دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

بهینه سازی هزینه ضمانت‌نامه تحت تأثیر عوامل انسانی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- صنایع

امین احمدی دیگه‌سرا

استاد راهنما

دکتر علی زینل همدانی

۱۳۹۱

پس از شکرگزاری از درگاه خداوند متعال که الطاف بی کرانش همواره شامل حالم بوده است،

سپاسگذار کسانی هستم که سرآغاز تولد من هستند. از یکی زاده میشوم و از دیگری جاودانه. مادری که تار مویی از او بپای من سیاه نماند و پدر مهربانم که سپیدی را بر تخته سیاه زندگیم نگاشت.

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر همدانی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

مراتب تقدیر و تشکر خود را نسبت به اساتید گرامی جناب آقای دکتر رئیسی و جناب آقای دکتر ملاوردی که زحمت داوری این پایان نامه را به عهده داشتند، ابراز میدارم.

و در آخر از دوستان و همراهان عزیزم خانم باقری، خانم رستگار و آقایان سینا راستانی، هادی فتحی، امید رجبی، میلاد همتیان، آرش تقدس و رامین اکبری تشکر می نمایم.

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تقدیم به

پدر و مادرم

برادران عزیزتر از جانم

اساتید گرانقدرم

و

دوستان عزیزم

کلیه‌ی حقوق مادی مترتبت بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآورِهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول:مقدمه

۱-۱-اهمیت ضمانت‌نامه ۲

۱-۲-اهداف و ضرورت انجام این تحقیق ۳

فصل دوم:تعاریف و مفاهیم

۲-۱-مقدمه ۵

۲-۲- تعریف مفاهیم اساسی ٦

۲-۲-۱- تعریف خرابی ٦

۲-۲-۲- فرسودگی محصول ۷

۲-۲-۳-انواع خرابی ۷

۲-۳- توابع آماری ۸

۲-۳-۱-نرخ خرابی و تابع خرابی ۸

۲-۳-۲- تابع تجمعی نرخ خرابی ۹

۲-۳-۳-میانگین زمان کارکرد تا خرابی ۱۰

۲-۳-۴-مفاهیم فرآیندهای تصادفی ۱۱

۲-۴- مشکلات مرتبط با درخواست‌های ضمانت‌نامه ۱٤

۲-۴-۱-درخواست‌های ضمانت‌نامه که با تأخیر انجام شوند ۱٤

۲-۴-۲-خراب شده است ولی گزارش نشده است ۱٤

۲-۴-۳- خراب نشده است ولی گزارش می‌شود ۱۵

۲-۵-اجرای ضمانت‌نامه ۱۵
۲-٦-دسته بندی سیاست‌های ضمانت‌نامه ۱۷
۲-۷-ابعاد سیاست ضمانت‌نامه ۱۸
۲-۸-نقش ضمانت نامه ۱۸
۲-۸-۱-دیدگاه خریداران ۱۹
۲-۸-۲-دیدگاه تولید کننده ۱۹
۲-۹-انواع زمینه‌های مطالعاتی ضمانت نامه ۱۹
۲-۹-۱-چارچوب بازبینی ۲۰
۲-۹-۲-مروری کوتاه بر سیاست‌های متداول ضمانت‌نامه ۲۱
۲-۱۰-انواع تعمیر ۲۳
۲-۱۰-۱-تعمیر کامل ۲٤
۲-۱۰-۲-تعمیر حداقلی: ۲٤
۲-۱۰-۳-تعمیر ناقص ۲٤
۲-۱۰-۴-تعمیر بدتر ۲٤
۲-۱۰-۵-بدترین تعمیر ۲۵
۲-۱۱-مقایسه تفاوت تعمیرات با توجه به متوسط زمان سپری شده تا مشاهده خرابی (MTTF) ۲٦
۲-۱۲-اهداف پژوهش ۲٦
فصل سوم:مرور ادبیات
۳-۱-تاریخچه ضمانت‌نامه ۲۷
۳-۲-استراتژی‌های تعمیر ۳۵
۳-۲-۱-تمامی تعمیرات از نوع تعمیر حداقلی ۳۵
۳-۲-۲-تمامی تعمیرات از نوع کامل ۳۵

۳-۲-۳- تمامی تعمیرات از نوع جایگزینی ۳۵
۳-۳- استراتژی مورد نظر در این تحقیق ۳۶
فصل چهارم: مدل هزینه‌یابی
٤-۱- فرض‌های مدل ۳۷
٤-۲- تمامی تعمیرات از نوع تعمیر حداقلی ۳۹
٤-۳- تعمیر اولین خرابی در ناحیه میانی توسط تعمیر ناقص و بقیه تعمیرات از نوع تعمیر حداقلی ٤۰
٤-۳-۱- استراتژی اول ٤۱
٤-۳-۲- استراتژی دوم ٤۱
٤-۳-۳- هزینه تعمیر مورد انتظار ضمانت‌نامه ٤۱
٤-٤- تعمیر خرابی اول در ناحیه میانی از نوع جایگزینی و بقیه تعمیرات از نوع تعمیر حداقلی ٤۸
٤-٤-۱- مدل ریاضی رویکرد سوم ٤۹
٤-۵- هزینه های مورد انتظار در شکست‌های غیر دائمی ۵۱
٤-۵-۱- پارامترهای مدل شکست‌های غیر دائمی ۵۱
٤-۵-۲- فرآیند کشف خرابی‌ها و احتمالات آن ۵۳
٤-۵-۳- الگوریتمی برای یافتن تعداد بهینه آزمایش ۵٤
٤-۵-٤- قانون تصمیم گیری ۵٤
٤-۵-۵- روابط ریاضی برای یک مثال ساده ۵٤
٤-۵-٦- مدل خطی ٦۱
٤-٦- هزینه های مورد انتظار در درخواست‌های $NFBR$ ٦۲
٤-٦- مدل‌های هزینه‌یابی ترکیبی ٦۳
٤-٦-۱- WC_1 برای رویکرد اول ٦۳
٤-٦-۲- WC_1 برای رویکرد دوم ٦۳

٤-٦-٣- WC_1 برای رویکرد سوم ٦٤
٤-٦-٤- نحوه محاسبه WC_2 ..... ٦٤
فصل پنجم: نتایج عددی
٥-١- مقدمه ٦٧
٥-٢- توابع و مقادیر پارامترها ٦٧
٥-٢-١- بخش اول مدل ٦٧
٥-١-٢-بخش دوم مدل ٦٨
٥-٢- هزینه‌های هر واحد ٦٩
٥-٣- محاسبه $\boldsymbol{\delta^*(t)}$ ٦٩
٥-٤- مقادیر پارامترها ٧٠
٥-٥-نتایج عددی ٧١
٥-٥-١- هزینه‌های خرابی دائمی ٧١
٥-٥-٢- هزینه خرابی‌های غیر دائمی ٧٤
٥-٥-١- مقایسه نتایج عددی ٧٥
٥-٦- نتیجه گیری ٧٦
٥-٧- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ٧٧
مراجع ٧٩

فهرست جداول

جدول ۳- ۱-دسته‌بندی مقالات بر اساس رویکرد حل ۳۰

جدول۳- ۲- دسته‌بندی مقالات بر اساس رویکرد حل ۳۱

جدول ۳- ۳- دسته‌بندی مقالات بر اساس رویکرد حل ۳۲

جدول۳- ٤- دسته‌بندی مقالات بر اساس رویکرد حل ۳۳

جدول ٤- ۱- فهرست علائم و اختصارات ۳۹

جدول ٥- ۱- توزیع وایبول ٦۸

جدول ٥- ۲- پارامترهای توزیع وایبول ٦۸

جدول ٥- ۳- مقادیر هزینه تعمیر ٦۹

جدول ٥- ٤-نرم افزارهای مورد استفاده ۷۰

جدول ٥- ٥- مقادیر پارامترها ۷۱

جدول ٥- ٦-هزینه‌های رویکرد اول وقتی β =۲/٥ و W= ۲ است ۷۱

جدول ٥- ۷- هزینه‌های رویکرد دوم-استراتژی اول وقتی β =۲/٥ ،P= ٤ و W= ۲ است ۷۲

جدول ٥- ۸- هزینه‌های رویکرد دوم-استراتژی اول وقتی β =۲ ،P= ٤ و W= ۲ است ۷۲

جدول ٥- ۹- هزینه‌های رویکرد دوم-استراتژی اول وقتی β =۲/٥ ،P= ۲ و W= ۲ است ۷۲

جدول ٥- ۱۰- هزینه‌های رویکرد دوم-استراتژی دوم وقتی β =۲/٥ ،P= ٤ و W= ۲ است ۷۲

جدول ٥- ۱۱- هزینه‌های رویکرد دوم-استراتژی دوم وقتی β =۲ ،P= ٤ و W= ۲ است ۷۲

جدول ٥- ۱۲- هزینه‌های رویکرد دوم-استراتژی دوم وقتی β =۲/٥ ،P= ۲ و W= ۲ است ۷۲

جدول ٥- ۱۳- هزینه‌های رویکرد سوم وقتی β =۲/٥ و W= ۲ است ۷٤

جدول ٥- ۱٤- مقادیر فرضی k_i ۷٤

جدول ٥- ۱٥- هزینه هر آزمایش ۷٥

جدول ٥- ۱٦- تعداد بهینه آزمایش ۷٥

جدول ٥- ۱۷-مقایسه نتایج جدول ۷٦

فهرست اشکال

شکل ۲- ۱- نمایش حالات مختلف یک تابع خرابی ۱۰
شکل ۲- ۲- نمایش حالات مختلف یک تابع خرابی با نمودار عمر انسان ۱۱
شکل ۲- ۳- نمودار تابع اجرای ضمانت‌نامه q_{22} ۱۷
شکل ۲- ٤-نمودار تابع اجرای ضمانت‌نامه q_{12} ۱۷
شکل ۲- ٥- تقسیم‌بندی سیاست‌های ضمانت‌نامه ۱۸
شکل ۲- ٦- دسته‌بندی مباحث ضمانت‌نامه ۲۰
شکل ۲- ۷- انواع سیاست‌های ضمانت‌نامه ۲۳
شکل ۲- ۸- نمودار انواع تعمیرات ۲۵
شکل ٤- ۱- نمودار برای بررسی $\nu(z,t)$ ٤٥
شکل ٤- ۲- نمودار تغیرات $\xi(t)$ ٤٥
شکل ٤- ۳- نمودار تغیرات $\delta^*(t)$ ٤٦
شکل ٥- ٤- نمایش فضاهای خرابی ٥۲

چکیده

ضمانت نامه یک تعهد قراردادی است که تولید کننده یا فروشنده در ازای فروش یک محصول به یک خریدار، بر عهده می‌گیرد. به بیان دیگر، هدف از ضمانت‌نامه پدید آوردن گونه‌ای مسئولیت در بازه زمانی معین برای تولید کننده و فروشنده است. زمانی که یک قطعه خراب می‌شود، تولید کننده بنا به سیاستی تعمیری که پیشاپیش در نظر گرفته است اقدام به تعمیر یا جایگزینی قطعه معیوب می‌کند. نقش ضمانت‌نامه در دنیای صنعتی و تجاری به عنوان یک سرمایه گذاری سودآور، به سرعت در حال افزایش می‌باشد، این نقش چه از بعد ترغیب مشتری و چه از بعد چتر حمایتی خصوصا برای کالاهای پیچیده و گران از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. از دیدگاه تولید کننده و فروشنده ضمانت‌نامه، مهم‌ترین جنبه ضمانت‌نامه، هزینه‌هایی است که پس از تعهد ضمانت‌نامه به دنبال خواهد آمد. این هزینه، تعیین کننده خط مشی‌ها و تصمیماتی است که بر طبق آن‌ها تولید کننده، ضمانت‌نامه را به مشتری پیشنهاد می‌کند. در اتخاذ خط مشی سودآورتر و مفیدتر برای مشتری، تجزیه و تحلیل هزینه‌ها در قالب یک مدل کمی امکان‌پذیر می‌باشد. مدل‌سازی هزینه‌های ناشی از ادعای درخواست ضمانت‌نامه با قبول دسته‌ای از فرضیات عمدتاً در دو شاخه مدل‌های تک بعدی و دو بعدی توسط خط مشی‌های مختلف توسعه می‌یابد. تولیدکنندگان برای حداقل سازی هزینه‌های تولیدی-پشتیبانی و حداکثر کردن میزان رضایت مشتری از محصول ارائه شده با ضمانت‌نامه درصد یافتن یک استراتژی کارا هستند. تحقیق پیش رو، یک مدل دو بخشی تعمیر حداقلی-ناقص برای ضمانت‌نامه رایگان تجدید ناپذیر ارائه می‌دهد. این مدل، دو نوع عامل انسانی که در هزینه‌های نهایی تأثیر گذاشته و دو نوع خرابی که از لحاظ ماهیت متفاوت بوده را در نظر گرفته است. در بخش اول مدل پیشنهادی، یک استراتژی به منظور یافتن هزینه بهینه برای تعمیر خرابی‌های غیر دائمی تحت دو عامل انسانی ارائه می‌شود. در بخش دوم یک مدل ریاضی برای تعیین تعداد بهینه آزمایش و هزینه بهینه تعمیر خرابی غیر دائمی پیشنهاد شده و سه مدل هزینه‌یابی که ترکیب عوامل انسانی بوده ارائه می‌شود. نهایتا تلاش شده که بهترین استراتژی ترکیبی برای تعمیر قطعات معیوب تعیین شود.در پایان برای بررسی نتایج عددی، از توزیع وایبول استفاده شده وپارامترهای مختلف در نظر گرفته شده است و توسط شکل‌های مختلف توزیع وایبول به تحلیل نتایج عددی پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: ضمانت‌نامه، خرابی‌های دائمی، خرابی‌های غیر دائمی، ضمانت‌نامه رایگان تجدید پذیر، مدل‌سازی ریاضی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت ضمانت‌نامه

ضمانت‌نامه، یک عنصر مهم برای بازاریابی محصولات است که به عنوان سیگنال‌هایی برای ایجاد کیفیت بالاتر محصول و اطمینان بیشتر برای مشتریان ایجاد شده است. خدمات ضمانت‌نامه، هزینه های اضافی است که به تولید کننده تحمیل می‌شود و این هزینه بستگی به قابلیت اعتماد محصول و شرایط ضمانت‌نامه دارد. از یک سو، قابلیت اطمینان محصول تحت تأثیر تصمیمات اتخاذ شده در طول طراحی و ساخت محصول می‌باشد. بنابراین، مباحث مرتبط با ضمانت‌نامه محصولات توجه محققان را از رشته های مختلف جلب کرده است.

از سوی دیگر، به علت پیشرفت‌های سریع تکنولوژی، سیستم‌ها و محصولات جدید با نرخی رو به رشد در بازار ظاهر می‌شوند و عموماً از لحاظ عملکرد پیچیده و پیچیده تر می‌شوند. با افزایش این پیچیدگی‌ها و استفاده از مواد اولیه جدید و شیوه های طراحی، اغلب مشتریان در مورد کارکرد محصول مطمئن نیستند و قابلیت اعتماد این محصولات برای مشتریان و خریداران مبهم است. در نتیجه، ضمانت‌نامه باعث می‌شود که مشتری از کارکردهای وعده داده شده اطمینان پیدا کنند.

ارائه ضمانت‌نامه باعث ایجاد هزینه برای تولید کننده می‌شود و در نتیجه تولید کننده می‌بایست این هزینه‌ها را تا حدی که امکان دارد حداقل کند. این حداقل سازی هزینه وابسته به نوع روش تعمیر، نحوه درخواست‌های مشتریان و عوامل بسیار

دیگری است. بنابراین به وضوح می‌توان بیان کرد که ضمانت‌نامه به عنوان بخش جدید اضافه شده به محصولات، هزینه‌های جدیدی را با خود به همراه داشته و پیش بینی این هزینه‌ها برای تولید کننده اهمیت دارد.

۱-۲- اهداف و ضرورت انجام این تحقیق

استراتژی‌ها و مدل‌های بسیاری طی چند دهه گذشته برای حداقل کردن هزینه‌ها در ضمانت‌نامه ارائه شده است. روش ارائه شده در این تحقیق ر ا می‌توان به عنوان یک روش ترکیبی در نظر گرفت که در مدل سازی هزینه‌های ضمانت‌نامه ارائه شده است.

این طور می‌توان بیان کرد که این رویکرد حل، جز اولین روش‌های حلی است که همزمان، علاوه بر در نظر گرفتن رفتار مشتری در ارائه درخواست‌های ضمانت‌نامه، انواع خطاها را جدا کرده و متناسب با هر نوع خطا روش حل مناسب ارائه می‌کند.

بحث اولیه این روش را می‌توان رویکرد ارائه شده توسط شیومین [۱] دانست. شیومین با ارائه یک رویکرد حل وابسته به توزیع پواسون هزینه دو نوع خطا را مدل سازی می‌کند. اما در مقاله وی برای هر خرابی مخرب تنها یک استراتژی ساده در نظر گرفته شده است ولی آنچه در این تحقیق انجام می‌گیرد شامل مراحل زیر است:

۱- تعین هزینه خرابی مخرب
۲- تعیین هزینه خرابی متناوب
۳- در نظر گرفتن توابع درخواست
۴- بدست آوردن مدل‌های ترکیبی

برای بدست آوردن خرابی‌ها، می‌توان از یک استراتژی ساده یا ترکیبی استفاده کرد. این که چه استراتژی تعمیری استفاده شود کاملاً در اختیار تولید کننده است و آن‌ها با توجه به شرایطی که در آن قرار گرفته‌اند، برای حداقل سازی هزینه‌ها یکی از استراتژی‌ها را بکار می‌برند.

رویکرد حل مورد نظر در این تحقیق شامل سه بخش است. در بخش اول، سه نوع رویکرد برای بدست آوردن هزینه تعمیر خرابی مخرب معرفی شده و با مقایسه هزینه‌های بدست آمده از هر کدام، رویکرد مناسب‌تر انتخاب می‌شود. در بخش دوم برای محاسبه هزینه خرابی متناوب، یک مدل برنامه ریزی خطی در نظر گرفته می‌شود. نرخ خرابی برای این دو نوع خرابی متفاوت بوده و بعداً توضیح داده خواهد شد.

در ادامه، در فصل دوم مفاهیم مورد استفاده در تحقیق بیان می‌گردد. توضیحاتی درباره انواع روش‌های تعمیر، توزیع‌های مورد استفاده فرآیند شمارش و مفاهیم ابتدایی و انواع ضمانت‌نامه بیان شده است. در فصل سوم مروری بر فعالیت‌های و تحقیقات گذشته انجام گرفته و اشاره‌ای مختصر به استراتژی‌های تعمیر و استراتژی مورد نظر در این تحقیق دارد. فصل چهارم رویکرد حل مورد نظر را بیان می‌کند. در فصل پنجم مثال عددی بیان می‌گردد و رویکرد توضیح داده شده در فصل چهارم بررسی می‌شود و تحلیل پارامتری انجام می‌گیرد.

فصل دوم
تعاریف و مفاهیم

۲-۱- مقدمه

ضمانت نامه یک تعهد قراردادی است که تولید کننده یا فروشنده در ازای فروش یک محصول به یک خریدار، بر عهده می‌گیرد [۲]. به بیان دیگر، هدف از ضمانت‌نامه پدید آوردن گونه‌ای مسئولیت در بازه زمانی معین برای تولید کننده و فروشنده است. زمانی که یک قطعه خراب می‌شود، تولید کننده بنا به سیاست تعمیری که پیشاپیش در نظر گرفته است اقدام به تعمیر یا جایگزینی قطعه معیوب می‌کند. این قرارداد، کارکرد مورد انتظار محصول را تایید می‌کند و زمانی که این وعده‌ها برآورده نگردد، خریدار این فرصت را دارد که درخواست خسارت کند.

برای محصولاتی که شناخته شده هستند، ضمانت‌نامه نقش مهمی در نگهداری از منافع مصرف‌کنندگان دارد. به طوری که اگر یک قطعه خراب شود یا کارکرد رضایت بخشی نداشته باشد، ضمانت‌نامه تضمین می‌نماید که قطعه معیوب را تعمیر یا با یک قطعه تازه و غیر معیوب با هزینه معقول یا بی هیچ هزینه‌ای برای مصرف کننده جایگزین کند [۲].

در تصمیم‌گیری خرید یک محصول رایج است که، خریداران، ویژگی برندهای رقیب را در نظر می‌گیرند.

هنگامی که برندهای رقیب شباهت به یکدیگر دارند، بسیار سخت است که یک محصول خاص را صرفاً بر پایه ویژگی مشترک و مرتبط به محصول، مانند بهای محصول، ویژگی خاص آن، کیفیت و قابلیت اطمینان محصول، تعهدات مالی ارائه شده توسط تولید کننده و غیره برگزید. در این شرایط، پس از عوامل فروش، ضمانت نامه، در دسترس بودن قطعات و هزینه تهیه آن، خدمات تعمیر و نگهداری، و در انتخاب محصول اهمیت داده می‌شود [۳] .

در زمینه محصولات تازه، باید توجه کرد که نسل‌های تازه در برابر نسل‌های پیشین خود، پیچیده تر هستند. بیشتر مشتریان در زمینه کارکرد محصول جدید، مطمئن نیستند. در اینجا ضمانت‌نامه نقش مهمی در ارائه تضمین محصول به مشتریان ایفا می‌کند و بسته به گونه محصول و خریدار، ضمانت‌نامه‌های گوناگونی ارائه می‌شود. مفهوم پشتیبانی پس از فروش، در حال دگرگون شدن به یک ویژگی مهم در فروش محصول می‌باشد. در واقع، ضمانت نامه همچون بخشی از راهبرد[1] خدمات پس از فروش و پشتیبانی پس از فروش محصول می‌باشد و ضمانت از هر گونه‌ای و با هر ویژگی‌ای، همچون یک سرویس اضافی مرتبط با یک محصول شناخته می‌شود و هزینه‌های نهفته آن، فراتر از هزینه‌های مرتبط با طراحی، ساخت و فروش محصول می‌باشد. این هزینه‌ها، پیش بینی نشدنی است و احتمال دارد که در آینده رخ دهد و معمولاً از ٪۲ تا نزدیک به ٪۱۵ درصد از فروش خالص گستره مک گوایر[2] را در برمی‌گیرد [٤]؛ لذا ضمانت‌نامه در زمینه کسب و کار تولید، تأثیر قابل توجهی در سوددهی شرکت دارد و در کل می‌تواند تأثیر قابل توجهی در هزینه های عملیاتی داشته باشد. با این توصیفات نقش بررسی مدل‌های هزینه یابی در سازمان‌هایی که اقدام به ارائه ضمانت‌نامه می‌کنند بسیار پر رنگ می‌باشد و باید همچون سایر عوامل هزینه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲- تعریف مفاهیم اساسی

در این بخش تمامی مفاهیم کلی و اساسی که در بخش‌های بعدی یا مدل‌سازی هزینه ضمانت‌نامه بکار گرفته خواهد شد، بیان می‌گردد.

۲-۲-۱- تعریف خرابی[3]

به هر پیشامدی که تأثیری مخرب بر کارکرد سیستم داشته باشد، خرابی می‌گویند [۵]. این تأثیر بر معیارهای یک سیستم اثر تخریبی دارد. به بیان دیگر، خرابی حالتی را توصیف می‌کند که در آن قطعه یا سیستم قادر به انجام وظیفه عملکردی تعریف شده خود نباشد. نکته دیگر، تعریف روشن و کامل خرابی است که ابتدا باید کاملاً مشخص گردد و هیچ ابهامی در آن نباشد. نرخ خرابی عملیاتی به صورت نرخ یکنواخت رخ نمی‌دهد، بلکه توسط یک منحنی که معمولاً آن را منحنی

---

[1] strategy

[2] مک گوایر ایده‌ای درباره فروش محصول دارد. بر اساس نظریه وی، فروشنده میزان فروش خود را بر اساس فرهنگ اجتماعی، تبلیغات و غیره تنظیم کرده و این در فروش خالص تاثیر خواهد داشت.

[3] Failure

وان حمامی[1] می‌نامند، تعریف می‌شود. بنا به شرایط، این منحنی می‌تواند بر اساس توزیع‌های مهمی مانند توزیع گاما، توزیع نمایی، توزیع وایبول و دیگر توزیع‌ها پیروی کند.

۲-۲-۲- فرسودگی محصول

همه محصولات با افزایش طول عمر یا گذشت زمان فرسوده می‌شوند. وقتی که عملکرد یک محصول پایین‌تر از سطح معینی قرار می‌گیرد، محصول دچار عیب[2] می‌شود. همان طور که گفته شد، خرابی با یک روال غیرقطعی و تحت فاکتورهای طراحی، تولید، تعمیرات و شرایط عملیاتی رخ می‌دهد [۵]. در همه این موارد عوامل انسانی نقش کلیدی دارد.

خرابی‌ها غالباً در نتیجه همین فرسودگی‌ها رخ می‌دهند. نرخ این فرسودگی همان طور که بیان شد تابعی از زمان یا میزان استفاده است.

این نکته نیز مهم است که بین خرابی یا عیب و خطا[3] تفاوت قائل شد. کمیسیون بین‌المللی علوم الکترونیکی، خطا را اختلاف بین مقدار محاسبه شده و مشاهده شده تعریف کرده است. در نتیجه، خطا یک خرابی نیست بلکه یک انحراف مورد قبول از عملکرد مورد نظر است. این انحراف معمولاً در محدوده تعیین شده است [۵].

۲-۲-۳- انواع خرابی

نوع خرابی در واقع توصیفی از خرابی است. برخی منابع از کلمه انواع شکست‌ها نیز استفاده کردند که اشاره‌ای به همین مطلب دارد[۵].

خرابی‌های موقتی (متناوب)[4]: خرابی‌هایی که برای مدت کوتاهی دوام می‌آورند. نمونه این خرابی‌ها به وفور در لوازم الکترونیکی یا کامپیوتری مشاهده می‌شود. مثلاً کامپیوتر چند دقیقه با مشکل روبرو می‌شود و این مشکل رفع می‌شود بدون اینکه سیستم کامل از فعالیت بازبماند.

خرابی‌های گسترده: همان طور که از نام این نوع خرابی‌های مشخص است، این خرابی تا زمانی که اقدامات اصلاحی انجام گیرد ادامه دارند. این نوع خرابی‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شود:

خرابی‌های کامل[5] یا خرابی‌های دائمی[6]: که باعث می‌شود تمامی عملکرد سیستم از بین برود.

---

[1] bathtub curve
[2] fail
[3] error
[4] Intermittent failures
[5] Complete Failures
[6] Fatal Failures

خرابی‌های جزئی[1] :که نیمی از عملکرد محصول را از بین می‌برد.

تمامی خرابی‌های گفته شده در بالا می‌تواند به دو صورت دیگر نیز تقسیم گردد:

خرابی‌های ناگهانی: خرابی‌هایی که بدون هیچ گونه هشداری رخ می‌دهد.

خرابی‌های تدریجی: خرابی‌هایی که با دادن اخطارهایی رخ می‌دهد.

۲-۳- توابع آماری

در این بخش سعی شده است تا مفاهیم اصلی توابع و روابط آماری و ریاضی مختصراً توضیح داده شود. توضیح درباره توزیع‌ها برداشتی از کتاب کارلین [٦] است.

۲-۳-۱- نرخ خرابی و تابع خرابی[2]

متوقف شدن توانایی موجود[3] E برای انجام کار معین تحت شرایط لازم را خرابی E می‌گویند. به عبارت دیگر، E خراب است هرگاه دیگر قادر نباشد کار لازم را تحت شرایط داده شده انجام دهد. نرخ خرابی عبارت است از نسبت خرابی قطعات در فاصله زمانی $(t, t+\Delta t)$وقتی که قطعات تا زمان t سالم باشند [۷]. به زبان ریاضی می‌توان گفت :

$$h(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P(t < T < t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \qquad (۱-۲)$$

که T- مدت زمان کارکرد تا خرابی موجود یک متغیر تصادفی است و اگر چگالی T را با$f_T(t)$ و تابع توزیع آن را با $F_T(t)$ نشان دهیم آن‌گاه تابع قابلیت اعتماد و تابع نرخ خرابی موجود عبارتند از :

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \qquad (۲-۲)$$

$$h(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t \times R(t)} \qquad (۳-۲)$$

بدین ترتیب رابطه بین $h(t)$ و $f(t)$و $R(t)$ عبارت است از:

$$h(t) = -\frac{d}{dt} \ln[R(t)] \qquad (۴-۲)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(x)dx} \qquad (۵-۲)$$

---

[1] Partial failures
[2] Hazard Rate or Failure Rate Function
[3] Entity

هر تابع $h(t)$ که شرایط زیر را داشته باشد می‌تواند یک تابع خرابی[1] باشد.

۱. $h(t) \geq 0$ و $-\infty < t < \infty$

۲. $\lim_{t\to 0} \int_{-\infty}^{t} h(x) = 0$

۳. $\lim_{t\to +\infty} \int_{0}^{t} h(x) = +\infty$

۲-۳-۲- تابع تجمعی نرخ خرابی

هر تابع پیوسته $H(t)$ که شرایط زیر را داشته باشد می‌تواند یک تابع تجمعی نرخ خرابی برای یک توزیع پیوسته باشد.

۱. اگر $t \leq t'$ آنگاه $H(t) \leq H(t')$

۲. $\lim_{t\to -\infty} H(t) = 0$ و $\lim_{t\to +\infty} H(t) = 0$

۳. $H(t)$ از سمت راست پیوسته است.

رابطه بین $H(t)$ و $R(t)$ عبارت است از:

$$H(t) = -\ln\big(1 - F(t)\big) = -\ln(R(t)) \qquad (۶-۲)$$

با توجه به ارتباط بین توابع $h(t)$،$R(t)$ ، $f(t)$،$F(t)$ هر کدام از آن‌ها می‌توانند متغیر T را توصیف نمایند و چنانچه اطلاعاتی در مورد یکی از آن‌ها در دست باشد سایر توابع را می‌توان به سادگی بدست آورد [۶].

نرخ خرابی می‌تواند تابعی به صورت‌های زیر باشد:

ثابت باشد، یعنی زمان، تأثیری روی خرابی نداشته باشد یا خرابی‌ها در طول زمان تصادفی باشد.

صعودی باشد، یعنی با افزایش زمان به دلیلی فرسودگی، نرخ خرابی افزایش یابد.

نزولی باشد، یعنی نرخ خرابی با افزایش زمان به دلیل حالت آب‌بندی و رفع اشکال کاهش یابد.
به طور کلی شکل ۲-۱ می‌تواند نمایش کاملی از حالات مختلف یک تابع خرابی باشد که اصطلاحاً آن را به دلیل شکل خاص آن وان حمامی می‌نامند [۷].

[1] Hazard Function