلیت اعتماد را معرفی می‌کنیم و برای هر ساختار، قابلیت اعتماد آن را برحسب قابلیت اعتماد مؤلفه‌ها در حالت ایستا و در حالتی که سیستم در طول زمان فعال است، مطالعه می‌کنیم.

فصل ۴ به موضوع مدل‌های پایه‌ای تعمیر و نگهداری اختصاص دارد. در این فصل، ابتدا برخی از فرایندهای شمارشی و ویژگی‌های آن‌ها که در تدوین مدل‌های نگهداری بهینه سیستم‌ها کاربرد دارند، مطرح می‌شوند. سپس، مفاهیم اساسی در تعمیر و نگهداری سیستم‌ها بیان می‌شوند.

در پایان این فصل، دو مدل نگهداری کلاسیک تعویض سنی و تعویض بلوکی را به تفصیل ارائه می‌کنیم. مدل‌ها و رهیافت‌های بهینه دیگر برای نگهداری سیستم‌های تک‌مؤلفه‌ای در فصل ۵ معرفی شده‌اند. در واقع، این مدل‌ها را می‌توان به عنوان تعمیمی از مدل‌های تعویض سنی و بلوکی در نظر گرفت. فصل ۶ به بررسی مدل‌های نگهداری بهینه برای سیستم‌های چندمؤلفه‌ای اختصاص دارد. در این فصل، ابتدا مدل‌های نگهداری را برای سیستم‌هایی شامل $n > 1$ مؤلفه یکسان معرفی می‌کنیم. سپس، برخی از این مدل‌ها را به حالتی که مؤلفه‌های سیستم غیر هم‌توزیع باشند، تعمیم می‌دهیم. گاهی سیستم‌ها در طی زمان در معرض شوک‌هایی قرار می‌گیرند که این شوک‌ها باعث شکست آن‌ها می‌شوند. در فصل ۷، مدل‌های تعمیر و نگهداری برای چنین سیستم‌هایی را مطالعه می‌کنیم. در جوامع پیشرفته، رقابت شدید بین تولیدکنندگان برای فروش بیشتر باعث شده است تا بیشتر محصولات با یک دوره ضمانت به فروش برسند. در فصل ۸، انواع متداول راهکارهای ضمانت، تعیین دوره ضمانت بهینه و تحلیل داده‌های ضمانت مطالعه می‌شوند.

در پایان لازم می‌دانیم از مسئولان مجرم در معاونت پژوهشی و کارکنان اداره انتشارات دانشگاه اصفهان که در فرایند چاپ و نشر این کتاب، همراه ما بودند، سپاسگزاری نماییم. از خوانندگان گرامی نیز سپاسگزار خواهیم بود اگر پیشنهادات، نظرات و بازخوردهای خود درباره این اثر را به ایمیل m.tavangar@sci.ui.ac.ir ارسال فرمایند.

مرضیه هاشمی، مهدی توانگر، مجید اسدی

گروه آمار، دانشگاه اصفهان

فهرست مطالب

۱	تعاریف و مفاهیم مقدماتی	۱
۱	مقدمه	۱.۱
۲	مفاهیم تعاریف و اصطلاحات	۲.۱
۶	مفاهیم مقدماتی احتمال و متغیرهای تصادفی	۳.۱
۷	۱.۳.۱ پیغامدهای تصادفی	
۱۱	۲.۳.۱ متغیرهای تصادفی و توزیعهای احتمال	
۱۴	۴.۱ تابع قابلیت اعتماد	
۱۹	۵.۱ معیارهای سالخوردگی در قابلیت اعتماد	
۲۶	۱.۵.۱ تابع قابلیت اعتماد شرطی	
۲۷	۲.۵.۱ تابع میانگین عمر باقی مانده	
۲۹	۶.۱ تمرین	
۳۳	۲ توزیعهای طول عمر و تحلیل دادههای قابلیت اعتماد	
۳۳	۱.۲ مقدمه	
۳۴	۲.۲ توزیعهای طول عمر پیوسته	
۳۴	۱.۲.۲ توزیع نمایی: مدل آماری با نرخ شکست ثابت	
۳۸	۲.۲.۲ توزیع نمایی با دو پارامتر	
۳۹	۳.۲.۲ توزیع وایبول	
۴۷	۴.۲.۲ توزیع گاما	
۴۹	۵.۲.۲ توزیع مقدار غایی (مدل نرخ شکست غایی)	
۵۱	۶.۲.۲ توزیع نرمال	
۵۲	۷.۲.۲ توزیع لگ نرمال	
۵۵	۳.۲ چند توزیع آماری گسسته	
۵۵	۱.۳.۲ توزیع دو جمله‌ای	
۵۷	۲.۳.۲ توزیع پواسون	

۵۸	توزیع هندسی	۳.۳.۲
۵۹	تحلیل داده‌های قابلیت اعتماد	۴.۲
۶۰	سانسور در داده‌های طول عمر	۱.۴.۲
۶۲	نمودارهای احتمال	۲.۴.۲
۶۷	روش ماکسیمم درست‌نمایی در برآورد پارامترهای یک مدل	۳.۴.۲
۶۸	تمرین	۵.۲
۷۱	قابلیت اعتماد سیستم‌های چند مؤلفه‌ای	۳
۷۱	مقدمه	۱.۳
۷۲	سیستم متوالی	۲.۳
۷۷	سیستم موازی	۳.۳
۸۰	سیستم‌های ترکیبی	۴.۳
۸۰	سیستم‌های متوالی-موازی	۱.۴.۳
۸۱	سیستم‌های موازی-متوالی	۲.۴.۳
۸۴	سیستم‌های k از n	۵.۳
۸۸	سیستم‌های منسجم کلی‌تر	۶.۳
۹۶	بردار مشخصه و مشخصه بعد	۷.۳
۹۶	سیستم منسجم با مؤلفه‌های مستقل و هم‌توزیع	۱.۷.۳
۹۹	سیستم منسجم با مؤلفه‌های مستقل و غیر هم‌توزیع	۲.۷.۳
۱۰۲	تمرین	۸.۳
۱۰۵	مفاهیم و مدل‌های پایه در نگهداری بهینه سیستم‌ها	۴
۱۰۵	مقدمه	۱.۴
۱۰۶	فرایندهای شمارشی	۲.۴
۱۱۰	فرایند تجدید	۱.۲.۴
۱۱۲	فرایند پواسون	۲.۲.۴
۱۱۲	فرایند پواسون ناهمگن	۳.۲.۴
۱۱۴	فرایند نقطه‌ای نشان‌دار	۴.۲.۴
۱۱۵	شیوه‌ها و راهکارهای تعمیر و نگهداری	۳.۴
۱۱۶	درجه‌بندی راهکارهای تعمیر و نگهداری	۴.۴
۱۲۰	ارزیابی مدل‌های تعمیر و نگهداری	۵.۴
۱۲۰	نرخ هزینه مورد انتظار	۱.۵.۴
۱۲۱	معیار دسترس‌پذیری	۲.۵.۴
۱۲۲	افق برنامه‌ریزی	۶.۴

۱۲۲	قابلیت نگهداری	۷.۴
۱۲۵	مدل‌های تعمیر و نگهداری کلاسیک	۸.۴
۱۲۵	مدل تعویض سنی	۱.۸.۴
۱۳۵	مدل تعویض بلوکی	۲.۸.۴
	بررسی رفتار نرخ هزینه مورد انتظار در دو مدل تعویض سنی و بلوکی	۳.۸.۴
۱۴۳	بلوکی	
۱۴۴	مقایسه مدل‌های تعویض سنی و بلوکی	۴.۸.۴
۱۴۵	تمرین	۹.۴

۱۴۷	مدل‌های ترکیبی در نگهداری بهینه سیستم‌ها	۵
۱۴۷	مقدمه	۱.۵
۱۴۸	مدل‌های ترکیبی با تعمیر مینیمال	۲.۵
۱۴۸	مدل تعویض سنی همراه با تعمیر مینیمال	۱.۲.۵
۱۵۳	مدل تعویض بلوکی همراه با تعمیر مینیمال	۲.۲.۵
۱۵۶	مدل‌های نگهداری پیش‌گیرانه همراه با تعمیر ناکامل	۳.۵
۱۵۸	مدل تعویض سنی همراه با تعمیر ناکامل	۱.۳.۵
۱۶۳	مدل تعویض بلوکی همراه با تعمیر ناکامل	۲.۳.۵
۱۶۴	مدل محدودیت هزینه تعمیر همراه با تعمیر ناکامل	۳.۳.۵
۱۶۷	مدل تعویض سنی تحت تعمیر ناکامل بر مبنای فرایند هندسی	۴.۳.۵
۱۷۱	مدل‌های نگهداری پیش‌گیرانه همراه با تعمیر GPP	۴.۵
۱۷۱	فرایند پولیای تعمیر یافته	۱.۴.۵
۱۷۷	مدل تعویض سنی همراه با تعمیر GPP	۲.۴.۵
۱۸۰	مدل تعویض بلوکی همراه با تعمیر GPP	۳.۴.۵
۱۸۰	مدل تعویض بلوکی تعمیر یافته همراه با تعمیر GPP	۴.۴.۵
۱۸۲	مدل‌های نگهداری با افق متناهی	۵.۵
۱۸۳	مدل‌های تعویض	۱.۵.۵
۱۸۵	مدل‌های نگهداری پیش‌گیرانه ناکامل	۲.۵.۵
۱۸۶	مدل‌های بازرسی	۳.۵.۵
۱۸۷	مدل‌های تعمیر و نگهداری گروهی	۶.۵
۱۹۰	تمرین	۷.۵

۱۹۳	مدل‌های نگهداری بهینه برای سیستم‌های چندمؤلفه‌ای	۶
۱۹۳	مقدمه	۱.۶
۱۹۴	مدل‌های تعمیر و نگهداری سیستم‌های چندمؤلفه‌ای شامل مؤلفه‌های یکسان	۲.۶

۱۹۴	مدل تعویض سنی برای سیستم‌های منسجم	۱.۲.۶
۲۰۱	مدل تعویض بلوکی همراه با تعمیر مینیمال مؤلفه‌ها	۲.۲.۶
۲۰۲	مدل نگهداری فرصت‌طلبانه	۳.۲.۶
۲۰۵	تعمیمی از مدل نگهداری فرصت‌طلبانه	۴.۲.۶
۳.۶	مدل‌های تعمیر و نگهداری سیستم‌های چندمؤلفه‌ای شامل مؤلفه‌های غیرهم‌توزیع	
۲۱۲		
۲۱۳	مدل تعویض سنی	۱.۳.۶
۲۱۷	مدل تعویض بلوکی همراه با تعمیر مینیمال مؤلفه‌ها	۲.۳.۶
۲۱۸	تمرین	۴.۶
۲۲۱	مدل‌های نگهداری بهینه برای سیستم‌های در معرض شوک	۷
۲۲۱	مقدمه	۱.۷
۲۲۲	مدل‌های آسیب و شوک	۲.۷
۲۲۲	مدل آسیب‌های تجمعی	۱.۲.۷
۲۲۵	مدل آسیب مستقل	۲.۲.۷
۲۲۶	مدل‌های نگهداری بهینه	۳.۷
۲۲۷	راهکار تعویض بر اساس سن سیستم	۱.۳.۷
۲۲۹	راهکار تعویض پیش‌گیرانه سیستم بر اساس تعداد شوک‌ها	۲.۳.۷
	راهکار تعویض پیش‌گیرانه سیستم بر اساس تعداد شوک‌ها و سن	۳.۳.۷
۲۳۱	سیستم	
۲۳۳	مدل‌های نگهداری همراه با تعمیر مینیمال	۴.۷
۲۳۴	راهکار تعویض همراه با تعمیر مینیمال بر اساس سن سیستم	۱.۴.۷
۲۳۴	راهکار تعویض همراه با تعمیر مینیمال بر اساس تعداد شوک‌ها	۲.۴.۷
	راهکار تعویض همراه با تعمیر مینیمال بر اساس تعداد شوک‌ها و سن سیستم	۳.۴.۷
۲۳۵	و سن سیستم	
۲۳۵	تمرین	۵.۷
۲۳۷	مدل‌های هزینه و تحلیل داده‌های ضمانت سیستم‌ها	۸
۲۳۷	مقدمه	۱.۸
۲۳۸	راهکارهای رایج در ضمانت	۲.۸
۲۳۹	ضمانت با تعویض - رایگان	۱.۲.۸
۲۴۱	ضمانت تعویض - متناسب (تعویض - سرشکن)	۲.۲.۸
۲۴۴	ترکیب راهکارهای PRW و FRW	۳.۲.۸
۲۴۷	ضمانت با ضریب کاهش	۳.۸

۴.۸	مدل‌های هزینه ضمانت	۲۴۹
۱.۴.۸	مدل هزینه در ضمانت تجدیدناپذیر	۲۵۰
۲.۴.۸	مدل هزینه در ضمانت تجدیدپذیر	۲۵۲
۵.۸	تعیین دوره بهینه ضمانت	۲۵۴
۶.۸	الزامات قابلیت اعتماد بر اساس هزینه ضمانت مفروض	۲۵۸
۷.۸	برآورد قابلیت اعتماد با استفاده از داده‌های ضمانت	۲۶۰
۸.۸	تمرین	۲۶۶

کتاب‌نامه ۲۶۹

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۲۷۱

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۲۷۷

انتشارات دانشگاه اصفهان

انتشارات دانشگاه اصفهان

فصل ۱

تعاریف و مفاهیم مقدماتی

۱.۱

مقدمه

این یک امر بدیهی است که وسایل مورد استفاده در زندگی افراد در معرض خراب شدن و از کار افتادگی قرار دارند. هر یک از ما در زندگی ممکن است به دفعات شاهد رخ دادن حوادث زیر باشیم: از کار افتادن ماشین لباسشویی، از کار افتادن صفحه نمایشگر تلویزیون، خاموش شدن آمپلی فایر استریو، خالی شدن شارژ باتری خودرو، از کار افتادن استارت خودرو و حوادثی مانند این‌ها. در ابعاد وسیع‌تر، سیستم‌های حیاتی مورد استفاده در زندگی نیز در معرض خطر و از کار افتادگی هستند. برای مثال، بال‌های یک هواپیما در درازمدت ممکن است دچار ترک‌هایی شوند که باعث بروز مشکل جدی در پرواز هواپیما می‌شود. در یک نیروگاه تولید برق، توربین‌های استفاده‌شده ممکن است دچار از کار افتادگی شوند و در نتیجه، قطعی برق باعث بروز خسارت‌های جبران ناپذیر شود. در یک شبکه کامپیوتری، سرویس‌دهنده اصلی که سایر کامپیوترهای شبکه به آن متصل هستند، ممکن است در معرض شکست قرار گیرد و باعث صدمات زیادی به کاربران شود.

هر یک از این شکست‌ها، در سیستم‌هایی که به آن‌ها اشاره شد، ممکن است در اثر فرسودگی در طول زمان رخ دهد یا ممکن است در اثر شوک‌های خارجی که به سیستم وارد می‌شود، اتفاق بیفتد یا حتی هر دوی این عوامل ممکن است به صورت دو مخاطره رقابتی باعث شکست سیستم شوند. در هر یک از مثال‌های بالا، شکست سیستم می‌تواند طیف وسیعی از انواع هزینه‌ها را به دنبال داشته باشد. این هزینه‌ها می‌توانند از مقادیر جزئی تا ضررهای اقتصادی و حتی زیان‌های

جانی متفاوت باشند. دلایل هر یک از خرابی‌های سیستم یا اجزای آن ممکن است به طراحی مهندسی نامناسب سیستم، فرایندهای تولید معیوب، خطاهای انسانی، نگهداری ضعیف سیستم، بازرسی‌های ناکافی، استفاده نامناسب از سیستم در حال کار و عدم محافظت در برابر تنش‌ها و شرایط دشوار محیطی مربوط شوند. در این رابطه، مهندسان طراح سیستم برای جلوگیری از خرابی‌های آن باید قابلیت اعتماد سیستم و شیوه‌های نگهداری آن را به عنوان دو معیار مهم در نظر داشته باشند.

در این فصل، برخی از تعاریف و مفاهیم اساسی را که در مهندسی قابلیت اعتماد برای مدل‌سازی طول عمر سیستم‌ها استفاده می‌شوند، ارائه می‌کنیم. این مفاهیم عبارت‌اند از: قابلیت اعتماد، قابلیت نگهداری، دسترس‌پذیری، ضمانت و مفاهیم سالخوردگی. برای این منظور، ابتدا در بخش ۲.۱، مفاهیم پایه‌ای را که در طول کتاب بحث و بررسی می‌شوند، بیان می‌کنیم. سپس، در بخش ۳.۱ مفاهیم پایه‌ای در احتمال و متغیرهای تصادفی را به اختصار شرح می‌دهیم. با فرض اینکه طول عمر سیستم یک متغیر تصادفی است، تابع قابلیت اعتماد طول عمر سیستم نیز در بخش ۴.۱ ارائه می‌شوند. در نهایت، در بخش ۵.۱ برخی از معیارهای مهم در قابلیت اعتماد مانند توابع نرخ شکست، میانگین عمر باقی‌مانده و چند کلاس از توزیع‌های طول عمر معرفی می‌شوند.

۲.۱ مفاهیم، تعاریف و اصطلاحات

مهندسی قابلیت اعتماد به عنوان یک شاخه علمی که متأثر از چندین رشته مختلف است، بر مطالعه قابلیت اعتماد سیستم برای کمینه کردن شکست‌های آن، بهبود اثربخشی تعمیر و نگهداری و برآورده کردن انتظارات مشتریان و سازمان‌ها متمرکز است. مطالعه قابلیت اعتماد و مباحث مرتبط با آن به دلایل مختلف زیر دارای اهمیت است:

۱. معمولاً محصولات تحت شرایط محیطی و نحوه استفاده مشتری کار می‌کنند. تولید محصولات منطبق با انتظارات مشتری یکی از اهداف مطالعه قابلیت اعتماد است.

۲. از کار افتادگی‌های پیش‌بینی نشده موجب اتلاف زمان برای کاربران خواهد شد. با استفاده از مفاهیم قابلیت اعتماد و دسترس‌پذیری سیستم، می‌توان شکست‌ها را کاهش داد و از

اتلاف زمان جلوگیری کرد. همچنین، شکست‌های پیش‌بینی‌نشده در سیستم‌های تولیدی باعث کاهش تولید می‌شوند و با استفاده از یک برنامه مشخص برای نگهداری پیش‌گیرانه، می‌توان باعث افزایش تولید شد.

۳. افزایش قابلیت اعتماد سیستم و نگهداری بهینه، باعث کاهش قطعات یدکی مورد نیاز و ذخیره‌سازی کمتر آن‌ها می‌شود و این خود باعث کاهش چشمگیر منابع مالی خواهد شد.

۴. محصولاتی که با قابلیت اعتماد مطلوب کار می‌کنند باعث می‌شوند تا درخواست‌های مشتریانی که محصولات را تحت ضمانت خریده‌اند، کاهش یابند. تماس با پشتیبانی خدمات، عیب‌یابی، بازگرداندن محصولات، تجزیه و تحلیل خرابی و برطرف کردن عیب، همگی بخشی از غیرقابل اعتماد بودن محصول هستند.

۵. همان‌طور که در بالا اشاره شد، خرابی محصولات باعث ایجاد شرایط ناخواسته و ناامن می‌شود که ممکن است به از دست دادن منابع مالی و مخاطرات جانی منجر شود. مطالعه قابلیت اعتماد می‌تواند باعث شناسایی و کمینه کردن خطرات ایمنی شود.

علاوه بر مطالب بالا، دلایل متعددی دیگر نیز وجود دارند که مطالعه و توسعه مهندسی قابلیت اعتماد را بیش از پیش مهم می‌کنند و باعث گسترش توجه و تمرکز بر این موضوع می‌شوند. در این بخش، ابتدا مفاهیم اصلی در حوزه مهندسی قابلیت اعتماد را که در سراسر کتاب استفاده می‌شوند، به طور مختصر معرفی می‌کنیم.

قابلیت اعتماد

امروزه، پیشرفت فناوری و استفاده از دستاوردهای صنعتی، رقابتی شدید بین تولیدکنندگان برای ارائه محصولات و خدمات با کیفیت بالا ایجاد کرده است. با توجه به این موضوع، تولیدکنندگان برای کسب موفقیت در این رقابت، به افزایش قابلیت اعتماد و ارتقای عملکرد محصولات خود نیاز دارند؛ به گونه‌ای که آن محصول در طول زمان کارکرد، وظیفه خود را به نحو مطلوب انجام دهد. در سال‌های اخیر، نظریه قابلیت اعتماد به عنوان یک ابزار قدرتمند در توسعه علوم مهندسی و فناوری مورد توجه قرار گرفته است. این نظریه نه فقط در مهندسی صنایع، مکانیک و برق، بلکه در مهندسی ارتباطات، کامپیوتر و فناوری اطلاعات نیز کاربردهایی وسیع دارد. معمولاً قابلیت

اعتماد برای بیان درجه اطمینان از عملکرد صحیح یک سیستم یا به طور کلی، مجموعه‌ای از عوامل در طی دوره زمانی مشخص به کار می‌رود. روابط قابلیت اعتماد بر پایه نظریه احتمالات، در شرایطی که با عدم قطعیت روبه‌رو هستیم، حاصل می‌شوند.

قابلیت اعتماد یک سیستم عبارت است از احتمال اینکه سیستم در شرایط معین و در یک بازه زمانی مشخص، عملکرد مطلوب داشته باشد. به عبارت دیگر، قابلیت اعتماد عبارت است از احتمال عدم شکست سیستم در طول زمان تحت شرایط تعریف شده. برای تعیین اندازه قابلیت اعتماد، باید شرایط سیستم از جنبه‌های مختلف در نظر گرفته شود. برای نمونه، در ابتدا باید تعریف شکست سیستم مشخص شود؛ به این معنا که چه زمانی می‌گوییم سیستم از کار افتاده است. دوم آنکه باید واحد زمان را مشخص کرد. برای مثال، ممکن است واحد زمان بر اساس زمان تقویمی، مانند ساعت کارکرد یا واحد دیگر زمان یا چرخه‌های کارکرد، باشد. به عنوان نمونه‌ای از چرخه عملکرد، می‌توان فرودهای یک هواپیما یا روشن شدن یک موتور الکتریکی را نام برد. در برخی از موارد نیز قابلیت اعتماد سیستم در طول زمان تعریف نمی‌شود، بلکه بر اساس معیارهایی دیگر مانند تعداد کیلومترهایی که یک خودرو طی کرده است، تعریف می‌شود. سومین نکته‌ای که باید در تعیین قابلیت اعتماد سیستم در نظر گرفته شود آن است که سیستم باید در شرایط عملکرد نرمال ارزیابی شود. این امر شامل عوامل طراحی (مانند وزن، ولتاژ، فشار)، عوامل محیطی (مانند دما، رطوبت و ...) و شرایط عملیاتی (مانند نوع استفاده، نگهداری، حمل و نقل و ...) است.

گفتنی است، قابلیت اعتماد سیستم ارتباطی نزدیک با «کیفیت سیستم» دارد و در واقع، زیرمجموعه‌ای از مبحث کیفیت است. کیفیت محصول معیاری است که تحت آن نیازهای کاربران و مشتریان تأمین می‌شوند. این معیار تا حدودی تابع طراحی، نحوه تولید و مشخصه‌های آن است و با برنامه‌ریزی از طریق تضمین کیفیت حاصل می‌شود؛ اما قابلیت اعتماد سیستم مربوط به زمانی است که سیستم بعد از شروع به کار، به عملکرد خود ادامه می‌دهد. این موضوع منطقی است که یک محصول بی‌کیفیت قابلیت اعتماد کمی داشته باشد و یک محصول باکیفیت دارای قابلیت اعتماد زیادی باشد. البته، قابلیت اعتماد یک سیستم علاوه بر کیفیت محصول به عوامل خارجی نیز بستگی دارد. به طور خلاصه، می‌توان گفت قابلیت اعتماد یک محصول عبارت است از کیفیت آن محصول در طول زمان.

قابلیت نگهداری و تعمیر

«قابلیت نگهداری» یک سیستم احتمال آن است که سیستم (یا جزئی از آن) در یک دوره زمانی مشخص که تعمیر و نگهداری روی آن انجام می‌شود، به وضعیت کارکرد معینی قبل از شکست بازبایی شود. در اینجا، روش تعمیر یا نگهداری سیستم باید از قبل مشخص باشد. برای مثال، باید معلوم شود سیستم پس از شکست، با انجام تعمیر به وضعیت کاملاً نو بازمی‌گردد یا وضعیت سیستم به حالتی مشابه با حالت بلافاصله قبل از تعمیر برمی‌گردد (تعمیر مینیمال) یا وضعیت‌های دیگر. پس، به طور خلاصه، نگهداری سیستم برابر است با احتمال تعمیر سیستم در یک بازه زمانی معین. از طرفی، زمانی که تعمیر سیستم انجام می‌شود، سیستم به وضعیت کارکرد باز می‌گردد؛ اما وضعیت کارکرد سیستم در طیفی وسیع از حالت‌ها شامل «بدتر از مینیمال» تا «بهتر از نو» قرار می‌گیرد. معمولاً زمانی که تعمیر سیستم مطرح می‌شود، زمان برحسب ساعت اندازه‌گیری می‌شود؛ اگر چه در بعضی از موارد نیز ممکن است برحسب مقیاس‌های دیگر باشد. باید توجه داشت در هر صورت، زمان تعمیر فقط به زمان صرف‌شده برای انجام تعمیرات اشاره دارد و شامل زمان‌های تأخیر اداری یا تأمین منابع نمی‌شود. همچنین، باید توجه داشت روش‌های تعمیر سیستم نه فقط شامل چگونگی انجام تعمیرات، بلکه شامل پارامترهای دیگر مانند در دسترس بودن منابع تعمیر و نگهداری (افراد، قطعات یدکی و ابزار مورد نیاز)، سطح مهارت کارکنان و تعداد آن‌ها برای انجام تعمیر نیز خواهد بود.

دسترس پذیری

«در دسترس بودن» یک سیستم عبارت است از احتمال اینکه سیستم در یک نقطه از زمان، وظیفه محول‌شده به آن را در شرایط معین به نحو مطلوب انجام دهد. این مفهوم همچنین می‌تواند به عنوان درصد عملکرد یک سیستم در یک بازه زمانی مشخص تعریف شود. از نظر ریاضی، در دسترس بودن یک سیستم، بسته به نوع تعریف زمان کارکرد و زمان ازکارافتادگی سیستم، به روش‌های مختلف تعریف می‌شود. تفاوت بین قابلیت اعتماد سیستم و در دسترس بودن آن در این است که مفهوم دوم احتمال آن را نشان می‌دهد که سیستم در حال حاضر در حالت فعال قرار داشته باشد، حتی اگر قبلاً از کار افتاده باشد؛ بنابراین، در دسترس بودن سیستم هیچ‌گاه کمتر از

قابلیت اعتماد آن نخواهد بود. باید توجه داشت در دسترس بودن سیستم معیاری است که به زمان‌های کارکرد سیستم (قابلیت اعتماد) و زمان‌های تعمیر سیستم (قابلیت نگهداری) در یک فاصله زمانی معین بستگی دارد.

ضمانت

ضمانت، اطمینان خاطری است که فروشنده به خریدار محصول می‌دهد، مبنی بر اینکه محصول یا سیستمی که تحویل می‌دهد همان‌طوری است که ادعا شده است. در این صورت، خریدار مطمئن می‌شود محصول فروخته شده اگر در یک بازه معین در شرایط نرمال استفاده شود و از کار بیفتد، تعمیر یا تعویض خواهد شد. اطمینانی که فروشنده به خریدار می‌دهد را می‌توان به عنوان یک قرارداد بین دو طرف تلقی کرد و این قرارداد با فروش محصول نافذ خواهد شد. در چرخه عمر یک محصول، تجزیه و تحلیل شاخص‌های ضمانت در مرحله استقرار میدانی، یعنی در زمان استفاده محصول، انجام می‌شود.

۳.۱ مفاهیم مقدماتی احتمال و متغیرهای تصادفی

به طور کلی، دو رویکرد معمول برای مدل‌سازی پدیده‌های تصادفی وجود دارند. رویکرد اولیه و مقدماتی برای مطالعه پدیده‌های تصادفی آن است که یک فضای نمونه برای تمام حالت‌های پدیده تحت بررسی در نظر می‌گیرند و فرض می‌شود تمامی نتایج آزمایش تصادفی در آن فضا قرار می‌گیرد. سپس، احتمال را برای عناصر ساده روی این فضا تعریف می‌کنند و بر مبنای احتمال رخداد عناصر ساده، احتمال رویدادهای پیچیده‌تر را که از اتحاد و اشتراک رویدادهای ساده تشکیل شده‌اند، محاسبه می‌کنند. رویکرد دوم برای مطالعه پدیده‌های تصادفی استفاده از متغیرهای تصادفی است. متغیر تصادفی کمیتی است که مقادیری معین را از یک مجموعه از اعداد حقیقی می‌گیرد و فرض می‌شود که این مقادیر بر اساس یک الگوی مشخص، احتمال رخداد خود را اختیار می‌کنند. این الگوی احتمال در تعدادی ویژگی معین و تعریف شده صدق می‌کند و بر اساس آن، می‌توان درباره احتمال رخ دادن مقادیر مختلف آن متغیر تصادفی اظهار نظر کرد. در این بخش، مفاهیم اشاره شده در بالا را به طور دقیق‌تر و به اختصار مطالعه می‌کنیم.