وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی صنایع

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع

بهینه‌سازی حدّ تعویض و تعمیر در نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت

استاد راهنما:

آقای دکتر حمیدرضا گل‌مکانی

دانشجو:

سیّده مهری موسوی

تیر ۱۳۹۱

تقدیم به

ساحت مقدّس امام زمان(عج)

و سلطان ایران زمین امام رضا (ع)

" به نام خداوند بخشندۀ مهربان"

(ای رسول گرامی بر خیز و) قرآن را به نام پروردگارت که خدای آفرینندۀ عالم است بر خلق قرائت کن (نزد اکثر این اوّل سوره‌ایست که بر رسول"ص" نازل شده است)﴿﴾ آن خدائی‌که آدمی را از خون بسته (که تحوّل نطفه است) بیافرید﴿﴾ بخوان قرآن را و (بدان‌که) پروردگار تو کریم‌ترین کریمان عالم است﴿﴾ آن خدائی که بشر را علم نوشتن به قلم آموخت (که با این نوشتن برای انسان افکار و علوم گذشتگان را محفوظ داشت و نظم معاش، معاد و هر فضل، علم و کمال را منظّم و برقرار ساخت) ﴿﴾ و به آدم آنچه را که نمی‌دانست به الهام خود تعلیم داد﴿﴾ (سورۀ مبارکۀ علق، آیات :۱-۶).

سپاس خداوندی را که سخنوران از ستودن او عاجزند، و حساب‌گران از شمارش نعمت‌های او ناتوان وتلاش‌گران از ادای حق او درمانده‌اند. خدایی که افکار ژرف‌اندیش، ذات او را درک نمی‌کنند و دست غوّاصان دریای علوم به او نخواهد رسید. پروردگاری که برای صفات او حدّ و مرزی وجود ندارد و تعریف کاملی نمی‌توان یافت، و برای خدا وقتی معیّن، و سرآمدی مشخّص نمی‌توان تعیین کرد. مخلوقات را با قدرت خود آفرید، و با رحمت خود بادها را به حرکت در آورد و به وسیلۀ کوه‌ها اضطراب و لرزش زمین را به آرامش تبدیل کرد. "مولی الموحّدین امام علی (ع)" (دشتی، ۱۳۸۰: ۳۲)

تشکّر و قدردانی

برخود واجب می‌دانم پس از حمد و سپاس از خداوند منان، مراتب تقدیر و تشکّر خالصانه خود را، از همهٔ عزیزانی که مرا در تهیّه و تدوین این پژوهش یاری رساندند، اعلام دارم و برای همه این عزیزان توفیق و سربلندی روزافزون در تمامی مراحل زندگی از درگاه ایزدمنان خواستارم.

از استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر حمیدرضا گل‌مکانی، بابت راهنمایی و مساعدت بی‌شائبهٔ ایشان در به ثمر رسیدن تحقیق حاضر، سپاسگزارم.

ازحاجیه خانم تقوی که حامی و مشوّق روحی من در طی اجرای این تحقیق بودند، از خانوادهٔ محترم و عزیزم که با محبّت بی‌شائبهٔ خود محیط مناسبی برای اجرای این تحقیقات در منزل فراهم نموده‌اند، تشکّر می‌نمایم.

چکیده

در یک برنامهٔ نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، هنگامی که هزینهٔ تعویض یک سیستم به دلیل وقوع خرابی در مقابل هزینهٔ تعمیر و یا تعویض پیشگیرانه بسیار بیشتر است، انجام فعّالیّت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در هر دورهٔ بازرسی بر اساس وضعیّت سیستم، منجر به بهبود وضعیّت سیستم و کاهش هزینه‌های تعویض به علّت وقوع خرابی می‌شود. بنابراین، علاوه بر استراتژی تعویض، لحاظ استراتژی تعمیراتی و هزینهٔ اجرای آن‌ها می‌تواند در تکمیل مدل مذکور تأثیر بسزایی داشته باشد. معیار کارایی این مدل، متوسّط هزینهٔ کلّ در واحد زمان، شامل فعّالیّت‌های تعمیراتی، تعویض به علّت خرابی و یا تعویض پیشگیرانه، در بلند مدّت می‌باشد.

در این تحقیق، به جهت تعیین بهترین استراتژی تعمیراتی در یک سیستمِ تحتِ نظارتِ برنامهٔ نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، مدل‌سازی تخمین هزینهٔ متوسّط کل اعم از تعویض و تعمیر انجام گرفته است. مدل‌سازی مذکور، مبتنی بر تحقیقات انجام شده توسط دیگر محققین،[1] منجر به ارائه روشی جدید در تعیین بهترین استراتژی تعمیراتی با لحاظ حدّاقل کردن هزینه‌ها شده است.

در این پایان‌نامه، با فرض ثابت بودن فواصل بازرسی و انجام فعّالیّت‌های تعمیراتی در زمان بازرسی‌ها، با لحاظ هزینه‌های تعویض (اعم از پیشگیرانه و یا به علّت خرابی) و تعمیر علاوه بر بهینه کردن حدّکنترل تعویض، بهترین استراتژی تعمیراتی نیز تعیین می‌شود. در مدل ریاضی، با محاسبهٔ احتمال تعویض سیستم به علّت خرابی و متوسّط فاصلهٔ زمانی بین تعویض‌های متوالی برای استراتژی تعمیراتی دلخواه، متوسّط کلّ هزینه‌ها برای استراتژی‌های تعمیراتی ممکن محاسبه و سپس، با مقایسهٔ مقادیر هزینه‌ها، بهترین استراتژی تعمیراتی و حدّکنترل بهینهٔ متناظر با آن انتخاب می‌گردد.

همچنین برای ارزیابی نتایج حاصل از مدل مذکور، الگوریتم اجرای آن‌ها برنامه‌نویسی شده و برای سیستم‌هایی با مشخّصه‌های گوناگون، مورد اجرا قرار گرفته است. علاوه بر آن، برای مقایسه و ارزیابی صحّت نتایج به دست آمده از مدل، یک مدل شبیه‌سازی نیز طراحی شده است که در آن با توجّه به توزیع احتمال خرابی دستگاه‌ها، وقوع خرابی‌ها ثبت و استراتژی‌های تعمیراتی به اجرا گذاشته می‌شوند تا در نهایت هزینهٔ متوسّط هر استراتژی از مدل شبیه‌سازی به دست آید و بتوان با نتایج مدل ریاضی آن‌ها را مقایسه نمود. مقایسهٔ مقادیر مذکور نشان می‌دهد که مدل ریاضی تا حدّ قابل قبولی نزدیک به مقادیر به دست آمده از شبیه‌سازی می‌باشد.

واژگان کلیدی:

نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، استراتژی حدّکنترل، استراتژی تعمیرات

[1] Control-limit policy (makis & jardine1992)

پیش‌گفتار

نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، به منظور جلوگیری از اجرای فعّالیّت‌های نگهداری و تعمیرات غیرضروری در تجهیزات سرمایه‌ای، مورد استفاده قرار می‌گیرد و هدف آن، کاهش هزینهٔ چرخهٔ عمر، افزایش دسترس‌پذیری، بهبود قابلیّت اطمینان و افزایش میزان استفاده از عمر مفید تجهیزات می‌باشد.

استفاده از تکنیک‌های پایش وضعیّت سیستم مانند آنالیز ارتعاش، آنالیز روغن و ... که به منظور ارزیابی وضعیّت فرسایشی سیستم طراحی شده‌اند، پایه و اساس اجرای نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، را تشکیل می‌دهد. به علّت بالاتر بودن هزینهٔ تعویض به علّت خرابی نسبت به هزینهٔ اجرای فعّالیّت‌های تعمیراتی و هزینهٔ تعویض پیشگیرانه، انتخاب بهترین استراتژی تعمیرات به عنوان بخشی از استراتژی کلّی نگهداری و تعمیرات، یکی از مسائل بنیادی در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت به شمار می‌رود.

کاهش هزینهٔ نگهداری و تعمیرات در افق زمانی بلند مدّت، یکی از اهداف اصلی فعّالیّت‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت به شمار می‌آید، از طرفی انجام تعمیرات بر اساس وضعیّت دستگاه می‌تواند سیستم را به یک سطح عملیاتی میان سطح جاری سیستم و سیستم نو (وضعیّت صفر) برساند. با توجّه به پایین بودن هزینهٔ تعمیرات در مقابل هزینهٔ تعویض به دلیل خرابی و تأثیر متقابل آن در بهبود عمر سیستم، می‌توان گفت که اجرای فعّالیّت تعمیرات در بازرسی‌ها منجر به کاهش چشمگیری در هزینه‌های خرابی و همچنین افزایش طول عمر سیستم خواهد شد.

درفصل اوّل این تحقیق، علاوه بر طرح پیشینه‌ای از مدیریت نگهداری و تعمیرات، با مروری بر استراتژی‌های موجود در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات به خصوص، برنامهٔ نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت و مراحل اجرای آن، اهمّیّت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین، با مرور ادبیّات نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت شامل برخی مفاهیم پایه، یافته‌های دیگر محقّقان و نتایج علمی موجود، بررسی و طبقه‌بندی می‌گردد تا کاستی‌های تحقیقاتی در این حوزه تعیین گردد.

در فصل دوّم، استراتژی حدّکنترل که اساس تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهد، مرور می‌شود. در این فصل بسیاری از فرمول‌ها و روابط استراتژی مذکور، در مراجع مرتبط به آن، ارائه شده است، مطرح می‌گردد.

در فصل سوّم، مدل پیشنهادی در تعیین استراتژی تعمیراتی به منظور کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، به طور جامع ارائه خواهد شد. در این فصل با فرض ثابت بودن فاصلهٔ بازرسی‌ها، انجام فعّالیّت‌های تعمیراتی بر اساس وضعیّت سیستم در زمان بازرسی و ناچیز بودن زمان انجام فعّالیّت‌های تعمیراتی، حدّکنترل بهینه و بهترین استراتژی تعمیراتی، به گونه‌ای تعیین می‌شود تا متوسّط هزینه‌های تعویض و تعمیر حدّاقل گردد.

در فصل چهارم، با استفاده از مدل شبیه‌سازی، حدّکنترل بهینه و بهترین استراتژی تعمیراتی به منظور کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت، تعیین خواهد شد. کلّیّهٔ فرضیات انجام شده در مدل ریاضی در مدل شبیه‌سازی نیز لحاظ شده است. در این فصل مقایسه‌ای بین مقادیر متوسّط هزینه‌های به دست آمده از مدل ریاضی و به دست آمده از مدل شبیه‌سازی صورت گرفته است. در فصل پنجم، ضمن جمع‌بندی نتایج تحقیق، پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی، آورده شده است.

فهرست مطالب

چکیده ..... الف

پیش‌گفتار ..... ب

فهرست مطالب ..... ج

فهرست جداول ..... و

فهرست اشکال ..... ت

معرّفی نمادها ..... ی

فصل اوّل: مقدّمه ۱

۱-۱- نگهداری و تعمیرات ۱

۱-۲- نقش نگهداری و تعمیرات در فضای رقابتی ۱

۱-۳- مسائل بنیادی حوزهٔ نگهداری و تعمیرات ۲

۱-۴- پیشینهٔ استراتژی‌های متداول در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات ۳

۱-۴-۱- سیر تحوّلات در دورهٔ اوّل ۳

۱-۴-۲- سیر تحوّلات در دورهٔ دوّم ۴

۱-۴-۳- سیر تحوّلات در دورهٔ سوّم ۵

۱-۵- معرّفی استراتژی‌های متداول در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات ۵

۱-۵-۱- نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شکست ۶

۱-۵-۲- نگهداری و تعمیرات اصلاحی ۶

۱-۵-۳- نگهداری و تعمیرات پیشگویانه ۶

۱-۵-۴- نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیّت اطمینان ۷

۱-۵-۵- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ۷

۱-۶- پایش وضعیّت ۷

۱-۶-۱- آنالیز روغن ۸

۲-۶-۱- ترموگرافی ۸
۳-۶-۱- آنالیز آلتراسونیک ۹
۴-۶-۱- آنالیز ارتعاشات ۹
۷-۱- نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت (CBM) ۹
۸-۱- مراحل اجرایی CBM ۱۰
۱-۸-۱-تصمیم‌گیری ۱۰
۹-۱-استراتژی حدّکنترل تعمیر و تعویض برای سیستم‌های قابل تعمیر ۱۱
۱۰-۱- بررسی مدل‌های موجود پیرامون اجرای فعّالیّت تعمیرات پیشگیرانه ۱۳
۱۱-۱- موضوع تحقیق، هدف اجرا ساختار پایان‌نامه ۱۴
۱۲-۱- فرضیات و سؤالات مطرح درآن ۱۴
۱۳-۱- مراحل اجرای تحقیق و نتایج حاصل از آن ۱۵
۱۴-۱- ساختار پایان‌نامه ۱۶
فصل دوّم: استراتژی حدّکنترلی برای بهینه‌سازی در نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت ۱۷
۱-۲- مقدّمه ۱۷
۲-۲- استراتژی بهینه برای تعویض ۱۷
۳-۲- مثال عددی ۲۲
۴-۲- نتیجه‌گیری ۲۶
فصل سوّم: بهینه‌سازی حدّ تعمیر و تعویض در نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیّت ۲۷
۱-۳- مقدّمه ۲۷
۲-۳- فرضیات ۲۸
۳-۳- مدل‌سازی ۲۸
۱-۳-۳- محاسبهٔ تابع قابلیّت اطمینان ۳۱
۲-۳-۳- تخمین توزیع تجمّعی تابع قابلیّت اطمینان ۳۲

۳-۳-۳-تخمین احتمال تعویض به علّت خرابی و متوسّط فاصلهٔ زمانی بین تعویض‌های متوالی..... ۳۲
۴-۳-۳- توابع متوسّط هزینه‌ها ۳۳
۵-۳-۳- محاسبه متوسّط هزینهٔ تعمیرات بین دو تعویض متوالی..... ۳۴
۴-۳- مثال عددی..... ۳۶
۵-۳- نتیجه‌گیری..... ۵۲
فصل چهارم: شبیه‌سازی..... ۵۴
۱-۴ مقدّمه..... ۵۴
۲-۴ منطق شبیه‌سازی..... ۵۵
۳-۴ مثال عددی..... ۵۷
۱-۳-۴ حل مسأله با استفاده از مدل..... ۵۷
۲-۳-۴ حل مسأله با استفاده از شبیه سازی۵-۳- نتیجه‌گیری..... ۶۲
۴-۴ نتیجه‌گیری..... ۶۵
فصل پنجم: جمع‌بندی تحقیق و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی..... ۶۷
فهرست پانوشت‌ها..... ۶۹
فهرست مراجع ۷۰
پیوستI ۷۴
پیوستII ۷۶
پیوستIII ۷۸
چکیده انگلیسی..... ۸۴

فهرست جداول

فصل دوّم

جدول 1-2 محاسبهٔ حدّ کنترل بهینه به ازای Δ=1 ، d=5 ..... ۲۶

فصل سوّم

جدول 1-3 محاسبهٔ حدّ کنترل بهینه به ازای $C_j(i) = 0.2 \times X_k(i), X_k(0,1,1), k = 40$ ۴۲

جدول 2-3 محاسبهٔ حدّ کنترل بهینه به ازای $X_k(0,1,1), k = 40$ و هزینه‌های مختلف تعمیراتی ۴۲

جدول 3-3 مقایسه متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0، k = 20$ ۴۳

جدول 4-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.2 \times X_k(i), k = 20$ ۴۳

جدول 5-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i)، k = 20$ ۴۳

جدول 6-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i)، k = 20$ ۴۴

جدول 7-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i)، k = 20$ ۴۴

جدول 8-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 5 \times X_k(i)، k = 20$ ۴۴

جدول 9-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 10 \times X_k(i)، k = 20$ ۴۴

جدول 10-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0، k = 30$ ۴۵

جدول 11-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.2 \times X_k(i)، k = 30$ ۴۵

جدول 12-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 30$ ۴۵

جدول 13-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i)، k = 30$ ۴۵

جدول 14-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i)، k = 30$ ۴۶

جدول 15-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 5 \times X_k(i), k = 30$ ۴۶

جدول 16-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 10 \times X_k(i)، k = 30$ ۴۶

جدول 17-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 40$ ۴۶

جدول 18-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.2 \times X_k(i)، k = 40$ ۴۷

جدول 19-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i)، k = 40$ ۴۷

جدول 20-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i)، k = 40$ ۴۷

جدول 3-21 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i)، k = 40$ ۴۷
جدول 3-22 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 5 \times X_k(i)، k = 40$ ۴۸
جدول 3-23 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 10 \times X_k(i)، k = 40$ ۴۸
جدول 3-24 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 50$ ۴۸
جدول 3-25 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.2 \times X_k(i), k = 50$ ۴۸
جدول 3-26 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i)، k = 50$ ۴۹
جدول 3-27 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 50$ ۴۹
جدول 3-28 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i)، k = 50$ ۴۹
جدول 3-29 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 5 \times X_k(i), k = 50$ ۴۹
جدول 3-30 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 10 \times X_k(i), k = 50$ ۵۰
جدول 3-31 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0، k = 100$ ۵۰
جدول 3-32 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.2 \times X_k(i)، k = 100$ ۵۰
جدول 3-33 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i)، k = 100$ ۵۰
جدول 3-34 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i)، k = 100$ ۵۱
جدول 3-35 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 100$ ۵۱
جدول 3-36 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 5 \times X_k(i)، k = 100$ ۵۱
جدول 3-37 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 10 \times X_k(i), k = 100$ ۵۱
جدول 3-38 حدّکنترل بهینه و بهترین استراتژی تعمیراتی به ازای مقادیر مختلفی از K و هزینه‌های تعمیراتی ۵۲

فصل چهارم

جدول4-1 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 20$ ۵۸
جدول4-2 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 20$ ۵۸
جدول4-3 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 20$ ۵۸
جدول4-4 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 20$ ۵۸
جدول4-5 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 40$ ۵۹
جدول4-6 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 40$ ۵۹
جدول4-7 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 40$ ۵۹

جدول4-8 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 40$ ۵۹
جدول4-9 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 100$ ۶۰
جدول4-10 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 100$ ۶۰
جدول4-11 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 100$ ۶۰
جدول4-12 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 100$ ۶۰
جدول4-13 حدّکنترل بهینه به ازای استراتژی‌های تعمیراتی مختلف ۶۱
جدول4-14 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 20$ ۶۲
جدول4-15 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 20$ ۶۲
جدول4-16 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 20$ ۶۲
جدول4-17 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 20$ ۶۲
جدول4-18 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 40$ ۶۳
جدول4-19 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 40$ ۶۳
جدول4-20 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 40$ ۶۳
جدول4-21 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 40$ ۶۳
جدول4-22 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0, k = 100$ ۶۴
جدول4-23 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.3 \times X_k(i), k = 100$ ۶۴
جدول4-24 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 0.5 \times X_k(i), k = 100$ ۶۴
جدول4-25 مقایسهٔ متوسّط مجموع هزینه‌ها به ازای استراتژی‌های مختلف تعمیراتی به ازای $C_j(i) = 1 \times X_k(i), k = 100$ ۶۴
جدول4-26 حدّکنترل بهینه به ازای استراتژی‌های تعمیراتی مختلف ۶۵

فهرست اشکال

فصل اوّل

شکل ۱-۱ تعمیر..... ۳

شکل ۲-۱ تعویض خرابی ۳

فصل چهارم

شکل۱-۴ فلوچارت شبیه‌سازی..... ۵۶

معرّفی نمادها

بردار تشخیص خرابی که در بازرسی سیستم در زمان t، مشاهده می‌شود.	$Z(t)$
فضای وضعیّت فرایند $\{Z(t)\}$	S
متغیّر تصادفی که زمان خرابی سیستم را نشان می‌دهد.	T
بیانگر نوع فعّالیّت تعمیراتی پیشنهادی متناسب با iامین وضعیّت فرسایشی سیستم می‌باشد.	$a(i)$
مجموعهٔ کلّیّه فعّالیّت‌های تعمیراتی پیشنهادی متناسب با iامین وضعیّت فرسایشی سیستم	$A(i)$
مجموعهٔ کلّیّه استراتژهای مختلف تعمیراتی به ازای مجموعه S	X
احتمال انتقال از وضعیّت i به j در فاصلهٔ زمانی بین s و t	$P_{ij}(s,t)$
احتمال انتقال وضعیّت سیستم از i به j، در فاصلهٔ زمانی بین $k\Delta$ و $(k+1)\Delta$ با شرط عدم خرابی سیستم تا زمان $(k+1)\Delta$	$P_{ij}(k)$
احتمال انتقال وضعیّت سیستم از $i-a_i$ به r در فاصلهٔ زمانی بین $k\Delta$ و $(k+1)\Delta$ با شرط عدم خرابی سیستم تا زمان $(k+1)\Delta$و اجرای فعالیت تعمیراتیa_i در بازرسی j	$P_{i-a_i\,r}(j)$
ماتریس احتمال انتقال وضعیّت مربوط به kامین بازرسی	$P(k)$
نرخ خرابی سیستمی که در زمان t در وضعیّت $Z(t)$ قرار دارد.	$h\big(t,Z(t)\big)$
تابع نرخ خرابی پایه که تأثیر عمر سیستم در نرخ خرابی را نشان می‌دهد.	h_0
تابع مثبتی که تأثیر اطّلاعات پایش وضعیّت را در نرخ خرابی نشان می‌دهد.	ψ
پارامتر شکل در توزیع وایبل	β
پارامتر مقیاس در توزیع وایبل	η
وزن (ضریب اهمّیت) متغیّر تشخیص خرابی در تابع نرخ خرابی	γ
kامین استراتژی تعمیرات متعلق به مجموعهٔ استراتژی‌های تعمیراتی X	X_k
تابع هزینهٔ انجام تعمیر در دوره بازرسی jام مشروط به آن که وضعیّت سیستم i و اقدام تعمیر متناسب با استراتژی تعمیراتی X_k ، می‌باشد.	$C_j(i)$
بیانگر متوسّط هزینهٔ کلّ تعمیرات از زمان اوّلین بازرسی تا زمان بازرسی jام مشروط به آن که وضعیّت سیستم i و اقدام تعمیر متناسب با استراتژی تعمیراتی X_k می‌باشد.	$CP_j(i)$
متوسّط هزینهٔ تعمیرات انجام شده از زمان اوّلین بازرسی تا زمان تعویض پیشگیرانه	TC_{T_d}
متوسّط هزینه تعمیرات انجام شده از زمان اوّلین بازرسی تا زمان وقوع خرابی T	TC_T
متوسّط هزینهٔ تعمیرات در واحد زمان	$\varphi_{rep}(d)$
هزینهٔ اجرای هر تعویض پیشگیرانه	C
هزینهٔ اجرای هر تعویض به علّت خرابی	$C+K$
حدّ کنترل برای اجرای تعویض پیشگیرانه	d
حد کنترل بهینه تعمیر و تعویض به ازای استراتژی تعمیراتی X_i	d_{X_i}
حدّ کنترل بهینه برای اجرای تعویض پیشگیرانه	d^*

ادامه معّرفی نمادها

کوچکترین زمانی که در آن، ریسک خرابی سیستم، به حدّکنترل می‌رسد.	T_d
متوسّط هزینه‌های تعویض در واحد زمان	$\varphi(d)$
متوسّط هزینهٔ کلّ مورد انتظار در واحد زمان (حاصل هزینهٔ تعمیرات و هزینهٔ تعویض‌ها)	Φ
احتمال تعویض سیستم به علّت خرابی با فرض اجرای استراتژی حدّ کنترل d	$Q(d)$
متوسّط زمان بین دو تعویض با فرض اجرای استراتژی حدّ کنترل d	$W(d)$
کوچکترین زمانی که در آن، ریسک خرابی سیستم با وضعیّت i، به حدّ کنترل می‌رسد.	t_i
کوچک‌ترین زمان بازرسی که بزرگ‌تر از زمان t_i می‌باشد.	$k_i\Delta$
احتمال تعویض به علّت خرابی مشروط به آن که در دوره بازرسی j ام، وضعیّت سیستم i باشد.	$Q(j,i)$
متوسّط زمان باقی‌مانده تا تعویض مشروط به آن که در دوره بازرسی j ام، وضعیّت سیستم i باشد.	$W(j,i)$
احتمال سلامت سیستم تا زمان $j\Delta+t$ مشروط به آن که در دوره بازرسی j ام، وضعیّت سیستم i باشد.	$R(j,i,t)$

فصل اوّل

مقدّمه

در این فصل، با مروری بر نقش تعیین کنندهٔ نگهداری و تعمیرات در فضای رقابتی و استراتژی‌های موجود در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات، اهمّیّت اجرای فعّالیّت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر وضعیّت سیستم، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این میان، با بررسی و طبقه‌بندی استراتژی‌های موجود، نقاط ضعف و قدرت هر یک در حوزهٔ موضوع تحقیق پایان‌نامه شناسایی می‌گردد. همچنین، با تأکید بر اهمّیّت اجرای فعّالیّت‌های تعمیراتی مبتنی بر وضعیّت سیستم و عدم وجود مراجع کاربردی مناسب برای مدل‌سازی این استراتژی تعمیراتی، به نقش کلیدی این تحقیق در رفع نقص مذکور، اشاره شده است. در پایان این فصل، ساختار و نحوهٔ تنظیم پایان‌نامه، آمده است.

۱-۱ نگهداری و تعمیرات

کلّیّه فعّالیّت‌هایی، که هدف آن نگهداری و آماده‌سازی یک سیستم به گونه‌ای که بتواند وظایف خود را به طور کامل انجام دهد، می‌باشد [1]. واضح است که با این تعریف دامنهٔ فعّالیّت‌ها شامل، فعّالیّت‌های پیشگیرانه مانند انجام سرویس‌های عمومی[۲]، بازرسی‌های دوره ای[۳]، تعویض پیشگیرانه[۴] و کنترل پیوسته شرایط نیز خواهد شد [2].

۱-۲ نقش نگهداری و تعمیرات در فضای رقابتی

به کارگیری سیستم نگهداری و تعمیراتِ خاصِ یک سازمان، می‌تواند نقش بسیار زیادی را در کاهش قیمت تمام شدهٔ محصول نهایی ایفا نماید. امّا این تأثیرات تنها محدود به هزینه نبوده و در سرعت ارائه محصول در کلّ زنجیره تأمین، کیفیّت محصول، قابلیّت اطمینان، چابکی سازمان و عواملی از این دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت که هر یک از آن‌ها محلی از تأمل خواهد بود. از این رو می‌توان به نقش مهم و تأثیرگذار استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات بر روی کسب وکار یک بنگاه

[2] Routine Services
[3] Periodic Inspections
[4] Preventive Replacement

اقتصادی پی برد. نگهداری و تعمیرات بخش جدایی‌ناپذیر تولید است که می‌تواند این اولویّت‌های رقابتی را تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه، استراتژی‌های کسب و کار را به شکل مثبت یا منفی متأثر سازد [3].

عبارت استراتژی نگهداری و تعمیرات معمولاً به عنوان مجموعهٔ خط مشی‌ها و مفاهیم نگهداری و تعمیرات تفسیر شده است. مؤلفه‌های ساختاری در تعریف استراتژی نگهداری و تعمیرات عبارت است از: ظرفیّت نگهداری و تعمیرات، تجهیزات و تسهیلات نگهداری و تعمیرات، تکنولوژی نگهداری و تعمیرات [4].

۳-۱ مسائل بنیادی حوزهٔ نگهداری و تعمیرات

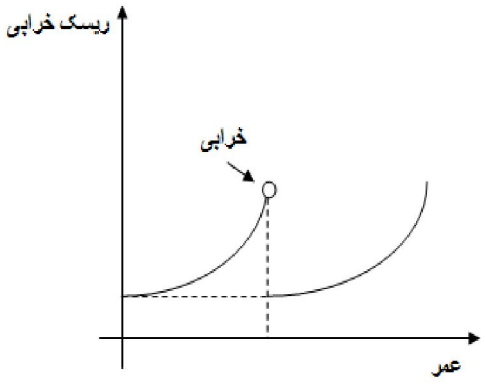
در دهه‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در حوزهٔ نگهداری و تعمیراتِ بخش‌های صنعتی، غیرنظامی، مکانیکی، الکترونیکی و ... صورت گرفته است. با توسعه سیستم‌های خودکار و مکانیزه شکافی در میان نیروی کار انسانی در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات همچنین، هزینهٔ کلّ مصرفی در بهره‌برداری از سیستم ایجاد شده است. با توجّه به این مسأله، قابلیّت اطمینان و مهندسی نگهداری و تعمیرات از اهمّیّت خاصی در مهندسی مدرن برخوردار گشته است.

از نقطه‌نظر مهندسی قابلیّت اطمینان، تمامی سیستم‌ها در معرض فرسایش ناشی از عمر وکارکرد قرار دارند. فرسایش سیستم می‌تواند در قالب اشکال مختلفی از قبیل، ساییدگی، فرسودگی، خستگی، شکستن، شکاف، وقفه، فساد تدریجی و ... قرار گیرد. هر یک از این موارد، سر انجام منجر به خرابی سیستم خواهد شد. در نتیجه، کنترل فرسایش و ریسک خرابی سیستم به واسطهٔ نگهداری و تعمیرات آن، ضروری به نظر می‌رسد.

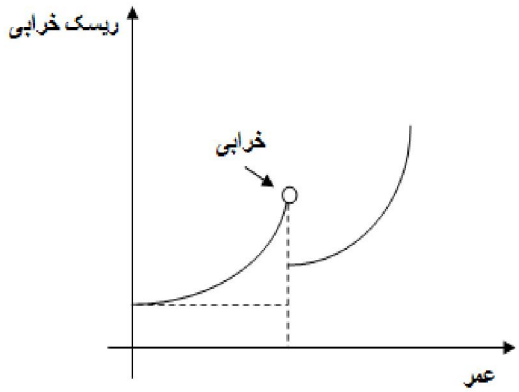
تصمیم‌گیرندگان در عرصهٔ نگهداری و تعمیرات، دائماً با دو مسألهٔ اساسی در رابطه با نگهداری و تعمیرات سیستم مواجه هستند. یکی از این مسائل، تعیینِ زمانِ اجرای فعّالیّت‌های پیشگیرانه به منظور جلوگیری از خرابی‌های هزینه‌بر و مسأله دیگر، چگونگی نحوهٔ انتخاب فعّالیّت نگهداری و تعمیرات از میان اقدامات متفاوت آن در مواجه با خرابی سیستم می‌باشد. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیرندگان عرصهٔ نگهداری و تعمیرات می‌توانند دو انتخاب اصلی به منظور جلوگیری از خرابی‌های هزینه‌بر داشته باشند. یکی، زمان‌بندی یک فعّالیّت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه روی یک سیستم در حال بهره‌برداری که در موقعیّت ریسک خرابیِ بالا قرار دارد و دیگری انتخاب یک اقدام بین تعمیر و تعویض بعد از وقوع خرابی، که اصطلاحاً به نگهداری و تعمیرات اصلاحی معروف است[5]. در ادامه مجموعه‌ای از اشکال که بیانگر تأثیر اقدامات نگهداری و تعمیرات مختلف روی وضعیّت فرسایشی سیستمی باشند، نشان داده شده است.

مطابق با مرجع [5]، در هر یک از اشکال، محور عمودی بیانگر ریسک خرابی سیستم، محور افقی بیانگر عمر سیستم و منحنی نشان دهندهٔ ریسک خرابی یک سیستم می‌باشد. فرض کنید که، یک سیستم نو با عمر صفر راه‌اندازی شده است، در زمان وقوع خرابی، تصمیم‌گیرندگان نگهداری و تعمیرات ممکن است که، یکی از دو فعّالیّت زیر را به منظور بهبود سطح ریسک

خرابی سیستم و کاهش هزینه‌های ناشی از آن، انتخاب کنند: تعمیر یا تعویض. شکل ۱- ۱، بیانگر تعویض یک سیستم خراب با یک سیستم نو با وضعیّت فرسایشی صفر می‌باشد. به عبارت دیگر، منحنی بعد از تعویض یک سیستم خراب مشابه منحنی یک سیستم نو باشد. شکل ۲-۱، بیانگر اثر تعمیر بر روی ریسک خرابی سیستم می‌باشد. لازم به توضیح است که اجرای فعّالیّت‌های تعمیراتی، سطح ریسک خرابی سیستم را به وضعیّتی بین سیستم نو و سطح ریسک قبل از خرابی بهبود می‌بخشد [5].



شکل ۱-۱ تعویض خرابی



شکل ۲-۱ تعمیر

همهٔ دیدگاه‌های موجود در زمینهٔ انجام فعّالیّت‌های نگهداری و تعمیرات، سیستم را در وضعیّت عملیاتی خوب با هزینهٔ پایین حفظ می‌کنند. هیچ یک از سیستم‌ها نمی‌توانند به طور پیوسته کار کنند، در عوض قبل از خراب شدن و قرارگیری در وضعیّت‌های ریسک بالا، به منظور جلوگیری از خرابی‌های هزینه‌بر، می‌توان سیستم را به صورت پیشگیرانه تعویض نمود. [5].

٤-۱پیشینهٔ استراتژی‌های متداول در حوزهٔ نگهداری و تعمیرات

از سال 1930 تاکنون می‌توان سیر تحوّلات و تغییرات در نگهداری و تعمیرات را به سه دورهٔ اساسی تقسیم نمود [6]:

۱-٤-۱ سیر تحوّلات در دوره اوّل

مطابق با مرجع [6]، تحقیقات نشان می‌دهد که تحوّل اوّلیّه در نگهداری و تعمیرات، در سال‌های قبل از جنگ جهانی دوّم رخ داده است. در آن ایّام صنایع به شکل امروزی مکانیزه نبوده و لذا خرابی‌ها و توقّف ناگهانی ماشین‌آلات مشکل جدّی را برای دست‌اندرکاران امر تولید ایجاد نمی‌نمود. به عبارت دیگر، جلوگیری از بروز عیب در ذهن اکثر مدیران و مهندسین مفهوم نداشته و یا حدّاقل ضرورتی از این نظر احساس نمی‌گردید. علاوه بر این اکثر ماشین‌آلات و تجهیزات تولیدی از طرح نسبتاً ساده‌ای

برخوردار بوده و این ویژگی، کار با آن‌ها را ساده و تعمیرشان را آسان کرده است. نتیجه این که در آن زمان نیازی به استفاده از نگهداری و تعمیرات سیستماتیک احساس نمی‌گردیده و اکثر شرکت‌ها و واحدهای تولیدی و صنعتی فقط زمانی که دستگاه از کار می‌افتاد، بازبینی و یا تعمیر آن را آغاز می‌کردند، در واقع سیستم نگهداری و تعمیرات به هنگام از کارافتادگی[5] معمول بود [6].

۲-٤-۱ سیر تحوّلات در دورهٔ دوّم

همه چیز در خلال جنگ جهانی دوّم به طور انفجارآمیز دستخوش تحوّل قرار گرفت. فشارهای ناشی از زمان جنگ تقاضا برای انواع محصولات را افزایش داده و این در حالی بود که تأمین نیرویِ انسانیِ صنایع به شدّت کاهش پیدا نمود. این موضوع باعث گردید تا مکانیزاسیون افزایش پیدا نماید. تقریباً سال 1950 سال رونق طراحی و ساخت ماشین‌آلات مکانیزه بوده و این ایّام را می‌توان سرآغاز وابستگی صنایع به تجهیزات مکانیزه و اتوماسیون دانست [6].

با افزایش روزافزون اتوماسیون مسأله شکست و از کارافتادگی ماشین‌آلات نیز از اهمّیّت بیشتری برخوردار می‌گشت. پس از گذشت چندی روند افزایش خرابی‌ها به گونه‌ای گردید که کمّیّت و کیفیّت تولیدات را تحت شعاع قرار داده و اسباب نارضایتی صاحبان صنایع را فراهم نمود. ادامه این روند ناخوشایند مدیران و کارشناسان را به فکر چاره و راه حلی مناسب برای جلوگیری از روند رو به رشد عیوب نمود. در این رهگذر سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[6] به عنوان چاره و راه حلی مناسب در کشور آمریکا پیشنهاد و به اجرا در آمد [6].

در طول دههٔ 1950 نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بتدریج تکامل یافته تا پاسخگوی نیازهای جدید صنعت باشد. در این راستا سیستم نگهداری و تعمیرات بهره‌ور[7] در سال 1954 به صنایع آمریکا معرفی گردید. در این سیستم ضمن تأکید بر روی اصلاح خرابی‌های اتّفاقی و از کار افتادن غیرمنتظرهٔ تجهیزات با بهره‌گیری مناسب از علوم، آمار، احتمالات، پژوهش عملیاتی، شبیه‌سازی، اقتصاد مهندسی، تئوری صف و نگرش‌های تحلیلی، تکنیک‌ها و مدل‌هایی برای حالات مختلف انواع دستگاه‌ها و تجهیزات ابداع شد که متخصّصین این رشته می‌توانستند کلّیهٔ فعّالیّت‌های نگهداری و تعمیرات را به نظم درآورده، خرابی‌ها را پیش‌بینی نموده تا جهت نگهداری و تعمیر آن‌ها برنامه‌ریزی نمایند [6].

سیستم نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر در حقیقت همان سیستم نگهداری و تعمیرات بهره‌ور به شیوه آمریکا است که در جهت سازگاری با شرایط صنعتی ژاپن در آن بهبودهایی داده شده است. ابتکارِ محوری در اصول نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر این است که اپراتورها خودشان به امور اصلی و اوّلیّه نگهداری و تعمیرات ماشین‌های خودشان می‌پردازند. در نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر نگهداری و تعمیراتِ رایجِ حاصل از فعّالیّت‌های صنعتی و تجاری به صورت اعجاب‌انگیزی بهبود یافته و

[5] Breakdown Maintenance (BM)
[6] Preventive Maintenance (PM)
[7] Productive Maintenance