شرکت صنایع هواپیمایی ایران

مهندسی قابلیت اطمینان
نظریه و کاربرد

الساندرو بیرولینی

ویرایش پنجم

ترجمه: دکتر جلال راعی

صدف حکیمی زاده

بسم الله الرحمن الرحیم

عنوان کتاب:
مهندسی قابلیت اطمینان
نظریه و کاربرد

الساندرو بیرولینی

ترجمه:
دکتر جلال راعی– صدف حکیمی زاده

سرشناسه	:	راعی، جلال؛ ۱۳۴۶
عنوان و نام پدیدآور	:	مهندسی قابلیت اطمینان نظریه و کاربرد/ ترجمه: جلال راعی، صدف حکیمی زاده [برای] دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، ۱۳۹۴.
مشخصات نشر	:	تهران: دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	:	۷۷۸ ؛ مصور، جدول و نمودار
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۷۳۷۵-۰۷-۵
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	مهندسی کیفیت، قابلیت اطمینان و ایمنی
شناسه افزوده	:	حکیمی زاده، صدف
شناسه افزوده	:	دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری. معاونت طرح و پژوهش
رده بندی کنگره	:	TA۱۶۹/ب۸۷م۹ ۱۳۹۳
رده بندی دیویی	:	۶۲۰/۰۰۴۵۲

نام کتاب: مهندسی قابلیت اطمینان نظریه و کاربرد/ Reliability Engineering Theory and practice

مترجم: دکتر جلال راعی، صدف حکیمی زاده

طراح جلد: بهراد بهاری

ویراستار ادبی: آرمان امیرکمالی

صفحه‌آرا: محمود واصلی خباز

چاپ اول: زمستان ۱۳۹٤

تعداد: ۱۰۰۰ جلد

ناشر: انتشارات دانشگاه هوایی شهید ستاری

چاپ و صحافی: چاپخانه نهاجا

قیمت: ۳۹۰۰۰۰۰ ریال

حق چاپ و نشر محفوظ است.

مرکز پخش: تهران- بزرگراه آیت‌الله سعیدی- خیابان دانشگاه هوایی- دانشگاه هوایی شهید ستاری

کد پستی: ۱۳۸٤٦۷۳٤۱۱ تلفن: ٦٦٦۳۰۱۱۱- ٦٤۰۳۲۰۲٤

فهرست مطالب

فصل اول: مفاهیم پایه، تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان تجهیزات و سیستم‌های پیچیده ۹

۱-۱ مقدمه ۹
۱-۲ مفاهیم پایه ۱۰
۱-۳ تکالیف و قواعد اساسی برای تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده ۲۰

فصل دوم: تحلیل قابلیت اطمینان طی فاز طراحی (قلم‌های غیرقابل تعمیر تا وقوع خرابی سیستم) ۳۹

۲-۱ مقدمه ۳۹
۲-۲ قابلیت اطمینان پیش بینی شده برای تجهیزات و سیستم‌های با ساختار ساده ۴۲
۲-۳ قابلیت اطمینان سیستم‌های دارای ساختار پیچیده ۷۰
۲-۴ تخصیص قابلیت اطمینان ۸۷
۲-۵ قابلیت اطمینان مکانیکی، وقوع خرابی رانشی ۸۸
۲-۶ تحلیل مد وقوع خرابی ۹۳
۲-۷ وجوه قابلیت اطمینان در بازنگری‌های طراحی ۱۰۶

فصل سوم: آزمون‌های احراز شرایط برای قطعات و مجموعه‌ها ۱۰۹

۳-۱ معیارهای اساسی انتخاب قطعات الکترونیک ۱۰۹
۳-۲ آزمون‌های احراز شرایط برای قطعات الکترونیکی پیچیده ۱۱۵
۳-۳ مدهای وقوع خرابی، مکانیزم‌های وقوع خرابی و تحلیل وقوع خرابی قطعات الکترونیکی ۱۳۲
۳-۴ آزمون‌های احراز شرایط برای مجموعه‌های الکترونیکی ۱۳۹

فصل چهارم: تحلیل قابلیت نگهداری ۱۴۷

۴-۱ نگهداری، قابلیت نگهداری ۱۴۷
۴-۲ راهکار نگهداری ۱۵۰
۴-۳ وجوه قابلیت نگهداری در بازنگری‌های طراحی ۱۵۶
۴-۴ قابلیت نگهداری پیش بینی شده ۱۵۶
۴-۵ مدل‌های پایه برای تهیه و تدارک قطعات یدکی ۱۶۲
۴-۶ راهبردهای تعمیر ۱۷۲
۴-۷ ملاحظات هزینه ۱۷۵

فصل پنجم: رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، و کیفیت نرم افزار ...۱۷۹

۵-۱ رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان ۱۸۱
۵-۲ رهنمودهای طراحی برای قابلیت نگهداری ۱۹۱
۵-۳ رهنمودهای طراحی برای کیفیت نرم افزار ۱۹۵

فصل ششم: قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم‌های قابل تعمیر ۲۰۷

۶-۱ مقدمه، مفروضات کلی، نتیجه‌گیری‌ها ۲۰۷
۶-۲ ساختار یک قلمی ۲۱۵
۶-۳ سیستم‌های فاقد ردوندانسی ۲۳۱
۶-۴ ردوندانسی ۱ از ۲ ..... ۲۳۸
۶-۵ ردوندانسی K از N..... ۲۵۷
۶-۶ ساختارهای ساده‌ی سری – موازی ۲۶۵
۶-۷ عبارات تقریبی برای ساختارهای بزرگ سری – موازی..... ۲۷۳
۶-۸ سیستم‌های دارای ساختار پیچیده..... ۲۷۸
۶-۹ روش‌های دیگر بررسی ۳۳۵

فصل هفتم: کنترل کیفیت آماری و آزمون‌های قابلیت اطمینان ۳۴۷

۷-۱ کنترل کیفیت آماری..... ۳۴۷
۷-۲ آزمون‌های قابلیت اطمینان آماری..... ۳۵۸
۷-۳ آزمون‌های قابلیت نگهداری آماری ۳۷۹
۷-۴ آزمون تسریع شده ۳۸۴
۷-۵ آزمون‌های نکویی برازش ۳۹۶
۷-۶ تحلیل آماری داده‌های کلی قابلیت اطمینان ۳۹۹
۷-۷ رشد قابلیت اطمینان..... ۴۱۲

فصل هشتم: تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان طی فاز تولید (ملاحظات اساسی) ۴۱۹

۸-۱ فعالیت‌های اساسی ۴۱۹
۸-۲ آزمون و غربال‌گری قطعات الکترونیک ۴۲۰
۸-۳ آزمون و غربال‌گری مجموعه‌های الکترونیکی..... ۴۲۵
۸-۴ راهبردهای آزمون و غربال‌گری، وجوه اقتصادی..... ۴۲۸

پیوست الف-۱: اصطلاحات و تعاریف ۴۴۷

آمادگی، آمادگی نقطه‌ای (A(T)، PA(T)) ۴۴۰
مهندسی همزمان ۴۴۱
مدیریت پیکربندی ۴۴۱
نگهداری اصلاحی ۴۴۱
صرفه‌ی اقتصادی ۴۴۲
عیب ۴۴۲
قابلیت اعتماد ۴۴۲
کاهش نرخ اسمی ۴۴۲
بازنگری طراحی ۴۴۳
غربال‌گری تنش محیطی ۴۴۳
وقوع خرابی ۴۴۳
شدت وقوع خرابی ۴۴۴
تحلیل مُدهای وقوع خرابی و آثار ۴۴۴
تحلیل مُدهای وقوع خرابی، آثار و بحرانیت ۴۴۴
نرخ وقوع خرابی ۴۴۳
خرابی ۴۴۵
تحلیل درخت وقوع خرابی ۴۴۶
قلم ۴۴۶
هزینه‌ی چرخه‌ی عمر ۴۴۶
طول عمر ۴۴۶
پشتیبانی لجستیکی ۴۴۶
قابلیت نگهداری ۴۴۷
پروفایل مأموریت ۴۴۷
عدم انطباق ۴۴۹
نگهداری پیشگیرانه ۴۴۹
تضمین محصول ۴۵۰
مسئولیت در قبال کالا ۴۵۰
کیفیت ۴۵۰

تضمین کیفیت ۴۵۱
کنترل کیفیت حین تولید ۴۵۱
سیستم گزارش داده‌های کیفیت ۴۵۱
مدیریت کیفیت ۴۵۱
آزمون کیفیت ۴۵۱
ردوندانسی ۴۵۲
قابلیت اطمینان ۴۵۲
نمودار بلوکی قابلیت اطمینان ۴۵۲
رشد قابلیت اطمینان ۴۵۳
وظیفه‌ی الزام شده ۴۵۳
ایمنی ۴۵۴
سیستم ۴۵۴
وقوع خرابی سیستماتیک ۴۵۴
مهندسی سیستم ۴۵۵
مدیریت کیفیت فراگیر ۴۵۵
عمر مفید ۴۵۵
تحلیل ارزش ۴۵۵
مهندسی ارزش ۴۵۵

پیوست الف-۲: استانداردهای کیفیت و قابلیت اطمینان ۴۵۷

الف-۲-۱ مقدمه ۴۵۷
الف-۲-۲ الزامات کلی در حوزه‌ی صنعت ۴۵۸
الف-۲-۳ الزامات در حوزه‌های هوا فضا، راه آهن، دفاع و هسته ای ۴۶۰

پیوست الف-۳: تعریف و تحقق الزامات کیفیت و قابلیت اطمینان ۴۶۳

الف-۳-۱ تعریف الزامات کیفیت و قابلیت اطمینان ۴۶۳
الف-۳-۲ تحقق الزامات کیفیت و قابلیت اطمینان برای تجهیزات و سیستم‌های پیچیده ۴۶۵
الف-۳-۳ عناصر برنامه‌ی تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان ۴۷۲

پیوست الف-۴: فهرست‌های وارسی برای بازنگری‌های طراحی ۴۸۱

الف-۴-۱ بازنگری طراحی سیستم ۴۸۱
الف-۴-۲ بازنگری‌های اولیه‌ی طراحی ۴۸۲
الف-۴-۳ بازنگری طراحی نقادانه (سطح سیستم) ۴۸۴

پیوست الف -۵: الزامات سیستم‌های گزارش‌دهی داده‌های کیفیت ۴۸۷

پیوست الف-۶: نظریه پایه‌ی احتمال ۴۹۱

الف-۶-۱ میدان رخدادها ۴۹۱
الف-۶-۲ مفهوم احتمال ۴۹۳
الف-۶-۳ احتمال شرطی استقلال ۴۹۷
الف-۶-۴ قواعد بنیادی نظریه احتمال ۴۹۸
الف-۶-۵ متغیرهای تصادفی، توابع توزیع ۵۰۲
الف-۶-۶ پارامترهای عددی متغیرهای تصادفی ۵۰۸
الف-۶-۷ متغیرهای تصادفی چند بعدی، توزیع‌های شرطی ۵۱۵
الف-۶-۸ پارامترهای عددی بردارهای تصادفی ۵۱۸
الف-۶-۹ توزیع مجموع متغیرهای تصادفی مثبت مستقل و $\tau_{\min}, \tau_{\max}$ ۵۲۰
الف-۶-۱۰ توابع توزیع مورد استفاده در تحلیل قابلیت اطمینان ۵۲۳
الف-۶-۱۱ قضیه‌های حد ۵۳۹

پیوست الف-۷: نظریه فرآیندهای تصادفی پایه ۵۴۵

الف-۷-۱ مقدمه ۵۴۵
الف-۷-۲ فرآیندهای نوسازی ۵۴۵
الف-۷-۳ فرآیندهای نوسازی تناوبی ۵۶۰
الف-۷-۴ فرآیندهای احیایی ۵۶۵
الف-۷-۵ فرآیندهای مارکوف با حالت‌های بسیار به طور محدود ۵۶۶
الف-۷-۶ فرآیندهای مارکوف با حالت‌های بسیار محدود ۵۹۵
الف-۷-۷ فرآیندهای نیمه‌احیایی ۶۰۱
الف-۷-۸ فرآیندهای تصادفی غیراحیایی ۶۰۶

پیوست الف-۸: آمار ریاضیاتی پایه ۶۲۱

الف-۸-۱ روش‌های تجربی ۶۲۱

الف-۸-۲ برآورد پارامتر ۶۲۸
الف-۸-۳ آزمون فرضیه‌های آماری ۶۴۶

پیوست الف-۹: جدول‌ها و نمودارها ۶۶۵

الف-۹-۱ توزیع نرمال استاندارد..... ۶۶۵
الف-۹-۲ توزیع مجذور کای‌دو ۶۶۶
الف-۹-۳ توزیع استاندارد ۶۶۸
الف-۹-۴ توزیع فیشر..... ۶۶۸
الف-۹-۵ جدول آزمون کولموگروف - اسمیرنوف..... ۶۷۲
الف-۹-۶ توزیع گاما..... ۶۷۳
الف-۹-۷ تبدیل لاپلاس ۶۷۴
الف-۹-۸ نمودارهای احتمال ۶۷۶

پیوست الف-۱۰: خصوصیات پایه‌ی قطعات فناورانه ۶۷۹

پیوست الف-۱۱: مسائل برای تمرین ۶۸۵

واژه نامه ۶۹۵

منابع ۷۰۵

مقدمه مترجم

پیشرفت‌های سریع در فناوری، تکوین محصولات و سیستم‌ها با پیچیدگی بالا، رقابت شدید جهانی و افزایش انتظارات مشتری، فشارهای جدیدی بر سازندگان برای تولید محصولات با کیفیت بالاتر وارد کرده است. موفقیت هر کسب و کاری نیز به فرآیندها و محصولاتی که تولید می‌کنند، بستگی دارد. هر محصول یا سیستمی برای انجام وظیفه‌ای ساخته می‌شود و هر مشتری/کاربر انتظار دارد محصول وظیفه‌مندی خود را تا رسیدن به مقصود الزام شده، حفظ کند و لااقل در دراز مدت خراب شود. در صورت نیاز به تعمیر و نگهداری در حداقل زمان و با کمترین هزینه دوباره به چرخه استفاده بازگردد.

در صنایع پیشرفته و پیچیده مانند هوافضا، هسته‌ای، ریلی، پتروشیمی، خودرو و غیره عواقب وقوع خرابی ضمن آن که ممکن است امنیت کشور و جان شهروندان را با مخاطرات زیادی همراه سازد، تلاش‌های مهندسی را نیز ناکام می‌سازد. از این رو، ایمنی و مدیریت ریسک پروژه‌ها و محصولات چنین صنایعی از اهمیت بسیار برخوردار است.

موفقیت سیستم، محصول یا خدمت با فناوری بالا، با وصفی‌های متعددی از قبیل قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، پشتیبانی نگهداری، قابلیت دوام، کیفیت، آمادگی، ایمنی و غیره توصیف می‌شود. سه ویژگی قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و پشتیبانی نگهداری که بیشتر موضوعات این کتاب به آن‌ها اختصاص داده شده است در استانداردهای بین‌المللی زیر چتر مفهوم دیگری به نام قابلیت اعتماد قرار گرفته‌اند. قابلیت اعتماد یک بخش جدایی‌ناپذیر از سنجش عملکرد سیستم است (برای کاربردهای فناورانه، سیستم؛ شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و جنبه‌های انسانی است). قابلیت اطمینان تا اندازه‌ای منحصر به فرد است که از سویی کیفیت در بعد زمان است و از سویی دیگر می‌تواند بسیاری از وصف‌های عملکرد را فعال سازد. برای مثال ایمنی زمانی ارتقا می‌یابد که وقوع خرابی‌ها حذف و یا کاهش یابند. در کشورهای پیشرفته مهندسی قابلیت اطمینان بخش جدایی‌ناپذیر در پروژه‌های فناورانه است با وجود این سالیانه میلیاردها دلار صرف هزینه‌های ناشی از عواقب فقدان توجه کافی به قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و پشتیبانی نگهداری در بهره‌برداری از محصولات نظامی و غیرنظامی می‌شود.

بنا به تجارب مترجم و با یک تحقیق میدانی ساده در صنایع نظامی و غیرنظامی می‌توان به عدم بکارگیری این دانش مهندسی در کلان پروژه‌ها رسید. نبود دانش کافی را باید از علل عدم کاربرد در پروژه‌های فناورانه دانست. ریشه کمبود دانش مهندسی قابلیت اطمینان به دانشگاه و دروس دانشگاهی و کم‌توجهی به درس‌ها و رشته‌های بین‌رشته‌ای برمی‌گردد. خوشبختانه در سالیان اخیر بنابر نیاز صنایع و درگیرشدن دانشگاهیان در پروژه‌های کلان و ایجاد شرکت‌های دانش‌بنیان، مهندسی قابلیت اطمینان در حال گسترش می‌باشد از این رو این کتاب با هدف توسعه و ترویج این دانش در بین دانشگاهیان، مهندسان و مدیران صنایع کشور ترجمه شده است.

کتاب مهندسی قابلیت اطمینان که توسط پروفسور الساندرو بیرولینی تالیف گردیده است. حاصل سالیان تلاش علمی و عملی مولف در تدریس دانشگاهی و کاربرد آن در صنایع مختلف است. بنابراین می‌توان با گزینش مناسب از فصل‌های کتاب در مقاطع لیسانس، فوق‌لیسانس و دکتری در رشته‌های مختلف آن را تدریس نمود و همچنین این کتاب برای مهندسان و مدیرانی کاربرد دارد که در ساخت محصولات با کیفیت بالا، طراحی سیستم‌های قابل اطمینان و در مدیریت ایمنی و ریسک درگیر هستند.

آشنایی مترجم با مهندسی قابلیت اطمینان با تدوین استاندارد ملی در سال ۱۳۸۵ شروع شد. پس از آن این فعالیت‌ها در همکاری با شرکتی به همین نام یعنی مهندسی قابلیت اعتماد سیستم توازن ادامه یافت. حاصل آن فعالیت‌ها به تدوین حدود ۸۰ استاندارد ملی در این زمینه منجر شد که در سایت سازمان ملی استاندارد ایران به صورت رایگان قابل دسترسی است (www.isiri.ir). این کتاب در سال ۱۳۹۰ توسط همکارانم انتخاب و ترجمه آن شروع شد. برای ادای دین به همکارانم از جناب آقای مهندس مهدی ذره و جناب آقای مهندس احسان بستان‌دوست‌راد که در شروع کار تلاش فراوانی نموده‌اند، صمیمانه تشکر می‌کنم. از سرکار خانم حکیمی زاده که در کار ترجمه همکاری زیاد و طاقت فرسایی داشتند بسیار سپاسگزارم. از همکارانم در انتشارات دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری جناب آقای مهندس محمود واصلی برای صفحه‌آرایی و جناب آقای مهندس آرمان امیرکمالی در ویراستاری، تصحیح فرمول‌ها و جداول تلاش‌های مجدانه‌ای نموده‌اند صمیمانه تشکر می‌کنم. از جناب مهندس افشین قربان اشرفی مدیرعامل محترم شرکت فنی و مهندسی نهال به خاطر هماهنگی با چاپخانه نهاجا و از مدیریت محترم چاپخانه نهاجا جناب آقای اکبری و همکاران‌شان، کمال تشکر را دارم. چاپ و نشر کتاب حاصل پیوند مبارک دانشگاه و صنعت می‌باشد از این رو لازم است از جناب آقای دکتر رضا ایزدی مدیرعامل محترم شرکت صنایع هواپیمایی ایران که از چاپ کتاب حمایت کردند و بخشی از حمایت چاپ کتاب را بر عهده گرفتند مراتب قدردانی و سپاس خود را ابراز کنم.

ترجمه این کتاب به مانند هر اثر دیگری خالی از اشکال نیست، بی‌شک کتابی با تعداد زیادی فرمول، جداول و ریزه‌کاری فراوان و انتخاب واژگان مناسب، حتما با کاستی‌هایی مواجه است که از خوانندگان گرامی خواهش دارم مراتب را به شماره تلفن ۶۴۰۳۲۰۲۴ یا شماره همراه ۰۹۱۲۲۴۴۵۵۰۶ و یا به آدرس الکترونیکی اینجانب raee.jalal@yahoo.com منعکس نمایند.

دکتر جلال راعی

بهمن ماه ۱۳۹۴

پیشگفتاری بر ویرایش پنجم

ویرایش پنجم بنا به اصلاحات و مطالب اضافه شده که بیشتر در زمینه‌ی بررسی و آزمون سیستم‌های قابل تعمیر پیچیده هستند، با ویرایش چهارم تفاوت دارد. برای سیستم‌های فازی مأموریتی، رویکردی جدید برای قابلیت اطمینان و نیز آمادگی ارائه شده است (بخش ۶-۸-۶-۲). آثار وقوع خرابی‌های به علت مشترک[1] برای ردوندانسی ۱ از ۲ به دقت بررسی شده‌اند (۶-۸-۷). شبکه‌های پتری[2] و تحلیل درخت خرابی پویا به عنوان روش‌های بررسی دیگری برای سیستم‌های قابل تعمیر معرفی شده‌اند (۶-۹). عبارات تقریبی بیشتر تکوین شده‌اند. رویکردی یکپارچه برای برآورد و اثبات عملی آمادگی برای زمان‌های عاری از وقوع خرابی و تعمیر نمایی و دارای توزیع ارلانگی ارائه شده است (۷-۲-۲، الف-۸-۲-۲-۴، الف-۸-۳-۱-۴). حدود اطمینان در سطح سیستم برای مورد نرخ‌های وقوع خرابی ثابت ارائه شده است (۷-۲-۳-۱). بررسی فرآیندهای پواسون ناهمگن اصلاح شده و فرآیندهای نقطه‌ای کلی‌تر (اضافه شده، تجمعی) (الف-۷-۸) با کاربرد در تحلیل داده‌ها (۷-۶-۲) و بهینه‌سازی هزینه (۴-۷) مورد بحث قرار می‌گیرند. آزمون‌های روند برای کشف وقوع خرابی‌های زودهنگام یا فرسایش معرفی می‌شوند (۷-۶-۳). اثبات عملی تازه‌ای برای میانگین و واریانس در فرآیندی تجمعی ارائه می‌شود (الف-۷-۸-۴). توسعه‌ی ردوندانسی ۲ از ۳ به ردوندانسی ۱ از ۳ مورد بحث قرار می‌گیرد (۲-۲-۶-۵). برخی از مشکلات امروز قابلیت اطمینان مربوط به تولید در آی‌سی‌های VLSI نشان داده می‌شوند (۴-۳-۳). رویکردهای نگهداری بازنگری می‌شوند(۴-۶).

مانند ویرایش‌های قبلی این کتاب، ارقام قابلیت اطمینان در سطح سیستم دارای اندیس si هستند (مثلاً $MTTF_{si}$) که در آن s به معنای سیستم و i به معنای حالتی است که دستگاه در زمان $t = 0$ وارد آن شده است (جدول ۶-۲). به علاوه، با در نظر گرفتن این که برای سیستم قابل تعمیر، زمان‌های بهره‌برداری بین وقوع خرابی‌های سیستم نه می‌توانند به طور یکسان توزیع شوند و نه مستقل باشند، نرخ وقوع خرابی، محدود به سیستم‌های غیر قابل تعمیر یا سیستم‌های قابل تعمیری می‌شود که پس از تعمیر، در حد نو هستند. شدت وقوع خرابی برای سیستم‌های قابل تعمیر کلی به کار می‌رود. برای موردی که در آن فرض می‌شود تجدید رخ داده است، متغیر x که در هر تجدید با $x = 0$ آغاز می‌شود، مانند زمان‌های بین ورود به جای t به کار می‌رود. همچنین به دلیل برآورد $\hat{MTBF} = T / K$ که اغلب در کاربردهای عملی مورد استفاده قرار می‌گیرد، میانگین زمان بهره‌برداری بین وقوع خرابی‌ها[3] محدود به سیستم‌های قابل تعمیری است که می‌توان رخداد وقوع خرابی آن‌ها را با فرآیندهای پواسون همگن توصیف کرد. فقط و فقط برای این فرآیندها، زمان‌های بین ورود متغیرهای تصادفی دارای توزیع نمایی مستقلی با پارامتر یکسان (λ_s) و میانگین $MTBF_s = 1/\lambda_s$ هستند (ص. ۴۴۷). برای مدل‌های مارکوف و نیمه‌مارکوف، MUT_s به کار می‌رود (صفحات ۳۳۳، ۵۸۸). تعمیر به عنوان مترادفی برای توان یابی به کار می‌رود، با این فرض که عناصر تعمیر شده در سیستم پس از تعمیر، در حد نو هستند (سیستم از نظر

1-Common Cause Failures
2-PetriNets
3-Mean Operation Time Between Failures (MTBF)

حالت مورد نظر در حد نو است، تنها اگر تمام عناصر تعمیر نشده دارای نرخ وقوع خرابی ثابت باشند). رشد قابلیت اطمینان در فصل ۷ انتقال داده شده و جدول ۳-۲ در مورد قطعات الکترونیکی در پیوست جدید الف-۱۰ جای داده شده است. مجموعه‌ای از مسائل به عنوان تکالیف منزل در پیوست جدید الف-۱۱ اضافه شده است.

این ویرایش، ویرایش‌های قبلی را بسط داده و جایگزین آن‌ها می‌شود. از دوستان بسیاری که نظراتشان را مطرح نمودند و همچنین از اشپرینگر- ورلانگ بابت همکاری مطلوبشان قدردانی می‌کنم.

زوریخ و فلورانس، ۱۳ سپتامبر ۲۰۰۶

الساندرو بیرولینی

پیشگفتاری بر ویرایش چهارم

علاقه‌ی زیادی که به این کتاب نشان داده شد، سبب نیاز به چاپ چهارم شد. ساختار کتاب بدون تغییر است و قسمت اصلی در فصل‌های ۱ تا ۸ جای دارد و پیوست‌های جامع الف–۱ تا الف–۵ در مورد جنبه‌های مدیریت و پیوست‌های الف–۶ تا الف–۸ در مورد نظریه احتمال پایه، فرآیندهای تصادفی و آمار هستند. این ساختار دسترسی سریع به نتایج عملی و مقدمه‌ای جامع بر بنیان ریاضیاتی نظریه قابلیت اطمینان را میسر می‌سازد. محتوای کتاب بسط داده شده و بازنگری شده است. مدل‌ها و ملاحظات جدیدی در زمینه‌ی فرآیندهای تصادفی فرآیند پواسون ناهمگن به پیوست الف–۷، در زمینه‌ی تهیه و تدارک قطعات یدکی به فصل ۴، در زمینه‌ی سیستم‌های قابل تعمیر پیچیده (سوئیچ ناقص، پوشش ناکامل، قلم‌هایی با بیش از دو حالت، سیستم‌های فازی–مأموریتی، سیستم‌های قابل پیکربندی مجدد مقاوم در برابر خرابی با وجوه پاداش و فراوانی/دوام، شبیه سازی مونت‌کارلو) به فصل ۶ و در زمینه‌ی تحلیل داده‌های قابلیت اطمینان به فصل‌های ۷ و ۸ افزوده شده‌اند. برخی از نتایج حاصل اقامتی است که در سال ۲۰۰۱ به عنوان یک بازدیدکننده در مؤسسه‌ی مطالعات پیشرفته در دانشگاه بولونیا داشتم.

عملکرد، قابلیت اعتماد، هزینه و زمان عرضه به بازار، عواملی کلیدی برای محصولات و خدمات امروزی هستند. اما وقوع خرابی سیستم‌های پیچیده ممکن است عواقب ایمنی مهمی دربر داشته باشد. همچنین در اینجا باید بیاموزیم که علت رخدادهای نامطلوب را در نظر بگیریم و نه نمودهای آن‌ها را و نیز از برخوردهای متظاهرانه اجتناب ورزیم. مهندسی قابلیت اطمینان می‌تواند کمک کننده باشد. مقصود از مهندسی قابلیت اطمینان، تکوین روش‌ها و ابزارهایی برای ارزیابی و اثبات عملی قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، آمادگی و ایمنی قطعات، تجهیزات و سیستم‌ها و نیز پشتیبانی از مهندسان تکوین و تولید در گنجاندن این ویژگی‌ها است. به منظور گنجاندن قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و ایمنی در سیستم‌های پیچیده، تحلیل‌های نرخ وقوع خرابی و مد وقوع خرابی باید در ابتدای فاز تکوین انجام گیرند و (در حد امکان) از طریق تحلیل مکانیزم وقوع خرابی، رهنمودهای طراحی و بازنگری‌های طراحی پشتیبانی شوند. پیش از تولید، آزمون‌های احراز شرایط برای تصدیق این‌که دستیابی به اهداف صورت گرفته است، ضروری هستند. در فاز تولید، فرآیندها باید احراز شرایط و پایش شوند تا سطح کیفیت مورد نیاز را فرض کنند. برای بسیاری از سیستم‌ها، الزامات آمادگی باید برآورده شوند و فرآیندهای تصادفی برای بررسی و بهینه سازی قابلیت اطمینان و آمادگی از جمله پشتیبانی لجستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نرم افزار اغلب نقش غالب را دارد و نیازمند فعالیت‌های تضمین کیفیت است. در پایان مهندسی قابلیت اطمینان برای آن‌که مقرون به صرفه و از نظر زمانی اثر بخش باشد، باید بر حسب مورد، با تلاش‌های مدیریت کیفیت فراگیر، از جمله مهندسی ارزش و مهندسی همزمان، هماهنگ شود.

این کتاب جدیدترین فناوری در نظریه و کاربرد مهندسی قابلیت اطمینان را ارائه می‌دهد. این کتاب، یک کتاب درسی بر اساس تجربه‌ی ۳۰ ساله‌ی نگارنده در این زمینه است که نیمی از آن در صنعت و به عنوان مؤسس آزمایشگاه سوئیس برای آیسیهای $VLSI$ در نیوشاتل و نیمی دیگر به عنوان استاد (تمام از سال ۱۹۹۲) مهندسی قابلیت اطمینان در مؤسسه‌ی فناوری فدرال سوئیس (ETH) در زوریخ کسب شده است. این کتاب

همچنین منعکس کننده‌ی تجربه‌ای است که از همکاری اثر بخش بین دانشگاه و صنعت با بیش از ۳۰ صنعت متوسط و بزرگ، طی ۱۰ سال به دست آمده است [۱-۲ (۱۹۹۶)]+). پس از فصل ۱، کتاب در سه قسمت ساختاربندی شده است:

۱. فصل‌های ۲ تا ۸ به تحلیل و آزمون قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری با تأکید بر وجوه عملی در فصل‌های ۳، ۵ و ۸ می‌پردازند. این قسمت به پرسش نحوه‌ی گنجاندن، ارزیابی و اثبات عملی قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و آمادگی پاسخ می‌دهد.

۲. پیوست‌های الف-۱ تا الف-۵ با تعاریف، استانداردها و طرح‌های برنامه‌ای برای تضمین/مدیریت کیفیت و قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده می‌پردازند. این بخش فرعی کتاب به این دلیل افزوده شده که در مورد تعاریف و استانداردها نظر بدهد و از مدیران در پاسخ به پرسش نحوه‌ی مشخص نمودن و دستیابی به اهداف قابلیت اطمینان بالا برای سیستم‌های پیچیده، هنگامی که سفارشی کردن اجباری نیست، پشتیبانی نماید.

۳. پیوست‌های الف-۶ تا الف-۸ مقدمه‌ای جامع بر نظریه احتمال، فرآیندهای تصادفی و آمار ارائه می‌دهد که به ترتیب در فصل‌های ۲، ۶ و ۷ مورد نیاز هستند. فرآیندهای مارکوف، نیمه مارکوف و نیمه احیایی همراه با دیدگاهی معرفی می‌شوند که نگارنده در [الف-۷-۲ (۱۹۷۵ و ۱۹۸۵)] تکوین نموده است. مخاطب این قسمت، مهندسان سیستم‌گرا هستند.

روش‌ها و ابزارها به گونه‌ای ارائه می‌شوند که بتوانند سفارشی شوند تا سطوح مختلف الزامات قابلیت اطمینان را پوشش دهند (خواننده باید این سطح را انتخاب کند). بررسی سیستم‌های قابل تعمیر به طور سیستماتیک برای ساختارهای بسیاری انجام می‌گیرد که در کاربردهای عملی رخ می‌دهند. این کار با نرخ‌های ثابت وقوع خرابی و تعمیر آغاز می‌شود و گام به گام تعمیم می‌یابد تا به موردی می‌رسد که در آن فرآیند دخیل با حداقل تعداد حالت‌های احیا، احیایی است. با در نظر گرفتن میانگین زمان تا تعمیر[4]، میانگین زمان تا وقوع خرابی[5]، برای هر عنصر، نشان داده می‌شود که شکل توزیع زمان تعمیر، تأثیر کمی بر نتایج در سطح سیستم دارد و برای نرخ وقوع خرابی ثابت، تابع قابلیت اطمینان در سطح سیستم را اغلب می‌توان با تابع نمایی به طور تقریبی محاسبه نمود. برای سیستم‌های بزرگ سری- موازی، عبارات تقریبی برای قابلیت اطمینان و آمادگی به طور عمیق تکوین می‌شوند، به ویژه با استفاده از ساختارهای ماکرو، چنان که نگارنده در [۶-۵(۱۹۹۱)] معرفی نموده است. روش‌های اجرایی برای بررسی سیستم‌های قابل تعمیر با ساختاری پیچیده (که اغلب برای آن‌ها دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان وجود ندارد) به عنوان کاربردی دیگر از ابزارهای معرفی شده در پیوست الف-۷ ارائه شده‌اند، به ویژه برای سوئیچینگ ناقص، پوشش خرابی ناکامل، عناصری با بیش از دو حالت، سیستم‌های فازی مأموریتی و سیستم‌های قابل پیکربندی مجدد مقاوم در برابر خرابی با وجوه پاداش و فراوانی/دوام. قواعد طراحی جدیدی برای سوئیچینگ ناقص

4-Mean Time to Repair (MTTR)
5-Mean Time to Failure (MTTF)

و پوشش ناکامل افزوده شده‌اند. یک رویکرد مونت‌کارلو که برای رخدادهای نادر مفید است، ارائه شده است. تهیه و تدارک قطعات یدک برای پشتیبانی لجستیکی متمرکز و غیر متمرکز مورد بحث قرار می‌گیرد. برآورد و اثبات عملی نرخ وقوع خرابی ثابت (λ) و ارزیابی آماری داده‌های قابلیت اطمینان کلی به طور عمیق بررسی می‌شوند. آزمون‌های احراز شرایط و غربال‌گری برای قطعات و مجموعه‌ها به طور جزئی مورد بحث قرار می‌گیرند. روش‌هایی برای تحلیل علت و معلولی، رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار و فهرست‌های وارسی برای بازنگری‌های طراحی به دقت مورد بررسی قرار می‌گیرند. بهینه‌سازی هزینه برای کاربردهای عملی بررسی می‌شود. استانداردها و روندها در مدیریت کیفیت مورد بحث قرار می‌گیرند. جدول‌ها، شکل‌ها و مثال‌های زیادی وجوه عملی را پشتیبانی می‌کنند.

تأکید می‌شود که در تحلیل آماری داده‌های قابلیت اطمینان (به ویژه برای آزمون‌های تسریع شده و رشد قابلیت اطمینان) دقت ضروری است، تحلیل علت و معلولی بایستی به طور سیستماتیک، حداقل در جایی که ردوندانسی ظاهر می‌شود (و همچنین برای پشتیبانی از نگهداری از راه دور) انجام شود و تلاش‌های بیشتری بایستی برای تکوین عبارات تقریبی برای سیستم‌های قابل تعمیر پیچیده و همچنین سیستم‌های مقاوم در برابر خرابی با سخت‌افزار و نرم‌افزار انجام گیرد.

بیشتر روش‌ها و ابزارهای ارائه شده در این کتاب را می‌توان برای بررسی/بهبود ایمنی نیز به کار برد. ایمنی دیگر لازم نیست به طور جداگانه از قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود (گرچه مدل سازی وجوه انسانی می‌تواند منجر به مشکلاتی شود). در مورد قابلیت اطمینان خدمات و فرآیند نیز همین طور است.

این کتاب سال‌ها (اولین ویرایش در آلمان، ۱۹۸۵، اشپرینگر) به عنوان کتاب درسی در سه ترم اول دانشجویان کارشناسی ارشد در ETH زوریخ و برای واحدهایی برای مهندسان در صنعت مورد استفاده قرار گرفته است. بخش پایه (فصل‌های ۱، ۲، ۵ و ۷ همراه با مقدمه‌ی فصل‌های ۳، ۴، ۶ و ۸) بایستی متعلق به برنامه‌ی درسی بیشتر مدارک مهندسی باشد.

این ویرایش، سومین ویرایش (۱۹۹۹) را بسط داده و بازنگری می‌کند. هدف دیگر آن برقراری ارتباط بین نظریه و کاربرد، برای کمک به برنامه‌ی یادگیری پیوسته و توسعه‌ی پایدار و پشتیبانی از خلاقیت (ناشی از اعتماد به نفس درونی و مشاهده‌ی عمیق طبیعت، اما محدود به دیوان سالاری یا زوال شخصیت) است. از نظرات دوستان بسیار و نیز همکاری مطلوب با اشپرینگر– ورلاگ قدردانی می‌کنم.

زوریخ و فلورانس، مارس ۲۰۰۳

الساندرو بیرولینی

+) برای [...]، به منابع در پایان کتاب مراجعه کنید.

فصل اول: مفاهیم پایه، تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان تجهیزات و سیستم‌های پیچیده

مقصود از مهندسی قابلیت اطمینان[۶] تکوین روش‌ها و ابزارهایی برای ارزیابی و اثبات عملی قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری[۷]، آمادگی و ایمنی قطعات، تجهیزات و سیستم‌ها و همچنین پشتیبانی از مهندسان تکوین و تولید در گنجاندن این ویژگی‌ها است.مهندسی قابلیت اطمینان برای این که مقرون به صرفه و از نظر زمانی مؤثر باشد، باید در فعالیت‌های پروژه گنجانده شود و از تلاش‌های تضمین کیفیت[۸] و مهندسی همزمان[۹] پشتیبانی کند. این فصل مفاهیم پایه را معرفی می‌کند، روابط بین آن‌ها را نشان می‌دهد و در مورد تکالیفی که برای تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان تجهیزات و سیستم‌های پیچیده‌ی دارای الزامات کیفیت و قابلیت اطمینان بالا ضروری هستند، بحث می‌کند. فهرستی جامع از تعاریف در پیوست الف-۱ ارائه شده است. استانداردهای سیستم‌های (مدیریت) تضمین کیفیت در پیوست الف-۲ مورد بحث قرار می‌گیرند. اصلاحات وجوه مدیریت برای مواردی که در آن‌ها سازگار اجباری نیست، در پیوست‌های الف-۳ تا الف-۵ ارائه شده‌اند.

۱-۱ مقدمه

تا دهه‌ی ۱۹۶۰ فرض بر این بود که اگر قلم مورد نظر زمانی که از دست سازنده خارج می‌شود، عاری از عیوب[۱۰] یا وقوع خرابی[۱۱]های سیستماتیک باشد، اهداف کیفیت کسب شده‌اند. پیچیدگی رو به افزایش تجهیزات و سیستم‌ها و همچنین هزینه‌ی رو به رشدی که با از دست دادن بهره‌برداری در نتیجه‌ی وقوع خرابی‌ها وارد می‌شود، سبب اهمیت یافتن وجوه قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، آمادگی و ایمنی شده است. امروزه انتظار می‌رود که تجهیزات و سیستم‌های پیچیده نه تنها در زمان $t = ۰$ (هنگامی که شروع به کار می‌کنند) عاری از عیوب و وقوع خرابی‌های

6-Reliability
7-Maintainability
8-Quality Assurance
9-Concurrent Engineering
10-Defects
11-Failure

سیستماتیک باشند، بلکه در بازه‌ی زمانی معینی وظیفه‌ی الزامی را عاری از وقوع خرابی[12] انجام دهند و در صورت وقوع خرابی‌های بحرانی یا فاجعه آمیز، رفتاری با خرابی ایمن داشته باشند. با این حال نمی‌توان صرفاً بر اساس آزمون انطباق، به این پرسش که آیا قلمی معین، طی یک دوره‌ی زمانی معین، بدون وقوع خرابی کار می‌کند، پاسخ مثبت یا منفی داد. تجربه نشان داده که تنها احتمالی برای وقوع، را می‌توان نشان داد. این احتمال مقدار قابلیت اطمینان قلم است و می‌توان آن را به صورت زیر تعبیر نمود:

اگر از قلم‌های به لحاظ آماری یکسان، از زمان $t = ۰$ بهره‌برداری شوند تا مأموریتی معین را انجام دهند و تعداد $\bar{v} \le n$ از آن‌ها با موفقیت این کار را انجام دهند، آن‌گاه نسبت $\bar{v} / n$ یک متغیر تصادفی است که برای nرو به افزایش به مقدار قابلیت اطمینان همگرا می‌شود (پیوست الف-۶-۱۱).

پارامترهای عملکرد[13] و همچنین قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، آمادگی و ایمنی باید طی طراحی و تکوین[14] گنجانده شوند و طی تولید و بهره‌برداری از یک قلم حفظ شوند. پس از معرفی برخی وجوه مهم در بخش ۱-۲، بخش ۱-۳ تکالیف و قواعد پایه را برای تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان تجهیزات و سیستم‌های پیچیده‌ی دارای الزامات کیفیت و قابلیت اطمینان بالا ارائه می‌دهد (برای فهرستی جامع از تعاریف به پیوست الف-۱ و برای اصلاح وجوه مدیریت به پیوست‌های الف-۲ تا الف-۵ مراجعه کنید).

۱-۲ مفاهیم پایه

دراین بخش مفاهیم مهم مورد استفاده درمهندسی قابلیت اطمینان معرفی شده و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود (برای فهرست کامل‌تر مفاهیم به پیوست الف۱ مراجعه کنید).

۱-۲-۱ قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان که اغلب با R نمایش داده می‌شود، ویژگی یک قلم است و به صورت زیر بیان می‌شود: احتمال این‌که قلم در شرایط معین و برای بازه‌ی زمانی بیان شده، وظیفه‌ی الزام شده‌ی[15] خود را انجام دهد. از نقطه نظر کیفی قابلیت اطمینان را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: قابلیت قلم برای اینکه بتواند وظیفه خود را حفظ کند. از نظر کمّی، قابلیت اطمینان، «احتمال عدم رخ داد قطع در حین بهره‌برداری» را طی یک بازه زمانی بیان شده، مشخص می‌کند. این امر بدین معنا نیست که قطعات یا قسمت‌های ردوندانت خراب نخواهند شد، بلکه چنین قسمت‌هایی می‌توانند (بدون قطع در حین بهره‌برداری در سطح قلم یا سیستم) خراب

12-Observed Failure-Free Time
13 -Performance
14-Design and Development
15-Required Function

شده و تعمیر شوند. از این رو مفهوم قابلیت اطمینان هم برای قلم‌های قابل تعمیر (فصل۶) کاربرد دارد و هم برای قلم‌های غیرقابل تعمیر (فصل۲).

فصل دوم: تحلیل قابلیت اطمینان طی فاز طراحی (قلم‌های غیرقابل تعمیر تا وقوع خرابی سیستم)

قابلیت اطمینان طی طراحی و تکوین تجهیزات و سیستم‌های پیچیده در کشف و حذف هر چه سریع‌تر ضعف‌های قابلیت اطمینان و انجام مطالعات مقایسه‌ای اهمیت دارد. چنین بررسی‌ای شامل تحلیل نرخ وقوع خرابی و مُد وقوع خرابی، تصدیق پیروی از رهنمودهای طراحی و همکاری در بازنگری‌های طراحی است. این فصل روش‌ها و ابزارهایی برای تحلیل نرخ وقوع خرابی و مُد وقوع خرابی تجهیزات و سیستم‌های پیچیده‌ای ارائه می‌کند که غیرقابل تعمیر (وقوع خرابی تا سیستم) در نظر گرفته می‌شوند. پس از مقدمه‌ای کوتاه (بخش ۲-۱)، بخش ۲-۲ به ساختارهای سری موازی پرداخته می‌شود. ساختارهای پیچیده، عناصری با بیش از یک مد وقوع خرابی و مدل‌های موازی با شراکت در بارگذاری در بخش ۲-۳ مورد بررسی قرار می‌گیرند. تخصیص قابلیت اطمینان در بخش ۲-۴ معرفی می‌شود. تحلیل تنش / استقامت و رانش در بخش ۲-۵ مورد بحث قرار می‌گیرد. بخش ۲-۶ به تحلیل مُد وقوع خرابی و تحلیل علت و معلولی می‌پردازد. بخش ۲-۷ یک فهرست وارسی برای جنبه‌های قابلیت اطمینان در بازنگری‌های طراحی ارائه می‌دهد. قابلیت نگهداری در فصل ۴ و سیستم‌های قابل تعمیر در فصل ۶ (شامل سیستم‌های پیچیده که نمودار بلوکی قابلیت اطمینان برای آن‌ها وجود ندارد، کلیدزنی ناقص، پوشش ناقص، وقوع خرابی‌ها با علت مشترک، سیستم‌های دارای توانایی پیکرسازی مجدد و همچنین مقدمه‌ای بر شبکه‌های پتری، درخت خرابی پویا و تحلیل با کمک رایانه) بررسی می‌شوند. رهنمودهای طراحی در فصل ۵، آزمون‌های احراز شرایط در فصل ۳ و آزمون‌های قابلیت اطمینان در فصل‌های ۷ و ۸ ارائه شده‌اند. اصول نظری برای این فصل در پیوست الف۶ آمده است.

۲-۱ مقدمه

قسمت مهمی از تحلیل قابلیت اطمینان طی طراحی و تکوین تجهیزات و سیستم‌های پیچیده به بررسی نرخ وقوع خرابی و مد وقوع خرابی و همچنین تصدیق پیروی از رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان می‌پردازد. تحلیل مد وقوع خرابی و تحلیل علت و معلول در بخش ۲-۶ بررسی می‌شود. رهنمودهای طراحی در فصل ۵ ارائه می‌شوند. بخش‌های ۲-۲ تا ۲-۵ به تحلیل نرخ وقوع خرابی اختصاص یافته‌اند. بررسی نرخ وقوع خرابی تجهیزات و سیستم‌های پیچیده به محاسبه‌ی قابلیت اطمینان پیش‌بینی شده می‌انجامد، یعنی قابلیت اطمینانی که از ساختار قلم و قابلیت اطمینان عناصرش محاسبه می‌شود. این پیش‌بینی برای کشف زودهنگام ضعف‌های قابلیت

اطمینان، بررسی‌های مقایسه‌ای، بررسی آمادگی که به قابلیت نگهداری و پشتیبانی لجستیکی می‌پردازد و تعریف اهداف قابلیت اطمینان کمی برای پیمان کاران ضروری است. با این حال، به دلایل مختلف عدم قطعیت‌ها، قابلیت اطمینان پیش‌بینی شده اغلب تنها می‌تواند با درستی محدودی ارائه شود. موارد زیر به این عدم قطعیت‌ها تعلق دارند:

- ساده‌سازی در مدل سازی ریاضیاتی (عناصر مستقل، وقوع خرابی‌های کامل و ناگهانی، عدم وجود نقص طی طراحی و تولید، عدم وجود آسیب)؛
- بررسی ناکافی خرابی‌ها به دلیل واسط داخلی و خارجی (کلید زنی، گذراها، ظرفیت الکترومغناطیسی و غیره)؛
- نادرستی‌ها در داده‌های مورد استفاده برای محاسبه‌ی نرخ‌های وقوع خرابی قطعات.

از سوی دیگر، قابلیت اطمینان واقعی یک قلم را می‌توان تنها با آزمون‌های قابلیت اطمینان تعیین نمود که اغلب در آزمون‌های احراز شرایط نمونه‌ی اولیه اجرا می‌شوند، یعنی در مراحل بعدی فاز طراحی و تکوین. کاربردهای عملی نیز نشان داده‌اند که با محاسبات یک مهندس قابلیت اطمینان با تجربه، نرخ وقوع خرابی پیش‌بینی شده در سطح تجهیزات یا سیستم اغلب مطابقت معقول و خوبی (با ضریب ۲) با داده‌های میدانی دارد. به علاوه مقادیر نسبی که از مطالعات مقایسه‌ای بدست می‌آیند عموماً از درستی بسیار بیشتری نسبت به مقادیر مطلق برخوردارند. تمام این علل از تلاش‌هایی برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان طی طراحی تجهیزات و سیستم‌ها با اهداف قابلیت اطمینان مشخص شده پشتیبانی می‌کنند.

جدا از ملاحظات نظری که در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار می‌گیرند، هنگام طراحی تجهیزات یا سیستم‌های قابلیت اطمینان، جنبه‌های عملی نیز باید در نظر گرفته شوند، مثلاً با توجه به شرایط بهره‌برداری و تأثیر متقابل بین عناصر (ورودی/خروجی، شراکت در بارگذاری، تأثیرات وقوع خرابی‌ها، گذراها و غیره). امکانات عینی برای بهبود قابلیت اطمینان به ترتیب عبارتند از:

- کاهش تنش‌های دمایی، الکتریکی و مکانیکی؛
- واسط‌گذاری صحیح[۱۶] قطعات و مواد؛
- ساده‌سازی طراحی و ساخت؛
- استفاده از قطعات و موادی با کیفیت بهتر؛
- حفاظت در برابر تخلیه الکترواستاتیک[۱۷] و تداخل الکترواستاتیک[18]؛
- غربال‌گری قطعات و مجموعه‌های بحرانی؛ و
- استفاده از ردوندانسی

16-Correct interfacing
17-Electromagnetic Interference (EMI)
18-Electromagnetic interference (EMI)

فصل سوم: آزمون‌های احراز شرایط برای قطعات و مجموعه‌ها

قطعات، مواد و مجموعه‌ها بر کیفیت و قابلیت اطمینان تجهیزات و سیستم‌هایی که در آن‌ها به کار می‌روند، تأثیر زیادی دارند. انتخاب و احراز شرایط آن‌ها باید به دقت توسط فناوری‌های جدید یا طراحی‌های مجدد مهم به صورت مورد به مورد در نظر گرفته شود. علاوه بر هزینه و موجود بودن در بازار، معیارهای مهم انتخاب عبارت‌اند از کاربرد مورد نظر، فناوری، کیفیت، رفتار دراز مدت پارامترهای مرتبط و قابلیت اطمینان. آزمون احراز شرایط شامل تعیین ویژگی‌ها در تنش‌های مختلف (مثلاً تنش‌های الکتریکی و گرمایی برای قطعات الکترونیک)، آزمون‌های محیطی، آزمون[19]های قابلیت اطمینان و تحلیل وقوع خرابی است. این فصل پس از ارائه‌ی ملاحظاتی در مورد معیارهای انتخاب قطعات الکترونیک (بخش ۳-۱)، به آزمون‌های احراز شرایط برای مدارهای یکپارچه‌ی پیچیده (بخش ۳-۲) و مجموعه‌های الکترونیک (بخش ۳-۴) می‌پردازد و در مورد وجوه اساسی مدها، مکانیزم‌ها و تحلیل وقوع خرابی قطعات الکترونیک بحث می‌کند (بخش ۳-۳). روش‌های اجرایی ارائه شده در این فصل را می‌توان به قطعات و مواد غیر الکترونیک نیز تعمیم داد. خصوصیات فناورانه اساسی مربوط به قابلیت اطمینان قطعات الکترونیک در پیوست الف-۱۰ خلاصه شده‌اند. آزمون‌های آماری در فصل ۷، راهبردهای آزمون و غربال‌گری در فصل ۸ و رهنمودهای طراحی در فصل ۵ ارائه شده‌اند.

۳-۱ معیارهای اساسی انتخاب قطعات الکترونیک

چنان‌که در بخش ۲-۲ (معادله‌ی ۲-۱۸) گفته شد، نرخ وقوع خرابی تجهیزات و سیستم‌های بدون ردوندانسی مجموع نرخ‌های وقوع خرابی عناصر آن‌ها است. بنابراین برای تجهیزات یا سیستم‌های بدون ردوندانسی، تنها با انتخاب قطعات و موادی با نرخ‌های وقوع خرابی به قدر کافی پایین، می‌توان به قابلیت اطمینان بالا دست یافت. اطلاعات مفید برای چنین انتخابی عبارت است از:

۱. کاربرد مورد نظر، به ویژه وظیفه‌ی الزامی، شرایط محیطی و همچنین اهداف قابلیت اطمینان و ایمنی.

۲. خصوصیات خاص قطعات یا مواد مورد نظر (حدود فناورانه، عمر مفید، رفتار دراز مدت پارامترهای مرتبط و غیره)

19-Test

۳. احتمال آزمون‌های تسریع شده.
۴. نتایج آزمون‌های احراز شرایط روی قطعات یا مواد مشابه.
۵. تأثیر غربال‌گری، تجربیات بهره‌برداری میدانی.
۶. تأثیر کاهش نرخ اسمی.
۷. مشکلات احتمالی طراحی (حساسیت پارامترهای عملکرد، مشکلات واسط، ظرفیت الکترومغناطیسی و غیره).
۸. محدودیت‌ها به دلیل استاندارد سازی یا وجوه لجستیک.
۹. مشکلات احتمالی تولید (مونتاژ، آزمون، جابه‌جایی، انبارش و غیره).
۱۰. ملاحظات خریداری (هزینه، زمان تحویل، منابع ثانویه، آمادگی درازمدت، سطح کیفیت).
از آنجا که بسیاری از الزامات فوق با یکدیگر در تناقض هستند، انتخاب قطعات اغلب منجر به سازش می‌شود. در ذیل بحثی مختصر در مورد مهم‌ترین وجوه در انتخاب قطعات الکترونیک ارائه شده است.

۱-۱-۳ـ محیط

شرایط محیطی تأثیر زیادی بر وظیفه‌مندی و قابلیت اطمینان قطعات تجهیزات و سیستم‌های الکترونیک دارند. شرایط محیطی در استانداردهای بین‌المللی [۳-۸] تعریف شده‌اند. چنین استانداردهایی حدود تنش و شرایط آزمون و غیره را برای موارد زیر مشخص می‌کنند:
گرما (نرخ حالت پایدار تغییر دما)، سرما، رطوبت، رسوب (باران، برف، تگرگ)، تابش (خورشیدی، گرما، یون ساز)، نمک، شن، غبار، سر و صدا، ارتعاش (سینوسی، تصادفی)، شوک، سقوط، تسریع
ترکیبات متعددی از تنش‌ها نیز تعریف شده‌اند، مثلاً:
دما و رطوبت، دما و ارتعاش، رطوبت و ارتعاش.
تمام ترکیبات تنش‌ها مرتبط نیستند و با ترکیب تنش‌ها، یا در تعریف ترتیب‌های تنش‌ها، باید دقت شود تا از فعال‌سازی مکانیزم‌های وقوع خرابی که در میدان وجود ندارند، اجتناب شود.
شرایط محیطی در سطح تجهیزات و سیستم با کاربرد ارائه می‌شوند. این شرایط از حالت شدید، مانند هوافضا و میدان‌های دفاعی (با دماهای پیرامونی شدیداً بالا یا پایین، رطوبت نسبی ٪۱۰۰، تغییرات دمایی سریع، ارتعاش، شوک و تداخل بالای الکترومغناطیسی) تا حالت مطلوب مانند اتاق‌های رایانه (با خنک کردن اجباری در دمای ثابت و بدون تنش مکانیکی) گسترده شده‌اند.
استانداردهای بین‌المللی را می‌توان برای ثابت کردن شرایط محیطی نماینده برای کاربردهای بسیاری، مثلاً IEC60721 [۳-۸] به کار برد.جدول ۳-۱ مثال‌هایی از شرایط آزمون محیطی را برای تجهیزات و سیستم‌های الکترونیکی/ الکترومکانیکی ارائه می‌دهد.

فصل چهارم: تحلیل قابلیت نگهداری

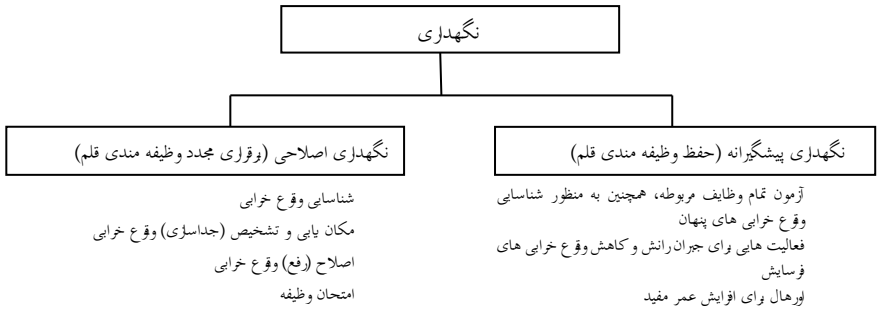
قابلیت نگهداری در سطح تجهیزات و سیستم، تأثیر زیادی بر قابلیت اطمینان و آمادگی دارد. این امر خصوصاً زمانی که ردوندانسی پیاده شده باشد و قطعات ردوندانت باید به صورت برخط، یعنی بدون مداخله بهره‌برداری در سطح سیستم تعمیر شوند، صدق می‌کند. لذا قابلیت نگهداری، پارامتر مهمی در بهینه‌سازی آمادگی و هزینه‌ی چرخه‌ی عمر است. دستیابی به قابلیت نگهداری بالا در تجهیزات و سیستم‌های پیچیده، مستلزم فعالیت‌های مناسبی است که باید در مراحل اولیه‌ی فاز طراحی و تکوین آغاز و با راهکار نگهداری هماهنگ شوند. شناسایی وقوع خرابی و جداسازی (آزمون‌های توکار)، پارتیشن‌بندی تجهیزات یا سیستم (تا حد امکان) به واحدهای مستقل با قابل تعویض در خط[20] و پشتیبانی لجستیکی به این راهکار تعلق دارند. راهکار نگهداری را باید با تجهیزات یا سیستم مورد نظر سازگار نمود.

پس از بیان برخی مفاهیم اساسی (بخش ۴-۱)، بخش ۴-۲ به راهکار نگهداری برای تجهیزات و سیستم‌های پیچیده می‌پردازد. بخش ۴-۳ وجوه قابلیت نگهداری را در بازنگری‌های طراحی بررسی می‌کند و بخش ۴-۴ مدل‌ها و ابزاری برای پیش‌بینی قابلیت نگهداری ارائه می‌کند. تهیه و تدارک قطعات یدکی در بخش ۴-۵، راهبردهای تعمیر در بخش ۴-۶ و بهینه‌سازی هزینه در بخش ۴-۷ بررسی شده‌اند. رهنمودهای طراحی برای قابلیت نگهداری در بخش ۵-۲ ارائه شده‌اند. تأثیر نگهداری پیشگیرانه، سوئیچینگ ناقص و پوشش ناکامل بر قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم، در بخش ۶-۸ بررسی شده است. برای سادگی، از تعمیر به عنوان مترادفی برای توان‌یابی[21] استفاده شده است.

۴-۱- نگهداری، قابلیت نگهداری

نگهداری تمام فعالیت‌هایی که برای حفظ قلم در حالتی مشخص یا توان‌یابی آن به حالتی مشخص، بر روی قلم انجام می شوند را تعریف می‌کند. بدین ترتیب نگهداری شامل موارد زیر است: نگهداری پیشگیرانه که در بازه‌های از پیش تعیین شده، مطابق روش‌های اجرایی تجویز شده، برای کاهش احتمال وقوع خرابی یا تنزل وظیفه‌مندی یک قلم انجام می‌شود و نگهداری اصلاحی که پس از شناسایی وقوع خرابی آغاز شده و قصد دارد قلم را به حالتی ببرد که دوباره

20-Line replaceable unit
21-Restoration



(i) ش

کل ۴-۱ تکالیف نگهداری (وقوع خرابی را می‌توان با خرابی که شامل عیوب و وقوع خرابی است تعویض کرد).

بتواند وظیفه‌ی الزامی خود را اجرا کند (شکل ۴-۱). همچنین هدف نگهداری پیشگیرانه باید آشکارسازی و تعمیر وقوع خرابی‌های پنهان باشد، یعنی وقوع خرابی در عناصر ردوندانت. نگهداری اصلاحی، تعمیر (توان‌یابی) نیز نامیده می‌شود و می‌تواند هرکدام از مراحل زیر یا تمام آن‌ها را در بر داشته باشد:

شناسایی، مکان‌یابی و تشخیص (جداسازی)، اصلاح (دمونتاژ، رفع، تعویض، مونتاژ، تنظیم)، و امتحان وظیفه. برای سادگی، تعمیر از این به بعد به عنوان مترادفی برای توان‌یابی استفاده می‌شود. زمان سپری شده از شناسایی وقوع خرابی تا راه‌اندازی بعد از اصلاح وقوع خرابی، شامل تمام تأخیرهای لجستیکی (انتظار برای قطعات یا ابزار یدکی) برابر است با زمان تعمیر (زمان توان‌یابی). برای محاسبات اغلب، پشتیبانی لجستیکی به صورت ایده‌آل، یعنی بدون تأخیر لجستیکی، فرض می‌شود.

قابلیت نگهداری عبارت است از مشخصه‌ی یک قلم که با این احتمال بیان می‌شود: نگهداری پیشگیرانه (قابلیت خدمت‌رسانی) یا تعمیر (قابلیت تعمیر) قلم، درون بازه‌ی زمانی بیان شده، با روش‌های اجرایی و منابع داده شده، (تعداد و سطح مهارت کارکنان، قطعات یدکی، تسهیلات آزمون، پشتیبانی لجستیکی) اجرا خواهد شد. اگر τ' و τ'' زمان‌های (تصادفی) الزامی برای انجام تعمیر یا نگهداری پیشگیرانه باشند، در آن صورت

$\Pr\{\tau' \le x\} =$ قابلیت خدمت رسانی و $\Pr\{\tau'' \le x\} =$ قابلیت تعمیر (۴-۱)

فصل پنجم: رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار

قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار باید طی فاز طراحی و توسعه، به جزئی از تجهیزات و سیستم پیچیده بدل شوند. با بازرسی‌های تحلیلی (فصول ۲، ۴ و ۶) و همچنین رهنمودهای طراحی، باید از این امر پشتیبانی نمود. تبعیت از چنین رهنمودهایی، تأثیر جنبه‌هایی را که می‌توانند مدل‌های در نظر گرفته شده برای بازرسی‌های تحلیلی را باطل کنند، محدود می‌سازد و کمک بزرگی به ایجاد قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار می‌کند. این فصل، فهرست جامعی از رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار تجهیزات و سیستم‌های پیچیده‌ای ارائه می‌دهد که با نیازهای صنعت هماهنگ شده‌اند (۱ ـ ۲ (۱۹۹۶)).

۵ـ۱ـ رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان

تحلیل قابلیت اطمینان در فاز طراحی و تکوین (فصل ۲)، تخمینی از قابلیت اطمینان حقیقی یک قلم به دست می‌دهد که بر اساس مفروضاتی در ارتباط با داده‌های استفاده شده، مشکلات واسط، وابستگی میان قطعات، سازگاری میان مواد، تأثیرات محیطی، گذراها، ظرفیت الکترومغناطیسی، تخلیه الکترومغناطیسی و غیره و همچنین کیفیت ساخت و سطح مهارت کاربر می‌باشد. ملاحظه‌ی جامع تمامی این وجوه کار دشواری است. از رهنمودهای طراحی زیر می‌توان برای کاستن از ضعف‌های درونی و بهبودی قابلیت اطمینان ذاتی تجهیزات و سیستم‌های پیچیده استفاده نمود.

۵ـ۱ـ۱ ـ کاهش نرخ اسمی

تنش‌های گرمایی و الکتریکی تأثیر عمده‌ای بر نرخ وقوع خرابی قطعات الکترونیکی دارند. کاهش نرخ اسمی برای بهبود قابلیت اطمینان ذاتی تجهیزات و سیستم‌ها الزامی‌است. جدول ۵ ـ ۱، عوامل تنش (S) (معادله‌ی ۲ ـ ۱) توصیه شده برای استفاده در کاربردهای صنعتی را نشان می‌دهد (دمای محیط ۴۰ درجه سلسیوس، G_B, θ_A همانند (جدول ۲ ـ ۳). برای $\theta_A > ۴۰^{\circ}C$ $R_{S.}(t)$، کاهش بیشتری از S ضروری است و کلاً، به صورت خطی تا دمای حد است، همان‌گونه که در شکل ۲ ـ ۳ نشان داده شده است. مقادیر بسیار پایین S ($S < ۰/۱$) نیز می‌توانند مشکلاتی ایجاد کنند. از $S = ۰/۱$ می‌توان در بسیاری از موارد برای محاسبه‌ی نرخ وقوع خرابی در حالت آماده به خدمت یا حالت

خاموش استفاده کرد. به عنوان حساب سرانگشتی، $S \leq ۰/۵$ گزینه‌ی خوبی برای قابلیت اطمینان است.

فصل ششم: قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم‌های قابل تعمیر

تحلیل قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداری سیستم‌های قابل تعمیر، عموماً با استفاده از فرآیندهای احتمالاتی، شامل مارکوف، نیمه‌مارکوف، و فرآیندهای نیمه‌احیایی انجام می‌شود. بنیان ریاضی این فرآیندها در پیوست الف ـ۷ آمده است. معادلات استفاده شده برای بررسی مدل‌های مارکوف و نیمه‌مارکوف در جدول ۶ـ۲ خلاصه شده‌اند. این فصل به بررسی سیستماتیک اکثر مدل‌های قابلیت اطمینان می‌پردازد که در کاربردهای عملی با آن‌ها مواجه می‌شوید. ارقام قابلیت اطمینان در سطح سیستم دارای نشان Si (برای مثال $MTTF_{Si}$) هستند که S معرف سیستم و i حالت وارد شده در $t = ۰$ است (جدول ۶ـ۲). پس از بخش ۶ـ۱ (مقدمه، مفروضات، نتیجه‌گیری‌ها)، بخش ۶ـ۲ به بررسی ساختار یک قلمی تحت شرایط کلی می‌پردازد. بخش‌های ۶ـ۳ تا ۶ـ۶ به طور گسترده با ساختارهای سری، موازی، و سری موازی سروکار دارند. به منظور یکی کردن مدل‌ها و ساده نمودن محاسبات، فرض می‌شود که سیستم تنها یک گروه تعمیر دارد و هیچ وقوع خرابی دیگری در زمان حالت ناآماد سیستم اتفاق نمی‌افتد. تعمیم از نرخ‌های ثابت وقوع خرابی و تعمیر بین حالات پی‌درپی (فرآیندهای مارکوف) شروع شده و مرحله به مرحله (آغاز با نرخ‌های تعمیر) تا موردی انجام می‌شود که فرآیند دخیل، احیایی است و تعداد حداقلی حالت احیا دارد. عبارات تقریبی برای ساختارهای بزرگ سری موازی در بخش ۶ـ۷ بررسی شده‌اند. بخش ۶ـ۸، سیستم‌هایی با ساختار پیچیده را در نظر می‌گیرد که اغلب نمودار بلوکی قابلیت اطمینان برای آن‌ها وجود ندارد. بر اساس مثال‌های کاربردی، نگهداری پیشگیرانه، سوئیچینگ ناقص، پوشش ناکامل، عناصر دارای بیش از دو حالت، سیستم‌های فازی‌مأموریت، وقوع خرابی‌های به علت مشترک، و سیستم‌های قابل بازپیکربندی‌کلی مقاوم در برابر خرابی با وجوه پاداش و فراوانی/مدت زمان‌بررسی شده‌اند. یک روش اجرایی کلی برای ساختارهای پیچیده در بخش ۶ـ۸ـ۸ آمده است. بخش ۶ـ۹، روش‌های تحقیق و بررسی جایگزین (شبکه‌های پتری، تحلیل درخت خرابی پویا، تحلیل به کمک رایانه) را معرفی می‌کند و راهبرد مونت‌کارلوی مفیدی برای رخدادهای نادر ارائه می‌دهد. حالت مجانبی و حالت پایدار، به عنوان مترادفی برای مانا(ص.۵۸۸) به کار رفته است. نتایج در جداول خلاصه شده‌اند. مثال‌های منتخب، وجوه عملی را نمایش می‌دهند.

۶ـ۱ـ مقدمه، مفروضات کلی، نتیجه‌گیری‌ها

تحقیق و بررسی رفتار زمانی سیستم‌های قابل تعمیر، طیف وسیعی از فرآیندهای احتمالاتی، از فرآیندهای ساده‌ی پواسون از طریق فرآیندهای مارکوف و نیمه‌مارکوف، تا فرآیندهای احیایی پیچیده با تنها یک یا چند حالت احیا را در بر می‌گیرد. فرآیندهای غیراحیایی به دلیل دشواری‌های ریاضیاتی، به ندرت در نظر گرفته می‌شوند. موارد مهم در انتخاب طبقه‌ی فرآیندهای یکه قرار است مورد استفاده قرار گیرند، توابع توزیع برای زمان‌های عاری از وقوع خرابی و تعمیر دخیل در فرآیند است. اگر نرخ‌های وقوع خرابی و تعمیر تمام عناصر سیستم، طی زمان مانا در هر حالت، ثابت باشند (در تغییر حالت ضروری نیست، برای مثال به خاطر شراکت بار)، فرآیند دخیل، یک فرآیند مارکوف (همگن زمانی) با تعداد محدود و بسیاری از حالات است، که زمان ماند در هر حالت به صورت نمایی توزیع می‌شود. همین امر در صورتی که توزیع‌های ارلانگ رخ دهد نیز برقرار است (حالات تکمیلی، برای مثال به بخش ۶ـ۳ـ۳ مراجعه کنید). امکان تبدیل یک فرآیند احتمالاتی داده شده به فرآیند مارکوف با معرفی متغیرهای تکمیلی، در اینجا بررسی نشده است. تعمیم توابع توزیع برای زمان‌های تعمیر، به فرآیندهای نیمه‌احیایی منجر می‌شود، یعنی فرآیندهایی با فرآیند نیمه‌مارکوف تعبیه شده. این مسئله به خصوص زمانی برقرار است که سیستم تنها یک گروه تعمیر داشته باشد، چرا که هر پایان تعمیری، یک نقطه‌ی تجدید است (به خاطر نرخ‌های ثابت وقوع خرابی). توزیع‌های دلخواه زمان‌های تعمیر و عاری از وقوع خرابی، عموماً به فرآیندهای احتمالاتی غیراحیایی منجر می‌شود.

جدول ۶ـ۱، فرآیندهای استفاده شده در تحقیقات قابلیت اطمینان سیستم‌های قابل تعمیر را با امکان‌ها و محدودیت‌هایشان نشان می‌دهد. پیوست الف ـ۷، این فرآیندها را با تأکید ویژه بر روی کاربردهای قابلیت اطمینان معرفی می‌کند. تمامی معادلات ضروری برای محاسبات قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم‌های توصیف شده با فرآیندهای همگن زمانی مارکوف و نیمه‌مارکوف، در جدول ۶ـ۲ خلاصه شده‌اند.

در کنار مفروضات درباره‌ی توابع توزیع دخیل برای زمان‌های عاری از وقوع خرابی و تعمیر، محاسبات قابلیت اطمینان و آمادگی، شدیداً تحت تأثیر راهبرد نگهداری، پشتیبانی لجستیکی، نوع ردوندانسی و وابستگی بین عناصر قرار دارند. وجود یک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان، در بخش‌های ۶ـ۲ تا ۶ـ۷ و نه به طور ضروری در بخش‌های ۶ـ۸ و ۶ـ۹ فرض شده است. نتایج به صورت توابعی از زمان با حل سیستم‌های مناسبی از معادلات دیفرانسیلی (یا انتگرالی) بیان شده‌اند و یا به وسیله‌ی زمان متوسط به آمادگی نقطه‌ای وقوع خرابی یا حالت پایدار در سطح ردوندانسی، عموماً فرض می‌شود که عناصر ردوندانت بدون مداخله‌ی عملیاتی در سطح سیستم، تعمیر خواهند شد.

فصل هفتم: کنترل کیفیت آماری و آزمون‌های قابلیت اطمینان

کنترل کیفیت آماری و آزمون‌های قابلیت اطمینان برای برآورد یا اثبات عملی ویژگی‌های کیفیت و قابلیت اطمینان بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از آزمون‌های نمونه‌گیری انجام می‌شوند. برآورد منجر به برآورد نقطه‌ای با بازه‌ای می‌شود (که در این کتاب با ^ نشان داده می‌شود). اثبات عملی، آزمونی از فرضی معین در مورد یک ویژگی نامعلوم است. برآورد و اثبات عملی احتمالی نامعلوم برای مورد احتمال معیوب بودن (p) در بخش ۷-۱ و برای برخی ارقام قابلیت اطمینان در بخش ۷-۲-۱بررسی می‌شوند. روش‌های اجرایی برای برآورد آمادگی و اثبات عملی برای مورد بهره‌برداری پیوسته در بخش ۷-۲-۲- ارائه شده‌اند. برآورد و اثبات عملی نرخ وقوع خرابی ثابت (λ) (یا MTBF برای مورد $MTBF = 1/\lambda$) به طور عمیق در بخش ۷-۲-۳ مورد بحث قرار گرفته‌اند. مورد MTTR در بخش ۷-۳ بررسی شده است. مدل‌های پایه برای آزمون‌های تسریع شده در بخش ۷-۴ مورد بحث قرار می‌گیرند. آزمون‌های نکویی برازش بر اساس روش‌های اجرایی گرافیکی و تحلیلی در بخش ۷-۵ خلاصه شده‌اند. برخی ملاحظات در مورد تحلیل داده‌های قابلیت اطمینان کلی با آزمونی روی فرآیندهای پواسون ناهمگن و آزمون‌های روند در بخش ۷-۶ ارائه شده‌اند. مدل‌های رشد قابلیت اطمینان در بخش ۷-۷ معرفی شده‌اند. به منظور ساده‌کردن نوشتار، نمونه به جای نمونه‌ی تصادفی مورد استفاده قرار گرفته است و اندیس‌های S که به سیستم اشاره می‌کنند، در این فصل حذف شده‌اند (MTBF به جای $MTBF_{SO}$ و λ یا PA به جای λ_S یا PA_S). بنیادهای نظری این فصل در پیوست الف-۸ ذکر شده‌اند. مثال‌های انتخاب شده وجوه عملی را نشان می‌دهند.

۷-۱ کنترل کیفیت آماری

یکی از مقاصد اصلی کنترل کیفیت آماری استفاده از آزمون‌های نمونه‌گیری برای برآورد یا اثبات عملی احتمال معیوب بودن (p) یک قلم معین با درستی مورد نیاز و اغلب بر اساس آزمون‌های با استفاده از خصوصیات (یعنی آزمون‌های نوع خوب/بد) است. با این حال، در نظر گرفتن p به عنوان احتمالی نامعلوم، میدان وسیع‌تری از کاربردها را می‌توان با همین روش‌ها پوشش داد. تکالیف دیگر، مانند آزمون با متغیرها و کنترل فرآیندهای آماری [۷-۱ تا ۷-۵] از این به بعد در نظر گرفته نمی‌شوند.

در این بخش، p به عنوان احتمال معیوب بودن (کسری از قلم‌های معیوب) در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود که p برای هر عنصر در نمونه‌ی در نظر گرفته شده یکسان است و هر عنصر نمونه

به طور آماری مستقل از بقیه‌ی عناصر است. این مفروضات از پیش فرض می‌کنند که بهر همگن و بسیار بزرگ‌تر از نمونه است. این مفروضات همچنین استفاده از توزیع دوجمله‌ای را ممکن می‌سازند (پیوست الف-۱۰-۷).

۷-۱-۱ برآورد احتمال معیوب بودن(p)

n را اندازه‌ی نمونه‌ی (تصادفی) از بهر همگن بزرگی در نظر بگیرید. اگر تعداد k قلم معیوب درون نمونه‌ی با اندازه‌ی n مشاهده شود، در آن صورت:

$$\hat{p} = \frac{k}{n} \qquad (۷_۱)$$

برابر است با برآورد نقطه‌ای احتمال بیشینه احتمال معیوب بودن (p) برای قلمی در بهر مورد نظر، به معادله‌ی الف-۸-۲۹ مراجعه کنید. برای سطح اطمینان معین $(\gamma = ۱ - \beta_۱ - \beta_۲ (۰ < \beta_۱ < ۱ - \beta_۲ < ۱)$، حد پایینی $(\hat{p}_l)$ و بالایی $(\hat{p}_u)$ بازه‌ی اطمینانِ p را می‌توان از عبارت زیر به دست آورد

$$\sum_{i=۰}^{k} \binom{n}{i} \hat{p}_u^i (۱ - \hat{p}_u)^{n-i} = \beta_۱ \qquad \text{و} \qquad \sum_{i=k}^{n} \binom{n}{i} \hat{p}_l^i (۱ - \hat{p}_l)^{n-i} = \beta_۲ \qquad (۷_۲)$$

برای $۰ < k < n$ و از

$$\hat{p}_l = ۰ \quad , \quad \hat{p}_u = ۱ - \sqrt[n]{\beta_۱} \quad \text{برای} \quad k = ۰ \quad (\gamma = ۱ - \beta_۱), \qquad (۷_۳)$$

یا از

$$\hat{p}_l = \sqrt[n]{\beta_۲} \quad , \quad \hat{p}_u = ۱ \quad \text{برای} \quad k = n \quad (\gamma = ۱ - \beta_۲), \qquad (۷_۴)$$

به معادلات الف-۸-۳۷ تا الف-۸-۴۰ و توضیحات آمده در آنجا مراجعه کنید. β_1 ریسک این است که مقدار واقعی p بزرگ‌تر از $\hat{p}_u$ باشد و β_2 ریسک این است که مقدار p کوچک‌تر از $\hat{p}_l$ باشد. سطح اطمینان تقریباً با $\gamma = ۱ - \beta_۱ - \beta_۲$ برابر است (اما کم‌تر از آن نیست). می‌توان آن را فراوانی نسبی مواردی در نظر گرفت که در آن‌ها، بازه‌ی $[\hat{p}_l, \hat{p}_u]$ با مقدار واقعی p، در سری‌های رو به افزایشی از تکرارهای آزمایش نمونه‌گیری تصادفی اندازه‌ی n، هم‌پوشانی دارد (آن را پوشش می‌دهد).

در بسیاری از کاربردهای عملی، تعیین گرافیکی $\hat{p}_l$ و $\hat{p}_u$ کافی است. از دیاگرام بالایی شکل ۷-۱ می‌توان برای $\beta_۱ = \beta_۲ = ۰/۰۵$ ، $\beta_۱ = \beta_۲ = ۰/۱$ و از دیاگرام پایینی استفاده نمود (به ترتیب $\gamma = ۰/۹, \gamma = ۰/۸$). خطوط پیوسته در شکل ۷-۱، محفظه‌های توابع پلکانی (k، عدد صحیح n) به دست آمده با معادله‌ی ۷-۲ هستند.

فصل هشتم: تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان طی فاز تولید (ملاحظات اساسی)

تضمین قابلیت اطمینان باید طی فاز تولید ادامه یابد و با دیگر فعالیت‌های تضمین کیفیت به ویژه برای پایش و کنترل فرآیندهای تولید، پیکربندی قلم، آزمون‌های درون فرآیند و نهایی، روش‌های اجرایی غربال‌گری و جمع‌آوری، تحلیل و اصلاح عیوب و وقوع خرابی‌ها هماهنگ شود. آخرین اقدام به یک فرآیند یادگیری منجر می‌شود که هدف آن بهینه‌سازی کیفیت ساخت، با در نظر گرفتن محدودیت‌های هزینه و برنامه‌ی زمانی است. این فصل برخی جنبه‌های اساسی تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان را طی تولید معرفی می‌کند، در مورد آزمون و روش‌های اجرایی غربال‌گری برای قطعات و مجموعه‌های الکترونیک بحث می‌کند، مفهوم بهینه‌سازی هزینه را در ارتباط با راهبرد آزمون مطرح می‌کند و آن را برای یک آزمون با هزینه‌ی بهینه‌سازی شده و راهبرد غربال‌گری در بازرسی ورودی تکوین می‌نماید. برای جزئیات بیشتر در مورد احراز شرایط و پایش فرآیندهای تولید می‌توانید به [۷-۱ تا ۷-۵، ۸-۱ تا ۸-۱۵] مراجعه کنید. مدل‌های رشد قابلیت اطمینان در بخش ۷-۷ مورد بحث قرار می‌گیرند.

۸-۱ فعالیت‌های اساسی

سطح کیفیت و قابلیت اطمینان کسب شده طی فاز طراحی و تکوین باید طی تولید (تولید نمونه و سری) حفظ شود. فعالیت‌های اساسی زیر از این مقصود پشتیبانی می‌کنند:

۱. مدیریت پیکربندی قلم (بازنگری و ترخیص مستندات تولید، کنترل و حسابداری تغییرات و تعدیلات).
۲. انتخاب و احراز شرایط تسهیلات و فرآیندهای تولید.
۳. پایش و کنترل روش‌های اجرایی تولید (سر هم کردن، آزمون، حمل و نقل، انبارش و غیره).
۴. حفاظت در مقابل آسیب طی تولید (تخلیه‌ی بار الکترواستاتیک، تنش‌های مکانیکی، گرمایی یا الکتریکی).

۵. جمع‌آوری، تحلیل و اصلاح سیستماتیک عیوب و وقوع خرابی‌هایی که طی تولید یا آزمون قلم رخ می‌دهند (بازگشت به دلیل ریشه‌ای).
۶. تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان طی تهیه و تدارک (مستندات، بازرسی ورودی، ممیزی‌های تأمین‌کننده).
۷. کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری و آزمون.
۸. اجرای آزمون‌های در فرآیند و نهایی (وظیفه‌ای و محیطی).
۹. غربال‌گری قطعات و مجموعه‌های بحرانی.
۱۰. تحقق راهبرد آزمون و غربال‌گری (بهینه‌سازی هزینه و برنامه‌ی زمانی برای آزمون و غربال‌گری).

مدیریت پیکربندی، پایش اقدامات اصلاحی و برخی وجوه مهم کنترل کیفیت آماری و آزمون‌های قابلیت اطمینان در بخش‌های ۱-۳، فصل ۷ و پیوست‌های الف-۳ تا الف-۵ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بخش‌های زیر، روش‌های اجرایی آزمون و غربال‌گری را برای قطعات و مجموعه‌های الکترونیک ارائه می‌دهند، مفهوم راهبرد آزمون و غربال‌گری را معرفی می‌کنند و آن را برای یک آزمون با هزینه‌ی بهینه‌سازی شده و راهبرد غربال‌گری در بازرسی ورودی تکوین می‌نمایند. گرچه ملاحظات زیر روی سیستم‌های الکترونیک تمرکز دارند، اما بسیاری از آن‌ها در سیستم‌های مکانیکی نیز قابل کاربرد هستند. برای جزئیات بیشتر در مورد احراز شرایط و پایش فرآیندهای تولید می‌توانید به [۷-۱ تا ۷-۵، ۸-۱ تا ۸-۱۵] مراجعه کنید (برای قابلیت اطمینان به بخش ۷-۷ نیز مراجعه کنید).

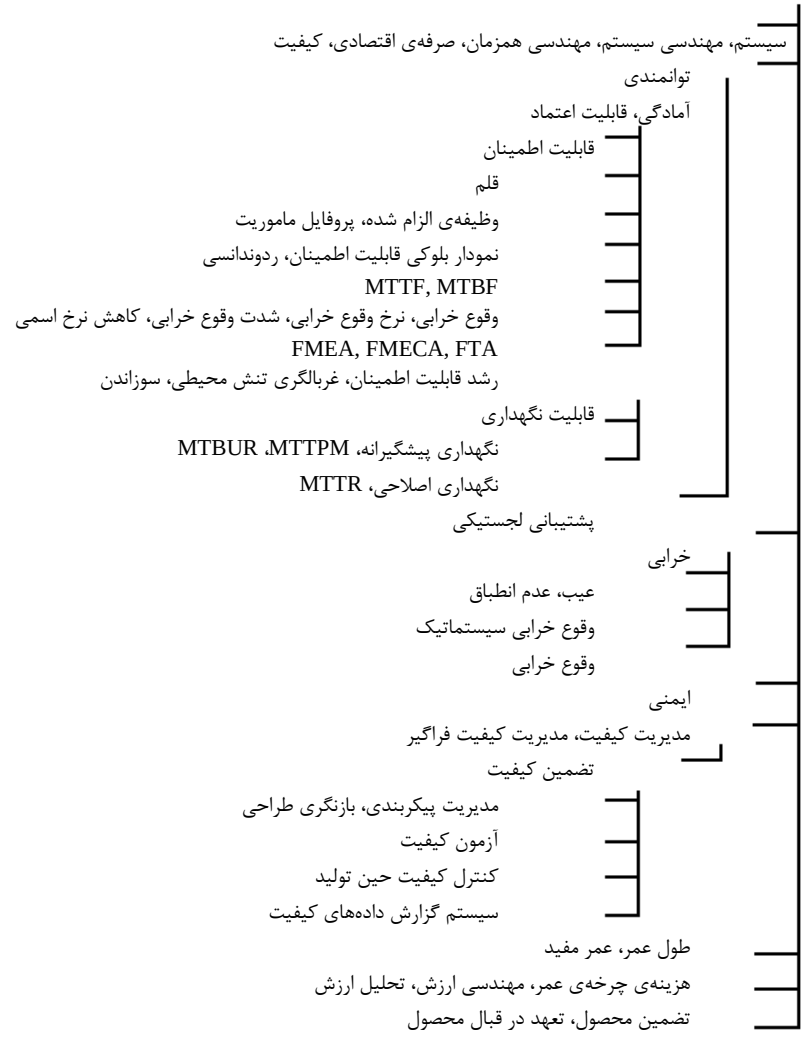
۸-۲ آزمون و غربال‌گری قطعات الکترونیک

۸-۲-۱ آزمون قطعات الکترونیک

امروزه اکثر قطعات الکترونیک تنها به صورت نمونه‌گیری توسط کاربر نهایی مورد آزمون قرار می‌گیرند. طرح‌های نمونه‌گیری برای آن که مقرون به‌صرفه باشند بایستی تلاش تضمین کیفیت توسط سازنده‌ی قطعات، به ویژه اطمینانی را که می‌توان برای داده‌های تهیه شده توسط سازنده قائل شد، در نظر بگیرند. در موارد بحرانی، نمونه بایستی به قدر کافی بزرگ باشد تا پذیرش بیش از ۲ جزء معیوب را ممکن سازد (بخش‌های ۷-۱-۳، ۳-۱-۴). بازرسی ورودی ٪۱۰۰، ممکن است برای قطعات به کار رفته در تجهیزات و سیستم‌های دارای قابلیت اطمینان و/یا ایمنی بالا، قطعات جدید، اجزائی با تغییرات مهم در طراحی یا ساخت یا برای برخی قطعات بحرانی مانند نیمه‌رساناهای برقی، آی‌سی‌های دارای سیگنال مخلوط و آی‌سی‌های منطقی پیچیده‌ی به کار رفته در حدود پارامترهای پویای آن‌ها، ضرورت داشته باشد.

پیوست الف-۱: اصطلاحات و تعاریف

این پیوست اصطلاحاتی که بیشترین کاربرد را در مهندسی قابلیت اطمینان دارند، تعریف می‌کند و درباره‌ی آن‌ها توضیح می‌دهد (شکل الف-۱-۱). جدول ۵-۴، این پیوست را به کیفیت نرم‌افزار بسط می‌دهد (همچنین به الف-۱-۵ مراجعه کنید). برای هم سویی با استانداردهای بین‌المللی (ISO, IEC) و روندهای اخیر (الف-۱-۱ تا الف-۱-۸) دقت شده است



شکل الف-۱-۱ اصطلاحاتی که بیشترین کاربرد را در مهندسی قابلیت اطمینان دارند

آمادگی، آمادگی نقطه‌ای[۲۲] (A(t)، PA(t))

احتمال اینکه قلم در یک لحظه‌ی زمانی معین، در حالتی است که می‌تواند وظیفه‌ی الزام شده را انجام دهد.

توجه- اغلب اصطلاح «آمادگی لحظه‌ای[۲۳]» استفاده می‌شود. برای اجتناب از سردرگمی با انواع دیگر آمادگی (برای مثال آمادگی متوسط AA(t)، آمادگی مأموریت $MA(T_.,t_.)$ و آمادگی کار-مأموریت $WMA(T_.,x)$، که در بخش ۶-۲ به آن‌ها پرداخته شده است)، بایستی از استفاده از اصطلاح آمادگی اجتناب شود. همچنین یک تعریف کیفی، با تمرکز بر روی قابلیت، امکان‌پذیر می‌باشد. اصطلاح «قلم» به معنای واحدی ساختاری با پیچیدگی دلخواه می‌باشد. محاسبات معمولاً، بهره‌برداری را مداوم (قلم فقط برای تعمیر از کار می‌افتد)، نوسازی را در لحظه‌ی وقوع خرابی (در حد نو[۲۴] بعد از تعمیر) و عوامل انسانی و پشتیبانی لجستیکی را ایده‌آل فرض می‌کنند. برای یک قلم با بیش از یک عنصر، اصطلاح «در حد نو» بعد از تعمیر در این کتاب، به «عنصر تعمیر شده در نمودار بلوکی آمادگی»، اشاره دارد. این فرض برای کل قلم (سیستم)، فقط در صورتی‌که تمامی عناصر دارای نرخ‌های وقوع خرابی ثابت باشند، معتبر است. با فرض نوسازی برای کل قلم، مقدار مجانبی و پایدار آمادگی نقطه‌ای را می‌تواند به صورت ذیل بیان کرد:

PA = MTTF / (MTTF+MTTR)

PA نیز مقدار مجانبی و پلیدار آمادگی متوسط AA (که اغلب به صورت « آمادگی A» ارائه می‌شود) می‌باشد.

سوزاندن (برای قلم‌ها غیرقابل تعمیر)

نوعی از غربال‌گری که حین آن قلم تحت بهره‌برداری است.

توجه- برای دستگاه‌های الکترونیکی، تنش‌ها حین سوزاندن، اغلب دمای محیطی بالاتر ثابت (برای مثال ۱۲۵°C برای آی سی‌ها) و ولتاژ منبع بالاتر ثابت، می‌باشند. سوزاندن را می‌توان به عنوان قسمتی از «روش اجرایی غربال‌گری»، که بر مبنای ۱۰۰٪ و به منظور تحریک وقوع خرابی‌های اولیه و نیز به منظور تثبیت ویژگی‌های قلم، اجرا نمود. اغلب سوزلندن را می‌توان به عنوان «آزمون قابلیت اطمینان تسریع شده» برای تحقیق و بررسی نرخ وقوع خرابی قلم‌ها، استفاده کرد.

سوزاندن(برای قلم‌ها قابل تعمیر)

فرآیند افزایش قابلیت اطمینان سخت‌افزار با به‌کارگیری بهره‌برداری وظیفه‌ای تمام قلم‌ها در محیط تعیین شده با نگهداری اصلاحی طی دوره‌ی وقوع خرابی اولیه.

توجه- اصطلاح در حال کار اغلب معادل سوزاندن استفاده می‌شود. شرایط تنش باید تا حد امکان نزدیک به آن‌هایی که در «بهره‌برداری میدانی» انتظار می‌روند، انتخاب شوند. نقص‌های

22-Point Availability
23-Instantaneous Availability
24-As good as new

یافت شده حین سوزاندن طی تولید اولیه (رشد قابلیت اطمینان) می‌توانند قطعی[۲۵] باشند (عیوب یا وقوع خرابی‌های سیستماتیک)، ولی طی تولید انبوه این نقص‌ها فقط بایستی به «وقوع خرابی‌های اولیه» (که به طور تصادفی توزیع شده‌اند) نسبت داده شوند.

توانمندی

قابلیت برآورده نمودن یک تقاضای خدمت با ویژگی‌های کیفی معین تحت شرایط داخلی معین.

توجه- اصطلاح «عملکرد» (عملکرد فنی) اغلب معادل توانمندی استفاده می‌شود.

مهندسی همزمان

رویکرد سیستماتیک برای کاهش زمان تکوین، ساخت و عرضه قلم به بازار، اساساً با ادغام فعالیت‌های تولید با فعالیت‌های فاز طراحی و تکوین.

توجه- مهندسی همزمان از طریق کارگروهی شدید بین تمام مهندسان دخیل در طراحی، تولید و عرضه قلم‌ها به بازار، بدست می‌آید. این امر تأثیر مثبتی بر بهینه‌سازی هزینه‌ی چرخه‌ی عمر دارد.

مدیریت پیکربندی

روش اجرایی برای مشخص کردن، توصیف، ممیزی و ترخیص پیکربندی قلم، همچنین کنترل آن طی تعدیلات و تغییرات.

توجه- «پیکربندی» شامل تمام ویژگی‌های وظیفه‌ای و فیزیکی قلم همان‌طور که در مستندات (برای مشخص کردن، ساخت، آزمون، پذیرش، بهره‌برداری، نگهداری و پشتیبانی لجستیکی قلم) ارائه شده و در سخت‌افزار و/یا نرم‌افزار ارائه شده، می‌باشد. در کاربردهای عملی، تقسیم مدیریت پیکربندی به شناسایی، ممیزی، کنترل (بازنگری‌های طراحی) و محاسبه‌ی پیکربندی، مفید است. مدیریت پیکربندی طی فاز طراحی و تکوین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نگهداری اصلاحی[۲۶]

نگهداری اجرا شده بعد از وقوع خرابی برای توان‌یابی وظیفه‌ی الزام شده.

توجه- نگهداری اصلاحی همچنین به عنوان «تعمیر» شناخته می‌شود و می‌تواند شامل تمام یا برخی از گام‌های ذیل باشد: شناسایی، جداسازی (مکان‌یابی و تشخیص)، حذف یا برداشتن[۲۷] (دمونتاژ، برداشتن، جایگزینی، مونتاژ مجدد) و وارسی وظیفه. تعمیر در این کتاب به عنوان مترادف «توان‌یابی»[۲۸] استفاده می‌شود. برای ساده‌سازی محاسبات معمولاً فرض می‌شود که عنصر تعمیر شده در نمودار بلوکی قابلیت اطمینان، بعد از هر تعمیر (همچنین شامل یک غربال‌گری محتمل تنش محیطی قطعات یدکی) «در حد نو» می‌باشد. اگر تمام عناصر قلم (که

25-Deterministic
26-Corrective Maintenance
27-Removal
28-Restoration

نوسازی نشده‌اند) نرخ‌های وقوع خرابی (برای توضیحات بیشتر به نرخ وقوع خرابی مراجعه نمایید) ثابتی داشته باشند، این فرض به کل قلم (تجهیزات یا سیستم) اعمال می‌شود.

صرفه‌ی اقتصادی[۲۹]

مقیاس قابلیت قلم برای برآورده کردن یک تقاضای خدمت با ویژگی‌های کیفی معین همراه با بهترین سودمندی ممکن برای بهای تمام شده‌ی چرخه‌ی عمر[۳۰].

توجه- «اثربخشی سیستم» اغلب بجای «صرفه‌ی اقتصادی» استفاده می‌شود.

عیب[۳۱]

عدم برآورده کردن الزامات مربوط به استفاده‌ای مورد نظر یا مشخص.

توجه- از منظر فنی، عیب مشابه عدم انطباق است، ولی نه ضرورتاً از منظر قانونی (در رابطه با تعهد در قبال محصول، عدم انطباق بایستی ترجیح داده شود). عیوب نیازی ندارند که بر انجام وظیفه‌ی قلم تأثیر بگذارند. ممکن است آن‌ها به علت نقص‌ها (خطاها، اشتباهات) حین طراحی، تکوین، تولید یا نصب باشند. اصطلاح عیب بایستی برای آنچه ترجیح داده شوند که خطا، علت آن بوده است. بر خلاف وقوع خرابی‌ها که اغلب در طول زمان آشکار می‌شوند (توزیع شده به طور تصادفی)، عیوب در زمان $t = ۰$ نمایان می‌شوند. بهرحال ممکن است برخی عیوب فقط زمانی شناسایی شوند که قلم تحت بهره‌برداری است و به آن‌ها عیوب پویا (برای مثال در نرم‌افزار) اطلاق می‌شود. عیوب – با توجه به علت‌ها- با وقوع خرابی‌های سیستماتیک (برای مثال مشکلات سرمایش)، مشابه می‌باشند؛ هرچند، آن‌ها اغلب در زمان $t = ۰$ نمایان نمی‌شوند.

قابلیت اعتماد

اصطلاحی جامع که برای توصیف عملکرد آمادگی و عوامل تأثیرگذار آن (قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و پشتیبانی لجستیکی) استفاده می‌شود.

توجه- قابلیت اعتماد که عموماً در معنایی کیفی استفاده می‌شود، اغلب به عنوان «قابلیت فراهم نمودن وظیفه‌ی مورد نیاز زمانی که تقاضا شده است»، تعریف می‌شود.

کاهش نرخ اسمی

کاهش طراحی شده‌ی تنش از مقدار اسمی برای بالا بردن قابلیت اطمینان.

توجه- فاکتور تنش (S)، نسبت تنش واقعی به تنش اسمی تحت شرایط بهره‌برداری عادی (عموماً در دمای محیطی۲۵ºC) را بیان می‌کند. اصطلاح «طراحی شده» به عنوان مترادفی برای «اندیشیده شده» بکار رفته است.

29-Cost Effectiveness
30-life-cycle cost ratio
31-Defect

بازنگری طراحی[۳۲]

آزمایش مستقل طراحی برای شناسایی کاستی‌هایی که می‌تواند بر مقصود، قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری یا الزامات پشتیبانی نگهداری قلم، اثر بگذارند.

توجه- بازنگری‌های طراحی، ابزار مهمی برای تضمین کیفیت و مدیریت کیفیت فراگیر، حین طراحی و تکوین سخت‌افزار و نرم‌افزار می‌باشند (جدول‌های الف۳-۳، ۵-۳، ۵-۵، ۲-۸، ۴-۳ و ضمیمه‌ی الف۴). یک هدف مهم بازنگری‌های طراحی، تصمیم‌گیری درباره‌ی استمرار یا توقف پروژه‌ی مورد نظر بر پایه‌ی ملاحظات هدف و وارسی امکان سنجی می‌باشد (جدول‌های الف۳-۳ و ۵-۳ و شکل ۱-۶).

غربال‌گری تنش محیطی[۳۳]

آزمون یا مجموعه‌ای از آزمون‌های مورد نظر برای حذف قلم‌ها معیوب یا آن‌هایی که امکان بروز وقوع خرابی اولیه را دارند.

توجه- غربال‌گری تنش محیطی یک روش اجرایی غربال‌گری است که اغلب در سطح مجموعه (برد مدار چاپی) یا تجهیزات، بر مبنای ٪۱۰۰ و برای یافتن عیوب و وقوع خرابی‌های سیستماتیک در طی تولید نمونه (رشد قابلیت اطمینان) یا برای تحریک وقوع خرابی اولیه در تولید انبوه، اجرا می‌شود. برای قلم‌ها الکترونیکی، عموماً غربال‌گری تنش محیطی شامل چرخه‌های دمایی و/یا لرزش‌های تصادفی است. این تنش‌ها عموماً از تنش در میدان بهره‌برداری بالاترند اما نه آنقدر بالاتر که مکانیسم‌های وقوع خرابی جدید را تحریک کنند. تجربه نشان می‌دهد که برای دستیابی به‌صرفه‌ی اقتصادی، غربال‌گری تنش محیطی بایستی برای قلم و فرآیندهای تولید سازگار شود. در سطح جزء، اغلب اصطلاح «غربال‌گری» استفاده می‌شود.

وقوع خرابی

پایان قابلیت قلم برای اجرای وظیفه‌ی الزام شده.

توجه- وقوع‌خرابی‌ها بایستی از جنبه‌ی مُد، علت، اثر و مکانیزم در نظر گرفته (دسته‌بندی) شوند. علت وقوع خرابی می‌تواند درونی (وقوع خرابی اولیه، وقوع خرابی با نرخ وقوع خرابی ثابت، فرسایشی) یا بیرونی (وقوع خرابی سیستماتیک، یعنی «وقوع خرابی‌های حاصل از خطاها یا اشتباهات در طراحی، تولید یا بهره‌برداری که قطعی است و باید به عنوان عیب در نظر گرفته شود») باشد. اثر (عواقب) وقوع خرابی اگر بر قلمِ مستقیماً تحت تأثیر قرار گرفته یا در سطح بالاتری، در نظر گرفته شده باشد، اغلب

32-Design Review
33-Environmental Stress Screening

متفاوت است. وقوع خرابی در مقایسه با خرابی که یک «حالت» است، «رخدادی» است که در طول زمان آشکار می‌شود (توزیع شده به صورت تصادفی).

شدت وقوع خرابی ((z(t))

حد(در صورت وجود) میانگین تعداد وقوع خرابی‌های قلم قابل تعمیر در بازه‌ی زمانی، $[t,t+\delta t]$، هنگامی که $\delta t \to 0$.

توجه- در سطح سیستم، $z_s(t)$ بکار می‌رود. شدت وقوع خرابی برای قلم‌ها قابل تعمیر، مخصوصاً زمانی که زمان‌های تعمیر نادیده گرفته می‌شوند و رویداد وقوع خرابی در محور زمان (زمان‌های بازگشت) در نظر گرفته شده باشد، اعمال می‌شود. این امر برای فرآیندهای پواسون (همگن $z(t)=\lambda$) و غیر همگن ($z(t)= m(t)$) و فرآیندهای نوسازی ($z(t)= h(t)$) (ضمیمه‌های الف۷-۲ و الف ۷-۸) تحقیق و بررسی شده است. برای کاربردهای عملی، رابطه‌ی

$$z(t)\delta t=\Pr\{ \nu(t+ \delta t)- \nu(t)=1\}$$

برقرار است که در آن $\nu(t)$ = تعداد وقوع خرابی‌ها در $[0,t]$ (معادله‌ی (الف۷-۲۲۹)). همچنین به نرخ وقوع خرابی مراجعه کنید.

تحلیل مُدهای وقوع خرابی و آثار[۳۴]

روش کمّی تحلیل که مطالعه‌ی خرابی‌ها و مدهای وقوع خرابی محتمل در زیر قلم‌ها و تأثیرات آن را بر قابلیت قلم برای برآورده کردن وظیفه‌ی الزام شده، دربر می‌گیرد.

توجه- برای توضیحات به FMECA مراجعه کنید.

تحلیل مُدهای وقوع خرابی، آثار و بحرانیت[۳۵]

روش کیفی و کمّی تحلیل که تحلیل مُدهای وقوع خرابی و آثار را همراه با در نظر گرفتن احتمال رویداد مُد وقوع خرابی و شدت آثار، شامل می‌شود.

توجه- اهداف FMEA یا EMECA، شناسایی تمامی خطرات احتمالی و تحلیل امکان کاهش اثر و/یا احتمال رویداد آن‌ها، است. تمامی مُدهای وقوع خرابی ممکن و خرابی‌ها با علت‌های متناظر باید به صورت پایین به بالا از پایین‌ترین تا بالاترین سطح یکپارچگی قلم مورد نظر، در نظر گرفته شود. اغلب بین FMEA یا FMECA مربوط به طراحی و تولید (فرآیند)، تمایز قائل می‌شوند. FMECA می‌تواند برای تحلیل مُدهای خرابی، آثار و بحرانیت (مشابه FMEA) استفاده شود.

نرخ وقوع خرابی[۳۶] ((λ(t))

34-Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)
35-Failure Modes and Effects Critical Analysis (FMECA)
36-Failure Rate

حد(در صورت وجود) احتمال شرطی رویدادهای وقوع خرابی در بازه‌ی زمانی (t,t+ δt)، هنگامی که $\delta t \to ۰$ ، مشروط بر اینکه قلم در $t = ۰$ جدید بوده و در بازه‌ی زمانی $[۰,t)$ خراب نشده باشد.

توجه- برای بیان نرخ وقوع خرابی در سطح سیستم، از عبارت $\lambda_s(t)$ استفاده می‌شود. نرخ وقوع خرابی به طور خاص برای قلم‌ها غیرقابل تعمیر، اعمال می‌شود. در این مورد، اگر τ «زمان بدون وقوع خرابی» قلم باشد، با تابع توزیع F(t)= Pr{τ ≤t}، با $F(۰) = ۰$ و چگالی f(t)، نرخ وقوع خرابی λ(t) عبارت است از (معادله‌ی (الف۶-۲۵) و ((R(t) = 1-f(t))):

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \to ۰} \frac{۱}{\delta t} \Pr\{t < \tau \le t + \delta t \mid \tau\} = \frac{f(t)}{۱ - F(T)} = -\frac{dR(t)/dt}{R(t)} \qquad (\text{الف -۱-۱})$$

با در نظر گرفتن $R(۰) = ۱$ ، از معادله‌ی (الف-۱-۱) نتیجه می‌شود $R(t) = e^{-\int_{۰}^{t} \lambda(x)dx}$ و بنابراین، برای $\lambda(t) = \lambda$ ، $R(t) = e^{-\lambda t}$. این نتیجه‌ی مهم، خاصیت بی‌حافظگی را به توزیع نمایی $F(t)=1-e^{-\lambda t}$ -بیان شده توسط معادله‌ی (الف ۱-۱) برای λ(t)=λ- منسوب می‌کند. تنها برای λ(t)=λ می‌توان نرخ وقوع خرابی λ را به وسیله‌ی $\hat{\lambda} = k / T$ برآورد کرد، که در آن T زمان بهره‌برداری تجمعی (ثابت) معین و $k > ۰$ تعداد کل وقوع خرابی‌ها طی T (معادله‌ی (۲۸-۷)) است. شکل ۱-۲ شکل نوعی λ (t) را نشان می‌دهد. بهرحال، با در نظر گرفتن معادله‌ی (الف-۱-۱)، نرخ وقوع خرابی همچنین می‌تولند برای قلم‌ها قلبل تعمیر که بعد از تعمیر در حد نو می‌باشند (توان‌یابی)، با قرار دادن متغیر x به جای t، شروع شده از $x = ۰$ در هر تعمیر (مربوط به بازه‌های زمانی)، تعریف شود. این امر در زمان تحقیق و بررسی درباره‌ی سیستم‌های قابل تعمیر (فصل ۶)، برای مثال: با وقوع خرابی ثابت و نرخ‌های تعمیر، مهم است. اگر سیستم قابل تعمیر را نتوان بعد از تعمیر، در حد نو توان‌یابی کرد (با توجه به حالت در نظر گرفته شده)، یعنی «اگر حداقل یک عنصر با نرخ وقوع خرابی وابسته به زمان در هر تعمیر نوسازی نمی‌شود»، شدت وقوع خرابی z(t) باید مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین تمایز بین نرخ وقوع خرابی λ(t) و شدت وقوع خرابی z(t) یا شدت (h(t) یا m(t) برای نوسازی یا فرآیند پواسون) مهم است. z(t)، h(t)، m(t) چگالی‌های غیر شرطی می‌باشند (معادلات (الف۷-۲۲۹)، (الف۷-۲۴)، (الف۷-۱۹۴)) و اساساً از λ(t) که چگالی شرطی است، متفاوت می‌باشند. این تمایز همچنین برای مورد فرآیند پواسون همگن مهم است، که برای آن λ=m(t)= h (t)=z(t) برای شدت برقرار است و λ(x)=λ برای زمان‌های بازه برقرار است (x در هر بازه‌ی زمانی از ۰ آغاز می‌شود، معادله‌ی (الف۷-۳۸)). برای کاهش ابهامات، نیروی مرگ و میر برای λ(t) [۳-۶، الف۷-۳۰] پیشنهاد شده است.

خرابی

حالتی که با ناتوانی برای اجرای وظیفه‌ی مورد نیاز به علت دلیلی داخلی، مشخص می‌شود.

توجه- خرابی یک حالت اســـت و می‌تواند متعاقب یک عیب یا وقوع خرابی باشـــد، که بنابراین ممکن اســت علت آن، یک خطا (برای عیوب یا وقوع خرابی‌های ســیســتماتیک) یا مکانیزم وقوع خرابی (برای وقوع خرابی‌ها) باشد.

تحلیل درخت وقوع خرابی

تحلیلی که برای تعیین اینکه کدام خرابی زیر قلم یا رخدادهای خارجی یا ترکیبی از آن‌ها می‌تواند منجر به خرابی‌های قلم شود، از درخت‌های خرابی استفاده می‌کند.

توجه- تحلیل درخت وقوع خرابی رویکردی «بالا به پایین» اســـت که گنجلندن علل خارجی را آســان‌تر از یک FMEA/FMECA میســر می‌ســازد. بهرحال، ضــرورتاً تمام مدهای وقوع خرابی ممکن را در بر نمی‌گیرد. ترکیب FMEA/FMECA با تحلیل درخت وقوع خرابی، به نمودار علت و معلول که ارتباط منطقی بین علل شـناسـایی شـده و عواقب واحد یا چندگانه‌ی آن‌ها را نشـان می‌دهد، منجر می‌شـود. توصـیف گرافیکی ارتباطات علّی، یک نمودار علت و معلول اسـت (نمودار استخوان ماهی یا ایشی‌کاوا).

قلم[۳۷]

قطعه، جزء، وسـیله، واحد وظیفه‌ای، زیرسـیسـتم یا سـیسـتمی که می‌تواند به طور مجزا توصـیف شده و در نظر گرفته شود.

توجه- یک قلم واحدی ساختاری یا وظیفه‌ای است که عموماً به عنوان یک مقوله برای تحقیق و بررسی در نظر گرفته می‌شود. قلم می‌تواند از سخت‌افزار و/یا نرم‌افزار ساخته شده باشد و شامل منابع انسانی نیز باشد.

هزینه‌ی چرخه‌ی عمر[۳۸]

مجموع هزینه برای اکتساب، بهره‌برداری، نگهداری و وارهایی یا بازیافت قلم.

توجه- هزینه‌ی چرخه‌ی عمر همچنین باید اثرات بر محیط تولید، کاربرد و وارهایی یا بازیافت قلم مورد نظر را لحاظ کند (تکوین مناسـب). بهینه‌سـازی این موارد، ابزار صـرفه‌ی اقتصـادی یا مهندسـی سـیسـتم‌ها را بکار می‌گیرد و می‌تواند به صـورت مثبت توسـط مهندسـی همزمان تأثیر بپذیرند.

طول عمر[۳۹]

طول زمان بین بهره‌برداری اولیه و وقوع خرابی قلم غیرقابل بهره‌برداری.

37-Item
38-Life Cycle Cost (LCC)
39-Lifetime

پشتیبانی لجستیکی

تمامی فعالیت‌ها تعهد شـــده برای فراهم نمودن اســـتفاده‌ی اثربخش و اقتصـــادی قلم طی فاز بهره‌برداری آن.

توجه- یک جنبه‌ی آشـکار مرتبط با پشـتیبانی لجسـتیکی، «مدیریت کهنگی[40]» اسـت، یعنی چگونه بهره‌برداری را برای مثال برای ۲۰ سـال، زمانی که قطعات مورد نیاز برای نگهداری، دیگر ساخته نمی‌شوند، تضمین کنیم.

قابلیت نگهداری[41]

احتمال اینکه اقدام نگهداری معین، که تحت شـرایط معین و با اسـتفاده از روش‌های اجرایی و منابع معین، اجرا شده است، می‌تواند در یک بازه‌ی زمانی معین انجام شود.

توجه- قابلیت نگهداری، یک ویژگی قلم است و به نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه اشاره می‌کند. تعریف کیفی، با تمرکز بر قابلیت نیز امکان‌پذیر اسـت. در مشـخص کردن یا ارزیابی قابلیت نگهداری، در نظر گرفتن پشـتیبانی لجسـتیکی موجود (روش‌های اجرایی، کارکنان، قطعات یدکی و غیره) مهم است.

پروفایل مأموریت

تکلیف خاص که باید به وسیله‌ی قلم در طی زمانِ بیان شده تحت شرایط معین، انجام شود.

توجه- پروفایل مأموریت وظیفه‌ی الزام شده و شرایط محیطی را به عنوان تابعی از زمان، تعریف می‌کند. سیستم با وظایف الزام شده‌ی مختلف، سیستم مأموریتی- فازی نامیده می‌شود.

MTBF

میانگین زمان بهره‌برداری بین وقوع خرابی‌ها.

توجه- در سطح سیستم، از $MTBF_S$ استفاده می‌شود. MTBF برای قلم‌ها قابل تعمیر استفاده می‌شود. بهرحال، برای کاربردهای عملی، به رسمیت شناختن اینکه زمان‌های بهره‌برداری متوالی بین وقوع خرابی‌های سیستم، میانگین مشابهی (مقدار مورد انتظار) دارند فقط در صورتی مهم است که این زمان‌ها مستقل بوده و تابع توزیع مشترکی داشته باشند (یعنی اگر سیستم بعد از هر تعمیر در سطح سیستم در حد نو باشد). تنها اگر قلم خراب شده بعد از تعمیر در حد نو توان‌یابی شده باشد و حداقل یک قلم توان‌یابی نشده، نرخ وقوع خرابی وابسته به زمان داشته باشد، زمان‌های بهره‌برداری پی‌درپی بین وقوع خرابی‌های سیستم، نه مستقل می‌باشند و نه توزیعی مشترک دارند. فقط مورد سیستم‌های سری با نرخ‌های وقوع خرابی ثابت $\lambda_1,\ldots,\lambda_n$ برای تمامی عناصر $E_1,\ldots,E_n$ به فرآیند پواسون همگن منجر می‌شود، که برای آن بازه‌های زمانی

40-Obsolescence management
41-Maintainability

پی‌درپی (زمان‌های بهره‌برداری بین وقوع خرابی‌های سیستم)، مستقل هستند و به صورت نمایی با تابع توزیع مشترک $F(x)=1-e^{-x(\lambda_1+\ldots+\lambda_n)}=1-e^{-x\lambda_S}$ توزیع شده‌اند و $MTBF_s = 1/\lambda_s$ (قلم‌ها تعمیر شده در حد نو فرض شده‌اند، که به دلیل نرخ وقوع خرابی ثابت $\lambda_1,\ldots,\lambda_n$، به سیستم در حد نو منجر می‌شود). این نتیجه همچنین تقریباً برای سیستم‌ها با ردوندانسی برقرار است (به معادله‌ی (۶-۹۳) و توضیحات MTTF مراجعه کنید). با توجه به تمامی این دلایل و همچنین به دلیل برآورد $\hat{MTBF}=1/\lambda$ که اغلب در کاربردهای عملی بکار می‌رود، MTBF بایستی به سیستم‌های قابل تعمیر با نرخ‌های وقوع خرابی ثابت برای تمامی قلم‌ها، محدود شود. کمبودهای حاصل از صرف نظر کردن از این ویژگی پایه، شناخته شده هستند، برای مثال به [۳-۶، ۱۱-۷و الف ۷-۳۰] مراجعه کنید. مشابه ویرایش‌های قبلی این کتاب، $MTBF_s$ برای این مورد رزرو شده است.

(الف ۱-۲) $MTBF_s = 1/\lambda_s$ یا $MTBF = 1/\lambda$

برای مدل‌های مارکوف و شبه مارکوف، MUT_s بکار می‌رود.

MTTF[42]

میانگین زمان تا وقوع خرابی.

توجه- در سطح سیستم، از $MTTF_s$ استفاده می‌شود. MTTF، میانگین (مقدار مورد انتظار) زمان عاری از خرابی قلم (τ) است و می‌تواند از تابع قابلیت اطمینان R(t) به صورت $MTTF=\int_0^\infty R(t)dt$ بدست آید (اگر طول عمر به T_L (برای $t>T_L$، $R(t)=0$) محدود شده باشد، T_L به عنوان حد بالای انتگرال استفاده می‌شود). اگر فرض شود که بعد از تعمیر، قلم در حد نو است (صفحه‌ی ۴۰)، MTTF برای هر دو قلم قابل تعمیر و غیرقابل تعمیر اعمال می‌شود. در سطح سیستم، این امر (نسبت به حالت در نظر گرفته شده) فقط هنگامی اتفاق می‌افتد که قلم مورد تعمیر، در حد نو باشد و تمامی قلم‌ها تعمیر نشده نرخ‌های وقوع خرابی ثابت داشته باشند. در این مورد برای گنجاندن تمامی موقعیت‌ها، در فصل ۶، $MTTF_{si}$ بکار رفته‌اند (S برای سیستم و i برای حالت اشغال شده (وارد شده برای فرآیند شبه- مارکوف) در زمانی که در آن تعمیر (توان‌یابی) متوقف شده است، در نظر گرفته می‌شوند، برای مثال مراجعه کنید به جدول ۶-۲). هنگام پرداختن به زمان‌های وقوع خرابی و تعمیر، متغیر x که با $x=0$ آغاز می‌شود، بعد از هر تعمیر (توان‌یابی) باید به جای t (مربوط به بازه‌های زمانی) استفاده شود. برای توضیحات بیشتر به صفحه‌ی ۴۰ مراجعه کنید. برآورد تجربی بدون سوگیری برای MTTF،

42-Mean time to failure

$\hat{MTTF} = (t_1 + ... + t_n)/n$ می‌باشد که در آن $t_1,\ldots,t_n$ زمان‌های مشاهده شده‌ی عاری از وقوع خرابی n قلمِ از نظر آماری یکسان و مستقل می‌باشند.

MTTPM[43]

میانگین زمان تا نگهداری پیشگیرانه.

توجه- برای توضیحات به MTTR مراجعه کنید.

MTBUR [44]

میانگین زمان بین برداشتن‌های برنامه‌ریزی نشده.

MTTR

میانگین زمان تا تعمیر.

توجه- در سطح سیستم $MTTR_S$ استفاده می‌شود. در این کتاب «تعمیر» به عنوان مترادف «توان‌یابی» استفاده می‌شود. MTTR میانگین (مقدار مورد انتظار) زمان تعمیر قلم می‌باشد. MTTR را می‌تواند از تابع توزیع G(t) زمان تعمیر به صورت $G(t) = \int_0^\infty (1 - G(t))dt$ ، محاسبه کرد.

در مشخص کردن یا برآورد MTTR، ضروری است که پشتیبانی لجستیکی موجود برای تعمیر (روش‌های اجرایی، کارکنان، قطعات یدکی و غیره) را در نظر بگیریم. زمان تعمیر اغلب به صورت لُگ‌نرمال توزیع شده است. بهرحال برای محاسبات قابلیت اطمینان و آمادگی تجهیزات و سیستم‌های قابل تعمیر، یک نرخ تعمیر ثابت μ (یعنی زمان‌های تعمیر به طور نمایی توزیع شده با $\mu=1/MTTR$)، تا زمانی که MTTR << MTTF برای هر عنصر در نمودار بلوکی قابلیت اطمینان (مثال‌های ۶-۷، ۶-۸ و ۶-۹) برقرار باشد، برای بدست آوردن نتایج تقریبی معتبر عموماً قابل استفاده است. یک برآورد تجربی بدون سوگیری برای MTTR، $\hat{MTTR} = (t_1 + ... + t_n)/n$ می‌باشد که در آن $t_1, \ldots, t_n$ زمان‌های تعمیر مشاهده شده برای n قلم از نظر آماری یکسان و مستقل می‌باشند.

عدم انطباق[۴۵]

عدم برآورده کردن الزامات مشخص.

توجه- از دیدگاه فنی، عدم انطباق به عیب نزدیک است، گرچه ضرورتاً از دیدگاه قانونی این‌گونه نیست. در رابطه با مسئولیت در قبال محصول، بایستی عدم انطباق ترجیح داده شود.

43-Mean time to preventive maintenance (MTTPM)
44-Mean time between unscheduled removals (MTBUR)
45-Nonconformity

نگهداری پیشگیرانه[۴۶]

نوعی نگهداری که به منظور کاهش احتمال وقوع خرابی یا تنزل[۴۷] انجام می‌گیرد.

توجه- هدف نگهداری پیشگیرانه همچنین باید شناسایی و حذف وقوع خرابی‌های پنهان یعنی وقوع خرابی‌های شناسایی نشده در عناصر ردوندانت- باشد. برای ساده‌سازی محاسبات، عموماً فرض می‌شود که عنصری که در نمودار بلوکی قابلیت اطمینان برای آن یک نگهداری پیشگیرانه انجام شده است، بعد از نگهداری پیشگیرانه در حد نو می‌باشد. این فرض بر کل قلم (تجهیزات یا سیستم) اعمال می‌شود، اگر تمام اجزای قلم (که نوسازی نشده‌اند) نرخ‌های وقوع خرابی ثابتی داشته باشند. نگهداری پیشگیرانه عموماً در بازه‌های زمانی برنامه‌ریزی شده انجام می‌شوند.

تضمین محصول

تمام فعالیت‌های طرح‌ریزی شده و ضروری برای دستیابی به اهداف مشخص قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، آمادگی و ایمنی قلم، همچنین برای فراهم کردن اطمینان کافی که قلم تمام الزامات معین را برآورده خواهد کرد.

توجه- مفهوم تضمین محصول به ویژه برای برنامه‌های مربوط به هوافضا استفاده می‌شود. تضمین محصول، تضمین کیفیت و همچنین مهندسی قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، ایمنی و پشتیبانی لجستیکی را در بر می‌گیرد.

مسئولیت در قبال محصول[۴۸]

اصطلاح عام مورد استفاده برای توصیف مسئولیت تولیدکننده یا دیگران، برای جبران خسارت مربوط به آسیب به افراد، صدمه به دارایی‌ها یا خسارات دیگر وارد شده توسط محصول.

توجه- سازنده (تولیدکننده) باید یک مُد بهره‌برداری ایمن را برای محصول (قلم) مشخص کند. اگر «مسئولیت بدون تقصیر[۴۹]» اعمال شود، سازنده باید (در یک دعوی) عملاً اثبات کند که محصول هنگامی که کارخانه‌ی تولید را ترک کرده، عاری از عیوب بوده است. این امر در ایالات متحده‌ی امریکا و به ویژه در اروپا برقرار است (۱-۸). گرچه در اروپا رابطه‌ی علمی بین صدمه و عیب هنوز باید توسط کاربر عملاً اثبات شود و دوره‌ی محدودیت کوتاه است (اغلب ۳ سال بعد از شناسایی صدمه، عیب و سازنده یا ۱۰ سال بعد از ظهور محصول در بازار). می‌توان انتظار داشت که مسئولیت در قبال محصول بیش از گذشته خرابی‌ها (عیوب و وقوع خرابی‌ها) را در نظر گیرد

46-Preventive Maintenance
47-Degradation
48-Product Liability
49-Strict liability

و نرم‌افزار را نیز پوشش دهد. مسئولیت در قبال محصول، روش‌های اجرایی را برای تاکید بیشتر بر مدیریت/تضمین کیفیت، اجبار می‌کند.

کیفیت

میزانی که مجموعه‌ای از ویژگی‌های ذاتی الزامات را برآورده می‌کنند.

توجه- این تعریف همچنین در استاندارد ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ [الف ۲-۹ ، الف ۱-۶] دقیقاً از تعریف سنتی کیفیت (مناسب برای استفاده) پیروی کرده است و به محصولات و خدمات نیز اعمال شده است.

تضمین کیفیت

تمام فعالیت‌های طرح‌ریزی و برنامه‌ریزی شده‌ی مورد نیاز برای فراهم کردن اطمینان کافی از اینکه الزامات کیفیت برآورده خواهند شد.

توجه- مطابق ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰، تضمین کیفیت قسمتی از مدیریت کیفیت می‌باشد. تضمین کیفیت به سخت‌افزار همچنین نرم‌افزار اشاره دارد و شامل «مدیریت پیکربندی، آزمون‌های کیفیت، کنترل کیفیت حین تولید، سیستم‌های گزارش داده‌های کیفیت و کیفیت نرم‌افزار» می‌باشد (به شکل الف-۳ مراجعه کنید). یک هدف مهم تضمین کیفیت دستیابی به الزامات کیفیت با حداقل هزینه و زمان می‌باشد. مهندسی همزمان نیز تلاش می‌کند زمان تا تکوین و عرضه به بازار را کوتاه سازد.

کنترل کیفیت حین تولید[۵۰]

کنترل فرآیندها و روش‌های اجرایی تولید برای دستیابی به کیفیت بیان شده‌ی ساخت.

سیستم گزارش داده‌های کیفیت

سیستم جمع‌آوری، تحلیل و اصلاح تمام عیوب و وقوع خرابی‌های رخ داده حین تولید و آزمون قلم همچنین ارزشیابی و بازخور داده‌های متناظر کیفیت و قابلیت اطمینان.

توجه- یک سیستم گزارش داده‌های کیفیت عموماً با کمک رایانه می‌باشد. تحلیل عیوب و وقوع خرابی‌ها باید تا علت، ردیابی شوند، تا بهترین اقدام اصلاحی ضروری برای اجتناب از تکرار مشکل مشابه، تعیین شود. سیستم گزارش داده‌های کیفیت همچنین بایستی طی فاز بهره‌برداری، فعال باقی بماند. یک سیستم گزارش داده‌های کیفیت برای پایش رشد قابلیت اطمینان مهم است.

مدیریت کیفیت[۵۱]

فعالیت‌های هماهنگ برای هدایت و کنترل یک سازمان در خصوص کیفیت.

50-Quality Control During Production
51-Quality Management

توجه- سازمان به صورت «گروهی از افراد و تسهیلات (برای مثال یک شرکت) با آرایشی از مسئولیت‌ها، مراجع دارای اختیار و روابط» (الف-۱-۶)، تعریف می‌شود.

آزمون کیفیت[۵۲]

آزمون برای تصدیق اینکه آیا قلم با الزامات مشخص مطابقت می‌کند یا خیر.

توجه- آزمون‌های کیفیت شامل بازرسی‌ها، آزمون‌های احراز شرایط، آزمون‌های تولید و آزمون‌های پذیرش می‌باشند. آن‌ها همچنین جنبه‌های قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و ایمنی را پوشش می‌دهند. برای مقرون به‌صرفه‌ی بودن، آزمون‌های کیفیت باید در یک راهبرد آزمون (و غربال‌گری) منسجم شوند. اصطلاحات« آزمون» و «بازرسی[۵۳]» اغلب برای آزمون کیفیت استفاده می‌شوند.

ردوندانسی

وجود بیش از یک وسیله برای انجام وظیفه‌ی الزام شده.

توجه- برای سخت‌افزار، بین ردوندانسی فعال (داغ، موازی)، گرم (کمی بارگذاری شده) و آماده به خدمت (سرد) تمایز ایجاد شده است. ردوندانسی ضرورتاً تکثیر سخت‌افزار را ایجاب نمی‌کند، ردوندانسی می‌تواند برای مثال در سطح نرم‌افزار یا به صورت ردوندانسی زمانی پیاده سازی شود. برای اجتناب از وقوع خرابی‌های مُد مشترک، عناصر ردوندانت بایستی مستقل از یکدیگر تحقق یابند. اگر عنصر ردوندانت فقط قسمتی از وظیفه‌ی الزام شده را برآورده کند، ردوندانسی کاذب رخ داده ست.

قابلیت اطمینان ((R,R(t))

احتمال اینکه وظیفه‌ی الزام شده تحت شرایط معین برای یک بازه‌ی زمانی معین، فراهم خواهد شد.

توجه- مطابق با تعریف بالا، قابلیت اطمینان یک ویژگی قلم است که معمولاً در مورد یک مأموریت ثابت با R و در مورد یک مأموریت با پارامتر t، با R(t) نشان داده می‌شود. در سطح سیستم $R_{Si}(t)$ استفاده می‌شود که در آن S نماینده سیستم و i نماینده‌ی وضعیتی است که در $t = ۰$ به آن داخل می‌شود (جدول ۶-۲). یک تعریف کیفی با تمرکز بر قابلیت نیز امکان‌پذیر است. قابلیت اطمینان احتمال اینکه هیچ «وقفه‌ی بهره‌برداری» در سطح قلم (سیستم) طی یک مأموریت معین (مثلاً طی زمان T) رخ نخواهد داد را بیان می‌کند. این امر بدین معنا نیست که قطعات ردوندانت خراب نمی‌شوند، چنین قطعاتی می‌توانند خراب و سپس تعمیر شوند. بنابراین مفهوم قابلیت اطمینان برای قلم‌ها غیرقابل تعمیر همچنین قلم‌ها قابل تعمیر بکار می‌شود. اگر T

52-Quality Test
53-Inspection

به عنوان متغیر t در نظر گرفته شود، تابع قابلیت اطمینان با R(t) ارائه می‌شود. اگر τ زمان عاری از وقوع خرابی باشد که مطابق با F(t)، با $F(۰)=۰$ توزیع شده باشد، آنگاه $R(t)=\Pr\{\tau>t\}=۱-F(t)$. مفهوم قابلیت اطمینان همچنین می‌تواند برای فرآیندها یا خدمات استفاده شود، گرچه مدل سازی جنبه‌های انسانی می‌تواند به سختی‌های منجر شود.

نمودار بلوکی قابلیت اطمینان[۵۴]

نمودار بلوکی که نشان می‌دهد چگونه وقوع خرابی‌های زیر قلم‌ها – که با بلوک‌ها نمایش داده می‌شوند- می‌توانند به وقوع خرابی‌های قلم منجر شوند.

توجه- نمودار بلوکی قابلیت اطمینان یک «نمودار رخداد» است. این نمودار به این سؤال پاسخ می‌دهد که: ضروری است کدام عنصرِ قلم، وظیفه‌ی الزام شده را برآورده کند و کدام یک می‌توانند بدون تأثیر بر آن خراب شوند؟ عناصر (بلوک‌های RBD) که باید بهره‌برداری شوند، به طور سری (ترتیب این عناصر به محاسبه‌ی قابلیت اطمینان، مربوط نیست) و عناصری که می‌توانند خراب شوند (عناصر ردوندانت)، به طور موازی در نظر گرفته می‌شوند. عناصری که به وظیفه‌ی الزام شده مرتبط نیستند (استفاده نمی‌شوند)، بعد از این که تصدیق شد وقوع خرابی آن‌ها بر عناصری که در وظیفه‌ی الزام شده دخیل‌اند تأثیر نمی‌گذارد(FMEA)، از RBD برداشته می‌شوند و در فهرست مرجع قرار می‌گیرند. در یک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان، عناصر ردوندانت ، صرف نظر از مُد وقوع خرابی، همچنان به صورت موازی ظاهر می‌شوند. بهرحال فقط یک مُد وقوع خرابی (برای مثال کوتاه، باز) و دو وضعیت (سالم، خراب) را می‌توان برای هر عنصر در نظر گرفت.

رشد قابلیت اطمینان

بهبود پیش‌رونده‌ی یک مقیاس قابلیت اطمینان با زمان.

توجه- نقص‌های (خطاها، اشتباهات) آشکار شده حین برنامه‌ی رشد قابلیت اطمینان عموماً قطعی (عیوب یا وقوع خرابی‌های سیستماتیک) می‌باشند و در تمام قلم‌ها یک بهر معین رخ می‌دهند. بنابراین رشد قابلیت اطمینان اغلب طی تولید نمونه و به ندرت برای قلم‌ها به طور انبوه تولید شده، اجرا می‌شوند. مشابه با غربال‌گری تنش محیطی، تنش‌ها طی رشد قابلیت اطمینان اغلب از تنش‌هایی که در میدان بهره‌برداری انتظار می‌روند تجاوز می‌کنند اما نه آنقدر بالاتر که مکانیسم‌های وقوع خرابی جدید را تحریک کنند. مدل‌های رشد قابلیت اطمینان همچنین اغلب می‌توانند برای تحقیق و بررسی وقوع عیوب در نرم‌افزار استفاده شوند. حتی اگر عیوب نرم‌افزار اغلب در طول زمان رخ دهند (عیوب

54-Reliability Block Diagram (RBD)

پویا)، بایستی استفاده از اصطلاح «قابلیت اطمینان نرم‌افزار» اجتناب شود («کیفیت نرم‌افزار» بایستی ترجیح داده شود).

وظیفه‌ی الزام شده[۵۵]

وظیفه یا ترکیبی از وظایف یک قلم که برای فراهم کردن خدمتی معین، ضروری می‌باشد.

توجه- تعریف وظیفه‌ی الزام شده نقطه‌ی آغاز هر تحلیل قابلیت اطمینان می‌باشد، زیرا وقوع خرابی‌ها را تعریف می‌کند. بهرحال ممکن است در مورد قلم‌ها (سیستم‌های) پیچیده، دشواری‌هایی ایجاد شود. برای مقاصد عملی، پارامترها بایستی با رواداری مشخص شوند.

ایمنی

قابلیت یک قلم که منجر به آسیب به افراد، صدمه‌ی چشمگیر به مواد یا عواقب غیرقابل قبول دیگر، نشود.

توجه- ایمنی عاری بودن از ریسک غیرقابل قبول صدمه را بیان می‌کند. در کاربردهای عملی، زیر تقسیم ایمنی به پیشگیری از «تصادف» (قلم هنگامی که به درستی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، بطور ایمن کار می‌کند) و «ایمنی فنی» (قلم باید حتی هنگامی که یک وقوع خرابی رخ می‌دهد ایمن باقی بماند) مفید است. ایمنی فنی می‌تواند به صورت احتمال تعریف شود. اینکه «قلم منجر به آسیب به افراد، صدمه‌ی چشمگیر به مواد یا عواقب غیرقابل قبول دیگر، بالای یک سطح معین (ثابت) برای یک بازه‌ی زمانی بیان شده هنگام بهره‌برداری تحت شرایط معین، نخواهد شد». روش‌ها و روش‌های اجرایی مورد استفاده برای تحقیق و بررسی ایمنی فنی مشابه روش‌ها و روش‌های اجرایی برای تحلیل قابلیت اطمینان با تاکید بر آثار خرابی/وقوع خرابی، می‌باشد.

سیستم

مجموعه‌ای از قلم‌های مرتبط به هم که برای یک مقصود معین به عنوان یک کل در نظر گرفته می‌شوند.

توجه- یک سیستم معمولاً تا حدی که بتوان آن را در محیط بهره‌برداری به عنوان عنصری خودکفا در نظر گرفت، شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، خدمات و کارکنان (برای بهره‌برداری و پشتیبانی) می‌باشد. برای محاسبات، معمولاً شرایط ایده‌آل برای عوامل انسانی و پشتیبانی لجستیکی فرض شده‌اند که به سیستم فنی (برای سادگی اصطلاح سیستم اغلب بجای سیستم فنی استفاده می‌شود) منتهی می‌شوند. عناصر سیستم برای سخت‌افزار، برای مثال عبارت‌اند از: قطعات، مجموعه‌ها، تجهیزات و زیرسیستم‌ها. برای مقاصد نگهداری، سیستم‌ها به واحدهای قابل تعویض در خط یعنی قطعات یدکی در سطح تجهیزات یا سیستم، مستقل تقسیم می‌شوند.

55-Required Function

اصطلاح «قلم» برای واحد وظیفه‌ای یا ساختاری با پیچیدگی اختیاری، استفاده می‌شود که در کل برای تحقیقات به عنوان یک موجودیت در نظر گرفته می‌شوند.

وقوع خرابی سیستماتیک[۵۶]

وقوع خرابی که بطور قطعی با علت اصلی ذاتی در فرآیندهای طراحی، ساخت، بهره‌برداری یا نگهداری، مرتبط است.

توجه- وقوع خرابی‌های سیستماتیک همچنین به عنوان «عیوب پویا» شناخته می‌شوند -برای مثال در کیفیت نرم‌افزار- و یک ویژگی قطعی دارد. بهرحال به علت پیچیدگی قلم، وقوع خرابی‌های سیستماتیک می‌توانند طوری که نسبت به زمان تصادفی توزیع شده‌اند، نمایان شوند.

مهندسی سیستم[۵۷]

کاربرد علوم ریاضی و فیزیک برای تکوین سیستم‌هایی که منابع را برای سود جامعه به صورت اقتصادی بکار می‌گیرد.

توجه- مدیریت کیفیت فراگیر و مهندسی همزمان می‌توانند به بهینه‌سازی مهندسی سیستم کمک کنند.

مدیریت کیفیت فراگیر[۵۸]

رویکرد مدیریتی یک سازمان درگیر با کیفیت، مبتنی بر مشارکت تمام اعضا و هدف گذاری موفقیت طولانی مدت در مورد رضایت مشتری و منفعت آن برای تمام اعضای سازمان و جامعه می‌باشد.

توجه- با مدیریت کیفیت فراگیر تمام افراد دخیل در تولید (مستقیماً طی تکوین، تولید، نصب و خدمت رسانی یا غیر مستقیم با فعالیت‌های کارمندی یا مدیریتی) به طور مشترک مسئول کیفیت محصول می‌باشند.

عمر مفید

بازه‌ی زمانی که هنگام اولین بهره‌برداری قلم آغاز می‌شود و هنگامی که به وضعیتی محدود کننده می‌رسد، پایان می‌یابد.

توجه- وضعیت محدود کننده می‌تواند شدت وقوع خرابی یا چیز دیگر غیرقابل قبول باشد. مقادیر نوعی برای عمر مفید ۳ تا ۶ سال برای کاربردهای تجاری، ۵ تا ۱۵ سال برای تأسیسات نظامی و ۱۰ تا ۳۰ سال برای سیستم‌های برق یا توزیع می‌باشد (همچنین به طول عمر مراجعه کنید).

56-Systematic Failure
57-Systems Engineering
58-Total Quality Management

پیوست الف-۲: استانداردهای کیفیت و قابلیت اطمینان

مشـــتریان علاوه بر الزامات کمی قابلیت اطمینان مانند MTBF=1/λ، MTTR و آمادگی، اغلب نیازمند یک سیستم تضمین کیفیت/ مدیریت و برای قلم‌ها پیچیده، تحقق یک برنامه‌ی تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان نیز هستند. این الزامات کلی در استانداردهای ملی و بین‌المللی پوشش داده شـده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها به طور مختصـر در این پیوسـت مورد بحث قرار خواهند گرفت. اصـطلاح مدیریت در جایی که سـازمان (شـرکت) به عنوان یک کل دخیل اسـت آشـکارا به کار می‌رود، مانند ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ و مدیریت کیفیت فراگیر. یک روش اجرایی اساسی برای تنظیم و تحقق الزامات کیفیت و قابلیت اطمینان برای تجهیزات و سیستم‌های پیچیده همراه با برنامه‌ی تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان متناظر در پیوست الف-۳ مورد بحث قرار می‌گیرد.

الف-۲-۱ مقدمه

الزامات مشـتری برای کیفیت و قابلیت اطمینان می‌تواند کمی یا کیفی باشـد. در مورد پارامترهای عملکرد، الزامات کمی قابلیت اطمینان در مشـخصـات سـیسـتم یا قراردادهای ارائه می‌شـوند. این الزامات دارای اهداف قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، آمادگی و ایمنی (بر حســـب ضـــرورت) همراه با مشـخصـات مربوطه برای وظیفه‌ی الزامی، شـرایط بهره‌برداری، پشـتیبانی لجسـتیکی و معیارهایی برای آزمون‌های پذیرش هستند. الزامات کیفی در استانداردهای ملی یا بین‌المللی ذکر می‌شـوند و عموماً به سـیسـتم مدیریت کیفیت می‌پردازند. این الزامات بسـته به حوزه‌ی کاربردی (هوافضـــا، دفاع، هســـته‌ای یا صـــنعتی) ممکن اســـت کم و بیش دقیق باشـــند. اهداف چنین استانداردهایی به طور ویژه عبارتند از:

۱. هماهنگ‌سازی سیستم‌های مدیریت کیفیت، اصطلاحات و تعاریف.

۲. ارتقای رضایت مشتری.

۳. استانداردسازی پیکربندی، شرایط بهره‌برداری، پشتیبانی لجستیکی، روش‌های اجرایی آزمون و معیارهای انتخاب/ احراز شرایط برای قطعات، مواد و فرآیندهای تولید.

اســـتانداردهای مهم برای ســـیســـتم‌های مدیریت کیفیت در جدول الف-۲-۱ ارائه شـــده‌اند، برای فهرســـتی جامع به [الف-۲-۱ تا الف-۲-۱۳] مراجعه کنید. برخی از اســـتلنداردهای در جدول الف-۲-۱ به طور مختصر در بخش‌های ذیل مورد بحث قرار می‌گیرند.

الف-۲-۲ الزامات کلی در حوزه‌ی صنعت

در حوزه‌ی صنعت، خانواده‌ی استانداردهای ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ [الف-۲-۹] جایگزین خانواده‌ی ISO ۹۰۰۰:۱۹۹۴ شده و دوران جدیدی را در الزامات مدیریت کیفیت آغاز نموده‌اند. ۹۰۰۴-۹۰۰۱ پیشین نیز با ۹۰۰۱:۲۰۰۸ و ۹۰۰۴:۲۰۰۰ جایگزین شده‌اند. ISO ۸۴۰۲ در مورد تعاریف با ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ جایگزین شده است. بسیاری از تعاریف بازبینی شده‌اند و ساختار و محتوای ۹۰۰۱:۲۰۰۸ و ۹۰۰۴:۲۰۰۰ جدید بوده و توافق بیشتری با نیازهای صنعت و مفهوم توصیف شده در شکل ۱-۳ دارد. هشت اصل پایه‌ی مدیریت کیفیت شناسایی شده و در خانواده‌ی ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ در نظر گرفته شده‌اند: مشتری مداری، رهبری، دخیل کردن کارکنان، رویکرد فرآیندی، رویکرد سیستمی به مدیریت، بهبود پیوسته، رویکرد واقعی به تصمیم‌گیری و روابط سودمند متقابل با تأمین‌کننده از جمله‌این موارد هستند.

ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰: اساس سیستم‌های مدیریت کیفیت را توصیف نموده و اصطلاح شناسی مربوطه را مشخص می‌نماید.

ISO ۹۰۰۱:۲۰۰۸: الزامات سیستم مدیریت کیفیتی را مشخص می‌کند که سازمان(شرکت) باید قابلیت خود را در فراهم نمودن محصولاتی به اثبات برساند که نیازهای مشتری و الزامات قانونی قابل کاربرد را برآورده می‌سازند. تمرکز این استاندارد روی ۴ فصل اصلی است: مسئولیت مدیریت، مدیریت منابع، پدیدآوری خدمات و/یا محصول و اندازه‌گیری. سیستم مدیریت کیفیت باید اطمینان یابد که تمام افراد دخیل در یک محصول، طبق مدیریت کیفیت فراگیر، (چه در تکوین محصول، تولید، نصب یا سرویس کردن آن و همچنین در وظیفه‌ی مدیریت یا کارکنان) در مسئولیت کیفیت آن محصول شریک هستند. سیستم باید در زمان واحد مقرون به صرفه بوده و به کاهش زمان عرضه به بازار کمک کند. از این رو، باید از تشریفات اداری اجتناب شود و چنین سیستمی باید تمام وجوه مربوط به کیفیت، قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، آمادگی و ایمنی، از جمله فعالیت‌های مدیریت، سازمان‌دهی، طرح‌ریزی و مهندسی را پوشش دهد. امروزه مشتریان انتظار دارند که تنها قلم‌های که دارای الزامات مورد توافق هستند، تحویل داده شوند.

ISO ۹۰۰۴:۲۰۰۰ رهنمودهایی ارائه می‌کند که کارایی و اثر بخشی سیستم مدیریت کیفیت را در نظر می‌گیرند.

خانواده‌ی ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ به طبقه‌ی گسترده‌ای از محصولات و خدمات می‌پردازد (فنی و غیرفنی). بنابراین محتوای آن، در مقایسه با استانداردهای دارای کاربرد خاص که مثلاً در راه‌آهن، هوافضا، دفاع و صنایع هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (پیوست الف-۲-۳)، فاقد جزئیات است. این استاندارد در بسیاری از کشورهای به عنوان استاندارد ملی پذیرفته شده و تا حدی به عنوان گواهی بین‌المللی به رسمیت شناخته شده است.

وجوه قابلیت اعتماد با تمرکز بر قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و پشتیبانی لجستیکی سیستم‌ها در استانداردهای IEC بررسی می‌شوند، به ویژه *IEC* ۶۰۳۰۰ برای الزامات جهانی و *IEC* ۶۰۶۰۵,۶۰۷۰۶,۶۰۸۱۲,۶۱۰۲,۶۱۰۷۸,۶۱۱۲۴,۶۱۱۶۳,۶۱۱۶۴,۶۱۱۶۵,۶۱۵۰۸,۶۱۷۰۹ برای روش‌های اجرایی خاص، برای فهرستی جامع به [الف-۲-۶] مراجعه کنید. *IEC* ۶۰۳۰۰ به برنامه‌های قابلیت اعتماد می‌پردازد (مدیریت، شرح تکلیف، راهنماهای کاربرد). آزمون‌های قابلیت اطمینان برای نرخ وقوع خرابی ثابت (λ) (یا MTBF برای مورد $MTF = 1/\lambda$) در

جدول الف-۲-۱ استانداردهای تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان/ مدیریت تجهیزات و سیستم‌ها.

صنعتی

ISO ۹۰۰۰:۲۰۰۰ سیستم‌های مدیریت کیفیت – اساس و واژگان

ISO ۹۰۰۱:۲۰۰۸ سیستم‌های مدیریت کیفیت – الزامات

ISO ۹۰۰۴:۲۰۰۰ سیستم‌های مدیریت کیفیت – رهنمودهایی برای بهبود عملکرد

IEC ۶۰۳۰۰ :۰۵-۲۰۰۳ مدیریت قابلیت اعتماد (۱: مدیریت برنامه،۲: تکالیف عنصر برنامه، ۳: راهنماهای کاربرد).

IEC ۶۰۶۰۵ :۰۶-۱۹۸۶ آزمون قابلیت اطمینان تجهیزات (۲: چرخه‌های آزمون،۳: شرایط آزمون، ۴: برآوردهای نقطه‌ای و بازه‌ای، ۶: آزمون برای نرخ وقوع خرابی ثابت).

IEC ۶۰۷۰۶ :۰۶-۱۹۹۴ راهنمایی در مورد قابلیت نگهداری تجهیزات (۱: برنامه‌ی نگهداری ، ۲: تحلیل، ۳: ارزیابی داده‌ها، ۴: طرح‌ریزی پشتیبانی، ۵: تشخیص عیب، ۶: روش‌های آماری).

IEC ۶۱۱۲۴ : ۲۰۰۶ آزمون قابلیت اطمینان – آزمون‌های انطباق برای نرخ وقوع خرابی ثابت و شدت وقوع خرابی ثابت (جایگزین *IEC* ۶۰۶۰۵ – ۷).

:۰۶-۱۹۶۹

IEC ۶۰۰۶۸,۶۰۳۱۹,۶۰۴۱۰,۶۰۴۴۷,۶۰۷۲۱,۶۰۷۴۰,۶۰۸۱۲,۶۰۸۶۳,۶۱۸۸۲,۶۲۱۹۸ ۶۱۰۰۰,۶۱۰۱۴,۶۱۰۲۵,۶۱۰۷۰۶۱۰۷۸,۶۱۱۲۳,۶۱۱۶۰,۶۱۱۶۳,۶۱۱۶۴,۶۱۱۶۵,۶۱۵۰۸, ۶۱۶۴۹,۶۱۶۵۰,۶۱۷۰۳,۶۱۷۰۹,۶۱۷۱۰

IEEE std ۱۳۳۲:۱۹۹۸ برنامه‌ی قابلیت اطمینان استاندارد برای تکوین و تولید سیستم‌ها و تجهیزات الکترونیک (به ۱۴۱۳ نیز مراجعه کنید).

EN ۵۰۱۲۶ :۱۹۹۹ کاربردهای راه‌آهن – مشخصات و اثبات عملی RAMS

۱۹۸۵: اتحادیه‌ی اروپا ۳۷۴ / ۸۵ تعهد در قبال محصول

کیفیت نرم‌افزار

۱۹۸۷-۹۸ بین‌المللیIEEE/ANSI استانداردهای نرم‌افزارهای مهندسی، جلدهای ۱ تا ۴، ۱۹۹۹ (به ویژه *ISO* / ۶۱۰,۷۳۰,۱۰۲۸,۱۰۴۵,۱۰۶۲,۱۴۶۵ (*IEC* ۱۲۱۱۹)).

IEC ۶۱۷۱۳ *ISO* / *IEC* ۱۲۱۱۹,*IEC*,*SIO* / *IEC* (۲۰۰۰) *IEC* ۱۲۲۰۷(۱۹۹۵) 12207

دفاع

۱۹۶۳: *MIL* – *Q* – ۹۸۵۸ الزامات برنامه‌ی کیفیت (ویرایش A).

۱۹۸۰: ایالات متحده‌ی امریکا *MIL* – *STD* – ۷۸۵ برنامه‌ی قابلیت اطمینان برای سیستم‌ها و تکوین و تولید تجهیزات (ویرایش B).

۱۹۸۶: *MIL* – *STD* – ۷۸۱ آزمون قابلیت اطمینان برای مهندسی، احراز شرایط و تولید (ویرایش D).

۱۹۸۳: ایالات متحده‌ی امریکا $MIL-STD-۴۷۰$ برنامهٔ قابلیت نگهداری برای مهندسی سیستم‌ها و تجهیزات (ویرایش A).
۱۹۸۴ $AQAP-۱$ الزامات ناتو برای سیستم کنترل کیفیت صنعتی (ویرایش سوم).
هوافضا
۱۹۷۴: $NHB-۵۳۰۰/۴$ ضوابط ایمنی، قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت برای برنامه‌ی فضایی شاتل ($lD-۱$).
۱۹۹۶: ECSS شرکت اروپایی برای استاندارد سازی فضایی
ECSS-E مهندسی (۰۰-، ۱۰-)
ECSS-M مدیریت پروژه (۰۰-، ۱۰-، ۲۰-، ۳۰-، ۴۰-، ۵۰-، ۶۰-، ۷۰-)
ECSS-Q تضمین محصول (۰۰-، ۲۰-، ۳۰-، ۴۰-، ۶۰-، ۷۰-، ۸۰-)
EN ۹۱۰۰ ۲۰۰۳ سیستم مدیریت کیفیت.

IEC ۶۱۱۲۴ مورد بررسی قرار می‌گیرند. وجوه قابلیت نگهداری در IEC ۶۰۷۰۶ و وجوه ایمنی در IEC ۶۱۵۰۸ ارائه شده‌اند.

برای سیستم‌های تجهیزات و سیستم‌های الکترونیک، $IEEE\ Std$ ۱۳۳۲-۱۹۹۸[A۲.۷] به عنوان راهنمایی برای برنامه‌ی قابلیت اطمینان برای فازهای تکوین و تولید صادر شده است. این مدرک به طور مختصر الزامات اساسی را ارائه می‌دهد و بر همکاری فعال بین تأمین‌کننده (سازنده) و مشتری تأکید دارد و بر سه وجه اصلی تمرکز دارد: تعیین الزامات مشتری، تعیین فرآیندی که الزامات مشتری را برآورده می‌سازد و تضمین این که الزامات مشتری برآورده می‌شوند. مثال‌های الزامات جامع برای کاربرد در صنعت مثلاً در [الف-۲-۲، الف-۲-۳] ذکر شده‌اند. وجوه نرم‌افزار در استانداردهای مهندسی نرم‌افزار IEEE [الف-۲-۸] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. الزامات تعهد در قبال محصول در دستورالعمل‌های بین‌المللی ارائه شده‌اند، مثلاً به [۱-۸] مراجعه کنید.

الف-۲-۳ الزامات در حوزه‌های هوافضا، راه آهن، دفاع و هسته‌ای

الزامات در حوزه‌های فضا و راه آهن عموماً وجوه کیفیت، قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، ایمنی و کیفیت نرم‌افزار را در مدرک تضمین محصول یا RAMS ترکیب می‌کنند که در ساختار و محتوای این مدرک به خوبی درک می‌شوند [الف-۲-۳ تا الف-۲-۵، الف-۲-۱۲]. در حوزه‌ی راه آهن، EN ۵۰۱۲۶ [الف-۲-۳] نیازمند یک برنامه‌ی RAMS با تأکیدی ویژه بر وجوه ایمنی است. در این حوزه‌ی ارتباطات فضایی اویونیک نیز به همین صورت است. در این حوزه EN ۹۱۰۰-۲۰۰۳ [الف-۲-۴] با تقویت الزامات خانواده‌ی ISO ۹۰۰۰ صادر شده است. می‌توان انتظار داشت که فضا و ارتباطات فضایی در یک سری هوافضا، استانداردهای را یکپارچه سازند.

استانداردهای نظامی نقش مهمی در ۳۰ سال گذشته ایفا کرده‌اند، به ویژه $MIL-Q-۹۸۵۸$ و $MIL-STD-۴۷۰,۴۷۱,۷۸۱,۷۸۵,۸۸۲$ [الف-۲-۱۰]. $MIL-Q-۹۸۵۸$ (ویرایش اول، ۱۹۵۹) پایه‌ی

بسیاری از استانداردهای تضمین کیفیت بود. با این حال، این استاندارد وجوه خاص قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و ایمنی را پوشش نمی‌دهد، MIL – STD – ۷۸۵,۴۷۰,۸۸۲ منتشر شدند. MIL – STD – ۷۸۵ نیازمند تحقق یک برنامه‌ی قابلیت اطمینان است؛ تکالیف به دقت توصیف می‌شوند و برنامه باید سازگارسازی شود تا نیازهای کاربر را برآورده سازد. روش‌های اجرایی پذیرش $MTBF = ۱/\lambda$ در MIL – STD – ۷۸۱ ذکر شده‌اند. MIL – STD – ۴۷۰ نیازمند تحقق یک برنامه‌ی قابلیت نگهداری با تأکید بر قواعد طراحی، بازنگری‌های طراحی و FMEA/FMECA است. اثبات عملی قابلیت نگهداری در MIL – STD – ۴۷۱ پوشش داده شده است. MIL – STD – ۸۸۲ نیازمند تحقق یک برنامه‌ی ایمنی است، به ویژه تحلیل تمام خطرات احتمالی. برای کشورهای ناتو، الزامات AQAP از سال ۱۹۶۸ منتشر شدند. استانداردهای نظامی اهمیت خود را از دست داده‌اند. با این حال همچنان می‌توانند در تکوین روش‌های اجرایی برای کاربردهای صنعتی مفید باشند.

حوزه‌ی هسته‌ای دارای استانداردهای خاص خود است که به خوبی برقرار شده‌اند. این استانداردها بر وجوه ایمنی، بازنگری‌های طراحی، حسابداری پیکربندی، احراز شرایط قطعات/ مواد/ فرآیندهای تولید، کنترل کیفیت در طول تولید و آزمون‌ها تأکید دارند.

پیوست الف-۷: نظریه فرآیندهای تصادفی پایه

فرآیندهای تصادفی، ابزاری قدرتمند برای بررسی قابلیت اطمینان و آمادگی تجهیزات و سیستم‌های قابل تعمیر هستند. فرآیند تصادفی را می‌توان خانواده‌ای از متغیرهای تصادفی وابسته به زمان یا تابعی تصادفی در زمان در نظر گرفت و لذا فرآیند تصادفی دارای بنیادی نظری بر اساس نظریه احتمال است (پیوست الف-۶). استفاده از فرآیندهای تصادفی، تحلیل تأثیر توزیعات عاری از وقوع خرابی و تعمیر عناصر و همچنین ساختار سیستم، راهبرد تعمیر و پشتیبانی لجستیکی را بر قابلیت اطمینان و آمادگی سیستمی معین، میسر می‌سازد. این پیوست با در نظر گرفتن کاربردهای ارائه شده در فصل ۶، بیشتر به فرآیندهای تصادفی احیایی با فضای حالت محدود می‌پردازد که شامل فرآیندهای احیا، فرآیندهای مارکوف، فرآیندهای نیمه‌مارکوف و فرآیندهای نیمه‌احیایی از جمله وجود پاداش و فراوانی/ دوام می‌شوند. با این حال، برخی فرآیندهای غیراحیایی (به ویژه فرآیند پواسون ناهمگن) به دلیل اهمیتی که دارند در پیوست الف-۷-۸ معرفی می‌شوند. این پیوست، خلاصه‌ای است از نظریه فرآیندهای تصادفی که از دیدگاه ریاضیاتی سازگار است، اما با در نظر داشتن کاربردهای مهندسی قابلیت اطمینان. مثال‌های انتخابی، وجود عملی را نشان می‌دهند.

الف-۷-۱ مقدمه

فرآیندهای تصادفی، مدل‌هایی ریاضیاتی از قبیل رفتار زمانی سیستمی قابل تعمیر یا ولتاژ نویز دیود، برای پدیده‌های تصادفی هستند که طی زمان پدید می‌آیند. این فرآیندها از اینجا به بعد با حروف یونانی ((t)ξ، (t)ζ، (t)η، (t)ν و غیره، نشان داده می‌شوند.

برای معرفی مفهوم فرآیند تصادفی، رفتار زمانی سیستمی را در نظر بگیرید که در معرض تأثیرات تصادفی است و T را بازه‌ی زمانی مورد نظر بگیرید، مثلاً $T=[0,\infty)$، فرض می‌شود که مجموعه‌ی حالات ممکن سیستم، یعنی فضای حالت، زیرمجموعه‌ای از اعداد حقیقی است؛ لذا حالت سیستم در زمانی معین (t_0)، یک متغیر تصادفی (ξt_0) است. متغیرهای تصادفی $(\xi(t), t\in T)$ ممکن است به طور اختیاری با یکدیگر جفت شوند. با این حال برای هر n=1,2,... و مقادیر اختیاری $(t_1,...,t_n \in T)$ ، وجود تابع توزیع n بعدی (معادله‌ی الف-۶-۵۱)

$$F(x_1,...,x_n,t_1,...,t_n)=\Pr\{\xi(t_1)\le x_1,...,\xi(t_n)\le x_n\} \qquad \text{(الف ۷-۱)}$$

فرض می‌شود؛ لذا $\xi(t_1),...,\xi(t_n)$ قطعات بردار تصادفی $(\vec{\xi}(t))$ هستند. می‌توان نشان داد که خانواده‌ی توابع توزیع n بعدی (معادله‌ی الف-۷-۱) شرط پایداری را برآورده می‌سازد.