# ترشيد عمليات الصيانة بالأساليب الكمية

*Rationalization Of Maintenance Process*
*By*
*Quantitive Methods*

الدكتور سامر مظهر قنطقجي

دكتوراه في المحاسبة

Website: www.kantakji.com , email *kantakji@gmail.com*
*Tel. +963 94 273 000, Fax +963 33 230 772*

# الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله فاطر السموات والأرض، مؤيد الرسل بالبيّنات ومزودهم بكتب لتكون فرقانا بين الحق والباطل ليَعلَمَ الناسُ كيف يميّزون بينهما ليقوموا بالعدل، مُنزِل الحديد ليكون لهم صناعة ليستعينوا به لما فيه من القوة والبأس. فقال ﷻ لقد أرسلنا رسلنا بالبينات وأنزلنا معهم الكتاب والميزان ليقوم الناس بالقسط وأنزلنا الحديد فيه بأس شديد ومنافع للناس وليعلم الله من ينصره ورسله بالغيب إن الله قوي عزيز [الحديد: 25]. هو الذي علّم أنبياءه طرق استخدام الحديد فذو القرنين عليه السلام استخدمه قطعا كبيرة. فقال ﷻ آتوني زبر الحديد حتى إذا ساوى بين الصدفين قال انفخوا حتى إذا جعله نارا قال آتوني أُفرغ عليه قطرا [الكهف: 96]. وليّن الحديد لداود عليه السلام إذ قال ﷻ ولقد آتينا داود منا فضلا يا جبال أوّبي معه والطير وألَنّا له الحديد [سبأ: 10]. والصلاة والسلام على أفضل الخلق وبعد.

اللهم اجعلنا ممن يستمعون القول فيتبعون أحسنه. وإن أي توفيق فيه فهو من الله ﷻ وأي تقصير فمني وحسبي أني اجتهدت ولا حول ولا قوة إلا بالله.

أهدي عملي المتواضع هذا إلى معلّم البشرية ونبي الرحمة سيدنا محمد بن عبد الله ﷺ لما له من فضل على البشرية من بعد الله، وأستذكر قوله ﷺ "لا تعلّموا العلم لتباهوا به العلماء، و لا لتماروا به السفهاء، ولا تخيروا به المجالس، فمن فعل ذلك فالنار النار" [سنن ابن ماجه: 250].

وأهدي عملي المتواضع هذا إلى أستاذي الفاضل الدكتور أحمد رفيق قاسم *"حفظه الله ورعاه وسدد خطاه"*. وإلى كل طالب علم يبتغي وجه الله ﷻ.

سامر مظهر قنطقجي

# مقدمة عامة

عُرفت الصيانة منذ زمن بعيد، لكن مفهومها تبدل حسب الزمان والمكان، وكذلك أنواعها وأسلوب تنظيمها. فقد استخدم المسلمون مصطلح "**حد العمارة**" كمرادف بديل للصيانة. وهذا ما نجده في فتوى الزيلعي عندما أفتى في "حد العمارة" من خلال فهمه للاستعمال العادي للموقوف (أي مفهوم الصيانة العادية) وذلك بقوله[1]:بقدر ما يبقى الموقوف على الصفة التي وقفه بها (الواقف)، لأن الصرف إلى العمارة ضرورة إبقاء الوقف ولاضرورة في الزيادة.

وواكب مفهوم الصيانة التطورات التقنية المتسارعة التي دخلت في مجالات الإنتاج الصناعي وغير الصناعي، مما أدى إلى تبلور أهمية تكاليف الصيانة كعنصر من عناصر التكلفة. وأصبح لزاماً على الإدارة الناجحة مجابهة نمو هذه التكلفة عن طريق تبني الأساليب العلمية المناسبة التي تؤدي إلى القرار الصائب.

وتعرّض تعريف الصيانة لتقلبات متعددة في معانيه طبقاً للنواحي العلمية التي مرت بها الصيانة، ونجد أن معظم تعاريف الصيانة ركزت على أمور أساسية يمكن تلخيصها كالآتي[2]:

(1) الصيانة عمل أو مجموعة أعمال.

(2) أنها تهدف لإعادة الأصل لحالته الأولية للقيام بوظيفته.

(3) أنها تتضمن الكشف عن الأعطال كعمل وقائي لتجنب الأعطال المثيلة المتوقع حدوثها مستقبلاً.

(4) وأخيراً، تركّز معظم التعاريف على التكلفة الاقتصادية.

---

[1] د. شوقي إسماعيل شحاتة 1987 (نظرية المحاسبة المالية من منظور إسلامي)، الزهراء للإعلام العربي، ص 164.

2 يقدم الباحث فيما يلي بعض تعاريف الصيانة كما وردت في بعض الأدبيات المتخصصة:

(2) Batty - J.- 1982- (Management Accounting) MacDonald Ltd.,, PP. 1.

"إن الصيانة هي عمل دوري مطلوب للحفاظ على إمكانية المؤسسة أو أي ملكية حقيقية كالحالة التي يمكن الاستفادة منها في حالتها الأصلية أو بالطاقة والفعالية التي صممت بها"

(3) جحوان وظنح 1985 (محاضرات دورة الصيانة الوقائية)، منشورات مركز تطوير الإدارة والإنتاجية، ص 8.

"الصيانة هي قابلية أحد الأجزاء لتنفيذ أعمال الصيانة والإصلاح خلال فترة زمنية محددة بهدف استرجاعه والوصول به إلى حالة معينة تسمح بإعادة قيامه بوظائفه المطلوبة منه بمواصفات مقبولة."

(4) محمد نمر علي أحمد 1989 (المفهوم الإداري للصيانة الصناعية وتطورها)، مجلة الكفاية الإنتاجية، ص 48.

"الصيانة هي مجموعة من الأعمال الفنية التي يتم القيام بتخطيطها وتنظيمها والرقابة عليها والتي تهدف إلى المحافظة على أصول [illegible]".

(5) Savend Erik Nielson - 1990 -(Maintenance a systemic approach) -, F.L. Smith -DENMARK.PP. 2.

"إن كلمة الصيانة حسب معجم OXFORD هي Manu Tenere والتي تعني حـ [illegible]"To hold it one's hand"،

[illegible] DIN

31050 هو "ضمان صيانة الآلة والتجهيزات والمعمل لتلبي متطلبات المستوى الإنتاجي لقسم الإنتاج".

(6) د.م. عبد الفتاح أبو بكر 1991 (الصيانة الصناعية)، مركز تطوير الإدارة والإنتاجية،ص 2.

"الصيانة هي عمل أو مجموعة الأعمال التي يقصد بها الحفاظ على أداء عمل أو جزء أو مجموعة أجزاء وإعادتها إلى حالتها الأولية".

ونقترح تعريف الصيانة على أنها: "عمل أو مجموعة من الأعمال الفنية التي تهدف إلى تلافي الأعطال، ومعالجتها ( إن وجدت ) بغية استرجاع الأصل ( المعطب أو الذي سيعطب ) إلى حالته الأولية التي كان عليها، مما يضمن قيام الأصل بوظيفته الإنتاجية، وذلك بتكلفة اقتصادية للقيام بهذا العمل أو هذه الأعمال".

كما أن **الأتمتة والتقدم التقني** ساهما في تعقيد النواحي الهندسية، وأصبحت المهارات المطلوبة لتركيب وصيانة خط آلي أو غرفة تحكم هي أعقد من التقنيات المطلوبة لوضع محرك في حالة عمل وإجراء الصيانة اللازمة له، كما ساعد هذا التطور على **فتح أسواق** واسعة نحو إدخال التكنولوجيا وتغلغلها في جميع أوجه الأنشطة الصناعية،ذلك مما أدى إلى ***ضرورة التخصص في عمليات الصيانة*** وبدء ظهور إدارة لها تقدم خدماتها المستقلة عن إدارة الإنتاج، ولكنها بقيت تشكل دعامة للإنتاج كماً ونوعاً، وغدا نجاح وحدة الإنتاج واستمرار تشغيلها مرهوناً بكفاءة إدارة الصيانة وفعاليتها.

ويلاحظ أن مفهوم الصيانة اقتصر في الماضي على الإصلاح، الذي يجري بعد توقف الآلة وخروجها من العمل، أي أن " الصيانة كانت مرادفة للإصلاح"[3]، فكانت تختص بإصلاح ماتم فساده عندما يتم الفساد فعلاً. ولم تكن مسببات العطل تُكتشف إلاّ بعد حين وبعد تكرار التوقف. ولكن انصرف التفكير بعد الحرب العالمية الثانية نحو ضبط مصاريف الصيانة باستخدام النماذج الرياضية، إلا أن التطبيق العملي كشف عدم فعالية الكثير من هذه النماذج واستبدلت بهذه النماذج نماذج أكثر تطوراً. ولم تعد وظيفة الصيانة بذلك قاصرة على المفهوم التقليدي من حيث كونها مجموعة من الأعمال الهندسية والجهود الفنية التي يُعهد بها إلى عدد من المهندسين أو الأخصائيين، بل أصبحت جهداً إدارياً متكاملاً يُشرف عليه مسؤول إداري، قد يصل إلى أعلى المستويات الإدارية في التنظيم، ويمارس وظائفه الإدارية بكل عناصرها وأبعادها.

ولعل من أهم المشكلات التي تعاني منها الدول النامية، تعود بالدرجة الأولى إلى إهمال الدور المهم لإدارات الصيانة. ونذكر على سبيل المثال لا التحديد بعض المشكلات التي تعاني منها هذه الدول:

مشكلة الكهرباء: إن الأزمة التي مرت بها سورية في الأعوام الماضية عندما بلغ انقطاع التيار الكهربائي 18 ساعة من أصل 24 ساعة. ولا عجب أن السبب هو عدم إجراء الصيانة اللازمة (الوقائية منها) في المواعيد المقررة لها (من قبل الشركات المصنعة أو المشغلة لمحطات التوليد).

مشكلة المياه: تتبلور مشكلات الصيانة في شبكات المياه والسدود، في اختلاط مياه السيول بشبكات المياه العامة، والسبب الرئيسي في ذلك التقصير في تطبيق الصيانة الوقائية لأن الضعف في شبكات المياه العامة يؤدي إلى اهترائها عندما تصطدم سيول الأمطار الجارفة بها.

[3] محمد نمر على أحمد (المفهوم الإداري للصيانة الصناعية وتطورها) مرجع سابق، ص 51.

مشكلة التلوث: بما أن معظم الصناعات تنبعث عنها عوادم ونفايات تتناسب طرداً مع سوء الحالة العامة للمصنع لذلك يساهم الإهمال في تطبيق الأسس الصحيحة للصيانة إلى تفاقم مشكلات التلوث البيئي.

المشكلات التي تواجهها مؤسسات القطاع العام الصناعي: والتي غالباً ما ترد أسباب القصور فيها إلى سوء في إدارة الصيانة، وتقع هذه المؤسسات في التعقيد الخاص بإجراءات الصرف والشراء والاستيراد الخارجي فتكون الفترات اللازمة لتأمين قطع التبديل متفاوتة مما يسبب توقفاً للإنتاج (أحياناً). إضافة لمشاكل التضخم الهيكلي في موظفي وعمال الصيانة.

ونرى أن الأسباب الكامنة خلف مثل هذه المشكلات يمكن أن تعود إلى أحد الأسباب التالية أو مجموعة منها:

(1) عدم مراقبة القطع التبديلية وقطع الغيار اللازمة للصيانة، حيث إن هذه القطع يحكمها عامل الندرة الاقتصادية وازدياد الطلب عليها، مما يزيد من سعرها ويجعلها تشكل عبئاً من أعباء التكلفة.

(2) عدم ضبط المهارات التي تتضمنها نشاطات تنفيذ الصيانة، فأُهملت الاختصاصات في هذا المجال وكذلك الدورات التدريبية لرفع المستوى والمهارات الفنية، مما جعل هذه القدرات الداخلية والخارجية ذات فعالية متدنية جداً.

(3) عدم مقابلة زيادة الأتمتة في الآلات وخطوط الإنتاج بعمليات صيانة خاصة بها وهذه التقنية تختزن رأسمال مستثمر في طياتها وأي توقف أو تعطل يُمثل هدراً لهذا الاستثمار.

(4) عدم مراقبة الاهتراء والصدأ مع وجوب مراقبتهما لما يسببانه من إفساد واهتراء للآلات، فهما عدوان يجب محاربتهما.

(5) عدم استخدام التقنيات الفنية والإدارية من أجل الاستخدام الكامل لتجهيزات المؤسسة لمواجهة الأعطال أو الصيانة غير المخططة ومعالجتها بنجاح قبل أن تؤثر على البنية التنظيمية للمؤسسة.

(6) إن زمان ومكان الصيانة لا تفرضهما الإدارة من خلال التخطيط الجيد بل العكس، فالصيانة تفرض نفسها بالزمان والمكان غير المطلوبين.

(7) عدم بناء نموذج للصيانة لكل مؤسسة أو كل صناعة يتناسب مع إمكانياتها وحاجاتها ليكون مقياساً لشكل إدارة الصيانة فيها ويحدد ويصف أنشطة الصيانة الواجب توافرها.

(8) عدم شمول الصيانة لجميع الوحدات في المؤسسة ( خطوط إنتاج وآلات وتجهيزات وبناء وجميع الأجهزة المكتبية ).

وبالإضافة إلى ما سبق ذكره، فإن اختيار هذا الموضوع المهم للأسباب التالية:

1) دور إدارة الصيانة الحيوي وأثره في حياة المؤسسة.
2) شح الأدبيات والأبحاث والدراسات وخاصة باللغة العربية التي تعطي هذا الموضوع حقه من الاهتمام.
3) اعتبار بند الصيانة من عناصر الجودة في المقاييس النمطية الدولية ISO 9001, ISO 9002 مما يبرز الاهتمام بالصيانة دولياً.
4) تقارير المؤسسة الدولية لأبحاث الصيانة International Foundation for Research In Maintenance (IFRIM) وكذلك أبحاث جامعة Eindhoven University of Technology.

وسوف يعالج الموضوع في سبعة فصول موزعة على الشكل التالي:

**الفصل الأول**: سوف يعالج فيه **أساسيات إدارة الصيانة ونماذج الصيانة في صناعة الإسمنت**. ويقسم هذا الفصل إلى ثمانية مباحث، سيتناول المبحث الأول تنظيم الصيانة من حيث أساليبها وتقنياتها، و سيدرس في المبحث الثاني أنظمة الصيانة بأشكالها اليدوية و الآلية، ثم سيتعرض في المبحث الثالث إلى التخطيط والمتابعة في إدارة الصيانة، كما سيعالج في المبحث الرابع أنظمة المعلومات، وسيتناول في المبحث الخامس الموارد البشرية، وفي المبحث السادس سندرس الاعتبارات الاقتصادية وآثارها على أعمال الصيانة، ثم سيتعرض في المبحث السابع إلى نموذج مقترح للصيانة أعد في جامعة أيندهوفن التكنولوجية. وأخيراً سيتعرض لأعمال الصيانة في صناعة الإسمنت مستفيداً من التجربة الدانمركية لتنعكس الفوائد على تجربة شركة الإسمنت في حماة.

**الفصل الثاني**: وسوف يعالج فيه **محاسبة تكاليف الصيانة**. ويقسم هذا الفصل إلى ستة مباحث، سيعالج الباحث في المبحث الأول سجلات ومستندات الصيانة، ثم سيدرس في المبحث الثاني عناصر تكاليف الصيانة،، أما في المبحث الثالث سنقترح موازنة تقديرية لإدارة الصيانة، كما سيقترح في المبحث الرابع قائمة تكاليف خاصة بإدارة الصيانة وفي المبحث الخامس سوف يعالج سلوك تكاليف الصيانة. وأخيراً سوف يتناول في المبحث السادس مجموعة من المعايير الأمثلية التي يمكن تطبيقها على عمليات الصيانة وتكاليفها.

**الفصل الثالث**: سوف **يعالج فيه استخدام قياس الموثوقية لترشيد عمليات الصيانة** ويقسم هذا الفصل إلى ثلاثة مباحث. سنتناول في المبحث الأول منها التفسير الاحتمالي للأعطال، أما في المبحث الثاني فسوف يعالج دراسة الموثوقية في المدى القصير والطويل وسيتناول دراسة حالة عملية لصيانة تجهيزات التحكم بالترسيب الإلكتروني لأبراج التهوية من التلوث وكذلك الموثوقية والمواصفات الدوليةISO ، وفي المبحث الثالث سوف يعالج كيفية قياس الموثوقية في الأنظمة التقنية وذلك من حيث

توزيعات زمن العطل وسيتناول البحث توزيعي ويبل والتوزيع الأسي. وسوف يدرس في المبحث الرابع اختبار الحياة في الأنظمة التقنية باستخدام النموذجين المذكورين.

**الفصل الرابع**: سيناقش فيه **نماذج استبدال وإصلاح التجهيزات**.

**الفصل الخامس**: سيناقش فيه **استخدام نماذج التخزين في خفض ومراقبة تكاليف قطع التبديل**، وهذا النموذج قابل للتطوير في اتجاهات مختلفة بحيث يمكن تطبيقه في معظم المؤسسات الصناعية.

**الفصل السادس**: سيناقش **تمهيد الموارد والجدولة الزمنية لأعمال الصيانة** لخفض ومراقبة تكاليف الصيانة باستخدام خوارزمية التعيين واستخدام التحليل الشبكي.

وأخيراً في **الفصل السابع**: سيقترح عرضاً **للتكييف الفقهي لعقود الصيانة** من وجهة نظر فقه المعاملات الإسلامي.

وسوف ينتهي البحث إلى خلاصة ومجموعة من **التوصيات المقترحة**. إضافة لملحق يحوي قائمة بمصطلحات الصيانة وآخر يحوي برنامجاً حاسوبياً يشرح أنظمة الصيانة التي تعتمد الحاسوب وملحقين لجداول التوزيع الطبيعية وجدولاً بالرموز الرياضية المستخدمة وملخصاً للبحث باللغة الإنكليزية.

# محتويات البحث


| البحث | الصفحة |
|---|---|
| **المقدمة** | |
| **الفصل الأول: أساسيات إدارة الصيانة ونماذج الصيانة في صناعة الإسمنت** | 1 |
| المبحث الأول: تنظيم الصيانة | 2 |
| المبحث الثاني: أنظمة الصيانة | 5 |
| المبحث الثالث: التخطيط والمتابعة | 13 |
| المبحث الرابع: أنظمة المعلومات | 15 |
| المبحث الخامس: الموارد البشرية | 17 |
| المبحث السادس: الاعتبارات الاقتصادية | 20 |
| المبحث السابع: نموذج مقترح للصيانة | 22 |
| المبحث الثامن: الصيانة في صناعة الإسمنت | 28 |
| **الفصل الثاني: محاسبة تكاليف الصيانة** | 34 |
| المبحث الأول: سجلات ومستندات الصيانة | 35 |
| المبحث الثاني: عناصر تكاليف الصيانة | 40 |
| المبحث الثالث: إعداد الموازنة التقديرية للصيانة | 45 |
| المبحث الرابع: إعداد قائمة تكاليف الصيانة | 47 |
| المبحث الخامس: سلوك تكاليف الصيانة | 51 |
| المبحث السادس: معايير الأمثلية في عمليات وتكاليف الصيانة | 57 |
| **الفصل الثالث: استخدام قياس الموثوقية لترشيد عمليات الصيانة** | 58 |
| المبحث الأول: التفسير الاحتمالي للأعطال | 59 |
| المبحث الثاني: الموثوقية في المدى القصير والطويل | 61 |
| المبحث الثالث: قياس الموثوقية في الأنظمة التقنية | 75 |
| المبحث الرابع: اختبار الحياة في الأنظمة التقنية | 80 |
| **الفصل الرابع:نماذج استبدال وإصلاح التجهيزات** | 88 |
| 1 صياغة سياسة الاستبدال باستخدام أسلوب التقريبات المتتالية | 90 |
| 2 صياغة سياسة الاستبدال بأسلوب البرمجة الديناميكية | 90 |

3 إدخال أثر التقدم التكنولوجي في استبدال التجهيزات 91
4 دراسة حالة تطبيقية لاستبدال آلة 93
5 صياغة سياسة الاستبدال بأسلوب البرمجة الخطية 99
**الفصل الخامس: استخدام نماذج التخزين في خفض ومراقبة تكاليف قطع التبديل** 103
المبحث الأول: صياغة نموذج محدد 106
المبحث الثاني: صياغة نموذج احتمالي 110
المبحث الثالث:صياغة نموذج تخزين قطع التبديل باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية 115
**الفصل السادس: تمهيد الموارد والجدولة الزمنية لأعمال الصيانة** 119
المبحث الأول: استخدام خوارزمية التعيين 120
المبحث الثاني: استخدام التحليل الشبكي 131
**الفصل السابع: التكييف الفقهي لعقود الصيانة** 140
**الخلاصة و التوصيات** 149
**قائمة بالمصطلحات العلمية** 151
**الملاحق** 153
**ملخص البحث بالإنكليزية** 166
**المراجع العربية** 167
**المراجع الأجنبية** 169

# أساسيات إدارة الصيانة

توارثت المؤسسات المختلفة لفترة طويلة من الزمن أعمال الصيانة كوظيفة ثانوية وبدائية سيطر عليها طابع الإصلاح، ونُظر إليها كمرض مفاجئ يؤدي إلى تكاليف إضافية لا يمكن التنبؤ بها. وفي أوائل الستينات اقتنعت معظم المؤسسات بأن الصيانة هي وظيفة أساسية في جميع الأنشطة تساهم في ضبط التكاليف وفي تجنب النتائج الخطيرة التي يمكن أن تعزى إلى عطل نظام تقني أو خطأ إنساني، وبدأت أقسام علمية مختلفة في الجامعات وكذلك مراكز البحوث تولي أساسيات إدارة الصيانة اهتماماً خاصاً .

تركزت الدراسات والبحوث الأولى حول بناء نماذج رياضية للصيانة. وأظهرت التطبيقات أن بعضاً من هذه النماذج قدم حلولاً غير صحيحة، وكشف البعض الآخر عن مفاهيم وأسس مهمة جداً في ميدان التطبيق. ويبدو اليوم أن المعرفة العلمية الخاصة بإدارة الصيانة أصبحت أكثر نضجاً، لكن الفجوة مازالت كبيرة بين النظرية والتطبيق خاصة في الدول النامية. وبالطبع، فقد أظهرت الممارسة الصحيحة والتصميم والتقدم التقني المتنامي آثاراً جوهريةً في تطور أعمال الصيانة.

إن تنظيم الصيانة وأنظمتها المختلفة وتخطيطها وأنظمة المعلومات الخاصة بها والقوة العاملة المكلفة بتنفيذها وأخيرا النظرة الاقتصادية إلى هذه الوظيفة المهمة ليست واحدة في جميع المؤسسات. ومازال الجدل قائما حول نماذج وأشكال الصيانة حتى في المؤسسات التي أدركت جيداً أهميتها ودورها الفعال في تخفيض التكاليف وفي تجنب المفاجآت الأليمة. ومباحث هذا الفصل ركزت الاهتمام على إلقاء الضوء على الموضوعات المذكورة، ومن ثم اقتراح نموذج للصيانة قابل للتطوير والتطبيق في جميع المؤسسات التي تشعر بأهمية هذا الحقل من حقول المعرفة. وأخيراً سنتعرض لبرامج الصيانة في معمل إسمنت حماة ومعمل الإسمنت البورتلاندي الدائمركي.

المبحث الأول: تنظيم الصيانة

المبحث الثاني: أنظمة الصيانة

المبحث الثالث: التخطيط والمتابعة

المبحث الرابع: أنظمة المعلومات

المبحث الخامس: الموارد البشرية

المبحث السادس: الاعتبارات الاقتصادية

المبحث السابع: نموذج مقترح للصيانة

المبحث الثامن: الصيانة في صناعة الإسمنت

# تنظيم الصيانة

تختلف أشكال الصيانة المطبقة في المؤسسات. فهناك مؤسسات تأخذ بشكل الصيانة الداخلية، أي أن جميع أعمال الصيانة تتم داخل المؤسسة وبأسلوب مركزي أو لا مركزي أو مختلط، وهناك مؤسسات تفضل شكل الصيانة الخارجية متمثلاً بأسلوب الصيانة المعروضة في الأسواق وبأسلوب الصيانة الذي يقدمه المنتج للتجهيزات الخاضعة للصيانة، وترفض بعض المؤسسات النوعين المذكورين وتترك الصيانة إلى عامل الصدفة (الصيانة الاضطرارية)، أو تتبنى نظاماً آخر من أنظمة الصيانة. وهذا المبحث يدرس ويحلل مفهوم الصيانة الداخلية.

## 1 1 أساليب تنظيم الصيانة:

إن السؤال الذي تناقشه المؤسسة دائماً والمتعلق بالتنظيم الحقيقي لقسم الصيانة فيها هو: هل هذا التنظيم يجب أن يكون مركزياً أو لا مركزياً؟ ففي **التنظيم المركزي** تناط جميع المسؤوليات لصيانة الآلات والتجهيزات بأقسام الإنتاج المختلفة في تنظيم مركزي للصيانة. أما في **التنظيم اللا مركزي**، فإن كل قسم من أقسام الإنتاج يملك فريق صيانة خاصاً به. وعليه، فإن مسؤولية الصيانة في هذا القسم تعتبر جزءاً لايتجزأ من عمله الإنتاجي.

وتتفق أقسام الإنتاج على أن التنظيم اللا مركزي يمتاز بسهولة التطبيق. وأن رئيس الإنتاج يستطيع ترتيب موارد الصيانة المطلوبة بنفس أسلوب ترتيب موارد الإنتاج. إذاً فالصيانة تعتبر جزءاً من الإنتاج. ويعاب على هذا النوع من التنظيم بأنه يستحيل على أي قسم إنتاج أن يُلّم ويتابع جميع أخطاء الإنتاج لأن إمكانيات فريق الصيانة التابع له لا يمكن مقارنتها بالإمكانيات الواسعة والمتنوعة المتوفرة في قسم صيانة مركزي في المؤسسة. كما يعاب على التنظيم اللا مركزي بأن قوة العمل فيه تكون أقل مرونة عما هو في التنظيم المركزي، وأن تنسيق عمل الصيانة في أقسام الإنتاج المختلفة ربما يكون أمراً صعباً.

إن اعتماد هذا التنظيم أو ذاك لا يمكن تقريره سلفاً. ولاشك في أن هذا الأمر سيعتمد على تحليل مفصّل للحالات في الأعمال الفردية.وفي التطبيق، فإن الجمع بين الشكلين ربما يكون حلاً عملياً. فكما هو الحال في بنية قسم الإنتاج حيث يُجزأ هذا القسم إلى شعب أو فروع: الطحن _ العصر _ الحرق.... إلخ. فإن قسم الصيانة يمكن أن ينظم بنفس الأسلوب أيضا ويُجزأ أيضاً إلى شعب أو فروع. وفي هذه الحالة، فإن المشرف على كل فرع صيانة معين يكون على اتصال بالفرع المناظر في قسم الإنتاج ويقتسم المشرفان على الفرعين المذكورين مسؤولية تحقيق مصالح قسم الإنتاج وقسم الصيانة في آن واحد. وبهذا الأسلوب، سيتشكل حوار دائم بين قسمي الصيانة والإنتاج، وبوساطة هذا الحوار فإن جميع الأوضاع غير الملائمة التي قد تعرقل الإنتاج أو الصيانة يمكن تلافيها.

إن المؤيدين والمعارضين للتنظيمين تمكنوا من مناقشة هذا الموضوع بعمق، ولكن يبدو أن الموقف تجاه هذا التنظيم أو ذاك يتبدل خلال كل حقبة من الأعوام. فعلى سبيل المثال، كثيراً ما نجد تنظيماً مداراً مركزياً بحزم يتجه بعد فترة نحو إعطاء درجة معينة من عدم المركزية للوحدات الفردية التابعة لمدير التنظيم. ولكن بعد مضي فترة أخرى، قد تكون طويلة أو قصيرة، ربما تشعر الإدارة بأنها فقدت سيطرة الرقابة على الوحدات فتتراجع عن اللا مركزية نحو التنظيم المركزي. وهلم جراً. فمصنع روردال Rordal الدانمركي للإسمنت أدخل حديثاً تعديلاً جذرياً من النوع

المذكور على تنظيم المصنع. فقد ألغى نهائياً قسم الصيانة وتم توزيع العاملين فيه على أقسام الإنتاج، وأصبح مديرو هذه الأقسام مسؤولين عن إنتاج وصيانة المصنع وتجهيزاته[4].

### 1 2 تقنيات تنظيم الصيانة:

اقتبست تقنية الصيانة جزءاً مهماً من معارفها وخبراتها من معارف وخبرات التصنيع. وهذا ليس بأمرٍ غريبٍ، ففي هذين المجالين نجد أن المواد والتجهيزات اللازمة تطورت كثيراً بفضل جهود مراكز البحث والتطوير. وبالنظر للطابع التصادفي ( الاحتمالي ) لأعمال الصيانة مقارنة مع عمليات الإنتاج، فإن الصيانة لم تهتم بدراسة الوفورات الاقتصادية لأنها لم تستطع الاستفادة منها، وركزت بصورة رئيسية على إمكانيات تحسين الفعالية. ومن خلال التطبيق، فإن فترات الانتظار خلال عملية الإصلاح أدت إلى اهتمام أكبر بطرائق التخطيط والمراقبة بدلاً من التركيز على التقنية المستخدمة في الإصلاح. ومع ذلك، فإن هناك تقنيات إصلاح معينة تم تطويرها بسبب صعوبة الظروف التي ترافق تنفيذ أعمال الصيانة مقارنةً مع الظروف المألوفة خلال أعمال التصنيع. ونجد في بعض الحالات أن الصيانة تتطلب تقنيات عالية الجودة للكشف عنها في الوقت المناسب وتنفيذها بأسلوب جيد.

وبصورة عامة، فإن التقنيات التي تستخدمها المؤسسات حالياً في تنظيم الصيانة يمكن تلخيصها كما يلي:

**(أ) الصيانة البدائية أو اليدوية:**

تتم أعمال الصيانة في عدد كبير من المؤسسات وخاصة الصغيرة منها بالتشغيل اليدوي ومن خلال الملاحظين والمشرفين. وهذا الأسلوب يناسب أعمال الصيانة البدائية، وعندما تكون الصيانة مرادفة للإصلاح أو يكون أرباب العمل والعمال أنفسهم هم أصحاب القرار في رسم سياسات الصيانة والقيام بتنفيذها.

**(ب) معالجة البيانات إلكترونياً (EDP) Electronic Data Processing:**

أصبحت الرقابة الإلكترونية وسيلة فعالة للسيطرة على أداء الآلات والتجهيزات من خلال غرف أو لوحات القيادة والتحكم التي يقودها عامل أو أكثر لمراقبة خطوط الإنتاج أو الآلات أو المؤسسة بأكملها.

إن المتطلب الأساسي لتحقيق الفائدة المنشودة من استخدام EDP في الصيانة يتلخص في نقاط جوهرية هي: أن نملك سيطرةً قويةً على نظام الصيانة، وأن نعرف بدقة ما نحتاجه من استخدام تجهيزات EDP، وأن يكون المشغّلون لنظام EDP يعملون في المشروع منذ أمد بعيد لضمان السلوك الصحيح تجاه الـEDP، وأخيراً أن يكون المشغّلون قد تدربوا تدريباً كافياً على تشغيل تجهيزات الـEDP.

ومن جهة أخرى، عندما يُقرر إدخال الـEDP في إدارة الصيانة، فإن بعض الأمور يجب أن تكون واضحةً تماماً أمام المؤسسة:

أن الـEDP ليس هو أكثر من أداة.

وأن الـEDP يتطلب نظام بيانات.

وأن الـEDP يتطلب زمناً وتكلفةً قبل أن يصبح قابلاً للاستثمار.

وأخيراً أن الـEDP لن يحلّ مشكلات المؤسسة.

وبالنظر لأن معالجة البيانات باستخدام الـEDP ليس لها حدود، فمن الضروري أن نعرف جيداً: ما هي حاجتنا؟. وبصورة عامة، يُفضل البداية بنظام غير معقد وقابل للاستيعاب لأن الفرق بين النجاح والفشل يعتمد على

[4] Svend Nielsen -1990- (The Maintenance Organization) , F.L.Smith,DENMARK , PP.3

الأشخاص المكلفين باستثمار النظام. ويجب أن نفهم جيداً أن المعالجة بمنهجية محددة لقدر معين من البيانات تحقق للمشروع مجموعة من الفوائد: فهي تمكنه من إجراء تقييم اقتصادي وتقني للمصنع وتجهيزاته، وإجراء تقييم للبيانات بهدف تحسين الأسلوب، وتحقيق الموازنة بين الموارد، ومعرفة الوضع الأمثل لقطع التبديل الواجب تخزينها.. الخ.

وكما سبق أن ذكرنا، فإن نظام الـــEDP لا يحل مشكلات. فإذا ُوجدت مشكلات في العملية اليدوية لنظام الصيانة، فالحل الأفضل هو عدم إدخال الـــEDP. وعليه، فإن تحويل نظام صيانة يدوي إلى نظام صيانة يستخدم الـــEDP يتطلب أن يكون النظام اليدوي يؤدي مهماته جيداً.

**(ج) الصيانة باستخدام الحاسوب:**

تنفذ حالياً بعض المؤسسات الكبيرة أعمال الصيانة فيها باستخدام الحاسوب. وعرضت الشركات في السنوات الأخيرة بعض برامج الصيانة الحاسوبية. ونرى أن هذا الحقل من حقول المعرفة ُكتب حوله القليل ومازال يحتاج إلى جهود علمية كبيرة. وقد اكتفى بتقديم ملحق يهدف لعرض توضيح مفصل لنظام صيانة حاسوبي. وفيما يلي بعض المشكلات الإدارية التي يمكن حلّها بسهولة باستخدام مثل هذه الأنظمة:

(1) التذكير بجميع أعمال الصيانة.

(2) توزيع هذه الأعمال على فرق عمل وتخصيص مسؤولية هذه الفرق.

(3) تزويد المشرفين بتسهيلات الموازنة والتخطيط.

(4) تجميع جميع معلومات الصيانة الضرورية بطريقة منهجية.

(5) تزويد العاملين بمعلومات كافية حول أسلوب إنجاز الأعمال.

(6) تخطيط أعباء الصيانة الوقائية المستقبلية[5].

ولمزيد من الإيضاح، فقد أرفقنا في نهاية البحث الملحق (أ) " برنامج حاسوبي" بغية شرح وتوضيح أجزاء البرنامج ومكوناته من الأجهزة والبرمجيات.

[5] Jan H. Nielsen - 1991 - (Illustration Of A Computerized Maintenance System Which May Be Designed To Operate At Various Functional Levels) -F.L.Smith,Denmark. PP. 36.

# أنظمة الصيانة

إن جميع أنظمة الصيانة سواء كانت الصيانة تنفذ بالأعمال اليدوية أم باستخدام الـــEDP أو باستخدام الحاسوب لها نفس الوظيفة الأساسية وهي أن تراقب:

ماذا يجب أن يُعمل؟

وأين يجب عمله؟

ومتى يجب عمله؟

ومن يجب أن يعمله؟

وكيف يجب عمله؟

ومهما يكن نظام الصيانة المقرر، فإن جميع الأنظمة تتألف من وحدات قياس فردية لها تقريبا الطبيعة نفسها والوظيفة نفسها. وهذه الوحدات الفردية هي:

سجل المعمل

الصيانة الوقائية

نظام قطع التبديل

سجل التوثيق

نظام المهمة أو الصيانة الإصلاحية

مفهوم جيتس GITS للصيانة

نظام الشراء

نظام مراقبة التكلفة والموازنة

## 2 1 سجل المعمل:

إن نظام ترقيم المعمل يلعب دوراً جوهرياً في إدارة وظيفة الصيانة بطريقة منهجية وفي التعرف الدقيق على كل قطعة من التجهيزات. ورقم التعريف يستخدم لكل نشاط ذي صلة بقطعة من التجهيزات: صحيفة الدوام، قطعة التبديل، المادة المشتراة،... الخ بحيث يمكن تخصيص جميع التكاليف بدقة. إن حجم المعلومات التي يمكن تسجيلها في سجل المعمل هي طبعاً غير محدودةٍ (خاصة في حالة استخدام نظام EDP ). ولكن أي بيان "من بيانات المعمل" يقدم مواصفة تقنية لكل قطعة في المعمل وتجهيزاته سيكون مفيداً جداً. وإذا تلا ذلك إدخال أنماط بحث معينة، وبصفة خاصة إذا كان الـــEDP في متناول اليد، فيمكن ترتيب وتصنيف الوحدات القابلة للإبدال المماثلة. فمثلاً، إذا تلفت وحدة من الوحدات، وكانت القطعة البديلة ( المحرك، أو الآلة بكاملها ) غير موجودة في المستودع، فيمكن أن نبحث في هذه الحالة في سجل المعمل أين سيوجد البديل؟ وبالتعاون مع قسم الإنتاج يحدد عندئذ أسلوب تحويل القطعة من مكان إلى آخر حسب الأفضلية.

## 2 2 الصيانة الوقائية:

تتكلم أدبيات الصيانة عن الصيانة الإستراتيجية، وتحدد قواعد أو مبادئ هذه الصيانة بالآتي:

الصيانة الوقائية (الدورية وحسب الحالة).

والصيانة الإصلاحية (والتي يطلق عليها نظام المهمة كما سنرى بعد قليل).

ووحدة قياس الصيانة الوقائية هي كباقي الوحدات الأخرى لنظام الصيانة، أداة لإدارة مهمات الصيانة بطريقة منهجية في جميع الأعمال. فمن المعلومات الواردة في **كتيب المنتج حول الصيانة** ومن الخبرة المتراكمة يمكن أن نقرر قاعدة صيانة لمعمل فردي، وأن نضع التخطيط الضروري لتنفيذ الصيانة.

إن تخطيط الصيانة لكل معمل على انفراد يتضمن كما سبق أن ذكرنا وصفاً للمواد التالية:

ماذا يجب أن يُعمل؟

وأين يجب عمله؟

ومتى يجب عمله؟

ومن يجب أن يعمله؟

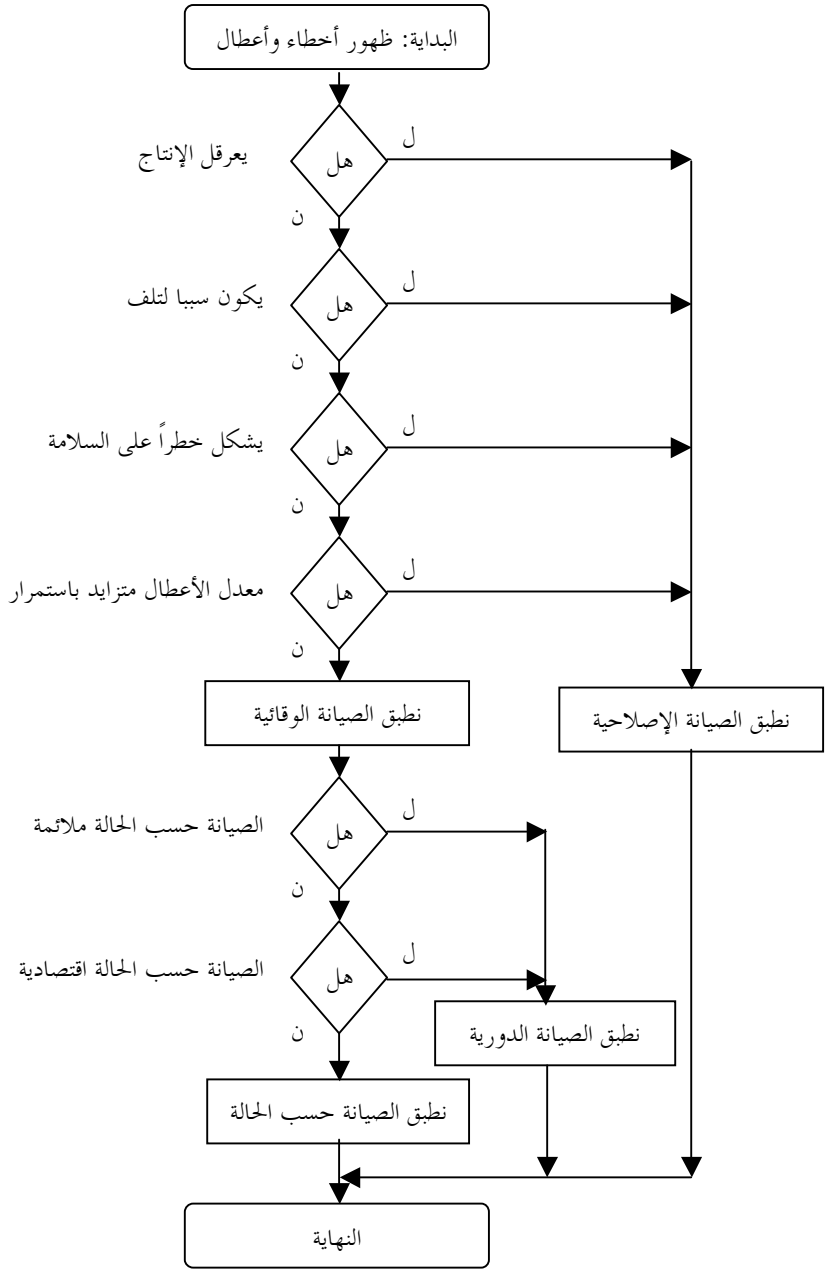
ويتضمن أيضاً هذا التخطيط وصفاً حول: كيف يجب عمله؟.

وهذا يعني كيف يجب أن تنجز المهمة، أي ما هي قطع التبديل، أو الأداة المحددة، أو التزييت...الخ الواجب استخدامها.

والآن بالاستفادة من جميع المهمات المجدولة في قائمة، ومن التكرار لتنفيذ المهمات ومن القوة العاملة المطلوبة لتنفيذ المهمات المعروفة، فإن التخطيط الحقيقي لإنجاز المهمات يمكن تنفيذه بدقة. وباستخدام هذه الخطة يمكن أن تحدد مهمة يومية أو أسبوعية أو شهرية توجه مباشرة إلى موارد بشرية معينة.

وهكذا فإن الصيانة الوقائية تعتبر بصورة عامة صيانة مخططة، في حين أن الصيانة الإصلاحية هي غير مخططة كما سنرى، لاسيما فيما يتعلق بتحديد الزمن الحقيقي لتنفيذ الصيانة الإصلاحية لكل قطعة من التجهيزات.

ولتطبيق الصيانة الإستراتيجية المناسبة، نقترح استخدام النموذج التالي إذا ظهر خطأ في أي معمل أو أية تجهيزات، الشكل ( 1 1 ):




الشكل (1 1)

وبالطبع، هناك مؤشرات أخرى يجب أن تُؤخذ بعين الاعتبار عند تقرير الصيانة الإستراتيجية لمعمل فردي أو لتجهيزات نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر: العناصر القانونية والوضع المالي والمخزون وقطع التبديل والموقع والموارد البشرية ودرجة الجاهزية[6].

**2 3 نظام قطع التبديل[7]:**

[6] Nielsen S. - (Maintenance A Systemic Approach).
[7] Svend Nielsen - (The Maintenance Organization) , OP.CIT. , PP. 6.

إن الهدف من نظام قطع التبديل هو إدارة مستودع قطع التبديل بما فيها القطع القابلة للاستهلاك، وحيث أن إدخالات وإخراجات مستودع قطع التبديل تكون مسجلة، وبالتالي فإن الإحصاءات يمكن أن تعد لجميع المواد. وبهذا الأسلوب يمكن أن نصل إلى الوضع الأمثل لمخزون قطع التبديل في المستودع من خلال دراسة متأنية للاستهلاك.

وبمعرفة زمن استلام الطلبيات والاستهلاك بالنسبة للمواد، وبخاصة الغالية الثمن والتجهيزات الأساسية، فإن أرقاماً دقيقة لقيم المخزون العظمى أو الصغرى تكون قابلة للتحديد، الأمر الذي قد يقود المؤسسة إلى وضع تستثمر فيه رأس مال أقل في قطع التبديل.

إن التنظيم الطبيعي والواقعي لمستودع قطع التبديل يجب أن يخطط بدقة بحيث تحدد علامات ومواقع القطع بصورة واضحة. وهكذا، عندما تكون قطعة التبديل المطلوبة موجودة في كاتالوك المعمل، ويكون الموقع الفعلي لها في المستودع معروفاً أيضاً، ففي هذه الحالة فإن قسم الصيانة لا يضيع وقتاً في البحث عنها. وعلى وجه الخصوص، من الضروري أن يكون تنظيم المستودع خلال الورديات المتأخرة في كل يوم مخططاً بصورة حسنة بحيث يتم إحضار قطع التبديل بسرعة وتنفيذ مهمة الإصلاح بأدنى حد من الزمن.

### 2 4 سجل التوثيق:

إن أنواع التوثيق الخاصة بكل معمل والتجهيزات التي يحتاج إليها قسم الصيانة ليتمكن من القيام بواجباته تجاه هذا المعمل والتجهيزات يمكن أن تشمل مايلي:

توثيق التشييدات والبناء

تعليمة الصيانة

توثيق العملية

قائمة قطع التبديل

تعليمة صفارة الإنذار

الرسوم والصور

كتيب الإصلاح

التوثيق الكهربائي

تعليمة التزييت والتشحيم

ويسجل في سجل التوثيق جميع الوثائق المستندية المذكورة وتخصص للمعمل وتجهيزاته وذلك باستخدام أرقام المعمل. وبإدخال رقم المعمل في سجل التوثيق، فإن جميع المعلومات حول الوثائق المتاحة يمكن الحصول عليها بسهولة. كما أن المعلومات حول موقع الوثائق المذكورة تكون مذكورة في السجل.

### 2 5 نظام المهمة أو الصيانة الإصلاحية:

وهو نظام لإدارة مهمات الصيانة الإصلاحية. فنظام الصيانة قد يتضمن فحصاً نظامياً لكل مادة في الأعمال. وخلال هذا الفحص، فإن الاختلالات التي تجذب الانتباه يجب أن تكتشف. أضف إلى ذلك، أن قسم الإنتاج يُجهز عادةً تقريراً حول الأخطاء والسلوك الخاطئ للمعمل. وهذه التقارير حول المهمات الواجبة التنفيذ تذهب إلى قسم الصيانة لتسجيل وإصدار بطاقة المهمة.

ومن خلال سجل المعمل، يمكن التعرف أيضاً على كل آلة من آلات المعمل بوساطة الرقم المستخدم على التقارير الموجهة إلى قسم الصيانة. كما يمكن أن نُجهز للمهمة الرسوم والصور والتعليمات من سجل التوثيق، وأن نختار قطع التبديل والأدوات التي تكون ضرورية لإنجاز المهمة.

وعليه فإن الصيانة الإصلاحية تجري بناء على تقارير[8] تعد من قبل قسم الصيانة خلال عمليات الفحص الاعتيادية للتجهيزات أو من قبل القائمين على تشغيل المعمل. وتتضمن التقارير المذكورة دراسة مفصلة لجميع الأعطال والتوقفات المحتملة للتجهيزات، وتحليل الأسباب الكامنة خلف هذه الأعطال، وتحديد الأعمال المطلوبة للحد من أوجه القصور التي تعيق المؤسسة عن أداء واجباتها على أحسن ما يرام. وقد ينجم عن التحليل المذكور:

تعديل عمليات الإنتاج

إعادة تصميم مسببات الأعطال

الاستبدال أو إدخال آلات جديدة

إعداد دورة تدريب وتأهيل للعاملين

ولاشك أن الإعداد والتخطيط الجيدين لكل مهمة صيانة يؤديان إلى تخفيض زمن إنجاز هذه المهمة وتحسين جودتها.

وقد توصلنا من خلال متابعة الدراسات التي تناولت عملية الصيانة في أحد معامل الإسمنت الدانمركية إلى أن الزمن المستهلك في تنفيذ مهمات الصيانة في المعمل المدروس يتوزع نسبياً كما يلي:

| الحالة | % |
|---|---|
| زمن منتج | 45.00 |
| نقل/إعداد | 37.00 |
| زمن الموظفين والعاملين | 9.00 |
| غياب ( غير معروف ) | 6.50 |
| متنوعات | 2.50 |
| الإجمالي[9] | 100.00 |

وبالطبع، فإن الزمن المنتج والعناصر الثلاثة الأخيرة لا يمكن مناقشتها. ويبقى العنصر الوحيد الذي يثير الانتباه ويحتاج إلى فحص مفصل هو النقل/الإعداد، ومفرداته كانت كما يلي[10]:

| الحالة | % |
|---|---|
| نقل | 13.00 |
| محادثات | 6.00 |
| انتظار | 8.00 |
| إعداد | 10.00 |

من هذا التحليل يمكن أن نقرر أن تخفيض الزمن الإجمالي المستهلك في إنجاز مهمة الصيانة يمكن أن يتحقق بمراعاة مايلي:

1انظر الفصل الثاني،الموازنة التقديرية للصيانة وقائمة التكاليف الخاصة بالصيانة

2 (1) Oest, Flemming - 1991- (Development Of Organization Structure In A Cement Plant), F.L.Smith, DENMARK. PP. 9.

3انظر الفصل الثاني، تكلفة الفرصة المضاعة وتكلفة الوقت الضائع.

تنظيم النقل

التخطيط بحيث نتجنب الانتظار

ترتيب وتصنيف الوثائق المستندية

وضع الأدوات والتجهيزات

## 2 6 مفهوم جيتس GITS للصيانة[11]

ساد لفترة طويلة انقسام حاد ونقاش طويل بين المؤيدين والمعارضين لنظامي الصيانة الوقائية والإصلاحية. الشكل (1 2)، وقد تجاهل جيتس هذا الانقسام المألوف، وقدّم بدلاً من ذلك قاعدة صيانة أولية خلال أبحاثه ودراساته لمفهوم الصيانة. وتصف هذه القواعد ماهية الصيانة ومتى يجب أن تنفذ؟ وميّز بين ثلاثة أنواع من قواعد الصيانة هي: الصيانة حسب العطل Failure Based Maintenance (FBM) والصيانة حسب الاستعمال Use Based Maintenance (UBM) وأخيراً الصيانة بحسب الحالة Condition Based Maintenance (CBM) وسندرس فيما يلي هذه القواعد بقدر محدود من التفصيل.

**(أ) الصيانة بحسب العطل (FBM):**

إن الـــ FBM هي صيانة يجب أن تنفذ بسبب حادث عطل مفاجئ. وهذا الحادث، قد يُظهر نفسه خلال عمل آلة من آلات معمل وتجهيزاته، وقد يكون عطلاً مخفياً ويتطلب الكشف عنه إجراء فحص دقيق للآلة أو للنظام التقني. ويطبق هذا النوع من الصيانة إذا كانت نتائج العطل يمكن اعتبارها قابلة للإهمال، أو إذا كان قسم الصيانة لايعرف كيف يُجري تنبؤاً بالعطل.

**(ب) الصيانة بحسب الاستعمال (UBM):**

وهي صيانة يجب أن تنفذ عندما تستهلك آلة أو نظام تقني عمره الإنتاجي المحدد مسبقاً من قبل المنتج، وبصرف النظر عن حالة النظام في اللحظة الآنية للصيانة. وبالطبع فإن العمر الإنتاجي للنظام يُقاس إما بوحدات الاستعمال أو بوحدات الزمن. ويبرر استخدام هذا النوع من أنواع الصيانة إذا كان تباين الأزمنة الفاصلة بين الأعطال المتتالية صغيراً.

**(ج) الصيانة بحسب الحالة (CBM):**

إن CBM هي صيانة يجب أن تنفذ عندما تصل الآلة أو التجهيزات إلى حالة حرجة وخطرة.

وعليه فإن هذا النوع من الصيانة يقضي أن نستخدم التجهيزات إلى حدها الأقصى وأن نخطط الزمن المناسب لإصلاح هذه التجهيزات قبل أن تصل إلى حالة غير مقبولة. والطريقة الأكثر انتشاراً لمراقبة الحالة هي قياس الاهتزاز. وبقياسات الاهتزاز[12] يمكن أن نكتشف حالة الخطأ في الآلة وأن نتابع تطوره. ويلاحظ في معظم الآلات أن الاهتزاز له مستوىً نموذجي وأمواجه المتكررة لها شكل مميز عندما تكون الآلة في حالة جيدة.

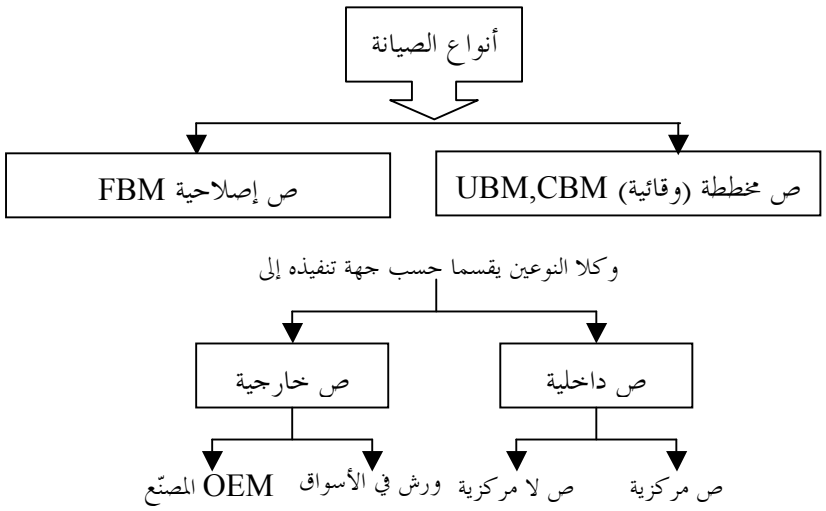
ومراقبة الحالة يمكن أن تتم أيضاً بملاحظة تطور وضع الزيت خلال الزمن ومقارنة ذلك مع المواصفات التي يحددها المنتج.

---

[11] C.W.Gits -1988-(The Systematic Design Of The Maintenance Concept For A Centrifugal Separator) - F.L.Smith, DENMARK., PP. 2-9.

[12] أدوات CBM: 1 قياس الاهتزاز، 2 وضع الزيت.

ويرى جيتس أن الصيانة بحسب الحالة سوف تتزايد وسوف تسيطر على الأنواع الأخرى. لأن الجهد لإجراء قياسات CBM، ومقارنة القيم المقاسة مع الوحدة المعيارية في تناقص مستمر نتيجة استخدام الصيانة بحسب الحالة عن بُعد Tele-CBM: القياس الآلي، المقارنة الآلية، والإعلام الآلي إلى نقطة المراقبة المركزية. وعليه، فإن شاشة الحاسوب سوف تحل محل الشاشة الثابتة التقليدية ومراقبة الأضواء، موضحة آليات العملية خلال الزمن الفعلي لظهور الحوادث، وُممكّنة من سؤال النظام عن تطور العملية وخواص التجهيزات خلال الفترة الماضية، الأمر الذي يسمح بإجراء تشخيص عن بُعد Tele-Diagnosis.




الشكل (1 2) أنواع الصيانة

### 2 7 نظام الشراء:

إن الدوافع لنظام الشراء تنتج عن نظام قطع التبديل عندما يصل مستوى المخزون إلى حده الأدنى. وهذا الدافع يمكن استلامه يدوياً أو بوساطة EDP تماماً مثل نظام الشراء الكامل الذي يمكن أن يعمل يدوياً أو باستخدام EDP.

إن إحدى وظائف نظام الشراء هي تقييم وضع قطع التبديل بالتعاون مع قسم الصيانة:

مستويات المخزون ( دنيا/عليا )

نوعية أو جودة قطع التبديل

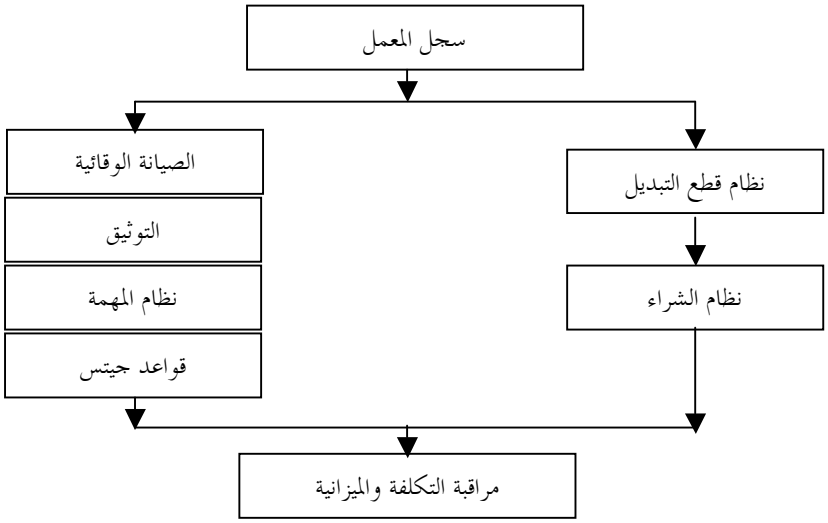
المزوّد أو المورد لهذه القطع

### 2 8 مراقبة التكلفة أو الموازنة:

إن أهم أداة بالنسبة لقسم الصيانة هو أن يكون قادراً على متابعة النفقات لكل مهمة وعلى التأكد من أن القسم يعمل ضمن الموازنة المخصصة. وبهذا الصدد، فمن الضروري أن تقوم القوة العاملة بمسؤوليتها المخصصة بتخطيط الموازنة. فعلى سبيل المثال، إن أي رئيس فرع في قسم الصيانة، والمسؤول عن صيانة جزء معين من الأعمال، يجب أن يساهم في تخطيط الموازنة لهذا الفرع.

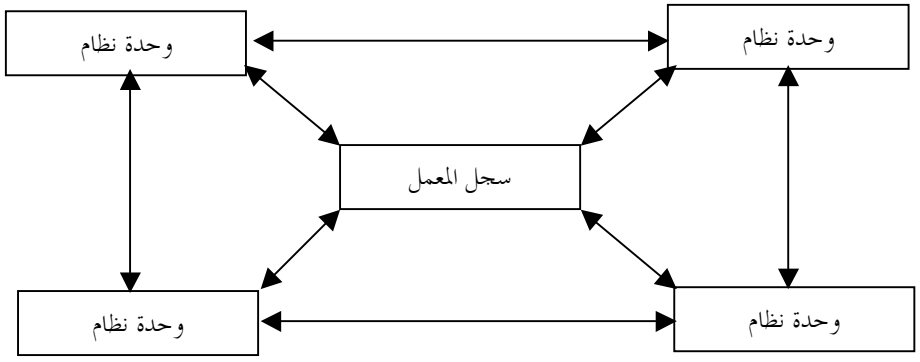
أضف إلى ما سبق ذكره فإنه من الضروري إعطاء القوة العاملة المخصصة سلطة مناسبة، فضلا عن تمتعها بدرجة من المرونة ضمن الموازنة. وبالطبع، فإن نظام مراقبة التكلفة والموازنة هو كأي نظام آخر يمكن أن يعمل يدوياً أو باستخدام EDP.

لقد درسنا حتى الآن وحدات قياس النظام المتنوعة التي تساهم في بناء وظيفة الصيانة. لكي تكون الوظيفة المذكورة عملية، فليس من الضروري أن تنجز جميع وحدات القياس المذكورة في آن واحد. ونقترح النموذج التالي لإنجاز هذه الوحدات، الشكل (1 3):




الشكل (1 3)

لاشك أن سجل المعمل متطلب أساسي لابد منه لبناء أي تنظيم صيانة. وأن أي نظام يمكن أن يتألف من وحدتين ( سجل المعمل والصيانة الوقائية )، ومن ثم يتوسع هذا النظام تدريجياً إلى أن يشمل جميع وحدات القياس المذكورة. كما أن بنية أي نظام يجب أن تصمم بصورة جيدة وبحيث تتوافق مع نموذج أمثل تكون فيه وحدات قياس النظام متوضعة حول سجل المعمل كما هو موضح في الشكل التالي، الشكل (1 4):




الشكل (1 4)

وبهذا الأسلوب فإن قوة العمل في قسم الصيانة تكون قادرة على إنتاج جميع المعلومات المطلوبة والوثائق بطريقة فعّالة وسريعة.

# التخطيط والمتابعة

إن الوحدة الأساسية لإدارة قسم الصيانة هي قسم التخطيط الذي يتولى تخطيط أنشطة الصيانة. والتخطيط يمكن أن يجري بمستويات أربعة هي[13]:

التخطيط الاستراتيجي

التخطيط الشامل

التخطيط المفصل

التخطيط للمهمة

يشمل **التخطيط الاستراتيجي** كلاً من الصيانة الوقائية والصيانة الإصلاحية. بينما يعتمد التخطيط الشامل على التخطيط الاستراتيجي وعلى وصف جميع الأنشطة التي يجب تنفيذها في المؤسسة. وهذا الوصف يستلزم تقديراً للموارد المطلوبة من:

الأعمال الساعية

قطع التبديل

قطع قابلة للاستهلاك

أدوات

إن مدة كل مهمة تكون مخططة فيما يتعلق بتخصيص الموارد. وعندما يتم عمل ذلك، فإن المهمات تدرج على قائمة تخطيطية موضحة أوقات تنفيذها. ويمكن في هذه الحالة أن نحسب لكل شهر الأعمال الساعية المطلوبة لتنفيذ الصيانة المخططة. والأهم من ذلك، هو أن نضيف الموارد المطلوبة لإنجاز المهمات غير المخططة التي ستنفذ حتماً في المستقبل القريب، ويؤخذ بعين الاعتبار الاستثناءات المتوقع حدوثها نتيجة الغياب بسبب المرض أو ترك العمل.

إن الموارد اللازمة لإنجاز المهمات غير المخططة يمكن تقديرها من خلال الخبرة وبصورة تقريبية كـ 30% من المهمات في قسم الصيانة مثلاً. وهكذا، فإن عبء العمل الساعي الإجمالي لكل شهر يمكن تقديره، وسنكتشف أية تغيرات في هذا العبء على مدار العام. و يمكن أن تؤدي التغيرات الكبيرة السالبة والموجبة إلى وضع التوازن. وإذا لم يحدث ذلك، فيجب أن يُؤخذ بالاعتبار استخدام مساعدة خارجية.

وفي **التخطيط الشامل**، يجب أن يُؤخذ بالاعتبار استهلاك قطع التبديل والأدوات، بحيث تكون القطع الضرورية جاهزة عند الطلب. وبالطبع فإن جميع التقديرات التي يجريها قسم التخطيط: الأعمال الساعية، قطع التبديل....الخ. يجب أن تترجم إلى تكلفة وأن تستخدم في تخطيط الموازنة.

ويطبق **التخطيط المفصل** عندما يمكن تجزئة أي نشاط إلى أنشطة مستقلة منفصلة (مثال: التخطيط الشبكي). ويعتبر تخطيط المهمة بمثابة روتين يومي يُنجز عادة بالتعاون مع قسم الإنتاج.

[13] التخطيط الاستراتيجي = صيانة وقائية + صيانة إصلاحية، التخطيط الشامل = التخطيط الاستراتيجي (يشمل كل الاستراتيجيات)، التخطيط المفصل = تخطيط نشاط أو مجموعة من الأنشطة المترابطة، التخطيط للمهمة = تخطيط مهمة واحدة.

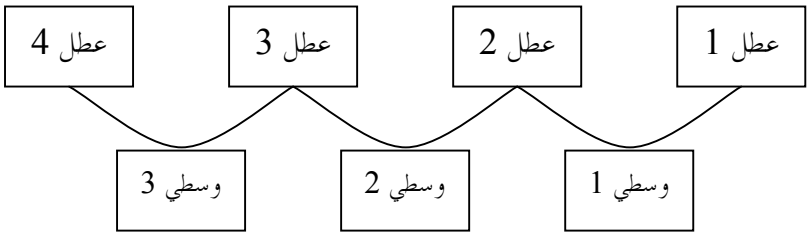
إن نظام المتابعة[14] يمكن أن يكون اقتصادياً أو فنياً.

**المتابعة الفنية** هي أولاً تسجيل الأعطال وأسبابها بقصد معرفة وحذف نقاط الضعف. وعلى حين أن تسجيل الأعطال يعتبر أمراً بسيطاً، نجد أن إثبات سبب العطل يكون أحيانا مسألة معقدة. ويجب أن توجد دائماً وجهات نظر موضوعية، وغالباً فإن تحديد المسؤولية قد يضع ضباباً حول الحقائق.

أضف إلى ما سبق، أن أية متابعة حول الوقت يمكن تحقيقها من خلال جاهزية المعمل[15]، حيث MTBF هو الزمن الوسطي بين الأعطال و MDT هو متوسط الزمن الأدنى بين الأعطال وذلك بالنسبة لفترة زمنية معينة (مثلاً سنة)، الشكل (1 5).

$$MTBF = \frac{AV_1 + AV_2 + AV_3}{3}$$

$$MTD = Min[Av_1, Av_2, Av_3]$$




الشكل (1 5)

وكذلك فإن متابعة المعلومات المتاحة يمكن أن تستخدم لبناء نسب أداء الصيانة التي تعطي ملخصاً لأنشطة الصيانة وفعاليتها. وبالطبع توجد قاعدة عريضة من نسب الأداء، ولكن القليل منها يمكن اختياره لتقديم معلومات كافية حول تقدم الصيانة وفعاليتها. ومن هذه النسب نذكر مايلي:

نسبة الوقت الإضافي (نسبة الأعمال الساعية الإضافية إلى الأعمال الساعية الإجمالية).

نسبة صيانة تعطل آلة (نسبة الأعمال الساعية لإصلاح عطل آلة إلى جميع الأعمال الساعية الإجمالية).

نسبة انتظام العمل (نسبة الأعمال المنفذة بصورة جدية إلى جملة الأعمال المنفذة)

**المتابعة الاقتصادية** تقتضي تسجيل جميع التكاليف الفعلية وبصورة مفصلة وتقييمها مقارنة مع مخصصات الموازنة. وعندما يجري تقييم تكلفة الصيانة بالنسبة لآلة محددة، فإن نتيجة التقييم يمكن أن تعتبر بمثابة معيار اقتصادي بالنسبة للآلات الأخرى. ومتابعة تكاليف صيانة آلة يوضح لنا الاتجاه العام لحالة هذه الآلة، وهذا الاتجاه العام يمكن أن يستخدم لتقرير الزمن المناسب لإجراء عملية استبدال الآلة جديدة بالآلة المذكورة.

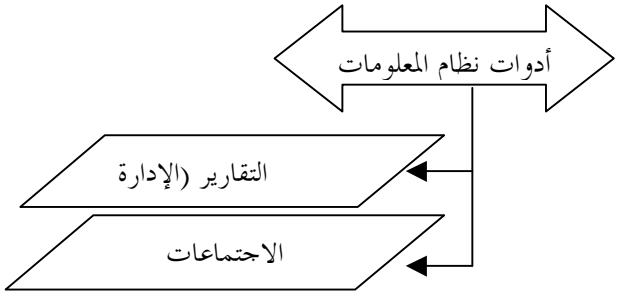
[14] المتابعة، فنية (mtdf, mdt,.. etc)، اقتصادية (انظر الفصل الثاني المبحث السابع نسب ومؤشرات).

[15] Svend Nielsen - (The Maintenance Organization), OP.CIT., PP. 19.

# أنظمة المعلومات

إن إحدى المهمات الإدارية لقسم الصيانة هي تصميم أنظمة معلوماتية. ويعتبر أمراً أساسياً لأي اتصال سواء كان كتابياً أم شفهياً أن يكون واضحاً ومحدداً بصورة جيدة، الشكل (1 6). ورسائل هذا الاتصال التي قد تكون مجرد توجيه، أو تقرير، أو معلومات عامة، يجب أن تصل من المصدر إلى المستقبل خلال طريق محدد بدقة.

إن جميع المعلومات التي تجري ضمن التنظيم، سواء كان ذلك أفقياً أم عامودياً في تسلسل المراتب، لها هدف محدد هو أن نملك مهمة منجزة. وقد يكون ذلك مجرد معلومات من الإدارة، أو توجيه أو أمر يجب تنفيذه. وإذا لم يكن التوجيه واضحاً، فإن المهمة لن تنفذ بدقة. وإن أي تسامح من قبل مصدر التوجيه سيبرز أهمية قابليته على الاتصال بدقة كافية.




الشكل (1 6)

وعلى حين أن التوجيهات تتدفق عادة من أعلى نحو الأسفل في تدرج مراتب التنظيم، فإن التقارير تسلك طريقاً آخراً لتزويد الإدارة بالمعلومات التي تمكنها من إنجاز المتابعة الضرورية. والتصميم الواقعي لنظام إعداد التقارير والأشكال المتنوعة التي يجب استخدامها في هذا النظام يجب أن تكون مدروسة بعناية. ولكي نعمم الأشكال التي ستنقل المعلومات المطلوبة فإننا نحتاج إلى فحص شامل لماهية المعلومات المطلوبة ولأسلوب صناعتها، أي من يجب أن يقوم بصناعتها؟ كما أن الاهتمام يجب أن يوجه نحو تجنب إعداد أية معلومات غير ضرورية أو إعداد المعلومات ذاتها من قبل مصدرين أو أكثر. وعلى وجه التحديد، إن إعداد التقارير في قسم الصيانة سيساعد الإدارة على:

1 مراقبة النفقات
2 تسجيل المؤشرات المميزة للمعمل والتجهيزات
3 تعرّف الاتجاهات العامة
4 وعلى تمكين القسم من إنجاز خدماته التي تتضمن إدخال التحسينات الفنية.

ولكي يعمل نظام إعداد التقارير بصورة حسنة فإن عناصر قليلة يجب أن تُؤخذ بعين الاعتبار:

المعلومات المطلوبة ومصدرها.

المعلومات المتاحة

يجب أن يكون شكل التقرير المعدّ بسيطاً ومخططاً بصورة حسنة

طريق التدفق خلال تدرج مراتب التنظيم يجب أن يكون مختصراً

مكان حفظ المعلومات

والأهم من ذلك أن المتسلّم للمعلومات يجب أن يكون تحت المراقبة لمعرفة تجاوبه الصارم عند استلام التقرير.

إن الاجتماعات هي إحدى مكونات نظام المعلومات التي يمكن أن تؤدي إلى إرباك التنظيم، مع أنها ضرورية لتنظيم الأعمال الاعتيادية اليومية ولتكوين التعاون بين مجالات العمل المستفيدة. فعلى سبيل المثال، لإصدار واستقبال معلومات بين قسمي الإنتاج والصيانة، فقد يُنفق المشاركون في الاجتماعات ساعات عديدة كانت من الأفضل أن تُوجه نحو العمل المنتج. ولتجنب إضاعة الوقت في اجتماعات مفيدة، يتوجب وضع نظام دقيق للاجتماعات. وفي الحقيقة، إن دروساً محدودة حول الأسلوب التقني للاجتماع قد يكون لها مردود يغطي تكلفة هذه الدروس. وفيما يلي بعض القواعد الأساسية التي يمكن أن يأخذها بعين الاعتبار رئيس اجتماع معين:

اختصار زمن الاجتماع ما أمكن

تحضير جدول الأعمال

الالتزام بجدول الأعمال

السماح لكل فرد أن يعبّر عن رأيه، وليس أكثر من واحد في وقت واحد

التأكّد بأن جميع التعليمات تكون مفهومة

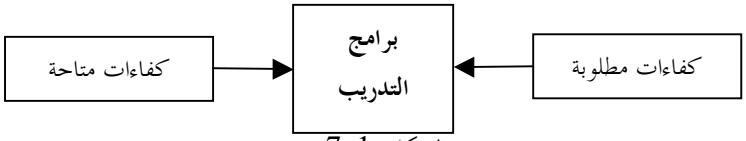
اختتام الاجتماع

تخصيص دقائق قليلة للمداولة بين المشاركين.

# الموارد البشرية

تعتبر الموارد البشرية بمثابة العمود الفقري في تنظيم الصيانة. وبصرف النظر عن كون نظام الصيانة بسيطاً أو متقدماً، إذا لم تكن الموارد البشرية قادرة على تشغيله، فإن هذا النظام يكون في مأزق حقيقي، الأمر الذي يقتضي اتخاذ عدد من الإجراءات الحاسمة بخصوص الكفاءات المطلوبة والكفاءات المتاحة وبرامج التدريب التي تصقل وتدعم الكفاءة، الشكل (1 7).

إن المطلب الأساسي في وظيفة الصيانة هي أن تنفذ بإخلاص[16]. ويتحقق ذلك عندما تُحفّز الموارد البشرية على إنجاز مهماتها بأسلوب فعال. وتختلف بالطبع الحوافز من عمل لآخر ومن بلد لآخر. فهناك حوافز تقليدية للعاملين مثل برامج الإسكان، الصحة، والمنافع الاجتماعية الأخرى.




الشكل (1 7)

ويعتبر أهم حافز في قسم الصيانة هو تخطيط برامج تدريب مناسبة لكل مجموعة من الموارد البشرية:

الماهرون وغير الماهرين
التقنيون
رؤساء العمال
المهندسون
المتمرنون

ويشمل نظام التدريب عادة مايلي:

السلامة
إدارة الأفراد
عمل الرافعات
الصيانة حسب الحالة
عمل عربات النقل
تخطيط المهمة
اللحام
تقنية الاجتماع
الأعمال الالكترونية
EDP
الهيدروليك

[16] تنفيذ العمل بإخلاص من صفات العمالة اليابانية

ويضاف إلى ذلك، التدريب الذي يتبرع به مورّد قسم الصيانة بالآلات والتجهيزات.

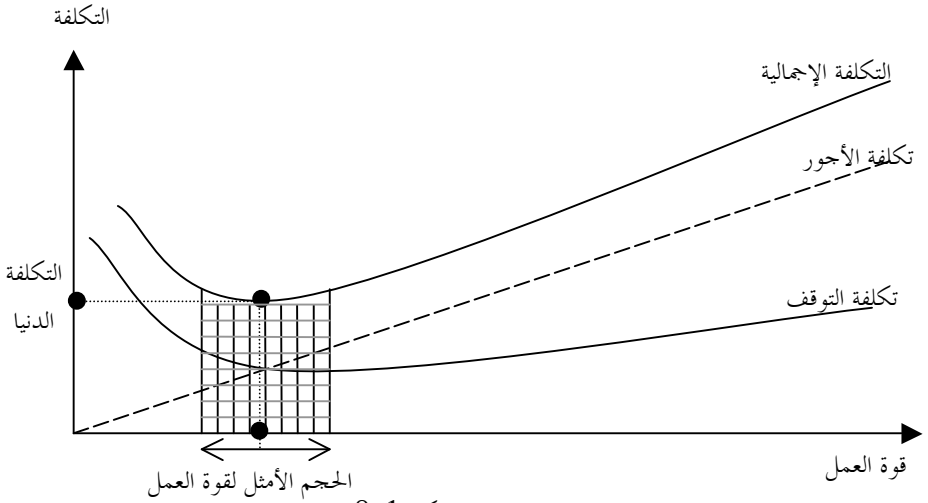
ومن الضروري أن يكون تدريب الموارد البشرية مبرمجاً على أرض الواقع لكي تحصل الإدارة على كفاءات حقيقية. ويضاف إلى ما سبق معيار آخر للحصول على فريق من الموارد البشرية يعمل بصورة حسنة، ويتمثل ذلك في وضع أوصاف المهمة لكل عامل، الذي يصف وظيفته الحقيقية و مسؤوليته و مهارته وموقعه في التنظيم.. الخ. وبهذا الأسلوب، فإن كل عامل يعرف جيداً جميع الشروط الخاصة بمهمته. ويجب أن يُوضع وصف لمهمة المشرفين ونوّابهم بحيث لا يوجد شخص يشك في الجهة التي يجب أن يتصل بها عند غياب المشرف. وبأسلوب مماثل، فإن تعليمات عامة يجب أن تقدّر بالنسبة لجميع المديرين في كافة المستويات محددةً: واجباتهم ومسؤولياتهم و اختصاصاتهم وسلطاتهم.

وباستخدام أوصاف المهمات وبرامج التدريب، فإن كل عامل يرى بوضوح المطلوب في المهمة وتوقعات المؤسسة من العامل وإمكانية مساعدته من أجل إنجاز مهمته.

إن العدد الحقيقي للأشخاص الواجب استخدامهم في تنظيم الصيانة يختلف بالطبع من مكان لآخر. وفي مرحلة تخطيط الصيانة فإن أحد الأمور المهمة التي يجب اتخاذ قرار بشأنها هو حجم استخدام القوة العاملة الخارجية، أي عمالة العقود من أجل بعض المهمات. وهذا بالطبع له أثر على تدريب الموارد البشرية. ومن الممكن أن يأخذ الترتيب الصيغة التالية: أن قسماً كبيراً من العمل الخدمي والفحوصات تكون منجزة من قبل متخصصين متدربين بوساطة المؤسسة، وأن أعمال الإصلاح الحقيقية والتركيب قد تنفذ بوساطة متعاقدين من الخارج. وعلى وجه التقريب، فإن قوة العمل لتنظيم الصيانة يمكن تقديره بأسلوب تقريبي قائم على الخبرة Rule Of Thumb. وعلى سبيل المثال، ففي صناعة الإسمنت مثلاً، تدل الإحصاءات على أنه يمكن استخدام المعادلة التالية:

الأعمال الساعية الإجمالية للعام =}(10% 20% ) س {طن إسمنت منتج خلال العام.

ونقترح النموذج النظري التالي لتحديد الحجم الأمثل للقوة العاملة لوظيفة الصيانة الشكل (1 8):



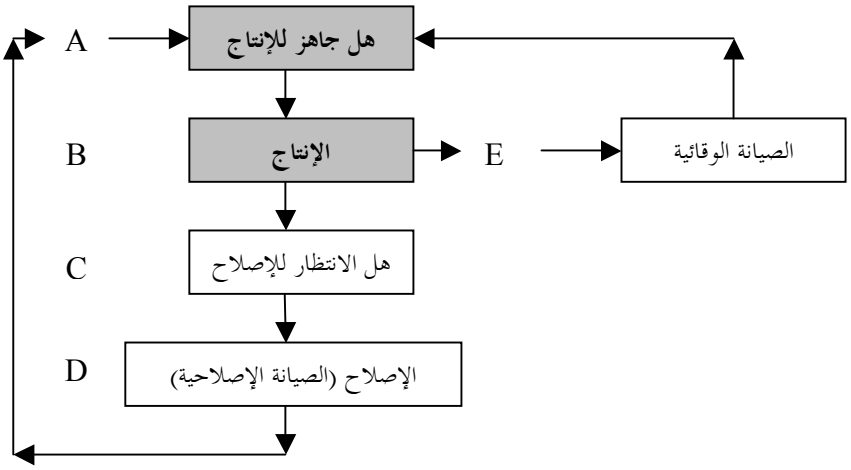

الشكل 1 8

وعليه مع زيادة عدد العمال في القسم، فإن نفقات الأجور تزداد. وفي الوقت نفسه، فإن تكلفة التوقف التي تعزا إلى الصيانة المتزايدة تتناقص. وإن الحجم الأمثل لقوة العمل يكون في النقطة التي تصل عندها التكلفة الإجمالية إلى حدها الأدنى. ويوضح النموذج أيضاً أنه من الأفضل أن تدفع إلى استخدام فائض من أن تدفع إلى استخدام ناقص في قسم الصيانة.

إن الاستثمارات الكبيرة توجه عادة إلى تجهيزات الإنتاج لضمان مستوى عال الجودة في هذه التجهيزات يسمح بإنتاج منتج جديد ومنافس اقتصادياً. ولكن عندما نتجه نحو أدوات وتجهيزات عملية الصيانة فإن الموقف يكون مختلفاً تماماً بالنسبة للاستثمارات المخصصة لذلك. وعلى أية حال، فإنه يجب أن لا يكون أدنى شك لدى الإدارة العليا بأن إنجاز مهمة الصيانة بصورة ملائمة لضمان جاهزية تجهيزات الإنتاج يتطلب أن تكون الأدوات والوسائل المتاحة من نوع جيد. وهذا يتضمن تسهيلات الورشة الملائمة مع الآلات و الطاولات و أدوات العمل، وتسهيلات النقل إضافة إلى المحافظة على جاهزية قطع التبديل ومواد الإصلاح. وكما أن التسهيلات البيئية مثل أبنية المستودع والورشة يجب أن تكون على مستوىً مناسب لتجدد الحياة والحيوية لدى الموارد البشرية. وبالطبع فإن هناك تسهيلات أخرى مطلوبة للموارد البشرية مثل الحمامات وغرف تبديل الألبسة وأماكن الخدمة العامة يجب أيضاً أن تكون على مستوىً لائق.

# الاعتبارات الاقتصادية

إن تخفيض تكلفة الإنتاج هو أحد الأهداف الرئيسية لوظيفة الصيانة. والسؤال الذي يُطرح هنا مباشرة هو: ما حجم النقود التي ستنفق على الصيانة؟ وماذا سيكون منجزاً نتيجة هذا الإنفاق؟ لننظر إلى النموذج[17] التالي، الشكل(1 9):




الشكل (1 9)

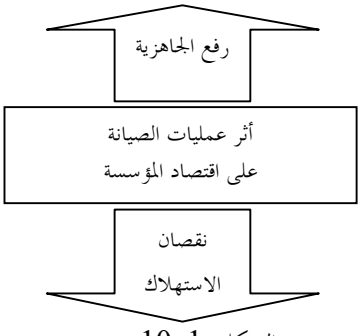
إن تجهيزات الإنتاج ستكون دائماً من الناحية النظرية في حالة من الحالات الموضحة في النموذج. وإن قسم الإنتاج يهتم بداهة بأن تكون تجهيزاته في إحدى الحالتين A,B، وبذلك فإن تخطيط الإنتاج يمكن أن يكون منفذاً بدقة. إن جاهزية تجهيزات الإنتاج يمكن تعريفها كما يلي:

$$T_0 = A_{time} + B_{time}$$

$$T_a = C_{time} + D_{time} + E_{time}$$

إجمالي زمن الإنتاج الفعلي/إجمالي الزمن اللازم للعمليات الإنتاجية $AV = \dfrac{T_0}{T_0 + T_a} = \dfrac{A+B}{A+B+C+D+E}$

حيث To الزمن عندما تكون التجهيزات بحالة عمل A+B و Ta الزمن عندما تكون التجهيزات بحالة توقف C+D+E.




الشكل (1 10)

[17] Svend Nielsen - (The Maintenance Organization), OP.CIT., PP. 28.

إن التأثير الناجم عن عملية الصيانة على اقتصاد المؤسسة يكون موجباً بزيادة جاهزية التجهيزات وسالباً باستهلاك الموارد، الشكل (1 11). وبالاطلاع على بعض النتائج التي حصلت عليها شركة الإسمنت الدانمركية (Portland)، حيث قامت الشركة بتطوير نظام الصيانة فيها وقد أدى ذلك إلى نقص ملحوظ في عدد الأعطال وإلى تخفيض التكاليف بنسبة تزيد على 15%.

ويحقق إدخال الصيانة الوقائية عدداً كبيراً من المزايا:

الصيانة ضمن حالات مخططة

زيادة جاهزية تجهيزات الإنتاج

زيادة الدخل

نمذجة الإجراءات والتكلفة

تخفيض مخزون قطع التبديل

تخفيض الوقت الإضافي

موازنة الموارد

حاجة قليلة لتجهيزات احتياطية

ومن جهة أخرى فإن إدخال الصيانة الوقائية قد يؤدي إلى بعض العيوب:

التدخل في آلة قد يولد خطأ

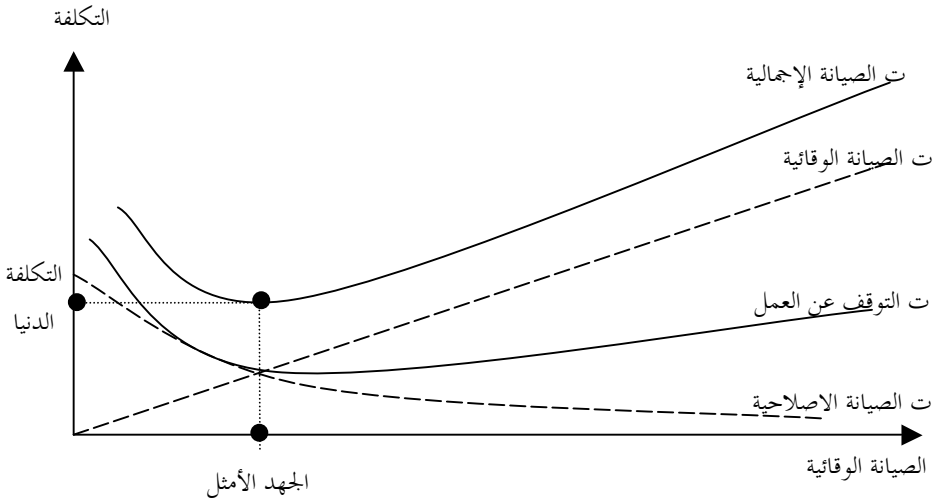
استبدال قطع قد يسبب أخطاء أساسية

ازدياد استهلاك قطع التبديل

قد تتطلب الصيانة الوقائية إيقاف الآلة عن العمل

استثمار اقتصادي

ولابد أمام هذا الوضع من تحديد الجهد الأمثل للصيانة الوقائية وذلك باستخدام الشكل (1 11) التالي:




الشكل (1 11)

وسنناقش هذا الموضوع بتفصيل أدق عند دراسة سلوك تكاليف الصيانة في الفصل القادم إن شاء الله.

# نموذج مقترح للصيانة

## 7 1 اعتبارات النموذج:

يرجع الفضل في بناء هذا النموذج المقترح إلى الأستاذ جيرارد W.M.J.Geraerds، حيث أطلق عليه نموذج EUT نسبة إلى الجامعة التي يعمل بها Eindhoven University Of Technology[18]. وقد حاولنا تبسيط هذا النموذج وإدخال بعض التعديلات عليه. ويأخذ هذا النموذج بالحسبان الاعتبارات التالية:

(1)الهندسة الصناعية: يستند هذا النموذج[19] إلى وجهة نظر الهندسة الصناعية حول المنظمة[20]. وهذا يتلخص بالنظر إلى أية منظمة كمجموعة مترابطة من العمليات، مخرجات كل منها يجب أن تتأثر بالتخطيط والرقابة. ويتطلب ذلك مساهمة حقول علمية مختلفة نذكر منها مثلاً نظرية النظم وبحوث العمليات.

(2) الشمولية: يتصف النموذج بالشمولية بسبب التشعب التكنولوجي بالنسبة للمواد الخاضعة للصيانة. ولا ينطبق هذا النموذج فقط على معدات الإنتاج بل يشمل المواد الأخرى مثل الأبنية والطرقات والمركبات.....الخ.

(3) التغييرات التنظيمية: يركز هذا النموذج أولاً على الصيانة كوظيفة ضمن منظمة ولكنه لا يستبعد عقد الصيانة الذي يمكن إجراؤه مع مقاولين عامين، كما لا يستبعد الاستعانة بجهد صانع التجهيزات الأساسي Original Equipment Manufacturer (OEM ).

(4) التغذية الراجعة للتصميم: يلحظ النموذج التغذية الراجعة من المعلومات لمنهجيات التصميم في نظم التصميم التقنية المختلفة.

(5) تقرير مصير نظام تقني: إن القرارات الفردية حول مصير نظام تقني، وأيضاً القرارات حول إدخال أنظمة تقنية جديدة وحول استبدالها لا تنتمي إلى جوهر نظرية الصيانة. فهذا الأمر يهم دراسات الاستثمارات ويمكن أن ُيعالج باستخدام طرائق معينة معروفة بالنسبة لقرارات الاستبدال.

## 7 2 بناء النموذج:

يحدد النموذج المقترح الوظائف الجزئية، أو العمليات الجزئية، وترابطها مع بعضها. ويعرض هذا النموذج الصيانة كما تظهر في المنظمة وبمنظار وجهة نظر إدارة الصيانة. ويفترض أن المنظمة تمتلك قسم صيانة خاصاً بها، وتجري عقود خارجية، وتستعين أيضا بخدمات صانع التجهيزات الأصلي (OEM).

وهذا النموذج، كما هو موضح في أسفل الشكل رقم (1 12)، يتضمن شريطين: الأعلى يوضح الوظائف الجزئية التي يأخذها النموذج بعين الاعتبار، والأسفل يحدد الوظائف الجزئية التي تنتمي إلى اهتمامات علم الإدارة والهندسة الصناعية، والوظائف الجزئية التي تخص مساهمات نحصل عليها من فروع المعرفة التقنية.

---

[18] N.M.J. Geraerds -(The Eut Maintenance Model), OP.CIT., PP. 18.

[19] IFRIM Report 90/6 April 1990, EUT.

[20] يقصد بالمنظمة: المؤسسة التي تمتلك أنظمة تقنية ولديها طاقات صيانة.

وتلخص العمليات الجزئية التي يعتبرها النموذج بما يلي:

**(1) الأنظمة التقنية:**

إن الأهداف (آلات، تجهيزات) الواجب صيانتها في المنظمة عديدة ومتنوعة، نذكر منها: المخارط والروافع والإنارة والناسخات ووسائل النقل والهاتف والتدفئة والآلات...الخ. وهذا التنوع يسمح للنموذج بترميز الأنظمة التقنية من 1 إلى n. هذه الخطوة توضح وتحدد مجموعة الأنظمة التقنية التي تمتلكها المنظمة. وتحدد أية مجموعة لاحقة للمجموعة المعروفة كنتيجة للقرارات المتخذة بشأن إدخال وتقرير مصير الأنظمة التقنية.

يخصص النموذج لكل نظام تقني صندوقاً من1 إلى n. ويلاحظ أنه خصص للنظام التقني i ثلاثة صناديق وهذا يحدث عندما تستخدم المنظمة نظاماً تقنياً واحداً أو مجموعة أنظمة تقنية متماثلة ومتطابقة. هذا التمييز مهم لأن تخطيط ورقابة صيانة نظام تقني وحيد يختلف بصورة جوهرية عن حالة مجموعة أنظمة تقنية متماثلة. وعلى حين أن تخطيط ورقابة نظام تقني منفرد يمكن أن تستقى من نظرية تخطيط ورقابة الإنتاج، فإن مجموعات الأنظمة المتماثلة تنطلق من إمكانيات نموذجية من حيث الطبيعة بالنسبة للصيانة.

**(2) الطاقة الداخلية:**

إن الطاقة الداخلية هي الطاقة التي تمتلكها المنظمة، ويقع على عاتقها عبء الصيانة الكلي مطروحاً منه الصيانة المتعاقد عليها خارجياً. وعليه، إذا استطاعت المنظمة تحديد عبء الصيانة الكلي، فإن القرار الاستراتيجي الأول الذي يجب أن تتخذه بهذا الخصوص هو تحديد ماهية الصيانة التي سيتم تنفيذها بعقود خارجية.

وتهتم قرارات الصيانة الداخلية بكيفية بناء الطاقة الكلية في مجموعات الطاقة التنظيمية. إن الخصائص النموذجية التي يجب أخذها بعين الاعتبار هي: المركزية أم عدم المركزية، تقنيات وحيدة المهارة أم متعددة المهارة..الخ. وعندما تتحدد بنية الصيانة الداخلية، فإن قوة العمل لكل وحدة تنظيمية يجب أن تقرر وتزود الإدارة بطرق دراسة العمل التقليدية لإجراء عملية التقدير المطلوبة.

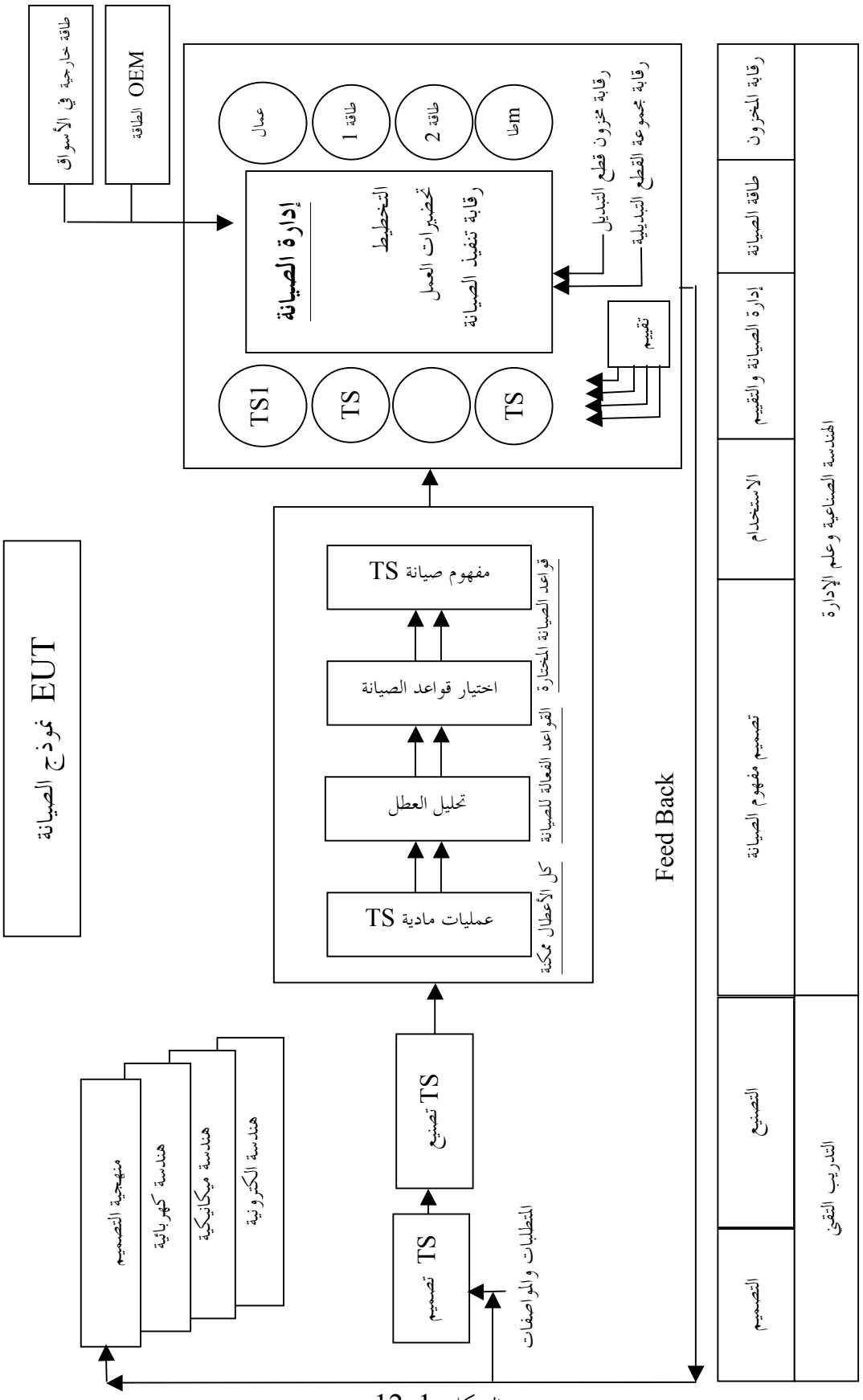
إن مجموعات الطاقة تُميز بالأدلة 1,2,.....,m. وهذا الترميز يعرّف الطاقة الداخلية الكلية للمنظمة ويحدد مساهمة الصيانة المعروضة من قبل العمال الفنيين أو إدارة الإنتاج.

**(3) الطاقة الخارجية المعروضة في السوق:**

إن الطاقة الخارجية يمكن الحصول عليها من مؤسسات تعرض خدماتها وتمتلك الإمكانية التكنولوجية، والخبرة، والأدوات المطلوبة. ففي بعض الحالات تختص مؤسسات بتكنولوجيا معينة، واكتسبت شهرة فيها عند إنتاج نظم جديدة، وتعتبر في نفس الوقت تكنولوجيا مناسبة للصيانة، مثال ذلك الأصبغة أو صيانة الأسطحة. وفي حالات أخرى، فإن الطاقة تتعلق بتكنولوجيا متخصصة ومتقدمة مثل تحليل الزيوت.

وتبرز أهمية الاستعانة بالخبرات الخارجية لسببين[21]: الأول وهو أن احتفاظ المنظمة بإمكانية تكنولوجيا معينة قد لا يكون مجدياً اقتصادياً بسبب أن الطلب على هذه التكنولوجيا يكون متدنياً جداً (التعاقد الخارجي بسبب التخصص) وأما السبب الثاني فهو أن بعض المنظمات تمتلك القدرة على تنفيذ الصيانة بنفسها، ولكن الطلب على الصيانة المعينة يُظهر بصورة مفاجئة زيادات تتجاوز الطاقة الداخلية المتاحة، الأمر الذي يضع المنظمة في موقف اضطراري للتعاقد مع الخارج (التعاقد الخارجي بسبب الطاقة).

[21] نقص نوعي كالتخصص الخارجي، ونقص كمي كالنقص بسبب الزيادات


طاقة خارجية في الأسواق
OEM الطاقة
عمال
طاقة 1
طاقة 2
طاقة m
إدارة الصيانة
التخطيط
تحضيرات العمل
رقابة تنفيذ الصيانة
رقابة مخزون قطع التبادل
رقابة مجموعة القطع التبديلية
تقييم
TS1
TS
TS
EUT نموذج الصيانة
مفهوم صيانة TS
اختيار قواعد الصيانة
تحليل العطل
عمليات مادية TS
قواعد الصيانة المختارة
القواعد الفعالة للصيانة
كل الأعطال ممكنة
Feed Back
منهجية التصميم
هندسة كهربائية
هندسة ميكانيكية
هندسة الكترونية
TS تصميم
TS تصنيع
المتطلبات والمواصفات
التصميم
التصنيع
التدريب التقني
تصميم مفهوم الصيانة
الاستخدام
إدارة الصيانة والتقييم
طاقة الصيانة
رقابة المخزون
الهندسة الصناعية وعلم الإدارة

الشكل (1 12)

وبالإضافة للسببين السابقين، فقد تكون هناك اعتبارات مهمة يـــــمكن أن تلعب دوراً، نذكر منها:

نقل المسؤولية بالنسبة للإصلاح والتنفيذ الفوري إلى شخص آخر.

نقل المسؤولية القانونية إلى شخص آخر بخصوص السلامة ونتائج الحوادث.

تركيز الذكاء الداخلي المتاح على العملية الأساسية للمنظمة.

توفر الإمكانية، وبصورة مؤقتة، لاستعادة العمل المتعاقد عليه خارجياً في حالة تقهقر المنظمة، وهذا يحررها من مشكلة الطاقة الفائضة.

**(4) الصيانة الخارجية المعروضة من قبل المصنّع (OEM)**

ذكرنا سابقاً أن عمليات الصيانة تستمد طبيعتها التكنولوجية من تكنولوجيا التصنيع. فالمؤسسات التي تنتج وتبيع منتجاً، تملك بكل تأكيد المعرفة في هندسة التصميم والمهارة التقنية والقدرة العملية والأدوات المطلوبة لصناعة ذلك المنتج. وإذا كانت تلك الكفاءات يمكن تطبيقها في صيانة المنتج، فإن عرض الصيانة كخدمة يصبح مجدياً. إن ميزة الـــ (OEM) على المنافسين الممكنين تكون واضحةً. ففي بعض الحالات، تكون بعض خدمات النظام التقني معروضة في السوق على نطاق واسع، ويملك مستخدم هذا النظام حرية الاختيار في التعاقد مع من يشاء. وفي حالات أخرى يفقد المستخدم هذه الحرية بسبب عدم تزويد صانع التجهيزات الأصلي بمعلومات أساسية حول منتجه، مثل كتيب تقني وقوائم قطع التبديل، والدعم الهندسي و قد يرفض أيضا التزويد بقطع التبديل إذا طلبت. وبالطبع، فإن المستخدم يكون مضطراً في هذه الحالة للاعتماد على الـــ(OEM) بصورة كاملة وتنعدم المنافسة نهائياً.

**(5) تخطيط الرقابة:**

إن عملية تخطيط ورقابة الصيانة تركّز على التدخل في الوقت المناسب من أجل أن تكون النتيجة المحتملة لعمليات الصيانة متطابقة مع الأهداف الموضوعة. وطبقاً للتشابه مع تخطيط ورقابة الإنتاج، لذلك نميز كلا من:

التخطيط

إعداد العمل

رقابة تنفيذ الصيانة

إن التخطيط يجب أن يضع معايير مطلوبة في الرقابة على التنفيذ الحقيقي للصيانة. وتقدم نظرية تخطيط الإنتاج حلولاً قابلةً للتطبيق في الصيانة، وبصورة خاصة النماذج التي تبدو ملائمةً في محلات البيع بالجملة. ويعتبر التخطيط الشبكي قابلاً للتطبيق في معظم أعمال الصيانة مثل حالات التوقف عن العمل في مصنع أو حالات الفحص والإصلاح عند الضرورة. وحتى الآن، فإن التخطيط الشبكي رغم تطوره الكبير فإنه يتطلب دراسة أعمق بالنسبة للتطبيق في الصيانة لاسيّما فيما يتعلق بأوضاع عدم التأكّد. إن بعض نماذج تخطيط الإنتاج تكون قابلة للتطبيق في الصيانة، ولكن هذا التطبيق يقتصر على ورشة متخصصة تكون فيها الصيانة الواجبة التنفيذ تتعلق بمجموعة منوّعة من المنتجات محدودة تكنولوجياً، مثل عناصر الهيدروليك أو الكهرباء التي يتكرر طلبها كثيراً.

ويعتبر إعداد العمل في الصيانة أكثر تعقيداً منه في الإنتاج بسبب عدم التأكد بالنسبة إلى تقدير زمن العملية والقطع المطلوبة في كل عمل، فيتطلب تقديرا لزمن العملية بأسلوب مختلف قد يمكن اختزاله إلى طريقة مبسطة، مثل نمطيات الصيانة الشاملة Universal Maintenance Standards (UMS). ويمكن اشتقاق هذه الطريقة من النظم الجزئية المطوّرة لتقدير زمن العملية في مراقبة الإنتاج. وتتعلق مباشرة مراقبة تنفيذ الصيانة بنظام التخطيط، الذي

يضع بدوره النمطيات التي يجب أن تتحقق المراقبة من تطابقها مع المتحقق الفعلي. وعليه، فإن فهم تلك العلاقة هو متطلب أولي وأساسي للتطبيق في الصيانة.

**(6) مراقبة مخزون قطع التبديل:**

إن انتظار قطع التبديل من المشكلات المزعجة المعروفة جيداً في الصيانة. وهذا يخص أولاً جميع القطع الصغيرة والرخيصة والتي يكون طلبها مرتفعاً مثل (العزقات والبراغي..الخ.) فهذه القطع قابلة للاستهلاك أو غير قابلة للإصلاح، ويجب أن يتبع استهلاكها طرح طلبية جديدة منها ُيحدد تاريخها وحجمها نظام مراقبة المخزون. وفي نظرية مراقبة المخزون، بنيت نماذج إحصائية عديدة لمراقبة المخزون، وجميعها تتطلب أن يكون الطلب مرتفعاً أو مرتفعاً نسبياً، وبالتالي فإن بعض هذه النماذج يمكن أن تستخدم لمعالجة قطع التبديل المذكورة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن معظم مواد الصيانة يكون طلبها منخفضاً أو منخفضاً نسبياً، وأسعارها تكون عادة مرتفعةً، الأمر الذي يتطلب استثمارات كبيرةً، والذي يجعل استخدام نماذج التخزين بصورتها المعروفة غير عملية.

**(7) تقويم النتائج:**

تقتضي نظم التخطيط والمراقبة تقويم الأداء باستمرار لكي يحدد متى يكون التكييف والتحسين مطلوباً؟ ويتناول التقويم عناصر متنوعة: التكاليف ونسب التعطل وأوقات التوقف.. إلخ ويمكن أن يؤدي التقويم إلى إجراءات تصحيحية عديدة، نذكر منها:

تعديل النظام التقني المعني

تكييف مفهوم الصيانة لنظام تقني

تغيير شكل تنظيم الصيانة بحيث تصبح أكثر ملاءمةً.

تكييف طريقة استخدام النظام التقني

**(8) التغذية الراجعة التكنولوجية:**

إن بعض التعديلات التي تبدو جذابة قد تكون باهظة التكاليف بالنسبة للنظم التقنية القديمة. ومع ذلك، فإن نتيجة البحث قد تكون تغذية راجعة لمنهجية التصميم لكي يمكن استخدام هذه النظم عندما يُظهر تصميم جديد أنظمة تقنية متطورة. ولاشك أن الراغب في شراء التجهيزات الجديدة يستفيد من استخدام النظم التقنية القديمة بالنسبة لتحديد مواصفات التصميم أو بالنسبة إلى عملية الانتقاء للتجهيزات الجديدة.

**(9) تحديد مواصفات جهاز تقني:**

عندما ُيطلب تصميم لصناعة جهاز تقني، فإن المواصفات تكون محدودة من قبل المشتري. وبالإضافة إلى الأداء الذي ُيكيّف طبقاً للشروط المطلوبة، فإن المواصفات تحدد متطلبات الصيانة المرغوبة. وُيعطى للمشتري كتيبات تقنية تساعده في الاستخدام والصيانة.

وإذا كان انتقاء الجهاز سيتم من مجموعة أجهزة تقنية معروضة في السوق، فإن المواصفات بالنسبة إلى التصميم والصناعة تحدد من قبل صانع الجهاز. وفي الحياة العملية، نشاهد تباينات أساسية بالنسبة للاهتمام المعطى لعنصر الصيانة. ولذلك، يتوجب على المشتري أن يحدد متطلباته من المواصفات، وأن يستخدم معايير مناسبةً في انتقائه المحتمل من المجموعة المعروضة في الأسواق. وبديهي أن مدير الصيانة يجب أن ينطلق من وجهة نظر الصيانة عند تحديد متطلباته.

**(10) صناعة جهاز تقني:**

إن هذا الموضوع يقع خارج نطاق الهندسة الصناعية، ومع ذلك فإن بعض الأعطال ربما تعزا إلى قصورات في مراقبة جودة العملية التصنيعية وتقييم الصيانة قد يؤدي إلى متطلبات محددة بخصوص صناعة جهاز تقني.

**(11) تصميم مفهوم الصيانة لنظام تقني:**

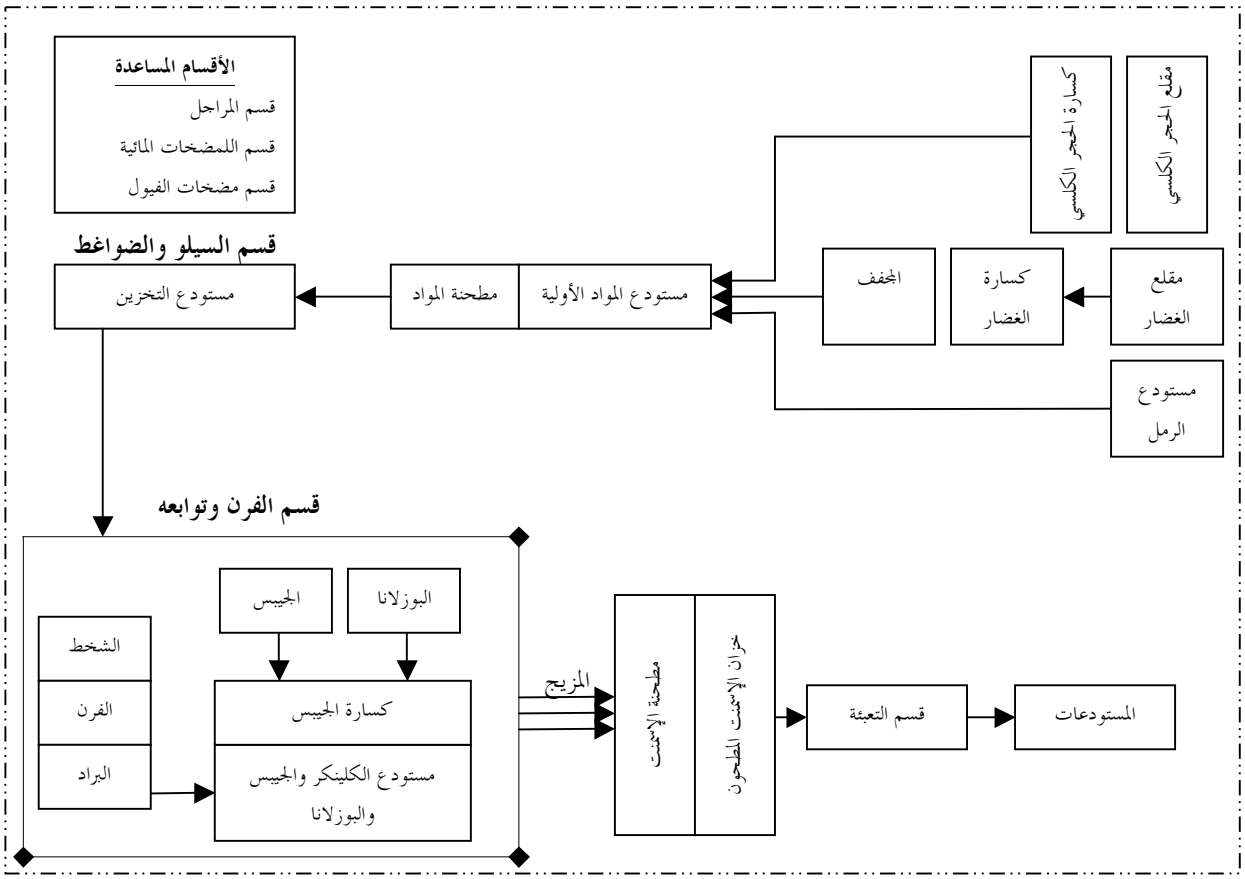
إن السؤال الرئيسي في الصيانة هو: "ما حجم الصيانة الكافي؟" وهذا السؤال تتم الإجابة عليه بطريقة نظامية تعتمد على سلوك العطل في النظام التقني المعني. ومصطلح "مفهوم الصيانة" يعبّر عن مجموعة مرتبة من القواعد التي تصف مسبقاً ما هي أنشطة الصيانة الواجبة التنفيذ؟ ومتى يجب أن تنفذ؟.

وإن مفهوم الصيانة لأنظمة تقنية موضوعة في الاستخدام، وكذلك كثافة عملها يحدد طلب الصيانة بالنسبة لهذه الأنظمة.

# الصيانة في صناعة الإسمنت

تعتمد صناعة الإسمنت على أسلوبين للإنتاج هما: الطريقة الرطبة والطريقة الجافة. ففي الطريقة الرطبة يمزج الغضار مع الماء والحجر الكلسي والرمل والطمي، وبعد التحقق من نسب المزج، تدلف الخلطة إلى الفرن حيث تمرّ على شبكة من السلاسل لتمزج جيداً ويجفف قسم كبير منها. ومن ثم تنفّذ عملية الكلسنة على الكربونات وتنقل المواد إلى منطقة الفرن لتكوين الكلينكر، وبعد تبريده يُنقل إلى الكسارة.

وأما الطريقة الجافة، فيبدأ الخط الإنتاجي بالمقالع والكسارة التي تفتت الحجر الكلسي والغضار، وبعد تجفيف الغضار يضاف إليهما الرمل، وتطحن هذه المواد بنسب مزج معينة لتصبح ناعمة. ومن ثم تنقل الخلطة إلى الفـــــرن الذي يتألف من أقـــســـام ثلاث هي المبادلات الحرارية (الشخط)، والفرن الدوار، والبراد حيث يتم في هذه المرحلة التكليس وتكوين الكلينكر وتبريده. وأخيراً يحوّل الكلينكر إلى المطحنة حيث يتم طحنه بعد إضافة مادتي الجص والبوزلانا، وبذلك تتم صناعة الإسمنت. إن الطريقة الجافة هي الأكثر انتشاراً، وإن الأقسام الفنية المشكلة لمعمل إسمنت الطريقة الجافة تأخذ الشكل التالي، الشكل (1 13):




الشكل (1 13)

وتتركز أهم أعمال الصيانة لمعمل الإسمنت في قسم الفرن وتوابعه:

مناطق أعطال المبادلات الحرارية: يؤدي الاحتكاك والحرارة إلى اهتراءات كثيرة في جسم الشخط فقد يتآكل البيتون والآجر من الداخل، كما أن الصفيح المعدني المشكّل لهيكل المخروط قد يصاب بإهتراءات تؤدي إلى تخفيض قراءات الضغط المتخلخل بسبب دخول الهواء إلى داخل المبادل فتخفّض كفاءة التكليس وبالتالي يستلزم زيادة في جهد مراوح السحب وكذلك في كميات الفيول المستهلكة. وتتم عملية التبادل الحراري بإحدى طريقتين:
(أ) التيار المتوازي، (ب) والتيار المعاكس.

مناطق أعطال الفرن الدوار:يبطن الفرن بنوعين من القرميد المغنيزي والألومين وكلاهما مقاوم جيد لحرارة الفرن. والهيكل الحديدي لأسطوانة الفرن يتعرض إلى أعطال حيث تحدث تسلخات في بطانة هذا الهيكل المكوّنة من قرميد كما سبق أن ذكرنا.

مناطق أعطال البراد: يحصل اهتراء في جدران وسقف البراد فيتآكل القرميد وكذلك تسقط بعض البلاطات من مكانها خلال الحركة الترددية والثابتة لأنساق البلاطات. وهنا لابد من التوقف وإجراء الصيانة.

### 8 1 الصيانة في معمل إسمنت حماة:

تتمتع الصيانة في معمل إسمنت حماة بإدارة مستقلة عن إدارة الإنتاج وتسمى الإدارة الفنية. وتقوم هذه الإدارة بمهمات صيانة داخلية تمارسها في رحبة مخصصة لذلك فيها الورش التالية:

ورشة حدادة ولحام

ورشة خراطة

ورشة لف المحركات وتجهيزها

وتضم الإدارة الفنية الأقسام التالية:

قسم صيانة مطحنة المواد والمجفف وكسارة المقلع مع الشواخط

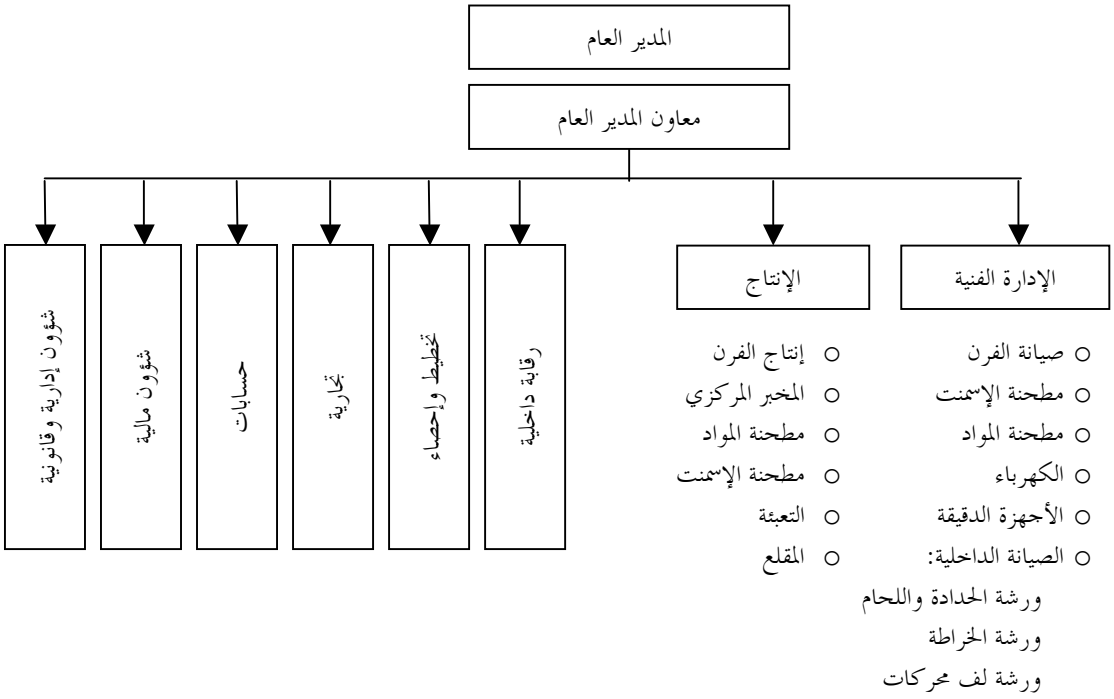
قسم صيانة الفرن وتوابعه (مياه وحراقات وفيول)

قسم صيانة مطحنة الإسمنت والتعبئة وتوابعها (كسارة الجبس وقبانات السيارات)

قسم الكهرباء

قسم الأجهزة الدقيقة

ولا تتضمن الإدارة المذكورة قسماً لصيانة الآليات، حيث تتم هذه الأعمال من الصيانة في ورش خارجية وبشكل مأجور. ويوضح المخطط التالي الشكل التنظيمي لمعمل إسمنت حماة وتبدو إدارتا الإنتاج والصيانة مستقلتين عن بعضهما، الشكل (1 14).




الشكل (1 14)

**8 2 الصيانة المطبقة في معمل إسمنت بورتلاند الدائمركي (الجاف):**

طبق معمل إسمنت بورتلاند المركزية في كل من قسمي الإنتاج والصيانة، ثم طور كل قسم على حدة. وحاولت إدارة المعمل في السنوات الأخيرة حذف مساوئ مركزية هذين القسمين من خلال إشراك عمال الإنتاج والصيانة في المسؤولية. ويوضح الشكل التالي أن كلا القسمين يتبعان مباشرة لمعاون المدير العام، وكل منهما يشكّل قسماً مستقلاً يرفع تقاريره إلى معاون المدير العام وليس للإدارة العليا مباشرة[22]. الشكل (1 15).

وقد قررت إدارة المعمل في عام 1988 السعي نحو تكامل القسمين في تنظيم جديد (الشكل 1 16) حيث تبلورت خطوط المسؤولية بشكل عريض للأقسام الجديدة، وتم اختيار العمال المهرة والآلات والتجهيزات الأفضل للقيام بالمسؤوليات الملقاة على عاتقهم. وكانت المفاهيم الجديدة للتنظيم المقترح كما يلي: الشكل (1 16)

تكامل الإنتاج والصيانة

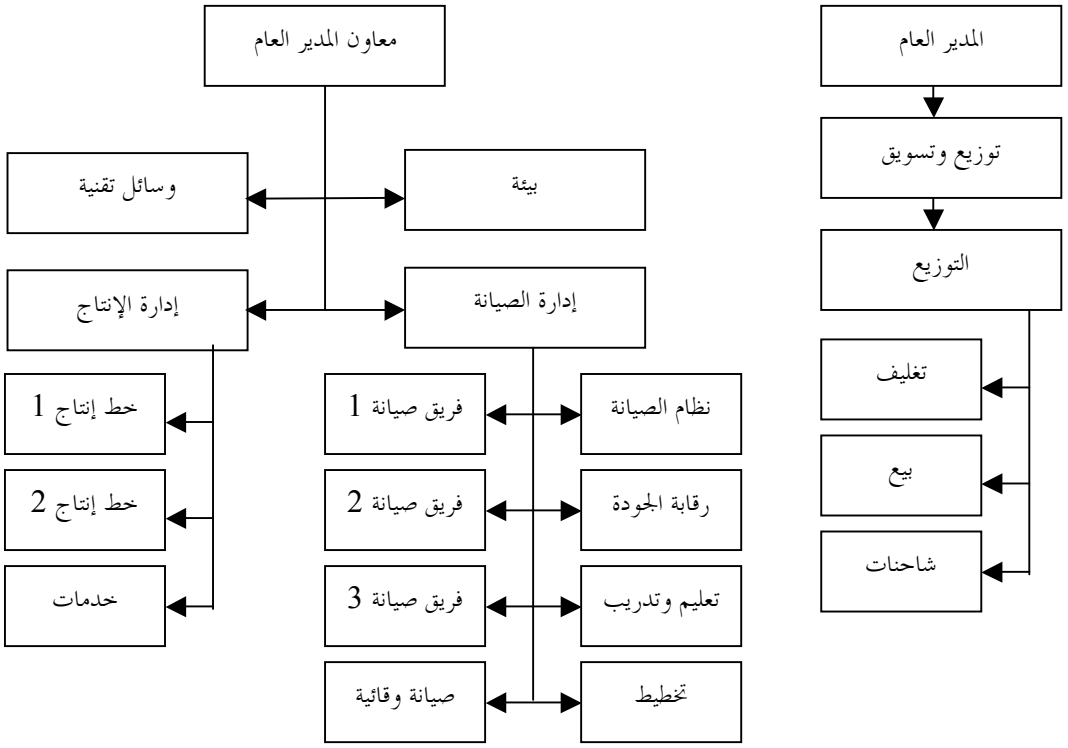
المسؤولية المحددة للعاملين كل حسب موقعه

تقوية التعاون بين الأقسام وذلك بغية:

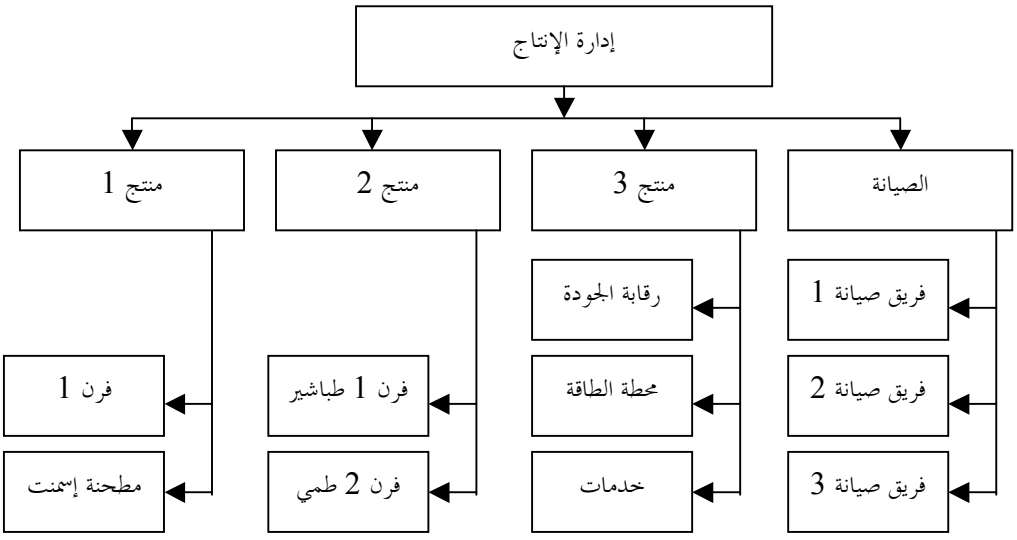
* مساندة الإدارة

* زيادة التقنيات والمؤهلات الفنية

[22] Oest, Flemming - (Development of Organizational Structures in Cement Plant), OP.CIT., PP.2.




الشكل (1 15)




الشكل (1 16)

### 8 3 اقتراحات لتطوير نظام الصيانة في شركة إسمنت حماة

تتميز مهمات إدارتي الصيانة والإنتاج بالتكامل. وتختلط خطوط الاتصال بينهما أحياناً بسبب طبيعتهما. فالإنتاج المستمر يعني اهتراء وتعطلاً في خطوط الإنتاج نتيجة مرور الزمن ونتيجة للاحتكاك والاستعمال، وبالتالي هناك توقفات، ولابد من الصيانة.

وبما أن عمال الإنتاج هم على اتصال مستمر مع الآلة فهم يشعرون بأي عطل أو نقص في إمكانات آلتهم، وغالبا ما يستدعون عمال الصيانة لإجراء الإصلاحات اللازمة. وكثيراً ما يكتشف عمال الصيانة الأعطال بمساعدة عمال الإنتاج. لذلك نشأت مداولات كثيرة في شركات عديدة حول تبعية قسم الصيانة للإدارة العليا مباشرة أو لإدارة الإنتاج؟.

ونرى ضرورة الاستفادة من التجربة الدانمركية التي دمجت بين الإدارتين معاً، فألحقت إدارة الصيانة بإدارة الإنتاج للاستفادة من خبرات عمال الإنتاج نتيجة التصاقهم اليومي بآلاتهم، وهكذا فإن الدمج سيحقق النتائج المهمة التالية:

زيادة الخبرات الفنية

زيادة الإنتاجية

ملاحظة عمال الإنتاج لأي خطأ أو عطل مفاجئ ومعالجته فور حدوثه

التنسيق بين خطط الإنتاج وخطط الصيانة مباشرة دون وجود عقبات. وهذا التنسيق سيؤدي حتماً إلى التوسع. وكذلك برمجة أعمال الصيانة بما يحقق أفضل النتائج للمؤسسة، فنياً وإدارياً.

كما نرى ضرورة تشكيل فريق صيانة متخصص ويتمتع بكفاءات عالية في كل شركة من شركات الإسمنت في سورية. وهذا الفريق يلبي متطلبات الصيانة في مؤسسته (أعمال صيانة داخلية)، كما يُستعان بخدماته في مؤسسات الإسمنت الأخرى في سورية (أي القيام بأعمال الصيانة الخارجية مثل: تبديل رؤوس المطاحن، قص الفرن، استبدال وتجديد المعدات).

فعند القيام بأعمال صيانة عامة في أحد المعامل تسرع الفرق المتخصصة في باقي المعامل للمساهمة في إجراء أعمال الصيانة بأفضل الكفاءات ( الداخلية والخارجية ). وبذلك يستفيد كل معمل من خبراته الداخلية ومن الخبرات الخارجية أي من جميع الخبرات المتراكمة على مستوى سورية. وهنا لابد من التأكيد على مكافأة العمال المهرة بأجور تشجيعية ولاسيّما العمال الذين يقومون بأعمال الصيانة الخارجية.

ونقترح شكلاً تنظيمياً لمؤسسة إسمنت حماة يجمع بين إدارتي الإنتاج والصيانة بإشراف مدير الإنتاج كما هو موضح على الشكل (1 17).

وبهذا الأسلوب، فإن الصيانة قسّمت إلى داخلية وخارجية، وأصبحت الصيانة الداخلية تطبق وفق الأسلوبين التاليين:

الصيانة المركزية وتضم:

1. قسم صيانة الأجهزة الدقيقة
2. قسم صيانة الفرن
3. قسم صيانة مطحنة المواد
4. قسم صيانة مطحنة الإسمنت والتعبئة

5 قسم الكهرباء

6 قسم التزييت والتشحيم

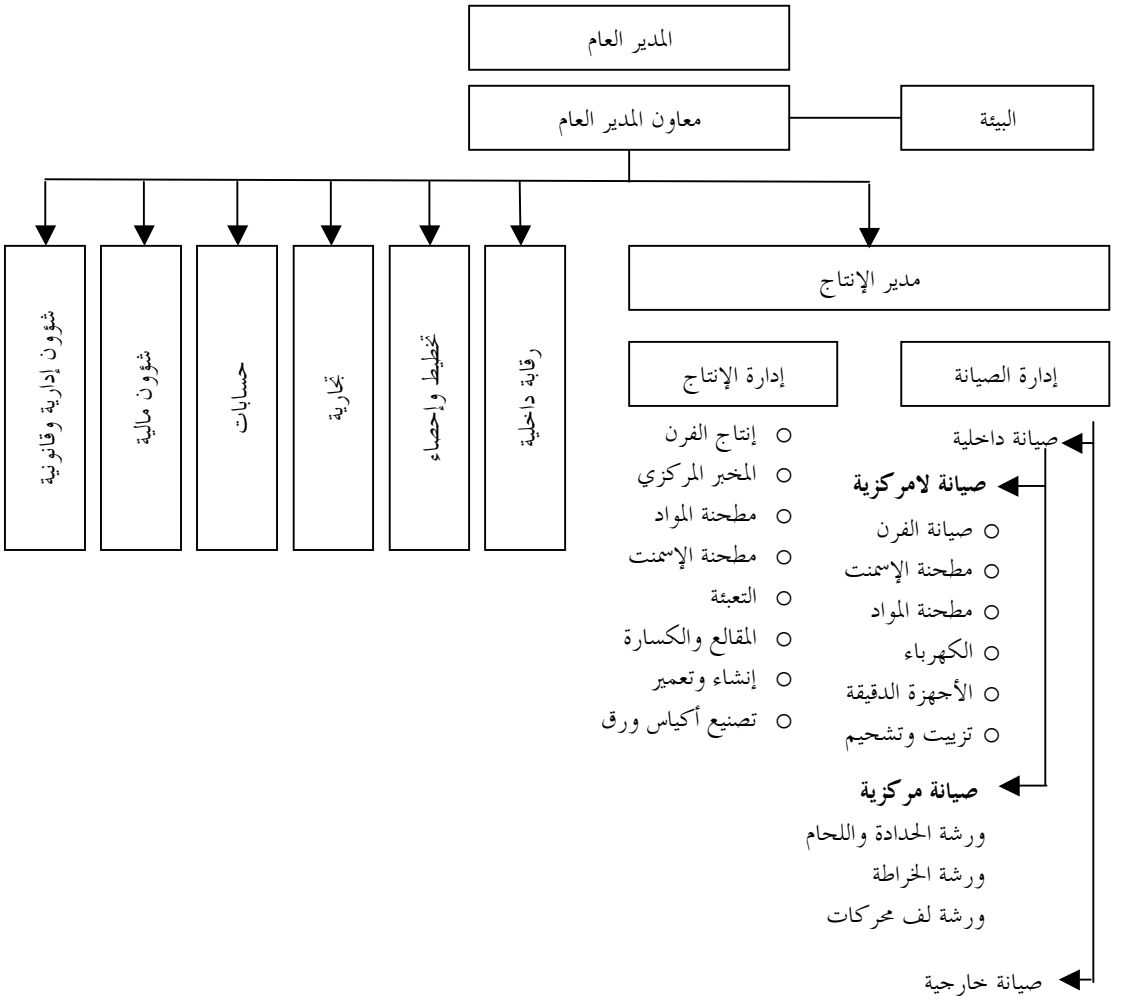
الصيانة اللامركزية وتتبع لها الورشات التالية:

1 ورشة الحدادة واللحام

2 ورشة الخراطة

3 ورشة لف المحركات

وأما الصيانة الخارجية فسوف تخصص لإصلاحات فرق صيانة من خارج المؤسسة سواء أكان ذلك شركات وطنية أم أجنبية.




الشكل (1 17)

وبذلك نكون قد أنهينا ما يتعلق بإدارة الصيانة تنظيمياً وفنياً واستعرضنا أحدث الأنظمة المستخدمة في العالم، وحاولنا جاهدين عكس هذه التطورات على صناعة الإسمنت في سورية، وكتجربة على شركة إسمنت حماة.

وسوف نستعرض إن شاء الله في الفصل القادم الضوابط المحاسبية لهذه الإدارة بغية تحقيق أهدافها وأهداف الإدارة العليا للمؤسسة.

# محاسبة تكاليف الصيانة

كان ولا زال لتقنيات محاسبة التكاليف دور مهم في ضبط تكاليف الصنع. ولما كانت الدورة المحاسبية التكاليفية تقابل دورة الإنتاج وتسايرها، فإن أي تبديل في طرق الإنتاج الفنية سينعكس على محاسبة التكاليف في دورها، وكلما ازداد اهتمام الإدارة بأعمال الصيانة وزاد سعيها إلى ترشيدها كان من الطبيعي أن ينعكس هذا الاهتمام على العمل المحاسبي، الأمر الذي أدى بالباحثين والمهتمين إلى التوقف ودراسة هذه الأعمال ودراسة التكاليف الناجمة عن القيام بأنشطتها، وكذلك بذل الجهود اللازمة لخفض هذه التكاليف.

سنتعرض في المبحث الأول إلى سجلات ومستندات الصيانة، ثم سندرس في المبحث الثاني عناصر تكاليف الصيانة أما في المبحث الثالث فسنقترح موازنة تقديرية لإدارة الصيانة، كما سنقترح في المبحث الرابع قائمة تكاليف خاصة بإدارة الصيانة. ثم سندرس سلوك تكاليف الصيانة للتعرف على آلية تحركاتها، وأخيراً سوف نناقش مجموعة من المعايير الأمثلية التي يمكن تطبيقها على عمليات الصيانة وتكاليفها.

المبحث الأول: سجلات ومستندات الصيانة

المبحث الثاني: عناصر تكاليف الصيانة

المبحث الثالث: إعداد الموازنة التقديرية للصيانة

المبحث الرابع: إعداد قائمة التكاليف

المبحث الخامس: سلوك تكاليف الصيانة

المبحث السادس: معايير الأمثلية في عمليات وتكاليف الصيانة

# سجلات ومستندات الصيانة

يلعب شكل تنظيم إدارة الصيانة دوراً مهماً في تحديد سجلات أعمال الصيانة ومستنداتها، إذ تختلف الدورة المستندية باختلاف شكل التنظيم. فعلى حين تبدأ **الأنظمة اليدوية** عبر الملاحظين والمشرفين ومن ثم تنتقل ملاحظاتهم إلى الجهات العليا بغية معالجة الأعطال فور حدوثها، نجد أن **أنظمة معالجة البيانات إلكترونياً** EDP تختلف عنها بسبب الرقابة الإلكترونية. وبسبب طبيعة وسرعة البيانات المنقولة. فتقرير الصيانة الذي يقدم إلكترونياً يظهر على شاشة أو يطبع باستخدام طابعة ورقية كما يمكن تخزينه على اسطوانات ممغنطة ريثما يتم الاطلاع عليه، وبعد ذلك تجري عملية تداول يدوية للتقرير الناجم عن المعالجة الإلكترونية. وتتشابه **الأنظمة التي تعتمد تقنيات الذكاء الاصطناعي** Computer System مع الأنظمة الإلكترونية، بل وتمتاز عليها بإمكانية:

الحصول على تقارير متعددة الأنماط ( صوت، صورة، تقارير ورقية ).

إصدار أوامر ذكية لمعالجة بعض الحالات التي تستلزم سرعة في التصرف والمحاكاة دون حاجة للتدخل البشري وبالسرعة الفائقة.

ولكن مهما كان شكل النظام المتبع، يبقى ضرورياً تحديد شكل تدفق البيانات بغية إيجاد دورة مستندية خالية من التكرارات، وتحتوي على معلومات مفيدة، فالقائمون على الورشات لا ينسجمون عادة مع الأعمال الورقية الكثيرة.

وبصورة عامة، تتضمن سجلات ومستندات إدارة الصيانة ما يلي:

1 1 سجل المؤسسة.

1 2 نظام الصيانة الوقائية: ويتألف من السجلات التالية:

1 2 1 جداول الفحص والتفتيش

1 2 2 سجل الصيانة الإصلاحية

1 2 3 جداول التزييت والتشحيم

1 2 4 سجل الورشات

1 2 5 سجل الآلات والتجهيزات

1 3 سجل أوامر الشراء ( نظام قطع التبديل )

1 4 سجل موظفي وعمال الصيانة

1 5 الموازنة التقديرية للصيانة

1 6 قائمة التكاليف الخاصة بالصيانة

| اسم الآلة: | مكان وجودها: | نوع الفحص: |
|---|---|---|
| رقم الآلة: | اسم المتسلم: | يومي أسبوعي شهري سنوي |

| تاريخ فحص دوري | اسم القطعة | وصف العمل | الزمن المستغرق | اسم الفاحص | التوقيع |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

**1 1 سجل المؤسسة:**

يشرح هذا السجل البنية التنظيمية لإدارة الصيانة، ويوضح الشكل الوظيفي لكل قسم منها، كما يبين العلاقة بينها وبين باقي الإدارات في المؤسسة، الأمر الذي يرسم خطوط الاتصال وشكل تدفق البيانات فيما بينها وبين أقسامها وكذلك علاقاتها مع الإدارات المعنية. الشكل (2 5)

**1 2 نظام الصيانة الوقائية:**

ويتألف من مجموعة سجلات تغطي معظم عمليات الصيانة الوقائية والتي تشمل عادة مايلي:

1 2 1 جداول الفحص والتفتيش: وهي عبارة عن جداول زمنية تبين رقم الآلة ورقم القطعة وتواريخ الفحص الماضية والمستقبلية، واسم المستلم واسم المسؤول عن الصيانة، بالإضافة لوصف العمل اللازم والزمن الذي استغرقه. ويظهر الشكل رقم (2 1 ) نموذجاً مقترحاً لمثل هذه الجداول.

1 2 2 سجل الصيانة الإصلاحية والاستبدالات: مهمة هذا السجل بيان الآلات والقطع التي تم صيانتها أو التي يتوجب إصلاحها بناء على ساعات التشغيلUBM أو بسبب ما أصابها من أعطال CBM. ويظهر الشكل(2 1 ) نموذجاً لمثل هذا السجل.

1 2 3 جداول التزييت والتشحيم: وُيذكر في هذا السجل تاريخ التزييت والتشحيم مع بيان كمية وأسلوب العمل والأدوات المستخدمة. أيضاً يبدو هذا السجل ضمن الشكل رقم (2 1)

1 2 4 سجل الورشات: ويحوي أسماء وعناوين كل من الورشات الداخلية والخارجية وأسماء العمال المهرة التابعين لنظام الصيانة الوقائية ومكان إقامتهم، وذلك بغية تحقيق الاتصال السريع عند حدوث أعطال طارئة قد تؤدي إلى إرباك الإنتاج.

1 2 5 سجل الآلات والتجهيزات: وهو عبارة عن كشوف بجميع الآلات والتجهيزات الموجودة في المؤسسة، ويتضمن هذا السجل المعلومات التالية: اسم الآلة و رمزها و تاريخ شرائها و اسم المورد وعنوانه واسم المستلم ومكان وجودها إضافة لبيانات أخرى يبينها الشكل رقم (2 2 ):

| متسلسل | اسم الآلة | رمزها | تاريخ شرائها | اسم وعنوان موردها |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| تاريخ انتهاء الكفالة | | | ملاحظات | |
| اسم المتسلم | | | حجم وقياسات الآلة | |
| الأجزاء القابلة للعطل حسب ساعات التشغيل:<br>الأجزاء القابلة للعطل حسب الاستخدام: | | | | UBM |

الشكل (2 2)

1 2 سجل أوامر الشراء ( نظام قطع التبديل ):

يبين هذا السجل القطع التبديلية التي تلعب دوراً مهماً في تشغيل النظام والتي تعزى أهميتها إلى سبب البعد الجغرافي أو توافرها في أوقات محددة أو ندرتها أو غلاء ثمنها. كما يُذكر في هذا السجل القطع التبديلية غير الإستراتيجية. ويتضمن هذا السجل عادة معلومات حول القطعة والمورّد وشركات صيانتها. ونقترح الشكل رقم (2 3) التالي:

| اسم القطعة: | رقم متسلسل: | رمز القطعة: | مكان وجودها: |
|---|---|---|---|
| مصدرها: | منشؤها: | اسم موردها: | المورد البديل: |
| المواصفات الفنية | | | |
| وصف الأجزاء المشكلة:<br>ملاحظات عامة: | | | |
| إمكانية صناعة بديل لها نعم / لا | | | |
| أسماء العمال المهرة والاختصاصين | | | |
| عنوان شركة الصيانة الخارجية | | | |
| عنوان شركة الصيانة المحلية | | | |
| ملاحظات | | | |

الشكل (2 3)

1 4 سجل موظفي الصيانة:

يُدون في هذا السجل جميع موظفي وعمال الصيانة في المؤسسة. ويحوي بياناً عن كل عامل ووضعه الذاتي الكامل للاستفادة من هذه المعلومات عند الضرورة. كما يتضمن كشفاً بجميع الاختصاصات المتوافرة وأعدادها ويأخذ عادة هذا السجل الشكل (2 4) التالي:

| الاختصاص | العدد المتوفر |
|---|---|
| مدير<br>مهندس<br>مشرف | |
| المجموع | |
| ميكانيك<br>إلكترون<br>...الخ | |
| المجموع | |
| نساء<br>متدربون<br>عتالون | |
| المجموع | |
| ساعات مأجورة | |

الشكل (2 4)

1 5 الموازنة التقديرية للصيانة:

ويتم فيها تقدير احتياجات إدارة الصيانة من مواد وعمالة لسنة قادمة وسوف نتعرض لها بالتفصيل في المبحث الرابع لاحقاً.

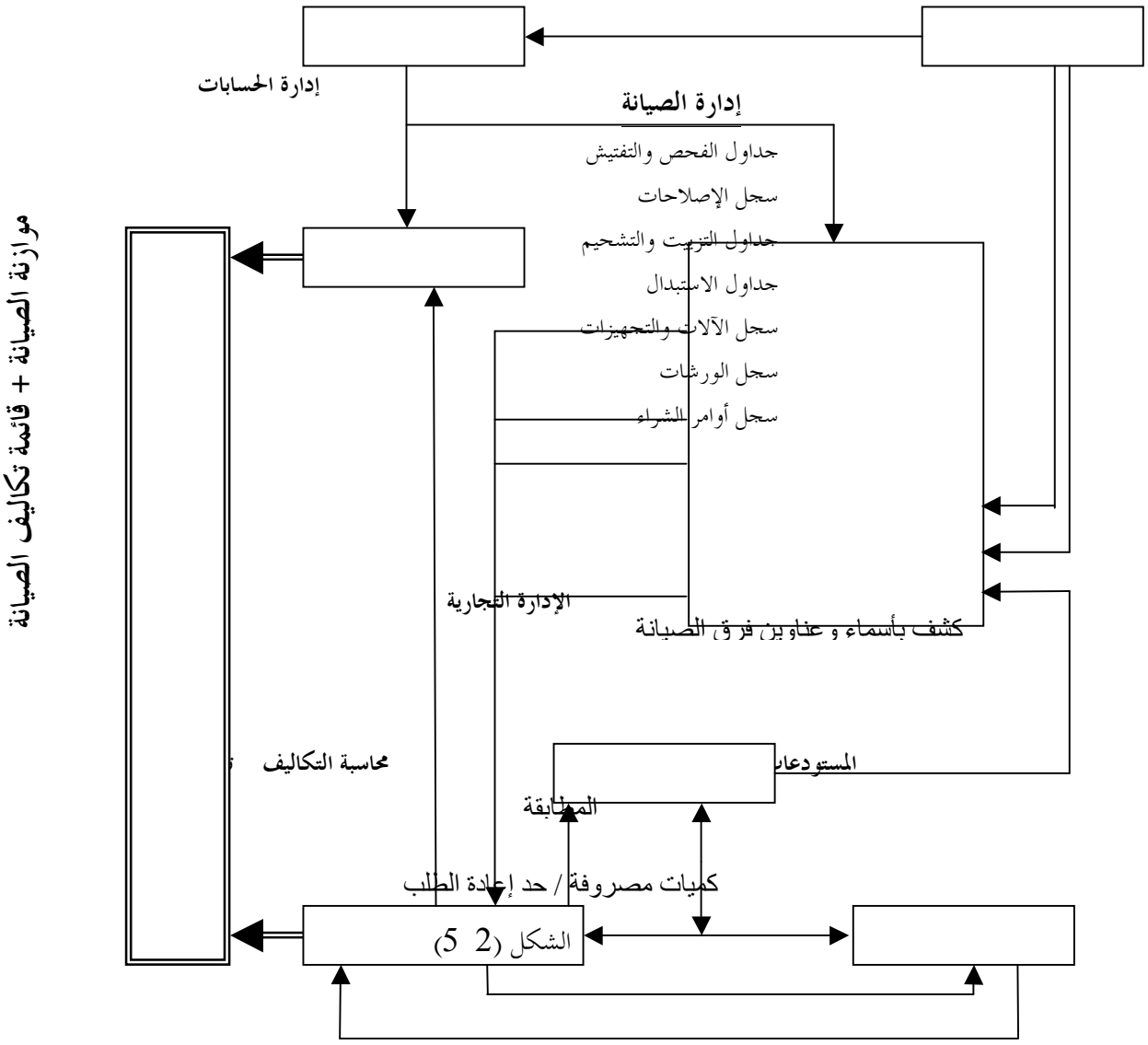
1 6 قائمة التكاليف الخاصة بالصيانة:

وتتضمن جميع بنود التكاليف المرتبطة بإدارة الصيانة ونظراً لأهمية هذا الموضوع سنفرد له بحثاً مستقلاً في هذا الفصل.

بعد أن عالجنا سجلات ومستندات إدارة الصيانة[23]، نود الإشارة إلى أن الدورة المستندية لأعمال الصيانة تبدأ عادة من خلال رفع مشرف الصيانة ( أحد عناصر النظام ) إلى رئيس القسم تقريراً يومياً يدوّن فيه ملاحظاته عن أي ارتفاع حرارة أو سحب هواء إضافي أو ضجيج أو صوت أو حركة غير عادية في الآلة. إضافة لتداركه الأعطال وقت حدوثها. ويعتمد هذا المشرف عند إعداد بياناته على السجلات المختلفة التي سبق لنا دراستها. ويبرمج رئيس القسم هذه الملاحظات والأعطال المتكررة، ويحلل ملف الأعطال الأسبوعي أو الشهري، كما يقرر ما هي الآلات أو القطع الواجب استبدالها كلياً أو جزئياً مستعيناً بكشوفات أعمال الصيانة الوقائية. ويقوم أخيراً بإعداد تقرير إلى مدير الصيانة الذي يتولى مسؤولية اتخاذ القرار المناسب.

ونقترح النموذج التالي كسجل للمؤسسة حيث يوضح التداخل الوظيفي داخل إدارة الصيانة وارتباطها بباقي الإدارات ذات العلاقة. الشكل (2 5):

[23] راجع الفصل الأول، نظام المهمة.


إدارة الحسابات
إدارة الصيانة
جداول الفحص والتفتيش
سجل الإصلاحات
جداول التزييت والتشحيم
جداول الاستبدال
سجل الآلات والتجهيزات
سجل الورشات
سجل أوامر الشراء
الإدارة التجارية
كشف بأسماء و عناوين فرق الصيانة
موازنة الصيانة + قائمة تكاليف الصيانة
محاسبة التكاليف
المستودعات
المطابقة
كميات مصروفة / حد إعادة الطلب
الشكل (2 5)

# عناصر تكاليف الصيانة

لكل عمل تكلفة، والتصرف الرشيد هو البحث عن أقل تكلفة ضمن معايير الجودة الضرورية. وأعمال الصيانة هي مزيج من العمل الفني والمواد وأدوات الصيانة.

ونرى أن التكاليف المرتبطة بأعمال الصيانة هي:

2 1 تكلفة الأجور

2 2 تكلفة المواد

2 3 التكلفة غير المباشرة

2 4 تكلفة الفرصة المضاعة

2 5 تكلفة الوقت الضائع

وسوف نعرّج على كل عنصر موضحين أهميته.

**2 1 تكلفة الأجور**: الأجر هو مقابل الحصول على جهد أو عمل بشري. ولا يمكن تصور عمل منتج دون تدخل بشري، والأعمال ذات الصفة الآلية إنما تتم بتوجيه إنساني ومن خلال جهد منظم مسبقاً. وإن حسن استخدام اليد العاملة هو بمثابة استثمار جيد للموارد البشرية. وقد يكون الأجر متمثلاً بالنقود التي يحصل عليها العامل في نهاية مدة محددة ولقاء القيام بعمل معين. وقد يتمثل الأجر بمجموعة مزايا عينية أو تأمينات اجتماعية وصحية، إضافة إلى الأجور النقدية. وتقسم كتلة أجور عمال الصيانة إلى قسمين رئيسيين هما: الأجور الداخلية والأجور الخارجية.

2 1 1 الأجور الخارجية: وهي تلك المبالغ المدفوعة للفنيين والعمال وورشات الصيانة من خارج المؤسسة مقابل خدماتهم في صيانة وإصلاح آلاتها وتجهيزاتها. ويمكن تقسيم هذا النوع من الأجور إلى:

- أجور الصيانة المعروضة في الأسواق.
- أجور الصيانة المعروضة عن طريق المصنّع OEM.

وتنظم عادةً هذه الأجور في عقود سنوية أو في اتفاق آني.

2 1 2 الأجور الداخلية: وهي تلك المبالغ المدفوعة للفنيين والعمال وورشات الصيانة، من داخل المؤسسة، مقابل عملهم وأدائهم لأعمال الصيانة، والإصلاح لتجهيزات المؤسسة. ويمكن تقسيم هذا النوع من الأجور أيضاً إلى:

- أجور عمال الصيانة (الفِرَق المتخصصة) وتتمثل برواتب هؤلاء العمال الشهرية التي يتقاضونها لقاء عملهم كفِرَق صيانة.
- الحوافز وأجور ساعات العمل الإضافية التي يتقاضاها عمال الإنتاج نظير مساعدتهم في أعمال الصيانة. حيث أن عملهم هو الإنتاج. لذلك فإن الإدارة تكافئهم على هذا العمل الإضافي وتستفيد من خدماتهم وخبراتهم المتمثلة في تعاملهم اليومي مع الآلات والتجهيزات حتى إن التجربة

الدائمركية في صناعة الإسمنت مثلاً أغلقت قسم الصيانة ووزعت الموظفين بين أقسام الإنتاج وأصبح بذلك مدراء أقسام الإنتاج هم المسؤولين عن الإنتاج إضافة إلى صيانة المعمل والتجهيزات[24].

ويعامل معاملة الأجر التكاليف المدفوعة لقاء تأهيل وتدريب عمال الصيانة أو غيرهم. ولكن يلاحظ أن هذه النفقة تعتبر بمثابة تكلفة ثابتة يجب توزيعها على الدورات المالية المستفيدة منها.

**2 2 تكلفة المواد:** يُقصد بالمواد، كل ما يستخدم من قطع تبديلية خلال عمليات الصيانة، حيث تستهلك بعض القطع التبديلية نتيجة عوامل الاحتكاك والتآكل الناجمين عن الاستخدام الطبيعي، أو بسبب العوامل الجوية كالصدأ أو نتيجة الإهمال والتقصير في تطبيق أساليب الصيانة الوقائية. ويُميّز بين نوعين من القطع التبديلية:

- قطع تبديلية مستخدمة باستمرار.
- قطع تبديل إستراتيجية.

ويؤدي الاستخدام الجيد والمنظم للقطع التبديلية إلى خفض تكلفة الصيانة. كما أن نظام الشراء ركن مهم وعامل مرجح لزيادة التكلفة. فعلى حين ترغب إدارة الصيانة في المزيد من قطع التبديل كمخزون أمني، نجد أن إدارة التكاليف تسعى إلى خفض هذا المخزون إلى أدنى حد بهدف خفض تكاليف الإنتاج. لذا لابد من الموازنة بين رغبات هاتين الإدارتين.

ومن المفيد الاستفادة من التجربة اليابانية في تنظيم عقود الشراء. فعلى سبيل المثال فإن الشركات اليابانية تتبع سياسة الصيانة الإنتاجية الكلية[25] TPM حيث يترتب على إدارة الصيانة مسؤولية القرارات التي تنظم عمليات الشراء.

وفي هذه الحالة، تقوم إدارة الإنتاج بإعلام إدارة الصيانة عن برنامج الإنتاج وحاجاته من المواد الأولية كماً ونوعاً.ومن ثم تسعى إدارة الصيانة إلى حماية تجهيزات الإنتاج من حيث مطابقتها للمواصفات الفنية المطلوبة. وبناء على ذلك يتم اتخاذ قرار شراء مواد الصيانة اللازمة[26].

ويلاحظ أن الصيانة الوقائية تؤدي عادة لزيادة تكاليف الصيانة بسبب ارتفاع قيمة تجهيزاتها واستهلاكها لكمية أكبر من المواد. وتجدر الإشارة هنا إلى أن المواد الأساسية المستخدمة في صيانة الإسمنت هي:

الآجر بأنواعه
البلاطات والسلاسل
المحركات الكهربائية
رأس مطحنة الإسمنت
الكرات الفولاذية
قطع تبديل آلة التعبئة
شفرات الكسارات
البيتون الحراري

[24] Jan H. Nelsen - (Illustration Of A Computerized....), OP.CIT., PP. 3.

[25] شركات تنتج وشركات تشتري كل الإنتاج وتقوم بتسويقه.

[26] SVEND ERIK NIELSEN, OP. CIT., PP. 11.

**2 3 التكلفة غير المباشرة:** تعتبر عناصر التكلفة غير المباشرة جزءاً مهماً من أجزاء التكلفة حيث تلعب دوراً أساسياً في زيادة تكلفة الصيانة. ويتزايد بعض هذه العناصر مع تزايد الإنتاج كالوقود والبخار[27].

وُيشكِّل البعض الآخر نفقة ثابتة كالإيجارات والاهتلاكات والتأمين. وتشمل التكاليف غير المباشرة، الزيوت والشحوم والمواد المساعدة إضافة إلى محروقات آلات الصيانة والعدد كقضبان اللحام مثلاً والقواطع الكهربائية والمؤقتات الزمنية والدهان والماء والكهرباء، وكذلك تكاليف إزالة مخلفات الصيانة والمحافظة على البيئة. ويضاف إلى ما سبق أجور التخزين ( تخزين المواد ) والتأمين على المخزون.كما يشمل هذا العنصر من التكلفة أجور المشرفين والإداريين في إدارة الصيانة. وتعتبر أجور النقل كعنصر تكلفة غير مباشرة عندما تعتمد الإدارة سياسة الصيانة المركزية. إذ يتوجب في هذه الحالة نقل الآلات والقطع المعطوبة إلى الورشات، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة أجور النقل. وعلى العكس، نلاحظ أنه يزداد استهلاك العدد والأدوات والكميات المنقولة من المواد المساعدة عندما تعتمد الإدارة سياسة الصيانة اللامركزية.

ونشير هنا إلى أن أهم المواد الثانوية المستخدمة في صيانة صناعة الإسمنت هي:

الرولمانات

المكثفات وقطع التبديل

قضبان اللحام

قطع تبديل ضواغط هواء

مضخات وقطع تبديل لها

قطع تبديل جهاز التحليل

قطع تبديل مختلفة

**2 4 تكلفة الفرصة المضاعة:** إن تكلفة الفرصة المضاعة هي تكلفة ناتجة عن ضياع فرصة استثمار الأموال التي أنفقت على العناصر التي سبق ذكرها (أجور، مواد، تكلفة غير مباشرة). ويجب التمييز بين تكلفة الفرصة المضاعة وتكلفة الفرصة الضائعة. ففي الحالة الأولى تكون الخيارات متاحة، ويتم الاختيار بينها بحرية، ولتوضيح قياس التكلفة في هذه الحالة سنفترض أنه يوجد لدينا ثلاثة آلات أ، ب، ج بأسعار شراء متساوية ونرغب باقتناء أفضلها من خلال توافر البيانات التالية:

| | الآلة أ | الآلة ب | الآلة ج |
|---|---|---|---|
| قيمة الآلـــة | 100000 | 100000 | 100000 |
| تكاليف تشغيلها | 60000 | 55000 | **54500** |

[27] اختيار الصيانة المطبقة له أثر على استهلاك المواد وعلى حجم التكاليف غير المباشرة

نلاحظ للوهلة الأولى أن الآلة (ج) هي المثلى بسبب قلة تكاليف تشغيلها، ولكن إذا أخذنا بعين الاعتبار تكاليف الصيانة المستقبلية لهذه الآلات نجد أن تكاليفها تصبح كالتالي:

| | الآلة أ | الآلة ب | الآلة ج |
|---|---|---|---|
| تكاليف التشغيل | 60000 | 55000 | 54500 |
| تكاليف الصيانة المتوقعة | 3500 | 5000 | 6250 |
| إجمالي لتكاليف | 63500 | **60000** | 60750 |

ويبدو واضحاً الآن أن القرار الأمثل هو اقتناء الآلة (ب) بدلاً من(ج).

أما في الحالة الثانية، أي تكاليف الفرصة الضائعة، فتضيع الخيارات بسبب الإهمال ودونما انتباه لعملية الاختيار. ولقياس هذه التكلفة، نفترض أننا اشترينا كمية من مخزون قطع التبديل، وبعد ذلك تبين لنا وجود بديل أفضل، فتكون تكلفة الفرصة الضائعة لهذه القطع هي أكبر إحدى القيم التالية:

صافي القيمة البيعية في السوق بعد استبعاد تكاليف عملية البيع.

التكاليف التي سوف تظهر لدى المؤسسة فيما لو استخدمت هذه المواد والقطع في تنفيذ عمل آخر، أو المبالغ التي ستدفعها للحصول على القطع الجديدة خلال فترات التخزين الطويلة والتي تتجاوز فترة الحصول عليها من مصدرها ( فترة الشحن، التخليص،.. الخ).

تكلفة توقف العمل في المؤسسة بسبب رداءة القطع المشتراة أو بسبب عدم توافر القطع التبديلية اللازمة في الوقت المناسب.

**2 5 تكلفة الوقت الضائع**[28]: الوقت الضائع هو الوقت غير المنتج، والناتج عن توقف العمال عن العمل لسبب ما. كالعطل العادي، أو العطل الطارئ، أو بسبب الإهمال أو الإجهاد أثناء المسيرة العادية للعمل. وأما تكلفة الوقت الضائع فتمثل مجموع الأجور المدفوعة للعمال المتوقفين عن العمل[29]. ويساعد برمجة زمن الصيانة على توفير الوقت والتكلفة المذكورين، ويتبلور الوقت الضائع في ( صفوف الانتظار ). وتظهر هذه الحالة عندما يزيد الطلب على الإصلاح عن طاقة إدارة الصيانة، وبالتالي يكون عدد الآلات المرغوب إصلاحها أكبر من طاقة إدارة الصيانة. ويسبب الانتظار في هذه الحالة خسارة مالية تتمثل بتوقف الآلات عن الإنتاج[30].

وتميل الشركات اليابانية التي تنتج على أساس Just In Time[31] والمبني على أساس إنقاص رأس المال المستثمر في المخزون، إلى إتباع الصيانة الوقائية لما لها من فوائد في ضبط الفوضى وخفض الوقت الضائع. ويؤدي تحديد الوقت الصحيح للاستبدال أو تشغيل الآلة خلال عمرها الإنتاجي فقط[32] إلى تحقيق استثمار أجدى لها، كما يؤدي إلى إنقاص الوقت الضائع.

ويمكن تقسيم الوقت الضائع إلى[33]:

---

[28] راجع الفصل الأول، نظام المهمة والفصل السادس المبحث الثاني.

[29] إن توقف العمال يؤدي لتوقف الآلات والذي يؤدي لزيادة عدد الآلات المراد إصلاحها عن طاقة الصيانة المتاحة مما يؤدي لمزيد من صفوف الانتظار ومن ثم توقف الإنتاج ومن ثم الاستعانة بالخبرات الخارجية ومن ثم زيادة التكاليف.

[30] عاطف بسخرون، طلعت (المحاكاة والصيانة) 1987، ص 121.

[31] Ken John Moller - (The Human Factor In Connection With The Application System ) - 1991 , PP.3.

[32] Send Erik Nielsen - (the maintenance organization) -OP.CIT., PP. 18.

[33] جحوان وظنح (محاضرات دورة الصيانة الوقائية )، مرجع سابق، ص 3.

2 5 1 وقت ضائع بسبب العامل كالتأخير عن الحضور للعمل، والأحاديث الجانبية بين العمال، والانصراف المبكر.

2 5 2 وقت ضائع بسبب الإدارة وهو يحدث نتيجة لسوء تنظيم العمل من قبل الإدارة كحالات التوقف الناتجة عن التأخر في إعطاء أوامر التشغيل أو إحضار المواد وقطع الغيار وغيرها.

2 5 3 وقت ضائع لأسباب فنية مثل حالات التوقف الناتجة عن انقطاع التيار الكهربائي أو البخار وما إلى ذلك.

وكلٌ من هذه الأوقات[34] يمكن أن تنشأ نتيجة أسباب طبيعية أو غير طبيعية. ويدخل الوقت الضائع الطبيعي كعنصر ضمن عناصر تكاليف الإنتاج، أما الوقت الضائع غير الطبيعي فيعالج في حساب الأرباح والخسائر.

| السبب الوقت الضائع | السبب طبيعي | السبب غير طبيعي |
|---|---|---|
| العامل | مراكز التكلفة | ح/أ.خ |
| الإدارة | مراكز التكلفة | ح/أ.خ |
| فني | مراكز التكلفة | ح/أ.خ |

[34] راجع نظام المهمة، الفصل الأول، المبحث الثاني، 2 5.

# إعداد الموازنة التقديرية للصيانة

إن دراسة سلوك تكاليف الصيانة تستلزم توفر المعلومات والبيانات، ومصدر هذه البيانات هو المحاسبة وبشكل أدق محاسبة التكاليف والمحاسبة الإدارية. وتتم مراقبة تكاليف الصيانة عن طريق الموازنات التخطيطية (المرنة) ولعدة مستويات تشغيل ( محاسبة التكاليف المعيارية ).

ونرى ضرورة الإفصاح عن تكاليف الصيانة منفصلة في قوائم الدخل و حسابات التشغيل لمراقبة تطور هذا النوع من التكلفة خلال السنوات المالية المتتالية.

و تمثل الموازنة التقديرية للصيانة خطة إدارة الصيانة للعام القادم و تستخدم بغية الرقابة على أعمال الصيانة بهدف تعبئة جميع الموارد لاستخدامها بالشكل الأمثل. و سوف نستعرض موازنتين مقترحتين تمثل الأولى موازنة التكاليف الثابتة و تمثل الأخرى موازنة التكاليف المتغيرة.

4 1 موازنة التكاليف الثابتة في إدارة الصيانة:

التكاليف الثابتة هي تلك التكاليف التي لا تتأثر بحجم الإنتاج ضمن فترة زمنية محددة، و لذلك يطلق عليها البعض تسمية التكاليف الزمنية، ويرى بعض المحاسبين وضع موازنة تكاليف ثابتة على مستوى المؤسسة ككل لأن رؤساء الأقسام و الإدارات لا يستطيعون التحكم في هذه النفقة. ونرى أن وضع موازنات تكاليف ثابتة وظيفية تساعد في تقويم نشاط كل إدارة و تحدد أوجه الهدر و القصور في هذه الإدارة لكي تتمكن الإدارة العليا من تطبيق محاسبة الموارد البشرية. ونقترح الشكل رقم (2 6) كموازنة للتكاليف الثابتة في إدارة الصيانة.

وقد اعتبرنا المخزون الأمني في موازنة التكاليف الثابتة لأنه لا يمكن للإدارة المساس به وذلك بقصد الحفاظ على أمن المؤسسة.

| *البيان* | *القيمة* |
|---|---|
| *تجهيزات* | |
| *مباني وإنشاءات* | |
| *دورات تدريبية* | |
| *أبحاث وتطوير* | |
| *المخزون الأمني من قطع التبديل* | |
| ..... *قطع تبديل مستخدمة باستمرار* | |
| ..... *قطع تبديل إستراتيجية* | |
| *الإجمالي* | |

الشكل (2 6)

4 2 موازنة التكاليف المتغيرة في إدارة الصيانة:

يُقصد بالتكاليف المتغيرة تلك التكاليف التي تتغير مع تغير حجم الإنتاج وجاهزية الآلات والتجهيزات في المؤسسة. و تشمل هذه التكاليف عادة أجور فرق الصيانة والمواد المستخدمة في عمليات الصيانة. ونقترح الشكل رقم

(2 7) لتوضيح موازنة إجمالي ساعات عمل فرق الصيانة، و الشكل رقم (2 8) لتوضيح المواد المستخدمة في عمليات الصيانة.

| *الصيانة المطبقة* | *العمل المخطط (ساعات)* |
|---|---|
| صيانة وقائية | |
| عمال كهرباء | |
| عمال ميكانيك | |
| عمال عاديون | |
| صيانة إصلاحية | |
| عمال كهرباء | |
| عمال ميكانيك | |
| عمال عاديون | |
| *الإجمالي* | |

الشكل رقم (2 7): موازنة ساعات العمل

| المواد اللازمة | كمية المواد | قيمة المواد |
|---|---|---|
| مواد إستراتيجية | | |
| مواد أساسية مستخدمة باستمرار | | |
| الإجمالي | | |

الشكل (2 8): موازنة المواد

حسب جهة تنفيذها حسب طبيعتها
مركزية
مركز الدكتور سامر المظفر قنطقجي لتطوير الأعمال www.kantakji.com
لا مركزية
غير قابلة للتحكم خارجية

# إعداد قائمة تكاليف الصيانة

تقسم الصيانة حسب طبيعتها وبحسب جهة تنفيذها.

**أولا الصيانة بحسب طبيعتها:** وذلك بمراعاة الظروف التي تعود إليها إلى ظروف تأكد تام وظروف لا تأكد. و من المعلوم أن الإدارة كلما استطاعت التحكم بالظروف من اللاتأكد إلى ظروف التأكد التام كلما كانت قراراتها أصوب. و سنعرض فيما يلي بإيجاز لأنواع التكاليف المرتبطة بطبيعة الصيانة:

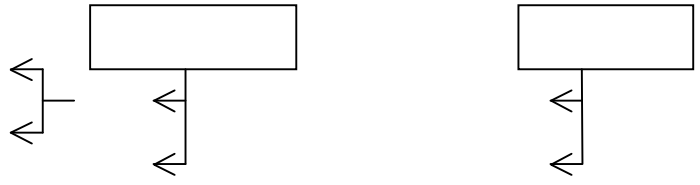
(1) التكاليف غير القابلة للتحكم (ظروف اللاتأكد) هي التكاليف الناجمة عن الأعطال الطارئة، و التي تكون غير معلومة الحدود عادة. و من الصعب تحديد المسؤول عنها، و لذلك يفضل معالجة نفقات إصلاحها ضمن حساب الأرباح و الخسائر.

(2) التكاليف القابلة للتحكم (ظروف التأكد التام) هي التكاليف الناجمة عن الصيانة الوقائية. و تكون الأعطال في هذه الحالة معلومة الحدود (زمناً وتكلفة). ومن الممكن ربط وتوزيع الصيانات الوقائية على فرق وأشخاص محددين (تطبيق محاسبة المسؤولية) لضبط أعمال الصيانة الوقائية وللوصول إلى استقرار فني للمؤسسة بما يضمن لها مسيرة إنتاجية منتظمة وخالية من المفاجآت. وتعالج هذه التكاليف ضمن حساب التشغيل أو توزع على مراكز المسؤولية (إن وجدت).

ويبين Nielsen[35] أن التكاليف التي تنتمي إلى فترات الصيانة التجميعية (العمرات) تعالج في مراكز المسؤولية أو في حساب التشغيل. وأما الصيانات التي تقع خارج هذه الفترات فتعالج في قائمة أو حساب الأرباح والخسائر لأنها مسؤولية الإدارة. كما أن التكاليف التي تنتمي للقواعد المعيارية للصيانة تعالج في قائمة التشغيل أو مراكز التكلفة.

**ثانيا الصيانة حسب جهة تنفيذها:** إنه من المفيد عزل تكاليف الصيانة الداخلية عن تكاليف الصيانة الخارجية في القوائم المالية، أو إلزام إدارة الصيانة بإعداد قائمة تكاليف تبين كل نوع من أنواع الصيانة وحجم تكاليفها وذلك للإفصاح عن سياستها تجاه الصيانة مع بيان الفترات اللازمة لكل نوع من أنواع الصيانة. ومن الضروري تمييز فترات الصيانة الإنتاجية، إذ أن فترة الصيانة فترة إنتاجية والصيانة عمل منتج، مع أنها تبدو غير مثمرة للوهلة الأولى، وذلك لأن ريعية الصيانة لا تظهر ثمارها إلا بعد حساب ريعية المشروع.

وسنقوم أولاً باقتراح قائمة تكاليف للصيانة ومن ثم ينتقل إلى حساب الانحرافات بين التكاليف التقديرية أو المعيارية و الفعلية و يقترح بعض النماذج لضبط هذه الانحرافات.



[35] Savend Nielsen -(Maintenance An Approach) , OP.CIT., PP. 12.

### 5 1 قائمة تكاليف الصيانة:

تم إعداد قائمة تكاليف خاصة بإدارة الصيانة اتبع فيها التقسيم الوظيفي حسب نوع التكاليف وكذلك جـــزئت هذه التكاليف حسب نوع الصيانة (وقائية وإصلاحية)، ويظهر الشكل (2 9) هذه القائمة بشكل تفصيلي:

| التكلفة | صيانة الإصلاح | صيانة وقائية | المجموع |
|---|---|---|---|
| **المواد:**<br>قطع تبديلية مستخدمة باستمرار/قابلة للتلف بشكل محدد وبشكل احتمالي<br>قطع تبديل إستراتيجية | | | |
| **الأجور:**<br>أ. الأجور الداخلية:<br>كتلة الأجور والرواتب ( عمال صيانة )<br>الحوافز والأجور الإضافية والمزايا ( عمال إنتاج + عمال صيانة )<br>ب. أجور خارجية:<br>أجور طاقة الصيانة المعروضة في الأسواق<br>أجور طاقة الصيانة التي يعرضها المصنّع OEM | | | |
| **تكاليف غير مباشرة:**<br>زيوت وشحوم<br>قوى محركة<br>تكاليف إزالة المخلفات الناجمة عن الصيانة<br>أجور تخزين مواد الصيانة وأدواتها<br>التأمين ( تجهيزات ومقر إدارة وورشات وعمال الصيانة )<br>الإيجارات ( مقر إدارة وورشات ومستودعات مواد الصيانة )<br>اهتلاكات ( تجهيزات وأدوات الصيانة ) | | | |
| **تكلفة الفرصة المضاعة:**<br>فرق الإيجار المحسوب (مقر إدارة وورشات ومستودعات الصيانة)<br>فرق الفوائد المحسوبة (رأس المال المستثمر في الصيانة+تجهيزات+مواد مخزنة) | | | |
| **تكلفة الوقت الضائع:**<br>وقت ضائع طبيعي<br>وقت ضائع غير طبيعي | | | |
| الإجمالي | ..... | ..... | ..... |

الشكل (2 9): قائمة تكاليف الصيانة

### 5 2 حساب الانحرافات:

يترتب على إدارة الصيانة وبغية الاستفادة من موازناتها التخطيطية وقائمة تكاليفها الفعلية تحديد طبيعة الانحرافات لكل من التكاليف الثابتة والمتغيرة وذلك لتحديد شكل هذه الانحرافات ومعالجتها أملاً في تطوير إدارتها ولتتمكن من تطبيق محاسبة المسؤولية. فتعاقب المقصرين وتمنح المكافآت للمجدين. وسوف نقترح نموذجاً لحساب انحرافات التكاليف الثابتة. ثم نموذجاً لحساب انحرافات ساعات عمل الصيانة ومواد الصيانة.

**5 2 1انحرافات التكاليف الثابتة:** تجري مقارنة التكاليف الثابتة المتوقعة مع التكاليف الثابتة الفعلية خلال الفترة وتحسب الانحرافات الناجمة بنوعيها الموجبة والسالبة وتتم دراسة أسباب الانحرافات السالبة لتلافي حدوثها وبيان أسباب الانحرافات الموجبة وتعديل التوقعات إن كان السبب قصوراً في التوقعات، الشكل (2_10).

انحرافات موازنة التكاليف الثابتة قسم الصيانة

| البيـــــان | مخطط | فعلي | انحراف |
|---|---|---|---|
| تجهيزات<br>مباني وإنشاءات<br>دورات تدريبية<br>أبحاث وتطوير | | | |
| المخزون الأمني من قطع التبديل<br>.... قطع تبديل قابلة للتلف بشكل محدد<br>.... قطع تبديل قابلة للتلف بشكل احتمالي<br>.... قطع تبديل إستراتيجية<br>.... قطع تبديل ثانوية ( عناصر التكلفة غير المباشرة ) | | | |
| الإجمالي | | | |

الشكل (2 10)

**5 2 2 انحرافات ساعات عمل فِرَق الصيانة:** وتهدف هذه الحسابات لمعرفة نوع الانحراف وسببه، وهل هو ناجم عن التوقفات؟ وبالتالي تحديد المسبب، لذلك تجرى عملية تحليل للانحرافات الشكل (2 11) ثم تجرى دراسة لهذه الانحرافات لبيان السبب.

| الصيانة المطبقة | عمل مخطط [36] | عمل فعلي | الانحراف (توقفات عن العمل) |
|---|---|---|---|
| **صيانة وقائية**<br>عمال كهرباء<br>عمال ميكانيك<br>عمال عاديون | | | |
| **المجموع** | | | |
| **صيانة إصلاحية**<br>عمال كهرباء<br>عمال ميكانيك<br>عمال عاديون | | | |
| **المجموع** | | | |

الشكل (2 11)

36 العمل المخطط مصدره موازنة ساعات العمل

| الصيانة المطبقة | أسباب فنية | | بسبب الإدارة | | بسبب العامل | | الإجمالي | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | غير طبيعي | طبيعي | غير طبيعي | طبيعي | غير طبيعي | طبيعي | غير طبيعي | طبيعي |
| صيانة وقائية<br>....<br>....<br>صيانة إصلاحية<br>....<br>.... | | | | | | | | |
| الإجمالي | | | | | | | | |

الشكل (2 12)

ثم تجرى عملية تسعير لأجرة الساعة، وتُضرب بعدد الساعات وصولاً لتكلفة الانحراف. وتعالج الانحرافات الطبيعية ( كما ذكرنا سابقاً ) في حـــ/التشغيل أو في مراكز التكلفة، كما تعالج الانحرافات غير الطبيعية (كما ذكرنا سابقاً ) في حـــ/الأرباح والخسائر.

# سلوك تكاليف الصيانة

تهدف دراسة سلوك تكاليف الصيانة إلى تحليل عناصر هذه التكاليف المختلفة، و مراقبة تغيراتها بغية تحديد مواطن الخلل، ووضع سلم أوليات للبدء بمعالجتها حسب أهميتها و دورها في تكلفة الإنتاج الإجمالية. كما تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على أسباب الهدر في بعض عناصر هذه التكاليف و قياسه ووسائل تلافيه وما يمكن اختصاره في الزمن المطلوب لصيانته.

و يختلف أسلوب تحليل عناصر تكاليف الصيانة و دراسة سلوكها باختلاف الأسلوب المتبع في تصنيف هذه التكاليف. فالبعض يقسم هذه التكاليف إلى ثابتة و متغيرة و شبه ثابتة و شبه متغيرة و يدرس الأستاذ جيرارد[37] سلوك تكاليف الصيانة بأسلوب آخر من حيث تقسيمها إلى تكاليف وقائية و إصلاحية و إجمالية. و يناقش البعض الآخر أثر بعض العوامل الخارجية مثل درجة الأتمتة و الدورات الاقتصادية على سلوك هذه التكاليف. وسنتناول هذه الأمور جميعها بالدراسة و التحليل في هذا المبحث إن شاء الله. كما سنتناول دراسة عملية لسلوك تكاليف صيانة صناعة الإسمنت و كحالة تطبيقية سندرس مصنع إسمنت حماة.

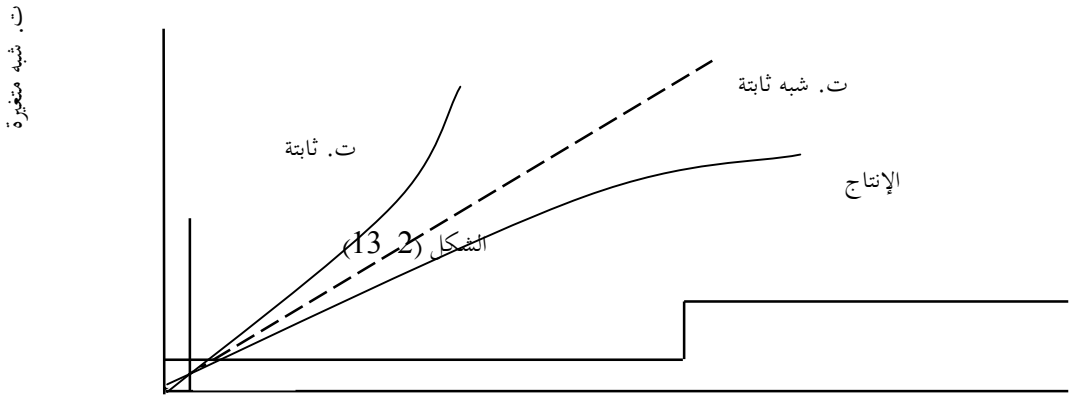
أولاً سلوك تكاليف الصيانة الثابتة و المتغيرة و شبه الثابتة و شبه المتغيرة:

تنجم تكاليف الصيانة الثابتة عن الأعباء التعاقدية التي تجريها المؤسسة و الخاصة بإدارة الصيانة مثل الإيجار و التأمين و الرواتب و الأجور التي تحدد بعقود زمنية. و اهتلاكات و حدات الصيانة بسبب التقدم التقني تأخذ حكم التكاليف شبه الثابتة. و يأخذ منحني التكاليف الثابتة شكل خط أفقي و يتحول إلى شكل درج تمثل كل درجة فيه اهتلاكات ناتجة عن تقدم تقني معين. و أما تكاليف الصيانة المتغيرة فهي ترافق عمليات التشغيل، و تتغير عادة بنسبة ثابتة أو تصاعدية أو تنازلية مع تغير حجم الإنتاج. و قد تكون تكلفة الصيانة شبه متغيرة كما يحدث عادة عندما تتوقف المؤسسة عن الإنتاج وتكتشف فجأة إدارة الصيانة أن بعض الآلات أصابها مثلاً الصدأ وهي بحاجة إلى صيانة، وبالطبع فإن هذا النوع من الصيانة لا تحكمه قواعد محددة. ويمكن تمثيل سلوك تكاليف الصيانة الثابتة والمتغيرة وشبه الثابتة وشبه المتغيرة بالمنحنيات الموضحة على الشكل رقم (2 13):

[37] W.M.J. Geraerd -(The Eut Maintenance Model)-OP.CIT.,PP 2.

ت. متغيرة تصاعدية

ت. متغيرة تنازلية




الشكل (2_13)

ثانياً سلوك تكاليف الصيانة الإصلاحية والوقائية والإجمالية:

يقترح الأستاذ جيرارد تمثيل سلوك هذه التكاليف بالمنحنيات الموضحة على الشكل رقم (2 14)، و يلاحظ أن منحنى تكاليف الصيانة الإصلاحية يمثل بخط مستقيم ميله سالب، و أن منحني تكاليف الصيانة الوقائية يبدأ بالتزايد ببطء ثم تتسارع نسبة تزايد هذا النوع من التكاليف. وبالطبع فإن إحداثيات منحني تكلفة الصيانة الإجمالية تنتج عن جمع إحداثيات المنحنيين السابقين[38].

وإذا أمعنا النظر في منحني تكاليف الصيانة الوقائية نجد أن هذا المنحني يتزايد ببطء مع بداية العمر الإنتاجي للتجهيزات. ويتسارع تزايد هذه التكاليف الوقائية مع تقدم العمر الإنتاجي و يُميّز هنا عادة بين أسلوب الصيانة الوقائية التقليدية و أسلوب الصيانة باستخدام معالجة البيانات إلكترونياً EDP. و بصفة عامة فإن أسلوبEDP يؤدي إلى تعقيد نظام الصيانة و بالتالي زيادة تكاليفه. أما أسلوب الصيانة التقليدية فيتطلب فحصاً للآلات تزداد تكاليفه كلما قصرت الفترات بين الفحوص المتتالية (كالجولات التفتيشية).

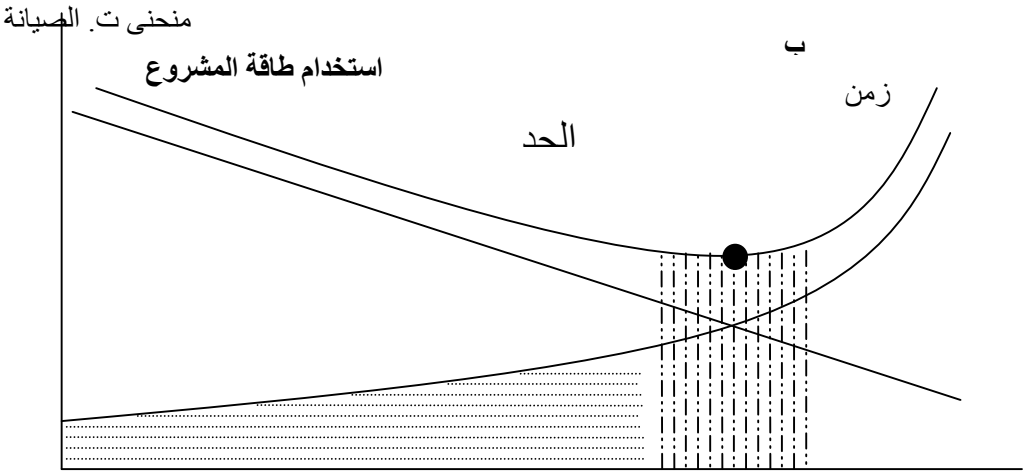
و بهذا الخصوص، نود أن نذكر أن الصيانة الوقائية سادت في اليابان كنتيجة لتبدل فلسفة الإنتاج فهناك تبديل في الحاجة إلى الصيانة الوقائية، أو كما تسمى في اليابان صـــــيانة الناتج الإجمالي[39]. وسبب هذا هو السعي لتقصير الزمن اللازم للإنتاج مقارنة بالكميات الناتجة، و التي تجعلها أساسية: فالمؤسسة تنتج الحد الأدنى من الكمية المرغوب تخزينها، فالإنتاج هو لأمر الزبون Only Produce To Customer لكن سياسة الصيانة الوقائية هي مكلفة جداً، و هي طريقة غير اقتصادية للوصول لمنتج صناعي مربح[40].

[38] التسارع سببه تطبيق EDP بشكل كبير والجولات التفتيشية المتقاربة وكلاهما يمكن التحكم به من خلال تطبيق معايير الموثوقية وتوابع الكثافة موضوع الفصل الثالث.

[39] (1) KEN JOHN MOLLER -(The Human Factor In Connection With Application Of Maintenance Systems ) - OP.CIT. 1.

[40] (2) WEST - ALPIN - (Industrial Services )- OP.CIT. PP.15.

و إذا انتقلنا إلى منحني تكاليف الصيانة الإصلاحية نجد أنها تتناقص كلما زادت الصيانة الوقائية أي أن هناك علاقة عكسية بين هذين النوعين من الصيانة. و يلاحظ أن هذه التكاليف تكون في البداية كبيرة جداً عند بداية المؤسسة في انطلاقتها بالإنتاج ثم تبدأ هذه التكاليف بالتناقص تدريجياً.



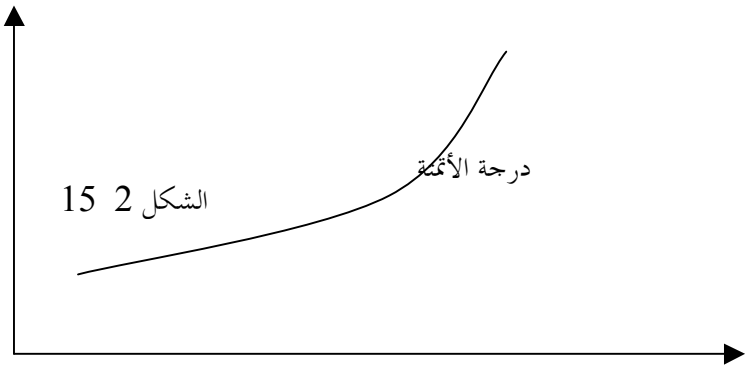

الشكل (14)

و لقد ظهر منحنى هذه التكاليف بشكل خط مستقيم، ولا شك أن الخط المستقيم هو أسوأ تقريب للمتغيرات، والأهم من ذلك أن التكاليف الإصلاحية تكاليف تراجعية بالنسبة لتقدم و تطور الصيانة الوقائية في المؤسسة.

و نتيجة لما سبق فإن تكاليف الصيانة الإجمالية هي تكاليف متغيرة تبدأ بالتناقص إلى أن تصل إلى حدها الأدنى عند نقطة تقاطع منحنى تكاليف الصيانة الوقائية و الإصلاحية و من ثم تبدأ بالتزايد بعد ذلك. و نقطة التقاطع المذكورة تمثل الوضع الأمثل لتكاليف الصيانة الإجمالية و حول هذه النقطة يمكن أن نحدد مجالاً نطلق عليه الحد أو المجال الاقتصادي الذي يجب أن تأخذه المؤسسة بعين الاعتبار إذا كانت تبحث عن الوضع الأمثل للإنتاج و الصيانة.

ثالثاً أثر بعض العوامل الخارجية على سلوك تكاليف الصيانة:

لا بد أن نذكر في هذا المجال أن هناك مجموعة من العوامل الخارجية يمكن أن تؤثر على منحنيات تكاليف الصيانة المختلفة. فعلى سبيل المثال تتأثر تكاليف الصيانة بدرجة الأتمتة القائمة في المؤسسة فتزداد تكاليف الصيانة كلما زادت درجة الأتمتة في المؤسسة و ذلك لتعقد البنية الداخلية و الخارجية للآلات و خطوط الإنتاج بسبب التكامل و التضافر في العملية الإنتاجية مما ينعكس على تكاليف الصيانة بزيادة الطلب على اليد العاملة الخبيرة و استهلاك كمية كبيرة من القطع التبديلية و يظهر ذلك موضحاً في الشكل (2 15)




الشكل 2 15

كما تتأثر تكاليف الصيانة بالدورات الاقتصادية التي تمّر بها المؤسسة ففترات الانتعاش تؤدي إلى زيادة إيرادات المؤسسة بقدر كاف لتخفيف شعور الإدارة بثقل حجم تكاليف الصيانة وأما في فترات الكساد فإن تكاليف الصيانة تمثل ضغطاً شديداً على التكاليف الإجمالية للمؤسسة. ولخفض هذه التكاليف فقد تضطر المؤسسة إلى إنقاص كادر الموظفين في إدارة الصيانة مما يؤثر سلباً على حالة المؤسسة[41]. كما أن الطلب على العمالة يختلف في فترات الانتعاش عنه في فترات الكساد، ففي فترات الانتعاش يزداد الطلب على القوة العاملة المتخصصة والماهرة (سواء منها الخارجية أو الداخلية). وهجرة اليد العاملة الماهرة من المشاريع ذات الأجور القليلة إلى المشاريع ذات الأجور الأعلى هي مشكلة أخرى تساعد على حدوث اضطرابات غير متوقعة وإصلاحات يمكن أن تؤدي لزيادة مؤقتة في الطلب على العمالة[42].

رابعاً سلوك تكاليف الصيانة والإنتاج في شركة إسمنت حماة:

تمت دراسة سلسلة زمنية مؤلفة من ستة ميزانيات لشركة إسمنت حماة[43] (المعمل1 والمعمل 2) للأعوام 1988 1993 وحددت البيانات التفصيلية لتكاليف الصيانة من أجور ومواد وتكاليف غير مباشرة (محروقات وزيوت وشحوم وكهرباء وأدوات وعدد وقرطاسية ومصاريف متنوعة وذلك بما يخص إدارة الصيانة ). كما تم تحديد كميات إنتاج المعملين للسنوات المذكورة ومن ثم حسبت تكاليف الإنتاج من خلال ضرب الكميات بتكلفة الإنتاج للوحدة الخاصة بكل معمل على حدة. ولخصت النتائج في الشكل (2 16). ثم احتسبت معدلات التطور النسبي لتكاليف الصيانة، الشكل (2 17).

وأخيراً، تم رسم نتائج الشكل (2 17) بيانياً في الشكل ( 2 18) فكانت النتائج التالية:

تزداد تكاليف الإنتاج بشكل متزايد خلال الزمن، لكن المنحني لا يشكّل خطاً ذا ميلٍ مستقيم، بل تحصل انخفاضات في هذا المنحني (نقطة الزمن 4).

تزداد تكاليف الصيانة بشكل متزايد خلال الزمن، لكن المنحنى لا يشكّل خطاً ذو ميلٍ مستقيم، بل تحصل ارتفاعات متزايدة في هذا المنحنى (نقطة الزمن 4).

تُعبّر هذه النتيجة عن وضع صحيح، ففي الوقت الذي يزداد في الإنتاج تقلّ تكاليف الصيانة، وبالعكس عندما تزداد تكاليف الصيانة تنخفض إنتاجية المعمل بسبب التوقفات اللازمة لإجراء الصيانة ( كالعمرات مثلاً ).

---

41 Simpson -(Industrial Accounting)- 1948, PP. 23.

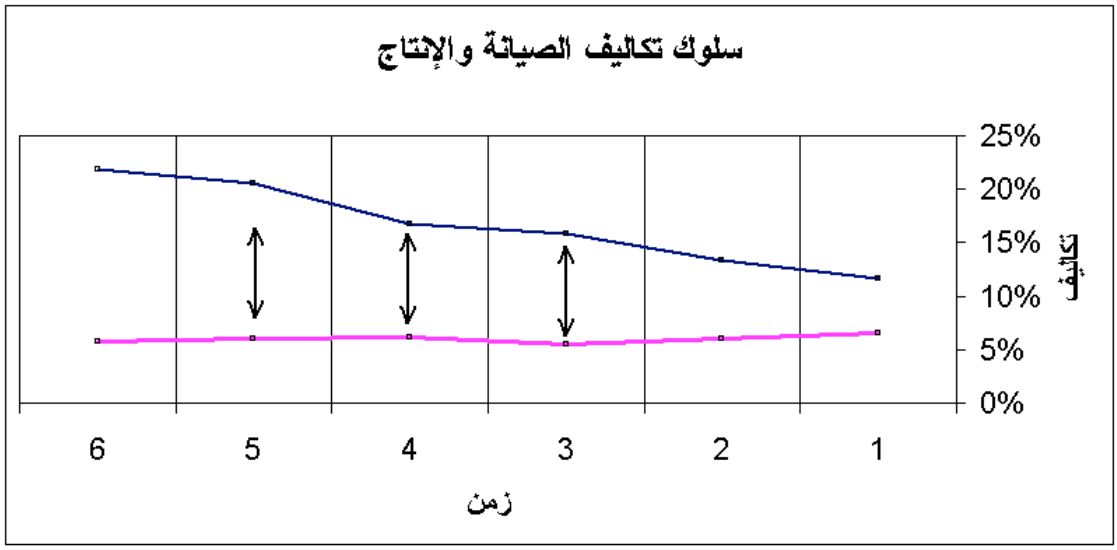
42 Voest-Alpin - (Industrial Services) - OP.CIT., PP. 50.

43 نتائج الجدولين (2 16، 2 17): بيانات شركة إسمنت حماة للأعوام 1988 1993.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
| تكاليف الإنتاج | | 230318293 | 265095821 | 315105628 | 334024482 | 408791401 | 434419688 |
| تكاليف الصيانة | | 15172600 | 15970408 | 17423615 | 20377791 | 24610091 | 24833140 |
| تكاليف مباشرة | الأجور | 13367698 | 14065611 | 15691732 | 16116215 | 21839186 | 22305670 |
| | قطع التبديل | 219778 | 270601 | 290957 | 490373 | 450194 | 591242 |
| تكاليف غير المباشرة | زيوت | 8376 | 9250 | 49 | 10022 | 40166 | 24525 |
| | كهرباء | 746955 | 750122 | 313706 | 334518 | 295758 | 296396 |
| | وقود | 61686 | 63720 | 67631 | 69247 | 150483 | 244525 |
| | أدوات | 596973 | 600193 | 831108 | 3098368 | 1628584 | 1186752 |
| | قرطاسية | 64355 | 60211 | 53664 | 46780 | 57235 | 61332 |
| | منوعات | 106779 | 150700 | 174768 | 212268 | 148485 | 122698 |
| | مج ت. غ. مباشرة | 1585124 | 1634196 | 1440926 | 3771203 | 2320711 | 1936228 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
| تكاليف الإنتاج | | | | | | | |
| تكاليف الصيانة | | 6.59 | 6.59 | 6.02 | 5.53 | 6.10 | 6.02 |
| تكاليف مباشرة | الأجور | 5.80 | 5.31 | 4.98 | 4.82 | 5.34 | 5.13 |
| | قطع التبديل | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.15 | 0.11 | 0.14 |
| تكاليف غير المباشرة | زيوت | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| | كهرباء | 0.32 | 0.28 | 0.10 | 0.10 | 0.07 | 0.07 |
| | وقود | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.06 |
| | أدوات | 0.26 | 0.23 | 0.26 | 0.93 | 0.40 | 0.27 |
| | قرطاسية | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | منوعات | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.03 |
| | مج ت. غ. مباشرة | 0.69 | 0.62 | 0.46 | 1.13 | 0.57 | 0.45 |

الشكل (18): يمثل نتائج الشكل (17)



## معايير الأمثلية في عمليات وتكاليف الصيانة

يحتاج كل عمل إلى معيار أو أكثر للحكم على مدى نجاحه أو فشله في تحقيق الغرض الذي أنشئ من أجله. وقد تتأثر الجهة واضعة المعيار بالبيانات التاريخية فيكون معيارها تاريخياً، وقد تستخدم بعض الأساليب الرياضية والإحصائية بهدف الاتجاه نحو العلمية. وعلى كل حال، يجب أن يتصف المعيار بالواقعية والمرونة والوضوح، ويجب أن تشترك في إعداده معظم المستويات التي ستطبقه، بغية الحصول على ثقة هذه الأطراف، وبالتالي ضمان تطبيقه.

وبهدف معرفة كفاءة وفعالية إدارة الصيانة ونقترح مجموعة من النسب والمؤشرات يمكن استخلاصها من القوائم المالية الخاصة بإدارة الصيانة. ونلخص هذه المعايير كما يلي:

(**1**) **إنتاجية إدارة الصيانة** = مخرجات الصيانة / إجمالي تكاليف الصيانة

والمقصود بمخرجات الصيانة ما نجم عن أعمال الصيانة (عدد، آلات، طول، مساحة القرميد،..إلخ ) وقد تكون مخرجات الصيانة على شكل خدمات (يجري تقديرها).

(**2**) **نسبة عمال الصيانة** = (عدد عمال الصيانة / إجمالي عدد العمال في المؤسسة ) × 100

(**3**) **الرقم القياسي لتكاليف الصيانة** = (تكاليف الصيانة لسنة مدروسة / تكاليف الصيانة لسنة الأساس)× 100

حيث أن مصدر تكاليف الصيانة لسنتي الأساس والسنة المدروسة هو قائمتا تكاليف تلك السنتين.

(**4**) **إنتاجية عامل الصيانة** = مخرجات الصيانة/ عدد عمال الصيانة

(**5**) **الرقم القياسي لإنتاجية عامل الصيانة** = (إنتاجية العامل لسنة مدروسة/ إنتاجية العامل لسنة الأساس) × 100

(**6**) **إنتاجية (الليرة/أجر) صيانة** = مخرجات الصيانة/ إجمالي أجور عمال الصيانة

ومن الممكن حساب المؤشر الأخير بالنسبة للصيانة الخارجية والداخلية على انفراد لقياس الأفضلية بين النوعين.

(**7**) **الرقم القياسي لإنتاجية (الليرة/أجر)صيانة** = (إنتاجية (الليرة/أجر) صيانة للسنة المدروسة / إنتاجية (الليرة/أجر) صيانة لسنة الأساس )×100

(**8**) **إنتاجية (الليرة/مواد) صيانة** = مخرجات الصيانة/ إجمالي مواد الصيانة

(**9** ) **الرقم القياسي لإنتاجية (الليرة/مواد)صيانة**= (إنتاجية (الليرة/مواد) صيانة للسنة المدروسة/ إنتاجية (الليرة/مواد) صيانة لسنة الأساس ) ×100

(**10**) **معدل دوران مواد التخزين** = قيمة المواد المستخدمة في عمليات الصيانة / متوسط قيمة مخزون مواد الصيانة

(**11**) **متوسط فترة التخزين** = (متوسط قيمة مخزون مواد الصيانة/قيمة المواد المستخدمة في عمليات الصيانة)× 365

(**12**) **نسبة تكاليف الصيانة الوقائية** = إجمالي تكاليف الصيانة الوقائية/إجمالي تكاليف الصيانة

(**13**) **نسبة تكاليف الصيانة الإصلاحية** = إجمالي تكاليف الصيانة الإصلاحية/ إجمالي تكاليف الصيانة

(**14**) **نصيب عامل الصيانة من الدورات التدريبية** = قيمة الدورات التدريبية (الخاصة بالصيانة) /إجمالي عدد عمال الصيانة

ويفضل حساب نسبة كل صنف من عمال الصيانة على حدة.

(**15**) **نصيب الليرة صيانة/ نفقات البحث والتطوير** = إجمالي نفقات البحث والتطوير/إجمالي تكاليف الصيانة

وبذلك نكون قد أتممنا معالجة تكاليف الصيانة من وجهة النظر المحاسبية، وذلك بما يمكّن القائمين على إدارة الصيانة من توصيل البيانات اللازمة للإدارة العليا بغية اتخاذ القرارات المناسبة بما يخص إدارتهم، إضافة إلى إحكام الرقابة على الخطط المنفذة.

وسوف نسعى إن شاء الله في الفصول القادمة إلى استخدام مزيد من الأدوات والأساليب الكمية التي تساعد إدارة الصيانة والإدارة العليا على استخدام أقصى الكفاءة في التحكم بمواردها المتاحة في هذا الجانب الحيوي من جوانب المؤسسة.

# استخدام قياس الموثوقية لترشيد عمليات الصيانة

اعتقد الكثيرون ولفترات طويلة أن وظيفة الصيانة تبدأ عملها عندما توضع تجهيزات جديدة في الخدمة. ولكن مع التقدم العلمي لاسيما في حقلي بحوث العمليات وأنظمة المعلومات، ومع التطور التكنولوجي الذي يسابق الزمن في المجالات كافة، برزت صورة جديدة لمهمات إدارة أو قسم الصيانة في المؤسسات كلها. فهذه الإدارة يجب أن تملك رصيداً كبيراً من المعارف والخبرات، وبالتالي يجب أن تساهم بفعالية في اتخاذ قرارات الشراء لأية تجهيزات جديدة.

إن إدارة المشتريات تكون عادة وظيفتها تنفيذية تتمثل في الإعلان عن المناقصة وفض العروض المالية والفنية وفقاً لشروط تقنية محددة، وإن إدارة الإنتاج تحدد الطاقات الإنتاجية الملائمة لمتطلبات السوق، وأما إدارة الصيانة فهي الإدارة الأكثر كفاءة لتحديد معايير الجودة و الموثوقية في الآلات، وبالتالي لتخفيض تكاليف الصيانة التي ترهق المؤسسات إلى حدها الأدنى.

وإذا نظرنا إلى الإستراتيجية اليابانية (Total Productive Maintenance TPM)، نجد أن إحدى المسائل التي يكون قسم الصيانة مسؤولاً عنها هي اتخاذ القرارات الخاصة بشراء آلة أو تجهيزات جديدة. فقسم الإنتاج يعلم ما يجب إنتاجه، والمواد الأولية التي يجب استخدامها وكمية ونوعية المنتج النهائي المطلوب. وتقوم إدارة الصيانة بخبراتها ومعارفها المتراكمة بعمل دراسة مفصلة حول جميع تجهيزات الإنتاج التي تلائم المواصفات المطلوبة. واعتماداً على هذا التقرير تقوم إدارة المشتريات بتنفيذ عمليات الشراء بالتعاون أولاً مع إدارة الصيانة وثانياً مع إدارة الإنتاج.

ما هو التفسير الاحتمالي للأعطال ولانتهاء العمر الإنتاجي للتجهيزات؟ وكيف تقاس الموثوقية بالأجهزة والآلات في خطوط الإنتاج؟ هذه أسئلة هامة سنحاول الإجابة عليها في هذا الفصل.

المبحث الأول: التفسير الاحتمالي للأعطال
المبحث الثاني: الموثوقية في المدى القصير والطويل
المبحث الثالث: قياس الموثوقية في الأنظمة التقنية
المبحث الرابع: اختبار الحياة في الأجهزة التقنية

الحد الأدنى

# التفسير الاحتمالي للأعطال

كل آلة إنتاجية لها طاقة طبيعية. وكفاءة هذه الطاقة تتدنى مع زمن تشغيل الآلة. ولكن هذا التدني يصبح غير مقبول إذا تجاوز حدا أدنى معيناً. وتتدخل إدارة الصيانة لمعالجة مثل هذه المواقف، كما هو موضح على الشكل(3 1)[44] فيتم تطوير آلات وإجراءات جديدة يومياً لفحص ومراقبة حالة التجهيزات.

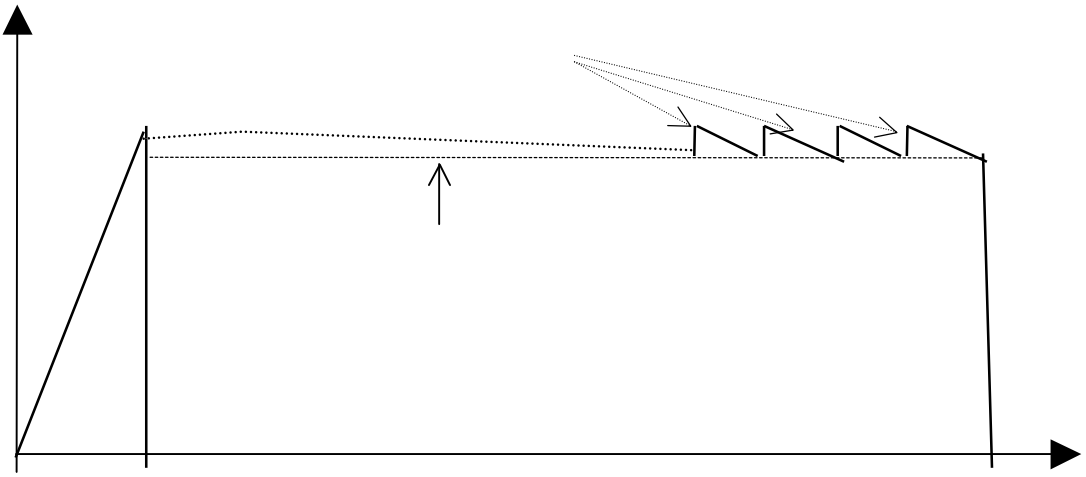
مرحلة الصنع

الزمن

زمن التشغيل

تحويل الآلة إلى خردة

شكل (3 1): الطاقة بدلالة الزمن



وهذا يساعد إدارة الصيانة في التعرف على وضع التجهيزات ومتابعة سلوكها خلال زمن التشغيل. ومن الناحية العملية، تطبق أنظمة قياسية محددة على التجهيزات خلال فترات منتظمة، وبالتالي لم يعد للمهارة الإنسانية أية قيمة طالما أن التنبؤات الموثقة أصبحت في متناول اليد. إن كل آلة لها اتجاه عام معروف يسمح للمهندسين برسم خطة حسنة للإصلاح الجيد مقدماً. أضف إلى ذلك أن الصيانة أو الإصلاح لم يعد لهما مبرر ما لم تشر الاتجاهات العامة إلى ضرورة ذلك.

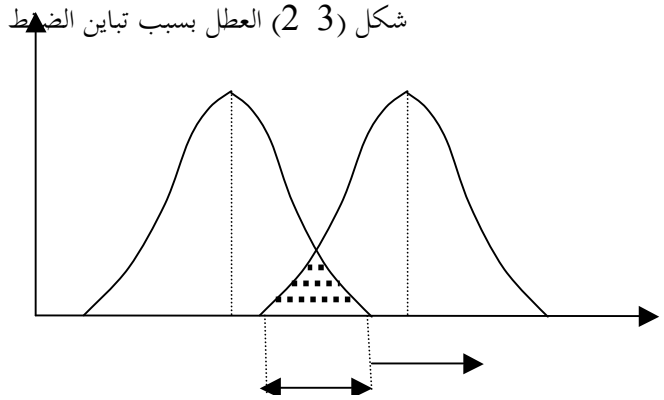
ارتبطت في بادئ الأمر معظم عمليات الصيانة بالهندسة الميكانيكية. ومن ثم ظهرت تخصصات مثل الهيدروليك، والبنوماتيك، والأنظمة الكهربائية، والأنظمة الإلكترونية والإلكترونيك الميكروي فتغيرت الصورة بشكل جذري.

وكنتيجة للتفكير الأولي المتصل بالهندسة الميكانيكية، فإن السبب الممكن والوحيد للعطل يرجع إلى أحد احتمالين: فإما الكسر بسبب الحمولة الزائدة، وإما العطل بسبب التلف. وما يحدث عندما يتجاوز الجهد الفعلي الطاقة المخصصة للجهاز كما هو موضح على الشكل (3 2)، فإن الأجهزة مهما كانت متماثلة، فإنها تظهر تبايناً بالنسبة لمستويات الجهد الفعلي والطاقة الفعلية. ويحدث العطل عندما يتقاطع التوزيعان: توزيع الجهد الفعلي وتوزيع الطاقة الفعلية. ولتجنب هذا الأمر، فإن الطريقة العملية هي أن نطبق عند التصميم معاملاً يوضح كم يجب أن تكون القيمة الاسمية لمستوى الطاقة (G)بحيث تكون نسبة طاقة هذا المعامل أكبر من القيمة الاسمية للجهد المتوقع (S). وتحدد قيمة هذا

[44] Sh. Javed Elahi - 1991- (Adoption Of Instruments And Benefits Of On-Condition Maintenance) - F.L.Smith , DENMARK, PP. 3.

المعامل من خلال التجربة والخبرة. وهناك حلول مختلفة يمكن اللجوء إليها في هذا المجال نذكر منها: زيادة الحجم و استخدام مواد ذات خواص مقاومة أفضل، أو استخدام نظام تقني مقيّد بقيمة معينة للضغط الفعلي: أي يقف النظام عندما يصل الجهد إلى هذه القيمة. وطبقاً لوجهة النظر المذكورة، فإن الأعطال بسبب الكسر يمكن تجنبها عند التصميم و لا يمكن أن نواجه مطلقاً مسألة صيانة من هذا النوع.

شكل (3 2) العطل بسبب تباين الضغط والجهد




وأما الأعطال بسبب التلف فتعزى عادة إلى عمليات الاحتكاك المتكررة في معظم الأنظمة التقنية. واعتبرت عمليات تزييت الأجهزة أفضل إجراء للحد من التلف (فالزيت أرخص من الفولاذ). أضف إلى ذلك أن عامل الشيخوخة يؤدي حتماً إلى تغيّر في الخواص الطبيعية للمواد، ونشير في هذا المجال بصفة خاصة إلى أثر **الصدأ**.

والخلاصة أن أعطال التلف لن تحدث ما لم تمض فترة طويلة على تشغيل الأجهزة. ولكنها بكل تأكيد ستحدث مرات عديدة متتالية خلال العمر الاقتصادي للنظام التقني المدروس مادام الإصلاح ممكناً وملائماً اقتصادياً.

# الموثوقية في المدى القصير والطويل

يعتبر نظام الصيانة بوابة الأمان لتحقيق الاستقرار الإنتاجي, فهو بمثابة حارس أمين للمنشأة من الاضطرابات الإنتاجية. هذه الاضطرابات التي قد تؤدي إلى خلل في التزامات المنشأة تجاه عملائها أو مورديها أو أنها قد تؤذي محيطها البيئي بسبب الخلل الإنتاجي، الأمر الذي يتطلب وجود ثقة متبادلة بين المنشأة والمجتمع من جهة وبين المنشأة وعمالها وزبائنها من جهة أخرى.

لذلك سوف نتعرض في هذا المبحث إلى الموثوقية كإحدى الأدوات الكمية لترشيد تكاليف الصيانة في المدى القصير وفي المدى الطويل، ثم سنتعرف على شكل وبنية برنامج الموثوقية ومدى الترابط والانسجام بينه وبين برنامج الصيانة المعتمد. كما سنتعرض إلى المواصفات الدولية التي أفردت الصيانة ضمن عناصر الجودة في المواصفات ISO 9000 من أجل الحصول على موثوقية مضمونة من المصنّع تجاه منتجاته. ثم سنتعرض إلى دراسة الموثوقية كحالة عملية في صيانة تجهيزات التحكم بالترسيب الإلكتروستاتي لأبراج التهوية من التلوث (السيكلونات)، وأخيرا سنتعرض إلى مقاييس الموثوقية وذلك بدراسة توابع الموثوقية وتابع معدل الأعطال.

## أولاً الموثوقية في المدى القصير:

يلعب استقرار النظام الإنتاجي في المنشأة دوراً حيوياً في واقع ومستقبل هذه المنشأة، ونظام الصيانة المطبق هو أهم دعائم هذا النظام الإنتاجي فهو يساعد في تحقيق وتوليد الثقة باستمراريته. لذلك فإن الإدارة العليا ترغب في الاطمئنان إلى النظام الإنتاجي وطريقة سيره باستمرار من خلال عدم حدوث أي توقفات ميكانيكية أو إلكترونية غير مجدولة قد تؤدي إلى خفض في مخرجات خطوط الإنتاج. وكلما ازدادت الدقة في تطبيق الصيانة الوقائية خاصة بوظائفها التقليدية المشروحة سابقاً كلما زادت الموثوقية التي توليها الإدارة العليا لنظام الصيانة المطبق وبالتالي إلى استقرار نظامها الإنتاجي من الناحية الفنية.

## ثانياً الموثوقية في المدى الطويل:

إن استمرارية المنشأة وبقاءها في السوق مرتبط بما تقدمه كمخرجات للوسط المحيط بها. لذلك يترتب على إدارتها مراقبة مستوى إنتاجها كماً وكيفاً والمقصود بالمخرجات هو الإنتاج والخدمات المقدمة للأطراف ذات العلاقة وتشمل هذه الأطراف: الإدارة العليا و الزبائن والموردين و العمال و الجوار و السلطات. ويترتب على الإدارة العليا التي تمثل قطاع المساهمين والملاك أن تحظى بثقة باقي الأطراف، فهي تسعى إلى كسب ثقة زبائنها ومورديها بتقديم إنتاجها وخدماتها لهم من خلال ثقتها بنظامها الإنتاجي على المدى الطويل، وهذه الثقة مصدرها عدم حدوث انخفاضات في فعالية وإنتاجية الآلات ومدى كفايتها. كما تسعى الإدارة العليا إلى كسب ثقة عمالها من خلال الإدارة الجيدة والمنظمة لأعمالها مما يساعد في خفض التوقفات الطويلة والمفاجئة وهذا الأمر ينعكس إيجابياً على آلية تفاعل العمال مع آلاتهم إذ يضمن لهم الأمان في تعاملهم معها فيدفعهم ذلك نحو زيادة وتحسين الإنتاج وتكون النتيجة زيادة في دخولهم. هم غير مسؤولين عن أعمال الفوضى في سوء إدارة أعمال الإنتاج والصيانة. أما الجوار والسلطات، فإن

انزعاجهم مرتبط بمقدار التلوث الذي تحدثه المنشأة، وغالباً ما يكون مصدر هذا التلوث سوء العملية الإنتاجية. فمثلاً: الانبعاث الزائد للغبار يعني ضرورة صيانة المدخنة، لكن السلطات والجيران لا يهتمون بماهية السبب، فهم يلاحظون أن الانبعاث عال جداً أي أنهم يتأثرون بمخرجات المنشأة (تلوث). وإن زعزعة وثوقية السلطات والجوار تجاه هذه المنشأة في المدى الطويل يعني المطالبة بتوقيفها و إزالتها، مما يؤدي إلى تحمل الإدارة لتكاليف باهظة لا يمكن التحكم بها، لذلك عليها متابعة الهبوط المتزايد في إنتاجيتها والعمل على كبح هذا الهبوط لجعله ضمن نطاق التحكم به وبتكاليفه.

**ثالثاً برنامج الموثوقية:**

بعد تأسيس برنامج الصيانة، من الضروري تطوير موثوقية نظام الرقابة لمتابعة حالة الآلات لضمان تطبيق المعايير الموضوعة حول الموثوقية والتكاليف[45]. ويمكن تقسيم برنامج الموثوقية إلى عدة مراحل تتناسب وتتشابه مع برنامج الصيانة المقترح سابقاً EUT، الشكل(3 3):

**مرحلة التحليل الهندسي:** وهي مرحلة تصميمية تضيف أو تعدل بنية الآلة المدروسة وتستفيد هذه المرحلة من الملاحظات التي يبديها كل من: المصّنع و السلطات و قطاع الصناعة و خبرة العاملين الذين يستخدمون الآلة. وينتج عن هذه المرحلة تعليمات وإرشادات مرافقة للآلة المعدلة أو غير المعدلة.

**مرحلة الصيانة:** يتأثر فريق الصيانة بالتعديلات المضافة ويحاول تعديل برنامجه بناء عليها.

**مرحلة الاستثمار:** في هذه المرحلة تدخل الآلة أو خط الإنتاج مجال الخدمة العملية وهي مرحلة أساسية في تطوير نظام المعلومات التقنية فهي تمثل الجانب التطبيقي للآلة قيد الدراسة وتتجلى مخرجات برنامج الموثوقية بتقاريره (أي تقارير تحليل الموثوقية) التي تعكس مدى تطور نظام تقنية المعلومات. ويتبع شكل هذه التقارير أسلوبي الصيانة والموثوقية المطبقين، وغالباً ما تكتمل هذه الأنظمة في ظل الأنظمة الحاسوبية. فمن المفيد ذكره أن آلات مراقبة الأعطال المرتبطة بالحاسوب من خلال محطات مراقبة تكون تقاريرها على شكل صورة أو صوت أو تقارير مطبوعة بل وتستطيع أحياناً معالجة بعض الأعطال فور حدوثها دون تدخل بشري. ويبدو في الشكل( 3 4 ) صورة توضيحية لآلية عمل هذه الآلات حيث يتصل الحاسوب بمحطات المراقبة، أي آلات مراقبة الأخطاء، التي تتصل بدورها بمجسات وملامس تستطيع قياس الحرارة،و مستوى السوائل و سرعة المحركات و الضغط ومعرفة الحالة الميكانيكية للآلات ووظائف أخرى. ويتحكم الحاسوب بخطوط الإنتاج من خلال البيانات الواردة من محطات المراقبة.

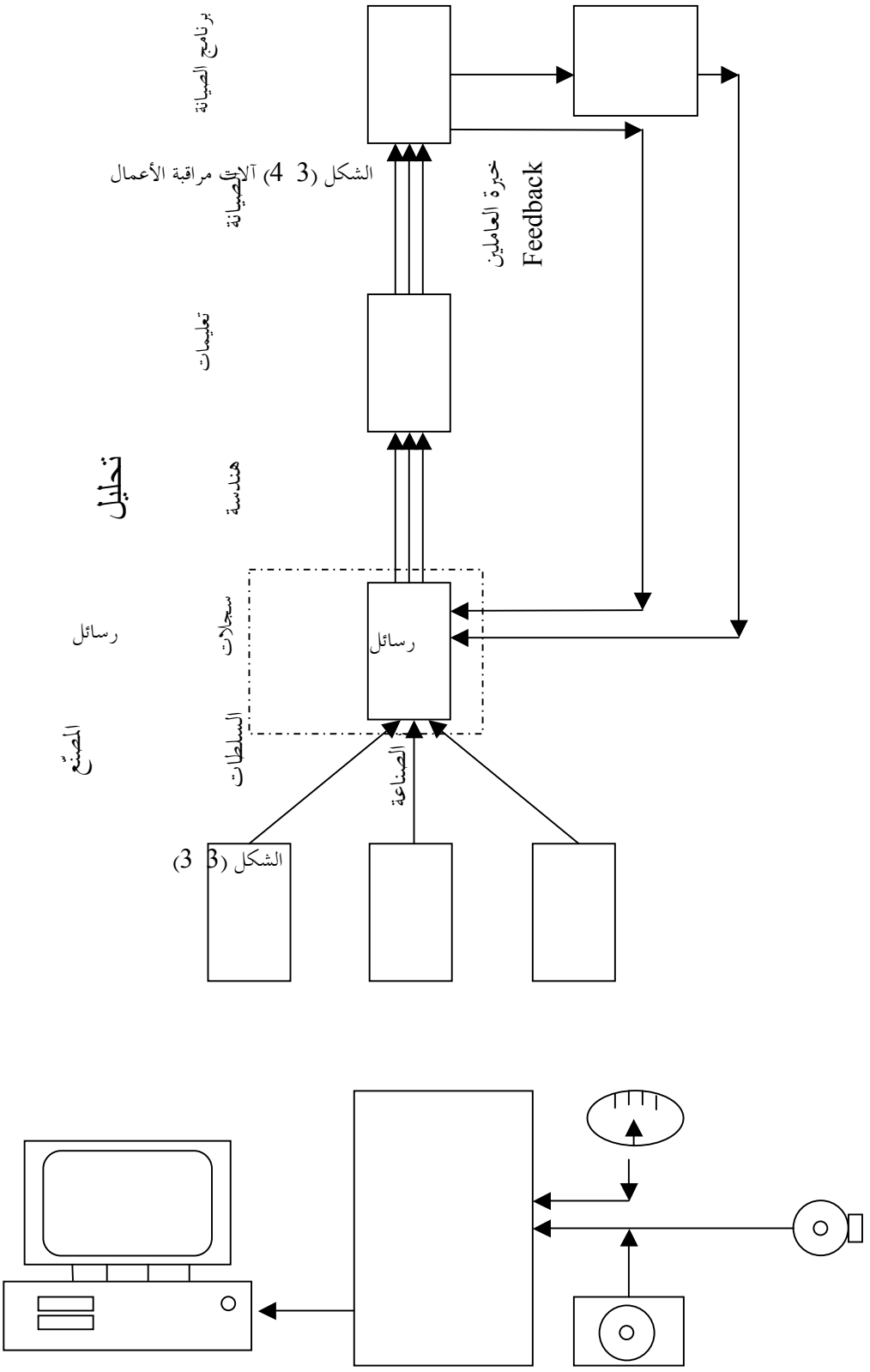
ويترتب على برنامج الموثوقية في المدى الطويل تحقيق:

1. زيادة الإنتاجية.
2. إنقاص الإصلاحات غير المخططة أو الفجائية.
3. تحسين بنية وشكل نظام الصيانة.
4. إنقاص تكاليف الصيانة ومراقبتها بغية التحكم بها ضمن أدنى الحدود.

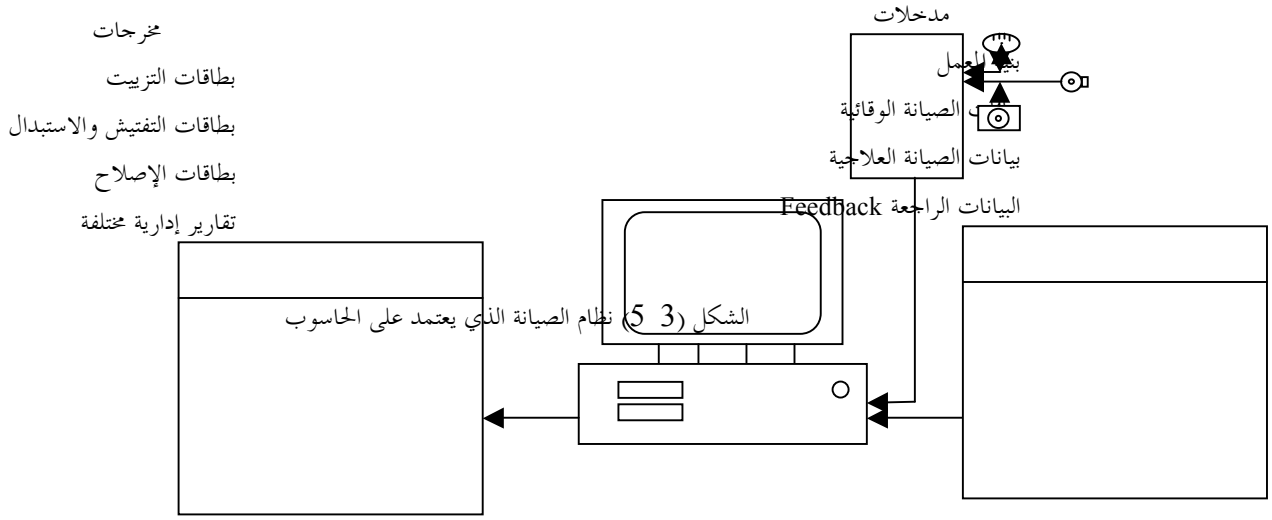
[45] J.H.Jensen ,(Maintenance Systems as Applied Within aviation Industry)- FL ,pp.10-Smidth-plout service division.

عمليات برنامج الوثوقية

محطة مراقبة



ونستطيع تصور نظام الصيانة الذي يعتمد على الحاسوب من طرف آخر حسب الشكل (3 5):




الشكل (3 5) نظام الصيانة الذي يعتمد على الحاسوب

**رابعاً الموثوقية والمواصفات الدولية:**

تهدف سلسلة المواصفات ISO 9000 القياسية إلى تأكيد الجودة لدى منشأة ما والتحسين المستمر لخدماتها وإنتاجها. مما يؤدي بالتالي إلى زيادة رضا عملائها ومبيعاتها وأرباحها. فالمنطق الحديث الذي تتبناه الدول هو مراقبة المُنتِج مما يُغني بالنتيجة عن مراقبة المنتَج. ويستند تأكيد الجودة هذا إلى معايير موحدة تسهل الاعتراف المتبادل بين الشركات والدول.

فقد أصدرت المنظمة العالمية للتقييس عام 1987 سلسلة مواصفات Standards تعنى بنظام الجودة وأعطتها الرقم 9000 وتطبق على المؤسسات نشاطاتها كافةً: الصناعية والتجارية سواء كانت أحجامها صغيرة أم كبيرة. وتتألف سلسلة ISO 9000 من:

1. ISO 9000-1: المواصفات القياسية لإدارة وتأكيد الجودة الجزء الأول: إرشادات الاختيار والاستعمال.
2. ISO 9000-2: عناصر إدارة ونظام الإنتاج الجزء الأول: إرشادات.
3. ISO 9001: نموذج تأكيد الجودة في التصميم والتطوير و الإنتاج و التركيب والخدمة المواصفات.
4. ISO 9002: نموذج تأكيد الجودة في الإنتاج و التركيب والخدمة المواصفات.
5. ISO 9003: نموذج تأكيد الجودة في المعاينة والاختبار النهائيين المواصفات.

ويلاحظ أن المجموعتين (1 ) و(2 ) أعلاه اكتفتا بالإرشادات والإيضاحات. وتبين القائمة[46] عناصر الجودة التي ذكرت ضرورة تطبيق صيانة نمطية مما يختلف مواصفاتها. كما أن سلسلة ISO 9000 9001 9002 يرتب على المنتجين الالتزام بها وتوضيحها، الأمر الذي يضفي مزيداً من الموثوقية على الأجهزة والآلات بتأمين خدمات الصيانة داخل خطوط الإنتاج وضمان هذه الصيانة لما بعد الإنتاج وإلزام المنتجين بذلك.

[46] ندوة الجات دمشق 19941، مؤسسة المقاييس والمواصفات، أنطوان جرجس سمعان.

| عناصر نظام الجودة إيسو 1 9000 :1994 | | تنطبق على المواصفات القياسية | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 9001 | 9002 | 9003 |
| 4.1 | مسؤولية الإدارة | x | x | x |
| 4.2 | نظام الجودة | x | x | x |
| 4.3 | مراجعة العقد | x | x | x |
| 4.4 | ضبط التصميم | x | | |
| 4.5 | ضبط المستندات والمعلومات | x | x | x |
| 4.6 | الشراء | x | x | |
| 4.7 | ضبط المنتج المورد من العميل | x | x | x |
| 4.8 | تعريف المنتج وتتبعه | x | x | x |
| 4.9 | ضبط سلسلة العمليات الإنتاجية (process control ) | x | x | |
| 4.10 | ضبط المعاينة والاختبار | x | x | x |
| 4.11 | ضبط معدات المعاينة والقياس والاختبار | x | x | x |
| 4.12 | حالة المعاينة والاختبار | x | x | x |
| 4.13 | ضبط المنتج غير المطابق | x | x | x |
| 4.14 | الإجراءات التصحيحية والوقائية | x | x | x |
| 4.15 | المناولة والتخزين والتغليف والتسليم | x | x | x |
| 4.16 | ضبط سجلات الجودة | x | x | x |
| 4.17 | تدقيق الجودة الداخلية | x | x | x |
| 4.18 | التدريب | x | x | x |
| 4.19 | **الصيانة** | x | x | |
| 4.20 | الأساليب الإحصائية | x | x | x |

الجدول (3 1)

**خامساً حالة عملية[47]: حفظ تجهيزات أبراج التهوية من التلوث:**

تستخدم أبراج التهوية لخلط الغبار في معامل الإسمنت مثل الأفران والمطاحن والبرادات أي مبردات الكلينكر. ويساعد التشغيل الطبيعي في توليد انبعاث بطيء للغبار من أجل التهوية. ويترتب على الصيانة مهمة حفظ برج التهوية بحالة تشغيل جيدة وتعزى زيادة انبعاث الغبار إلى سبب تشغيلي (مشكلة إلكترونية أو ميكانيكية) أو لسبب آخر.

تعتمد آلية العمل في أبراج التهوية على فصل الذرات عن الغازات وذلك يتم على ثلاث مراحل:

1 الشحن الكهربائي لفصل الذرات.

2 تجميع الذرات المشحونة في حقول كهربائية.

3 إزالة الغبار المترسب عن الأقطاب التجميعية.

[47] Niles M.Jenson ( Maintenance of Pollution Control Component Electrostatic Precipitators Conditioning Towers ) , F.L. Smith.

وتتأثر سرعة فصل الذرات بعدة عوامل أهمها: تصميم المرسب، أبعاد المرسب، ونموذج (الفرن المطحنة المبرد)، وطريقة الحرق، ومحتوى الغبار، وبنية الغبار، ومقاومة الغبار، وتوزع الحجم الذري، وسرعة ترسيب الغاز، وحرارة الغاز، ورطوبة المحتوى من الغاز. وتعتمد مقاومة الغبار على الحرارة والرطوبة في الغاز وعند درجات الحرارة العالية فإن المقاومة تعتمد على درجة رطوبة ضئيلة في الغاز وبالعكس تزداد الرطوبة عند انخفاض درجات الحرارة مما يخفض المقاومة، وعند ازدياد الرطوبة يصبح للغبار مقاومة عالية، هذه المقاومة العالية تقرر مميزات التيار الجاري وبالتالي ظروف الترسيب.

ويهدف برنامج الصيانة الوقائية للمرسب إلى تحقيق:

1 **موثوقية في المدى القصير**: حيث لا توقفات ميكانيكية أو إلكترونية غير مجدولة ستؤدي لخفض في المخرجات الرئيسية للمرسب. مثال ذلك الزيادة المفاجئة لانبعاث الغبار, مما ينجم عنه أعطال في الأقطاب المجمعة وبالتالي خلل في مجمع الغبار في الملقم القمعي للطاحون.

أ 1 الأقطاب غير المشحونة: إن عدم شحن قطب التجميع في المرسب سيسبب تآكل الشرارة وبالتالي لتقوس شديد في شكل القطب. مما يستدعي استبدال القطب غير الشاحن.

أ 2 العوازل الداعمة: إن تراكم الغبار على السطح الداخلي يؤدي لضعف كهربائي مما يسبب حرارة عالية للعازل وبالتالي يؤدي لانهيار أو كسر في العازل. لذلك يجب حفظ حرارة العازل بما يتجاوز نقطة طراوة الغاز خاصة خلال عملية الإقلاع.

أ 3 دقة نظام: إن أي عطل سيؤدي لبناء وتراكم غبار كثيف على الصفائح المجمعة أو على الأقطاب غير المشحونة. فمن الممكن تصادم المطارق الهاوية, أو حدوث تصادم كهربائي مغناطيسي هوائي. ومن الضروري فحص الأعطال في كل القطع المتحركة ونقاط التصادم.

أ 4 أسفل القمع: يؤدي الغبار المتراكم في القمع إلى قصر في دارات نظام شحن الأراضي وتساعد الهزازات في منع الجسور، ويزيد العزل الضعيف لجدران أسفل القمع من الخطورة ويعتبر الهواء البارد عامل مساعد في زيادة قابلية الكسر لذلك فإن عناصر التسخين ضرورية. وتوقف أنظمة الغبار ستشكل جسراً يصعب كسره فيما بعد. وهذه المشكلة تعرف بالمقاومة العالية للغبار.

أ 5 التجهيزات الكهربائية: يجب تنظيف أجهزة التحكم وهذا أمر ضروري كما تجب حماية الكابلات من الصدمات الميكانيكية.

2 **الموثوقية في المدى الطويل**: يجب مكافحة كل أنواع الفساد التدريجي كي لا تنخفض فعالية المجمّع. وذلك بفحص:

- نظام الأقطاب الكهربائية: يجب المحافظة على وجود فراغ بين الأقطاب الشاحنة من المجال $3-5mm \mp$ معتمدة على عرض الغاز المار. وتتحرك صفائح التجميع إذا تعرضت للحرارة الزائدة أو الانفجارات.
- توزع الغاز: يترسب الغبار بشكل تدريجي مشكلاً حاجزاً لتوزع الغاز أو مرشداً لاتجاه الريح في المجرى, لذلك من الضروري توليد سرعة نظامية للغاز لكامل المقطع العرضي للعازل لتجنب الالتواءات الداخلية للتوزع الحالي للمرسب.

- دقة الكثافة: إن انخفاض سرعة الكثافة يؤدي إلى اتجاه الغبار للتشكل على صفائح التجميع وأقطاب الشحن مما يخفض من الفعالية ويقلل من العمر الإنتاجي لدقة النظام.
- أنظمة الرقابة: تسمى أنظمة الرقابة الآلية بالذكاء في المرسب، وتتضمن:
  - فعالية الشرارة.
  - حدود التيار.
  - سرعة استرداد الفولطاج حيث يجب إطفاء الشعلة بسرعة لحماية أقطاب الشحن.

3 **الحياة الإنتاجية الطويلة**: إن المؤثرات على العمر الإنتاجي للأجزاء المختلفة من المرسب والتي ليس لها تأثير حالي وفوري على آلية عمل المرسب (كالعوامل المذكورة في أ,ب سابقاً) هما: الصدأ و الاهتراء. وإن الانحرافات عن الظروف الطبيعة قد تؤدي مع **الصدأ** إلى حدوث الشحن للأقطاب عندما يكون هناك تآكل في الغاز والحل في هذه الحالة هو تصنيع الأقطاب من الفولاذ العالي. كما يساعد قياس سماكة الصفائح في تحديد بدء الإصابة بالصدأ. بينما يجب تفتيش الأجزاء المتحركة والمتصادمة للبحث عن مناطق **الاهتراء**.

## سادساً مقاييس الموثوقية[48]

أولا تابع الموثوقية:

إن احتمال العطل هو تابع للزمن يمكن تعريفه كالتالي:

$$p(t \le t) = F(t) \ldots\ldots, t \ge 0 \qquad (1\ 3)$$

حيث t هي متغير عشوائي تدل على زمن العطل، أي F(t) رمز لإمكانية تعطل الآلة في الزمن t و F(t) تابع عدم الموثوقية. فإذا عرفنا الموثوقية بأنها إمكانية عمل الآلة بنجاح خلال الزمن t ، فنستطيع كتابة تابع الموثوقية على الشكل التالي:

$$R(t) = 1 - F(t) = p(t > t) \qquad (2\ 3)$$

وإذا رمزنا لتابع كثافة المتغير العشوائي للعطل بـــ: $f(t)$ فنستطيع التعبير عن تابع الموثوقية على الشكل التالي:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_{\theta}^{t} f(t).dt = \int_{t}^{\infty} f(t).dt \qquad (3\ 3)$$

فإذا كان زمن العطل موصوفاً بتابع الكثافة الأسية فإن تابع الكثافة هو:

$$f(t) = \frac{1}{\theta} e^{-t/\theta} \ldots\ldots, t \ge 0, \theta > 0 \qquad (4\ 3)$$

لذلك يمكن إعادة صياغة تابع الموثوقية على الشكل:

$$R(t) = \int_{t}^{\infty} \frac{1}{\theta} e^{-t/\theta}.dt == e^{-\frac{t}{\theta}} \ldots\ldots, t \ge 0 \qquad (5\ 3)$$

معدل العطل: إن إمكانية تعطل آلة ما في فترة زمنية محددة $t_1, t_2$ يمكن التعبير عنها بتابع عدم الموثوقية:

[48] Kapur & Lawberson, (Reliability in Engineering Design), John Wiley & Sons, New York. 1977, Pages (8-48).

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t).dt = \int_{\infty}^{t_2} f(t)dt - \int_{-\infty}^{t_1} f(t)dt = F(t_2) - F(t_1)$$

أو يمكن التعبير عنه بتابع الموثوقية:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t).dt = \int_{t_1}^{\infty} f(t).dt - \int_{t2}^{\infty} f(t).dt = R(t_1) - R(t_2)$$

ويسمى المعدل الذي تحصل عنده أعطال في فترة زمنية محدودة $t_1, t_2$ بمعدل الأعطال خلال الفترة. وسنرمز ب $t_1$ لعدم حصول العطل في بداية الفترة وبالتالي ستكون معادلة الأعطال على الشكل:

$$\frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_2 - t_1).R(t_1)} \qquad (6\ 3)$$

ويلاحظ تبعية معدل الأعطال للزمن. فإذا رمزنا للفترة $t_2$ بـــ: $t + \Delta t$ فتكون المعادلة (6 3) على الشكل:

$$\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t.R(t)} \qquad (7\ 3)$$

والمقصود بالمعدل هو عدد الأعطال في كل وحدة زمنية.

ثانيا تابع Hazard: يعرف تابع Hazard بأنه حدود معدل الأعطال لفترة تقترب من الصفر أي أنه تابع العطل الآني. وبالتالي يمكن كتابة معادلته على الشكل:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \to o} \frac{Rt - R(t + \Delta t)}{\Delta t.Rt} = \frac{1}{R(t)}\left[-\frac{dR(t)}{dt}\right]$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad (8\ 3)$$

ولمعرفة إمكانية تعطل آلة عمرها t في فترة زمنية $[t, t + \Delta t]$ فنكتب:

$$fpos = h(t).dt \qquad (9\ 3)$$

وتبدو أهمية Hazard بأنه يشير إلى التغير في معدل العطل خلال عمر الآلة. والـ Hazard لعينة من الآلات N (أو لآلة مكونة من N عنصر) سنفترض Ns(t) هو متغير عشوائي يدل على عدد الآلات العاملة بنجاح عند الزمن t وبالتالي فإن ل $N_S(t)$ توزيع ثنائي الحد:

$$p[N_S(t) = n] = \frac{N!}{N!(N-n)!}.[R(t)]^n.[1 - R(t)]^{N-n}, n = o.1..., N$$

وتكون القيمة المتوقعة Ns(t) هي: $E[N_S(t)] = N.R(t) = N(t)$

$$R(t) = \frac{E[Ns(t)] = \overline{N}(t)}{N} \frac{}{N} \qquad (10\ 3) \text{ أو}$$

وتكون الموثوقية عند الزمن t هي الوسط الحسابي لمعدل النجاح للآلات عند الزمن t وبالتالي:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \frac{\overline{N}(t)}{N} = \frac{N - \overline{N}(t)}{N} \qquad (11\ 3)$$

ويكون معدل كثافة العطل يساوي: $f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{1}{N}.\frac{d\overline{N}(t)}{dt}$

$$= \lim_{\Delta t \to o} \frac{\overline{N}(t) - \overline{N}(t + \Delta t)}{N.\Delta t} \qquad (12\ 3)$$

أما معدل الأعطال فينتج باستبدال N بـــ $\overline{N}(t)$

$$h(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overline{N}(t)-\overline{N}(t+\Delta t)}{\overline{N}(t).\Delta t}$$

$$=\frac{N}{\overline{N}(t)}f(t) \qquad (13\ 3)$$

$$h(t)=\frac{f(t)}{R(t)} \qquad (14\ 3)\ \text{أو}$$

ويمكن ربط تابعي الموثوقية و Hazard من المعادلة (13 3):

$$h(t)=-\frac{d\overline{N}(t)}{dt}.\frac{1}{\overline{N}(t)}=-\frac{d\left[Ln\overline{N}(t)\right.}{dt}$$

أو $Ln\overline{N}(t)=-\int_{o}^{1}h(t).dt+c$ حيث c هي ثابت التكامل، وهكذا فإن: $\overline{N}(t)=e^{c}.Exp\left[-\int_{0}^{1}h(t).dt\right]$

وبما أن $\overline{N}(0)$ يساوي $N$ ويساوي $e^{c}$ فينتج بالإحلال: $\overline{N}(t)=N.\exp\left[\int_{0}^{1}h(t).dt\right]$

أو أن تابع الموثوقية سيرتبط بتابع Hazard بالمعادلة التالية:

$$R(t)=\frac{\overline{N}(t)}{N}=\exp\left[-\int_{0}^{1}h(t).dt\right] \qquad (15\ 3)$$

ونحصل من المعادلتين 14,15 على تابع كثافة العطل:

$$f(t)=h(t).\exp\left[-\int_{0}^{1}h(t).dt\right] \qquad (16\ 3)$$

أي أن تابع كثافة العطل $f(t)$ وتابع الموثوقية $R(t)$ وتابع Hazard $h(t)$ مرتبط بعضها ببعض وكل منها يؤثر بالاثنين الآخرين. إن تطور Hazard يشكل مدخلاً من وجهة نظر الاحتمالات الشرطية: فمثلاً نرغب بإنقاذ آلة ضمن الفترة $[0,t]$ أي صيانتها الوقائية قبل الوصول إلى إصلاحها فما هي الإمكانيات التي ستتعطل فيها الآلة ضمن الفترة الزمنية $t,t_1$؟ لذلك نحن أمام احتمالات شرطية:

$$p\left[t<t\le t|t<t\right]=\frac{p\left[(t<t\le t_1)\cap(t<t)\right]}{p(t>t)}$$

وبالتحقق $(t<t\le t_1)\cap(t>t)=t<t\le t_1$ فإن:

$$P\left[t<t\le t_1|t>t\right]=\frac{p(t<t\le t_1)}{p(t>t)}=\frac{F(t_1)-F(t)}{1-F(t)}=\frac{F(t_1)-F(t)}{R(t)} \qquad (17\ 3)$$

وباستبدال $t_1$ بـــ: $t+\Delta t$ في المعادلة (17) مقسمين كلا الطرفين على $\Delta t$ وبأخذ الحد $\Delta t\to 0\overline{S}$ سنحصل على:

$$\lim_{\Delta\to 0}\frac{p\left[t>t\le t+\Delta t|t>t\right]}{\Delta t}=\frac{1}{R(t)}\lim_{\Delta\to 0}\frac{f(t+\Delta t)-f(t)}{\Delta t}=\frac{1}{R(t)}-\frac{df(t)}{dt}=\frac{f(t)}{R(t)}$$

وسوف نستنتج أن $h(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{p\left[t<t\le t+\Delta t|t>t\right]}{\Delta t}$

وبالتالي Hazard هو معدل تغير الاحتمالات الشرطية للعطل والذي يعطي أن الآلة تمت حمايتها حتى الزمن t .

ومن الجدير ملاحظة أن f(t) هو زمن معدل التغير لإمكانية العطل الطبيعي.

ثالثا الموثوقية وتابع Hazard من أجل توابع التوزيع: لكل تابع موثوقية تابع Hazard والعكس صحيح أي أن العلاقة بين التابعين أحادية. ولتبسيط الموضوع سوف نتناول تابعي كثافة الأعطال الأسي والطبيعي وذلك لأهميتهما.

التوزيع الأسي:

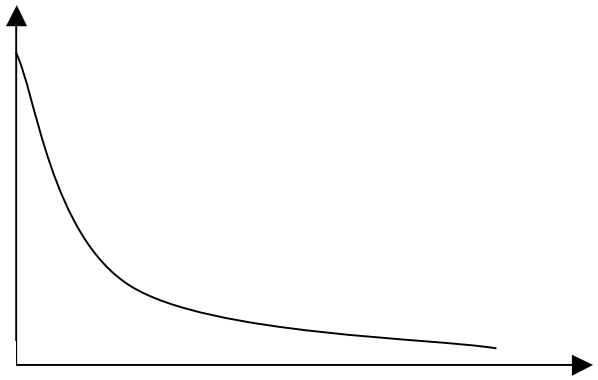
يستخدم التوزيع الأسي بكثرة في الموثوقية الزمن أجل ذلك استخدمنا المعادلات التالية والمشتقة من المعادلتين: (4،5)

$$f(t) = \frac{1}{\theta} e^{-t/\theta}, t \geq 0$$ (3 6) يوضح تابع كثافة العطل الأسي

$$R(t) = e^{-t/\theta}, t \geq 0$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{\theta}$$

ويبدو شكل التابع الأسي في الشكل (3 6):



التوزيع الطبيعي:

يأخذ منحنى التوزيع الطبيعي شكل الجرس المعروف ويتمحور هذا التوزيع حول وسطه. وفي هذه الحالة فإن التوزيع التراكمي:

$$F(t) = p[t \leq t] = \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{T-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt$$

ويمكن استخدام جداول توزيع الكثافة الطبيعية لإيجاد احتمالات أي توزيع طبيعي. إن تابع الكثافة الاحتمالي Probability Density Function PDF يعطى بالعلاقة:

$$\theta(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-Z^2/2), -\infty < z < \infty \qquad (18\ 3)$$

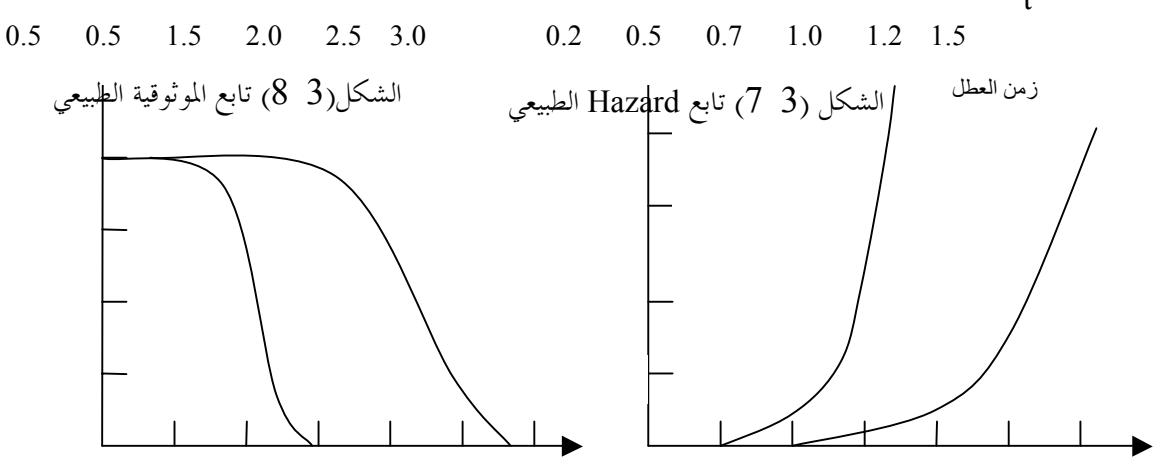
ومنه فإن تابع التوزيع التراكمي المعياري (Cumulative Distribution Function (CDF:

$$\theta(z) = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-T^2/2) dt \qquad (19\ 3)$$

ومن أجل متغير توزيع عشوائي t لوسط حسابي $\mu$ وانحراف معياري $\sigma$:

$$p(t \leq t) = p\left(z \leq \frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \theta\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (20\ 3)$$

وتحسب $\theta$ باستخدام جداول التوزيع الطبيعي الملحق (1) ومنه: $h(t)=\frac{f(t)}{1-F(t)}$ وحيث أن المخرج موجب دوماً فيكفي إثبات أن الصورة $h'(t)=\frac{(1-F)f'+f^2}{(1-F)^2}$ موجبة: $(1-F)f'+f^2\geq 0$. ويبدو تابعي الموثوقية و Hazard من أجل عدة متغيرات طبيعية في الشكلين (3 7) و(3 8) على التوالي:




الشكل (3 7) تابع Hazard الطبيعي

الشكل (3 8) تابع الموثوقية الطبيعي

حالة عملية: بلغ التوزيع الطبيعي لمرات العطل لآلة ما: الوسط الحسابي $\mu=20000$ دورة، والانحراف المعياري $\sigma=2000$ دورة. أوجد الموثوقية للآلة وتابع Hazard عند 19000 دورة.

الحل: يتعلق تابع الموثوقية للمشتق Z المعياري الطبيعي

$$R(t)=p\left(Z>\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

$$R(t)=p\left(z>\frac{19000-20000}{2000}\right)$$

$$=p(z>-0.5)$$

$$=\theta(0.5)$$

وبحساب $\theta(z)$ من الملحق I من الجداول الطبيعية: R(19000)=0.69146 وهذا ما يعبر عن الموثوقية بهذه الآلة.

وتكون قيمة تابع Hazard:

$$h(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{\theta\left(z=\frac{t-\mu}{\sigma}\right)/\sigma}{R(t)}$$

ونحسب $\theta(z)$ من العلاقة (3 19) والملحق (1):

$$h(19000)=\frac{\theta(-0.50)}{\sigma.R(t)}=\frac{0.3521}{(2000)(.69146)}=0.000251$$ عطل/ دورة

أي 2.54 عطل. أو 3937 دورة هناك احتمال تعطل الآلة مما يستوجب إجراء كشف عليها بهدف إجراء الصيانة الوقائية التقليدية (تزييت، تشحيم، استبدال..الخ).

رابعا تابع Hazard وعمر الآلة:

Hazard خلال دورة عمر الآلة كما يبدو من الشكل( 9 3)، حيث تنقسم هذه الدورة إلى ثلاث مراحل

العمر المحدود للأعطال المفاجئة العمر غير المحدود للأعطال المفاجئة أعطال الاهتراء والتلف $\rightarrow t_1-t_0, t_2-t_1, t_2$.

- تمثل الفترة $t_0-t_1$ الأعطال المبكرة بسبب عيوب تصنيعية، لكن وكما ذكرنا سابقاً فإن اختبارات الجودة والنوعية للمنتَج والمنتِج تحذف هذه العيوب إذاً خضعت المنتِج إلى ISO9000 وحسب ما هو متوقع ستنضم أغلبية دول العالم إلى GATT والتي ستسمى بمنظمة التجارة WTO ، وبذلك يتم تجنب المعدل العالي للأعطال.

$t_0$ $t_1$ $t_2$ t

الشكل (9 3) تابع Hazard خلال دورة عمر الآلة

- وتمثل الفترة $t_1, t_2$ الأعطال المفاجئة بسبب الضغط المفاجئ أو الظروف الشديدة..الخ. وضمن هذه الفترة يكون Hazard ثابتاً وهذا المجال يمثل أعطال الصدفة أو الأعطال المفاجئة ويصعب تحديد العطل خلال الزمن. فإذا كان Hazard يشكل $\lambda$ عطل في وحدة الزمن: $h(t)=\lambda$ حيث $\lambda$ ثابت، ومن المعادلة (16 3) نجد:

$$f(t)=h.\exp\left[-\int_0^t h(t).dt\right] \qquad (16\ 3)$$

$$f(t)=\lambda.e^{-\lambda t} \qquad (22\ 3)$$

$$R(t)=\frac{f(t)}{h(t)}=e^{-\lambda t} \qquad (23\ 3)$$

- الفترة من $t_2$ وما بعد تمثل أعطال الاهتراء والتلف حيث يزداد Hazard بشكل متزايد. لذلك إن أمكن ضبط وتوقع $t_2$ وجب استبدال الأصل قبل حدوث هذا التلف.وسنفترض وللتبسيط أن:

$$h(t)=ct \qquad (24\ 3)$$

حيث c هي ثابت موجب ( للمحافظة على التزايد ) وبالتالي ستقود المعادلة (16) إلى:

$$f(t)=ct-\exp\left[-\int_0^t ct.dt\right]=ct.\exp\left[-\frac{ct^2}{2}\right], t\geq 0 \qquad (25\ 3)$$

$$R(t)=\frac{f(t)}{h(t)}=\exp\left[-\frac{ct^2}{2}\right] \qquad (26\ 3)$$

خامساً تابع Hazard الحوضي الخطي

من الشكل (3 9) السابق نستطيع أن نميز ثلاث مراحل, لذلك أصبح من الضروري ذكر التعديلات على تابع Hazard للتابع الحوضي ككل:

$$h(t)=\begin{cases}c_0-c_1t+\lambda, 0\le t\le c_0/c_1\\ \lambda\ldots\ldots\ldots\ldots, c_0/c_1\le t_0\\ c(t-t_0)+\lambda, t_0\le t\end{cases} \qquad (3\ 27)$$

حيث $\lambda>0$ وبالتالي يتناقص التابع الخطي حتى $\lambda$ عند الزمن $\frac{c_0}{c_1}$ ويبقى ثابتاً حتى الزمن $t_0$ ثم يزداد خطياً

$$f(t)=\begin{cases}(c_0+\lambda-c_1t)\exp\left\{-\left[(c_0+\lambda)t-c_1(t^2/2)\right]\right\}, 0\le t\le c_0/c_1\\ \lambda.\exp\left\{-(\lambda t+c_0^2/2c_1)\right\}, c_0/c_1<t\le c_0\\ \left[c(t-t_0)+\lambda\right].\exp\left\{-\left[(c/2(t-t_0)^2+c_0^2/2c_1\right]+\lambda t\right\}, t_0<t\end{cases}$$

ويكون لتابع الوثوقية ثلاث مناطق:

$$R(t)=\begin{cases}\exp\left\{-\left[(c_0+\lambda).t-c_1(t^2/2)\right]\right\}, 0\le t\le c_0/c_1\\ \exp\left\{-\left[\lambda t+c_0^2/2.c_1\right]\right\}, c_0/c_1<t\le t_0\\ \exp\left\{-(c/2).(t-t_0)^2+\lambda.t+(c_0^2/2.c_1)\right\}, t_0<t\end{cases}$$

وسوف نطبق حالة عملية على نموذج Hazard ببيانات اختبارية بالليرات السورية.

حالة عملية

تمثل البيانات في (3 2) أعطال محور القيادة على 46 سيارة تجربة. ولوحظت هذه الأعطال بسب صدور صوت متزايد.

| عدد الأعطال | الفترة Km |
|---|---|
| 19 | $0\le m\le 20000$ |
| 11 | $20000<m\le 40000$ |
| 7 | $40000<m\le 60000$ |
| 5 | $60000<m\le 80000$ |
| 4 | $80000<m\le 100000$ |
| 0 | $100000<m$ |

الجدول (3 2)بيانات أعطال محور القيادة

اعتبرت الفترة 0-20000 كم, يحسب تابع الموثوقية حسب المعادلة (3 10) $R(t)=\frac{\overline{N}(t)}{N}$ حيث $\overline{N}(t)$ هي عدد الوحدات التي تمت صيانتها عند الزمن N,t هي المجموع الإجمالي للفحوصات.

$$R(20000)=27/46=0.587$$

ويحسب معدل Hazard بتطبيق العلاقة (3 13): $h(t)=\frac{\overline{N}(t)-\overline{N}(t+\Delta t)}{\overline{N}(t)\Delta t}$ حيث $\Delta t$ هي درجة أو رتبة الفترة. فمن أجل المجموعة الأولى من الجدول (): $h(t)=\frac{46-27}{46(20000)}=0.207*10^{-4}$

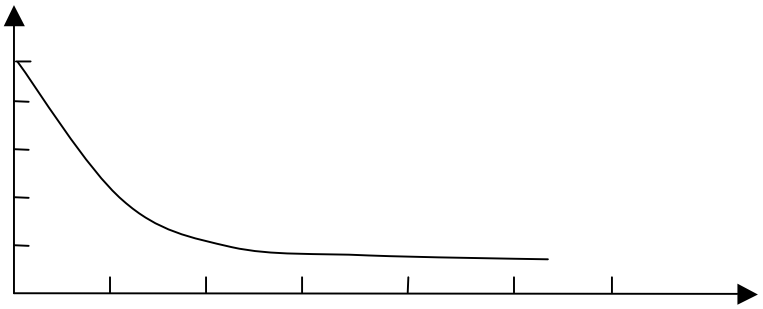
ويكون تابع كثافة العطل حسب المعادلة (3 12) للفترة الثانية: $f(40000) = \frac{27-16}{46(20000)} = 0.120 * 10^{-4}$ عطل/فحص

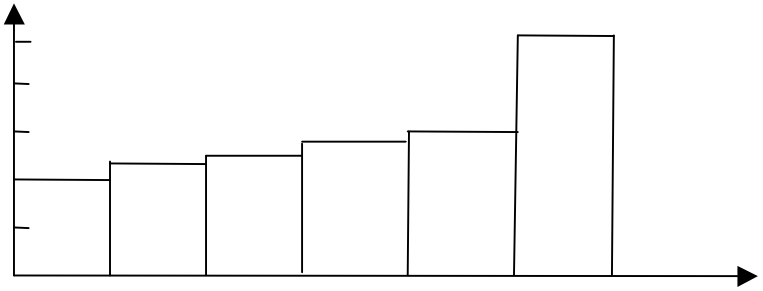
وتتلخص النتائج في الجدول (3 3) التالي:

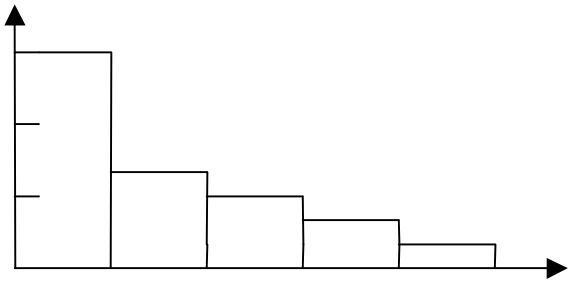
| العمر | $N(t)$ | F(t) | R(t) | $f(t)*10^4$ | $h(t)*10^4$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20000 | 19 | 0.413 | 0.587 | 0.207 | 0.207 |
| 40000 | 30 | 0.652 | 0.348 | 0.120 | 0.204 |
| 60000 | 37 | 0.804 | 0.196 | 0.076 | 0.219 |
| 80000 | 42 | 0.913 | 0.087 | 0.055 | 0.278 |
| 100000 | 46 | 1.000 | 0 | 0.044 | 0.500 |

الجدول(3 3) مقاييس الموثوقية لبيانات أعطال محور القيادة

ثم رسمت البيانات في الأشكال (3 10)،(3 11)،(3 12)







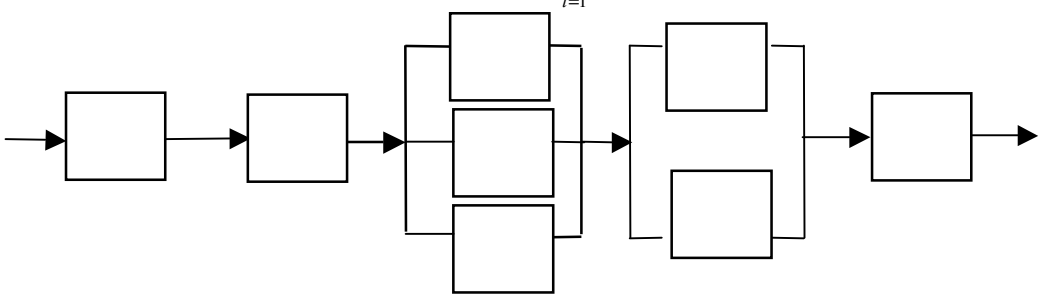
# قياس الموثوقية في الأنظمة التقنية

الموثوقية هي احتمال أن يستمر جهاز في أداء عمله بصورة جيدة لفترة معينة من التشغيل ضمن شروط استخدام محددة. وإن مسألة ضمان الموثوقية والمحافظة عليها لها جوانب مهمة عديدة، إذ تشمل: التصميم الأساسي للجهاز و مراقبة الجودة أثناء الإنتاج و الاختبارات الميدانية و تعديلات التصميم، الخ. وبما أن الموثوقية هي احتمال، فإن المعالجة النظرية لها تعتمد على قواعد علم الاحتمالات.

إن معظم الأنظمة التقنية هي أنظمة تتألف من عناصر تعمل على التسلسل أو التوازي أو في آن واحد على التسلسل وعلى التوازي. فالأنظمة على التسلسل تكون جميع عناصرها مترابطة بحيث يتوقف النظام عن العمل فقط إذا تعطلت أحد عناصره.

لندرس وضع نظام يتألف من "n عنصر"، وعناصره مترابطة بأسلوب تسلسلي، ولنفرض أن هذه العناصر مستقل بعضها عن بعض .بمعنى أن أداء أي واحد منها لا يؤثر على موثوقية الأجزاء الأخرى. وضمن هذه الشروط، فإننا نحسب احتمال أن يستمر النظام في العمل بتطبيق قاعدة ضرب الاحتمالات: $Rs = \prod_{i=1}^{n} Ri$ حيث Ri هي موثوقية العنصر Ri وRs موثوقية النظام التسلسلي. فإذا كان لدينا نظام تسلسلي يتألف من خمسة عناصر مستقلة ولها موثوقية واحدة تساوي 0.970 فإن موثوقية النظام تعطى $(0.970)^5 = 0.859$. وإذا تعقد النظام وأصبح يتألف من عشرة عناصر لها الموثوقية المذكورة نفسها، فإن ذلك سيؤدي حتماً إلى انخفاض موثوقية النظام إلى $(0.970)^{10} = 0.738$. ولكي نحافظ على الموثوقية السابقة للنظام نفسها مع ملاحظة التعقيد الذي طرأ عليه، فإننا يجب أن نزيد موثوقية العناصر إلى: $(0.859)^{1/10} = 0.985$ بدلاً من 0.970.

ويمكن أن نزيد موثوقية النظام بإبدال عناصر معينة بعناصر عديدة مشابهة مرتبطة على التوازي. فإذا كان النظام يتألف من n عنصر مستقل مرتبطة على التوازي، فإن هذا النظام يتوقف عن العمل إذا تعطلت جميع العناصر في آن واحد. وهكذا إذا رمزنا $Fi - 1 - Ri$ إلى عدم الموثوقية في العنصر $i$ فيمكننا أن نطبق قاعدة ضرب الاحتمالات لنحصل على $Fp = \prod_{i=1}^{n} Fi$ حيث $Fp$ هي عدم الموثوقية في النظام المتوازي $Rp = 1 - Fp$ حيث $Rp$ هي الموثوقية في النظام المتوازي. وبسهولة يمكن أن نحصل على $Rp = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i)$. لنتصور نظام يتألف من ثمانية عناصر كالآتي:



إن العناصر المتوازية C ,D , E يمكن أن تستبدل بعنصر موثوقيته 0.973= $1-(1-7)^3$ وكذلك الحال بالنسبة للعنصرين المتوازيين يمكن أن يحل محلهما عنصر موثوقيته $1-(1-0.75)^2 = 0.9375$ وبالنتيجة فإن الموثوقية في النظام تكون: $(0.95)\ (0.99)\ (0.973)\ (0.9375)\ (0.90) = 0.772$[49]

**2 1 توزيعات زمن العطل:**

إن الموثوقية في نظام أو في عنصر تعتمد غالباً على طول فترة وضعه في الخدمة.ولهذا، فإن اهتماماً أساسياً في دراسات الموثوقية يعطى إلى توزيع زمن العطل، أي توزيع الزمن لحدوث عطل في عنصر ضمن شروط بيئية معينة. ويمكن أن نصف هذا التوزيع باستخدام معدل العطل الآني.

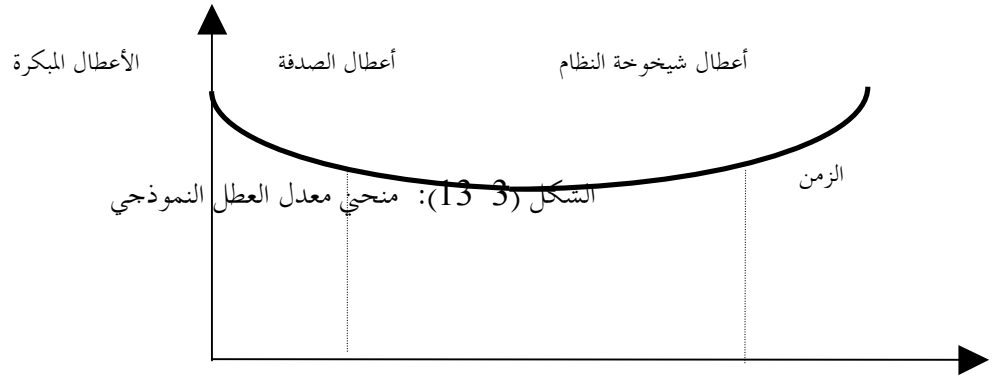
لنفرض أن f(t) ترمز إلى كثافة احتمال الزمن لحدوث عطل في عنصر معين، وهذا يعني أن احتمال حدوث عطل للعنصر خلال الفترة $(t, t+\Delta t)$ يعطى بـــ: $f(t).\Delta t$ . وعليه، فإن احتمال تعطل الجهاز خلال الفترة ( 0 , t ) تعطى بـــ[50]: $F(t) = \int_0^T f(x)dx$ وإن تابع الموثوقية معبراً عنه باحتمال عدم تعطل الجهاز لغاية الزمن t يعطى بالعلاقة: R(t) = 1-F(t).

وبناء على ما سبق، فإن احتمال أن يتعطل العنصر خلال الفترة $(t, t+\Delta t)$ يساوي $F(t) - F(t+\Delta t)$ ، وإن الاحتمال الشرطي للعطل في الفترة المذكورة مع العلم بأن العنصر لن يتعطل لغاية الزمن t يعبر عنه بالآتي: $\frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{R(t)}$ وبالقسمة على $\Delta t$ نحصل على المعدل الوسطي للعطل في الفترة $(t, t+\Delta t)$ مع العلم بأن العنصر لن يتعطل حتى الزمن t: $\frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{\Delta t}.\frac{1}{R(t)}$ وعندما $\Delta t \to 0$، فإن معدل العطل الآني (أو اختصاراً معدل العطل) يصبح: $Z(t) = \frac{F'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{F(t)}{1-F(t)}$ وهذه العلاقة تعبر عن معدل العطل بدلالة توزيع زمن العطل، وتعرف أيضاً تحت اسم تابع الصدفة Hazard Function.

إن منحنى معدل العطل لقسم كبير من الأنظمة التقنية يكون موضحاً على الشكل (3 13) ويلاحظ أن هذا المنحنى يأخذ شكل حوض وُيقسم إلى ثلاثة أجزاء: الأول يصف معدل عطل متناقص والثاني يشير إلى ثبات معدل العطل، وأما الجزء الثالث فيدل دلالة واضحة على تزايد معدل العطل. ويلاحظ أن المنحنى المذكور يشبه منحنى الوفيات في بلد ما، حيث يمثل القسم الأول القسم الأول وفيات الأطفال، والثاني وفيات سن الشباب، والأخير وفيات سن الشيخوخة.

[49] يساعد هذا الرقم في تحديد كمية وحجم الجولات التفتيشية

[50] K.C. Kapur, L.R. Lamberson - (Reliability In Engineering Design) - 1977 - PP.20.




الشكل (3-13): منحني معدل العطل النموذجي

لنشتق الآن علاقة مهمة تعبر عن توزيع زمن العطل بدلالة تابع معدل العطل. بما أن: R(t)=1-F(t) فإن F'(t)=R'(t)، وبالتالي يمكن أن نكتب: $Z(t)=\frac{R'(t)}{R(t)}=\frac{d[\ln R(t)]}{dt}$ وبحل هذه المعادلة التفاضلية من أجل R(t)، نحصل على: $R(t)=e^{-\int_0^t z(x)dx}$ وباستخدام العلاقة f(t)=Z(t).R(t)، تكون لدينا النتيجة المهمة التالية: $f(t)=Z(t).e^{-\int_0^t Z(X)dx}$ وعندما يكون معدل العطل ثابتاً خلال الزمن: $Z(t)=\alpha$، فإن العلاقة السابقة تأخذ الصيغة التالية: $f(t)=\alpha e^{-\alpha t}$ حيث $\alpha., t>0$.

وهكذا نكون قد حصلنا على توزيع زمن عطل أسي عندما نفرض أن معدل العطل يكون ثابتاً خلال الزمن ولهذا السبب فإن افتراض معدل العطل الثابت يُطلق عليه في كثير من الحالات الافتراض الأسي. وإذا اعتبرنا زمن حدوث العطل كزمن الانتظار في صفوف الانتظار، فيمكن أن نستنتج أن حدوث الأعطال يتبع سياقات بواسون إذا تم استبدال العنصر المتوقف عن العمل بعنصر جديد له معدل العطل الثابت $\alpha$ نفسه. وفي هذه الحالة، فإن الثابت $\frac{1}{\alpha}$ يمثل الزمن الوسطي بين العطل Mean Time Between Failure (MTBF).

ولمعالجة الموقف عندما يكون معدل العطل متزايداً أو متناقصاً، فيمكن أن نقرّب ذلك باستخدام التابع التالي لمعدل العطل: $Z(t)=\alpha\beta t^{\beta-1}$ حيث $\alpha,\beta$ هما ثابتان موجبان. فإذا كان $\beta<1$ فإن معدل العطل يتناقص مع الزمن، وإذا كان $\beta>1$ فإن معدل العطل يتزايد مع الزمن، وأخيراً إذا كان $\beta=1$ فإن معدل العطل يساوي $\alpha$. وفي هذه الحالة، فإننا نحصل على: $f(t)=\alpha\beta t^{\beta-1}e^{-\alpha t^{\beta}}, t>0$ وهذه الكثافة، أو التوزيع هو توزيع ويبل Weibull.

### 2 2 النموذج الأسي في الموثوقية:

إذا أخذنا بالافتراض الأسي حول توزيع أزمنة العطل، فإن نتائج مفيدة عديدة يمكن الحصول عليها بخصوص الـــ MTBF والزمن الوسطي بين العطل للنظم المتسلسلة والمتوازية. لنكتب أولاً العلاقة التي تعبر عن موثوقية عنصر بدلالة زمن خدمته t: $R(t)=1-F(t)=1-\int_0^t f(x)dx$ ومنه نحصل على نموذج أسي لتابع

الموثوقية: $R(t)=1-\int_0^t \alpha e^{-\alpha x}dx=e^{-\alpha t}$ وهكذا إذا كان معدل العطل لعنصر خلال ألف ساعة يساوي 0.05، فإن احتمال أن يعمل هذا العنصر دون توقف 10000 ساعة على الأقل يساوي $e^{-(0.05)10}=0.607$.

لنفرض أن نظاماً يتألف من n عنصر على التسلسل، وأن معدلات العطل لهذه العناصر هي $\alpha 1$، $\alpha 2$، ..... $\alpha n$ على التوالي. فإن قانون جداء الموثوقيات يمكن أن يكتب:

$Rs(t)=\prod_{i=1}^{n} e^{-\alpha_i^t}=e^{-t\sum_{i=1}^{n}\alpha i}$ وعليه تابع الموثوقية للنظام ذي العناصر المتسلسلة يحقق أيضاً الافتراض الأسي. وإن معدل العطل للنظام بكامله يساوي $\sum_{\text{Œ}=1}^{n} di$ ، أي مجموع معدلات العطل لعناصره، وبما أن MTBF (الزمن الوسطي بين العطل) هو البديل لمعدل العطل في حالة الإبدال الفوري لكل عنصر يتعطل بعنصر له معدل العطل نفسه، فإننا نحصل على القانون: $\mu s=\frac{1}{\frac{1}{\mu 1}+\frac{1}{\mu 2}+.....+\frac{1}{\mu n}}$ الذي يقيس الزمن الوسطي بين العطل للنظام بكامله بدلالة الزمن الوسطي بين العطل لعناصر النظام.

وإذا كان معدل العطل يأخذ قيمة واحدة بالنسبة لجميع العناصر، ففي هذه الحالة الخاصة، نجد أن معدل العطل للنظام يساوي $n.\alpha$ والزمن الوسطي بين العطل للنظام يساوي $1/\text{n}.\alpha=\mu/n$.

وعندما يتألف النظام من وحدات تعمل على التوازي فإن جميع الأمور تصبح أكثر تعقيداً. لنتصور نظاماً يشمل n وحدة عاملة على التوازي ولها معدلات عطل $\alpha 1$، $\alpha 2$، ..... $\alpha n$ فإن عدم الموثوقية بالنظام حتى الزمن t تعطى بـ $Fp(t)=\prod_{i=1}^{n}(1-e^{-\alpha.t})$.

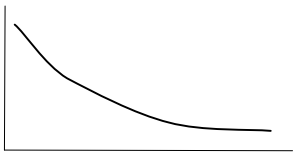
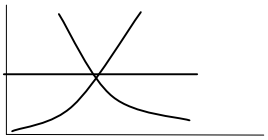
وعليه فإن توزيع النظام المتوازي ليس أسياً حتى ولو كانت جميع عناصره تحقق افتراض الأسية. إن تابع معدل عطل النظام يمكن أن نحصل عليه باستخدام العلاقة $Zp(t)=F'p(t)/Rp(t)$ وهي علاقة معقدة جداً. وعلى أية حال، فإن هذا الوضع يمثل حالة عدم ثبات معدل عطل النظام، واعتماده أيضاً على t، أي على عمر النظام.

إن الزمن الوسطي لتعطل نظام متواز يصعب أيضاً حسابه. ولكن عندما يكون لجميع عناصر النظام معدل واحد للعطل، فإن نتائج مهمة ومفيدة يمكن أن نحصل عليها. ففي هذه الحالة الخاصة، يأخذ تابع موثوقية النظام الصيغة: $Rp=1-\left(1-e^{-\alpha.t}\right)^n$ إذا اعتبرنا على سبيل المثال نظاماً موازياً حيث n=3، فيكون $Rp=1-\left(1-e^{-\alpha.t}\right)^3$ وإذا كان الزمن الوسطي بين العطل MTBF لكل عنصر هو (سنة $1/\alpha=5$)، فإن MTBF بالنسبة للنظام ككل يكون:

$$\mu_p=\int_0^{\infty}[1-(1-e^{-t/5})^3\,dt=\int_0^{\infty}(3e^{-\frac{t}{5}}-3e^{-\frac{2t}{5}}+e^{-\frac{3t}{5}})dt=\frac{55}{6}$$

وبصورة عامة يمكن أن نبرهن على أنه في حالة وجود n عنصر مستقل على التوازي، وأن لكل عنصر معدل عطل ثابتاً يساوي $\alpha$، فإن MTBF للنظام يعطى بالعلاقة: $\mu = \frac{1}{\alpha}(1+\frac{1}{2}+....+\frac{1}{n})$. ويلاحظ هنا عندما تكون " n كبيرة "، فإن إضافة عناصر على التوازي زيادة عن الحاجة يؤدي إلى منافع متناقصة[51].

ويبين الجدول التالي مقارنة بين استخدامات كل من النموذج الأسي ونموذج ويبل:

| النموذج الأسي | نموذج ويبل |
|---|---|
| 1 إن الافتراض الأسي يناسب الأنظمة ذات العناصر المتسلسلة والمتوازية معاً. وذلك بجداء موثوقيات أجهزة النظام.<br>2 بساطته<br>3 معدل العطل ثابت خلال فترة فحص ومراقبة عنصر معين.<br>4 هو حالة خاصة من تابع ويبل Weibull<br>5 إذا زاد أو نقص التابع الحوضي بشدة فهذا سلوك أسي<br>6  | 1 أكثر ملاءمة لوصف أزمنة العطل للعناصر عندما يكون معدل عطلها متزايداً أو متناقصاً مع الزمن.<br>2  |

| | | |
|---|---|---|
| $f(t)=\alpha.e^{-\alpha t}$ | تابع توزيع الموثوقية | $f(t)=\alpha.B.t^{B-1}.e^{-\alpha t^B}$ |
| $R(t)=e^{-\alpha t}$ | تابع الموثوقية | $R(t)=e^{-\alpha.t^B}$ |
| $\mu s=\frac{1}{\frac{1}{\mu 1}+\frac{1}{\mu 2}+.....+\frac{1}{\mu n}}$<br>$\mu_p=\frac{1}{\alpha}(1+\frac{1}{2}+....+\frac{1}{n})$ | معدل العطل (تابع الصدفة) | $Z(t)=\alpha.B.t^{B-1}$ |
| | الزمن الوسطي للعطل MTBF | $\mu=\alpha^{-1/B}(1/B)!$ |

[51] في النظام المتوازي يكون توزيع MTBF ليس أسيا ويحسب من المعادلة: $\mu = \frac{1}{\alpha}(1+\frac{1}{2}+....+\frac{1}{n})$ وفي النظام التسلسلي يكون التوزيع أسيا ويحتسب بالمعادلة $\mu s=\frac{1}{\frac{1}{\mu 1}+\frac{1}{\mu 2}+.....+\frac{1}{\mu n}}$

# اختبار الحياة في الأنظمة التقنية

إن اختبار الحياة هو أسلوب فعال وواسع الانتشار لمعالجة مشكلات الموثوقية. ولعمل مثل هذه الاختبارات، نختار عينة عشوائية من n عنصر، ونضعها تحت الاختبار ضمن شروط بيئية محددة، ومن ثم نراقب أزمنة العطل لهذه العناصر على انفراد. إذا تم فوراً استبدال كل عنصر جديد بالعنصر المعطل، فإن اختبار الحياة يسمى اختبار الاستبدال. وفي حالة عدم تحقق الشرط، فإن اختبار الحياة يسمى اختبار عدم الاستبدال. وعندما يكون وسطي زمن الحياة كبيراً جداً بحيث يصبح غير عملي وغير ملائم اقتصادياً اختبار عطل كل عنصر، فإن اختبار الحياة يمكن اختصاره، أي يمكن إنهاؤه بعد حدوث r عطل (r<=n)، أو بعد مضي فترة زمنية محددة.

وإذا كان الوضع يقتضي الحصول على نتائج سريعة أو يتعلق بعناصر ذات موثوقية عالية جداً، فإن طريقة خاصة يمكن استخدامها يطلق عليها اختبارات الحياة المتسارعة. وهذه الطريقة تعني وضع العناصر تحت الاختبار ضمن شروط بيئية قاسية جداً بالقياس إلى الشروط الطبيعية التي نواجهها في الحياة العملية. وبالطبع، فإن هذه الطريقة تؤدي إلى تحقيق ثلاثة أمور أساسية: حدوث العطل في العناصر بسرعة أكبر، اختصار الزمن المطلوب لإجراء الاختبار، واختصار عدد العناصر التي يجب أن توضع تحت الاختبار. واختبار الحياة المتسارع يمكن أن يستخدم لمقارنة نوعين أو أكثر من العناصر بهدف تحديد العنصر الأكثر موثوقية.

| الاختيار | معادلة الاختيار | الظروف البيئية المطبقة | درجة الموثوقية | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|
| الاستبدال | $Tr = \sum_{i=1}^{r} t_i + (n-r)t_r$ | طبيعية | عادية | تبديل فوري لكل عنصر بعنصر جديد على انفراد |
| عدم الاستبدال | $Tr = n.t_r$ | طبيعية | عادية | تبديل عنصر أو عدة عناصر |
| الحياة المتسارعة | - | قاسية جدا | عالية جدا | حدوث العطل بسرعة<br>اختصار الزمن<br>اختصار عدد العناصر |

### 3 1 استخدام النموذج الأسي في اختبار الحياة:

لنفرض أن توزيع زمن العطل لكل عنصر يتبع النموذج الأسي $f(t) = \alpha.e^{-\alpha t} \quad t > 0, \alpha > 0$ ولنفرض أن اختبار الحياة لـــ n عنصر تم اختصاره بعد توقف عدد محدد r (r<=n) من العناصر عن العمل، وأن أزمنة التعطل الملاحظة هي $t_1 \le t_2 \le \ldots \le t_r$. بالطبع سنهتم هنا بتقدير واختبار الفرضيات حول الحياة الوسطية للعنصر $\mu = \frac{1}{\alpha}$.

ويمكن أن نبرهن على أن المقدرات غير المتحيزة للحياة الوسطية للعنصر تساوي $\overline{\mu} = \frac{T_r}{r}$ حيث $T_r$ هي الحياة المتراكمة حول الاختبار لغاية حدوث العطل ذي الترتيب r. ولهذا السبب يمكن أن نكتب: $T_r = \sum_{i=1}^{r} t_i + (n-r)t_r$ بالنسبة لاختبارات عدم الاستبدال، وكذلك: $T_r = n\,t_r$ إذا كان الاختبار مع الاستبدال.

ولكي نجري استدلالات إحصائية بخصوص الحياة الوسطية $\mu$ للعنصر، يجب أن ندرك أن $2T_r/\mu$ هي قيمة لمتغير عشوائي يتبع توزيع كاي مربع[52] مع درجات حرية تساوي 2r، وسواءً أكان الاختبار مع استبدال أم بدونه. وهكذا فإن حدي مجال الثقة $(1-\alpha)100\%$ للمتوسط $\mu$ هما: $\frac{2T_r}{X_2^2} < \mu < \frac{2T_r}{X_1^2}$ حيث $X_1^2, X_2^2$ هما الذيلان الأيسر والأيمن لمساحة $\frac{\alpha}{2}$ تحت توزيع كاي مربع مع درجات حرية 2r.

إن اختبارات فرضيات العدم $\mu = \mu_0$ تتوقف أيضاً على توزيع المعاينة لـــ $2Tr/\mu$ وباستخدام التعبير المناسب لـــ $T_r$ الذي يعتمد على نوع الاختبار (مع أو بدون استبدال ). وهكذا إذا تحققت الفرضية البديلة $\mu > \mu_0$، فإننا نرفض فرضيات العدم بمستوى معنوية $\alpha$ عندما تكون $\frac{2T_r}{\mu_0}$ أكبر من $X_\alpha^2$، أو: $T_r > \frac{1}{2}\mu_0 X_\alpha^2$ حيث $X_\alpha^2$ يجب أن تحدد من أجل درجات حرية تساوي 2r ويمكن أن نبني اختبارات مشابهة لفرضيات بديلة: $\mu < \mu_0$ و $\mu \neq \mu_0$.

فعلى سبيل المثال، لنفرض أن n=50 وحدة وضعت تحت الاختبار ( بدون استبدال ) وأنه تقرر إيقاف الاختبار بعد حدوث r=10 عطل. ولنفرض أيضاً أن أزمنة الأعطال العشرة المتتالية كانت على الترتيب:
65، 110، 380، 420، 505، 580، 650، 840، 910، 950 ساعة. فإن تقرير وسطي الحياة للعنصر يحسب كالآتي:
$T_{10} = (65+110+.....+950)+(50-10)950 = 43410$ ساعة ومن ثم فإن وسطي الحياة للعنصر بالساعة يساوي $\overline{\mu} = \frac{43410}{10} = 4341$ وأما معدل العطل $\alpha$ فيقدر: (عطل بالساعة) $\alpha = \frac{1}{\overline{\mu}} = 0.00023$ أو 0.23 عطل لكل ألف ساعة. وكذلك فإن مجال الثقة 0.90 لـــ $\mu$ يعطى بالعلاقة: $\frac{2(43410)}{31.410} < \mu < \frac{2(93410)}{10.851}$ أو $2764 < \mu < 8001$ لنختبر الآن فيما إذا كان معدل العطل 0.40 لكل ألف ساعة ضد الفرضية البديلة أي أن معدل العطل يكون أقل من ذلك، وذلك باستخدام مستوى معنوية 0.05:

فرضية العدم: $\mu = \frac{1000}{0.40} = 2500$ ساعة

الفرضية البديلة: $\mu > 25000$ ساعة

مستوى المعنوية: $\alpha = 0.05$

الرائز: ارفض فرضية العدم إذا كان $T_r > \frac{1}{2}\mu_0 . X_{0.05}^2$ حيث $X_{0.05}^2 = 31.410$ هي القيمة لـــ $X_{0.05}^2$ بدرجات حرية تساوي 20.

---

[52] كاي مربع $X^2$ هو مجموع مربعات الفروق بين القيم النظرية والفعلية مقسومة على القيم النظرية طالما $X^2$ النظرية $> X^2$ الفعلية فالنتيجة غير جوهرية ومردها إلى قوى الحظ والمصادفة. وطالما $X^2$ النظرية $< X^2$ الفعلية فالفرق جوهري ونرفض الفرضية المتخذة. وكلما زادت عدد درجات الحرية n كلما تحول شكل منحنى التوزيع لكاي مربع إلى شكل جرس ملتو. وإذا كانت درجات الحرية أقل من 30 فنستعمل التوزيع الطبيعي وتؤخذ قيم كاي مربع من جانب واحد. وإذا كانت درجات الحرية أكبر من 30 فنستعمل $\sqrt{2x^2}$ وتأخذ كاي مربع شكل التوزيع الطبيعي. استعمالاته: 1 اختبار جودة توفيق المنحني الطبيعي 2 اختبار الاستقلال لجداول التوفيق 3 اختبار حالات الاستدلال الإحصائية للعينات الصغيرة.

الحسابات: لنعوض r=10 و $\mu_0 = 2500$، ولنحدد القيمة الحرجة لهذا الاختبار:

$$\frac{1}{2}\mu_0 X^2_{.05} = \frac{1}{2}(2500)(31.410) = 39263$$

القرار: بما أن $\mathbf{T}_{10} = 43410$ تتجاوز القيمة الحرجة، فيجب أن نرفض فرضية العدم التي تقضي أن زمن الحياة الوسطي يتجاوز 2500 ساعة، أو أن معدل العطل هو أقل من 0.40 عطل لكل ألف ساعة.

يستخدم الإحصائيون والمهندسون النموذج الأسي في كثير من الحالات بسبب بساطته ولكن قبل إجراء استدلالات إحصائية، يفضل إجراء فحص لمدى ملائمة هذا النموذج.

وُيستخدم عادة في هذه الحالة خريطة اختبار لها إحداثيان: **العامودي** ويقيس عادة النسبة $\frac{T_i}{T_r}$ حيث $T_i$ هو الزمن الكلي لحدوث العطل ( i=1,2,.....,r ) و $T_n$ الزمن الكلي لمشاهدة آخر عطل في الاختبار. وأما **الأفقي** فيقيس النسبة $\frac{i}{r}$. إذاً المجتمع المدروس يتبع التوزيع الأسي، فيجب أن نتوقع أن جميع النقاط البيانية المسجلة على الخريطة تقع على المستقيم المنصّف للزاوية القائمة. وإذا شكلت هذه النقاط منحنياً يقع فوق المنصف، فهذا دليل يؤكد ضرورة استخدام نموذج معدل صدفة متزايد.

ويمكن أن نتصور خريطة الاختبار باستخدام البيانات السابقة كما يلي:

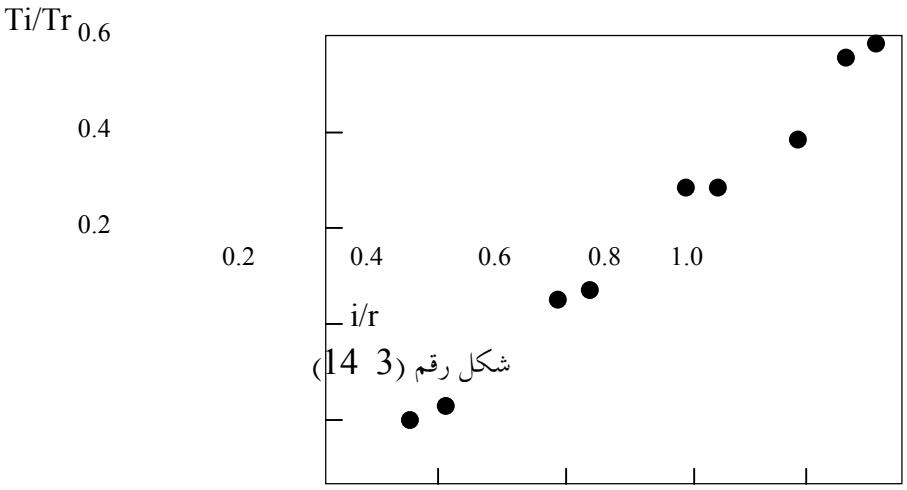
فمن أجل $T_1 = 65$، نحسب الزمن الكلي للاختبار: $T_1 = 65 + (50-1)65 = 3250$

ومن ثم، مـــــــن أجل $T_2 = 110$: $T_2 = 65 + 110 + (50-2)110 = 5455$

وبالأسلوب نفسه، نحصل على القيم جميعها:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3250 | 5455 | 18415 | 20295 | 24205 |
| 27580 | 30660 | 38830 | 41770 | 43410 |

وهكذا فإن الزمن الكلي للاختبار لغاية حدوث آخر عطل يساوي $T_r = 43410$ حيث (r=10). إن النقطة الأولى في خريطة الاختبار تحدد من خلال الإحداثيين: العامودي $\frac{T_i}{T_r} = \frac{3250}{43410} = 0.0749$ والأفقي $\frac{1}{10} = 0.10$. وبتكرار الأسلوب نفسه، نحصل على الشكل رقم (3 14). وعليه فإن النقاط المسجلة لا تظهر انحرافات ملحوظة عن النموذج الأسي المفترض.




شكل رقم (3 14)

### 3 2 استخدام نموذج ويبل في اختبار الحياة:

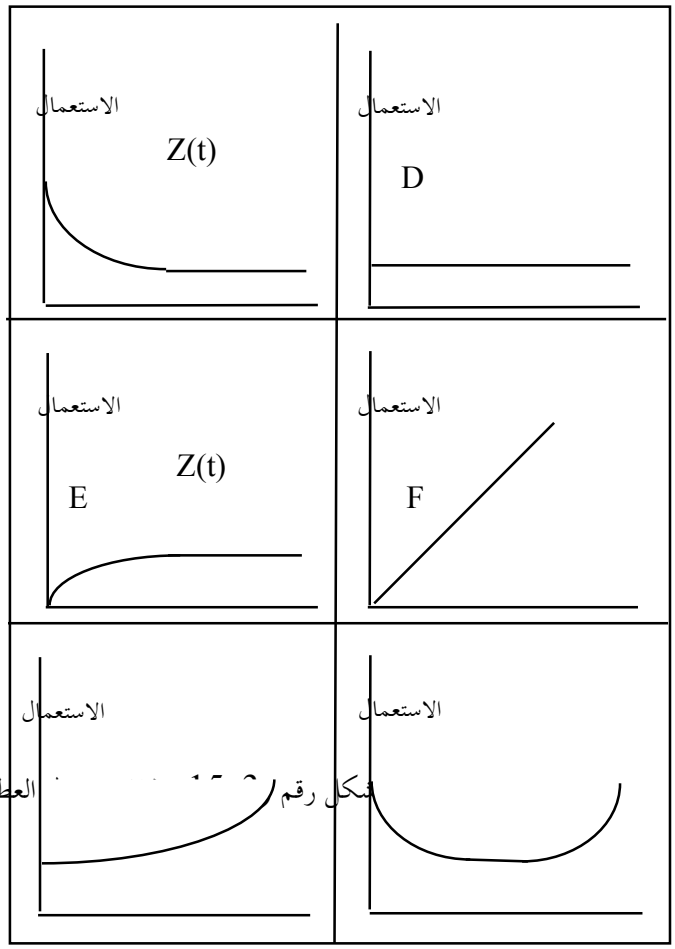
وبالرغم من أن اختبار الحياة للعناصر خلال فترة الحياة المجدية تعتمد بصورة أساسية على النموذج الأسي، فقد سبق أن أشرنا بأن معدل العطل لا يمكن أن يكون ثابتاً خلال فترة فحص ومراقبة عنصر معين. ويشير بحث FAUSST[53] الذي قيّم مختلف أنماط العطل في الطائرات باستخدام التحليل الإكتواري، إلى وجود ستة أنماط أساسية لمنحنى معدل العطل، الشكل (3 15). ويلاحظ أن المنحني الحوضي (F )هو واحد فقط من هذه الأنماط. وقد أظهر البحث المذكور أن النسبة المئوية لأنماط منحنيات معدل العطل كانت كالآتي:

| | النســـبة المئوية لأنماط منحنيات العطل | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | |
| العناصر الأخـــرى | 68.3 | 14.4 | 6.5 | 5.0 | 2.2 | 3.6 | 100 |
| محركات بيستون | 0 | 20 | 0 | 0 | 80 | 0 | 100 |
| محركات توربين | 0 | 16.7 | 0 | 66.6 | 16.7 | 0 | 100 |

الجدول (3 4)

و يلاحظ أن جميع المنحنيات تتألف من واحد أو أكثر من أنماط معدل العطل DFR,CFR,IFR. أضف إلى ذلك، أن الهدف الرئيسي لاختبار الحياة يكون في كثير من الحالات تحديد زمن عطل الشيخوخة للعنصر. ولهذا السبب، لا يمكننا استخدام النموذج دائماً، ويجب أن نأخذ بافتراض أكثر عمومية من افتراض ثبات معدل العطل.

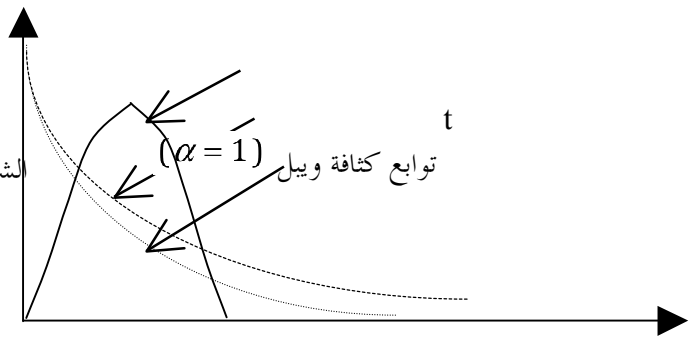
[53] Geraerds, W.M.J.-1989- (Development In The Fundamentals Of Maintenance Management) ,Eindhoven University of Technology ,IFRIM Report 89/3.




شكل رقم ( ) العطل أو الصدفة

إن توزيع ويبل Weibull يعتبر أكثر ملاءمة لوصف أزمنة العطل للعناصر عندما يكون معدل عطلها متزايداً أو متناقصاً مع الزمن. ويأخذ هذا التوزيع الصيغة التالية: $f(t)=\alpha\beta t^{\beta-1}e^{-\alpha t^{\beta}}$ .....$t>0,\alpha>0,\beta>0$ حيث $\alpha,\beta$ هما ثابتان. ويتبع ذلك أن تابع الموثوقية المقترن مع توزيع ويبل لزمن العطل يأخذ الصيغة التالية: $R(t)=e^{-\alpha t^{\beta}}$ وأن معدل العطل أو تابع الصدفة يصبح: $Z(t)=\alpha\beta t^{\beta-1}$.

إن شكل منحني كثافة ويبل يعتمد على قيمة الثابت $\beta$ كما هو موضح على الشكل رقـــــم(3 16). هذا المنحني يكون مقارباً لمحوري الإحداثيات وملتوياً بشدة نحو اليمين عندما تكون $\beta$ أصغر من الواحد الصحيح. وتتطابق كثافة ويبل مع الكثافة الأسية من أجل $\beta=1$ . ويأخذ المنحني المذكور شكل جرس ملتو بالنسبة لقيم $\beta$ التي تكون أكبر من الواحد الصحيح:




الشكل (3 16) توابع كثافة ويبل

إن التوقع الرياضي لتوزيع ويبل الذي يملك الوسيطين $\alpha, \beta$ يمكن الحصول عليه بتقرير التكامل:

$$\mu = \int_0^{\infty} t.\alpha.\beta.t^{\beta-1}.e^{-}$$

وبإجراء عملية الإبدال للمتغير $\mu = \alpha.t^{\beta}$ نحصل على $\mu = \alpha^{\frac{-1}{\beta}}.\int_0^{\infty} u^{\frac{1}{\beta}}.e^{-u}.du$

حيث أن التكامل في العلاقة الأخيرة هو تابع غاما $\Gamma(1+\frac{1}{\beta})$. وعليه فالزمن الوسطي للعطل بالنسبة لنموذج ويبل يكون[54]: $\mu = \alpha^{-1/\beta}\Gamma(1+\frac{1}{\beta}) = \alpha^{-1/\beta}(1/\beta)!$ ويمكن أن نبرهن على أن تباين هذا التوزيع يأخذ الصيغة

$$\sigma^2 = \alpha^{\frac{-2}{\beta}}\left\{\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right.\right.$$

إن تقدير الوسيطين $\alpha, \beta$ هو مسألة معقدة في معظم الحالات. وإن الطريقة الأكثر استخداماً في هذا المجال هو طريقة الأكثر إمكانية، حيث يتم تكوين تابع الأكثر إمكانية ومن ثم نشتق ونعدم المشتق بالنسبة لكل من $\alpha, \beta$. إذا كانت أزمنة الحياة خاضعة للرقابة عند العطل رقم r ، أو غير خاضعة للرقابة لغاية r=n، فإننا نحصل على المعادلتين التاليتين[55]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{r} t_i^{\beta}\ln ti + (n-r)t_r^{\beta}\ln tr}{\sum_{i=1}^{r} t_i^{\beta} + (n-r)t_r^{\beta}} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r}\ln ti = 0$$

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{r}\left[\sum_{i=1}^{r} t_i^{\beta} + (n-r)t_r^{\beta}\right]}$$

إن حل المعادلة الأولى يعطينا $\hat{\beta}$ تقديراً غير متحيز لـ $\beta$ باستخدام الطرائق العددية. ومن ثم تحل المعادلة الثانية لنحصل على $\hat{\alpha}$. وبالطبع فإن هذه الحسابات تعتبر سهلة جداً في حالة استخدام الحاسوب.

ويمكن أيضاً أن نستخدم طريقة بيانية لفحص مدى ملاءمة نموذج ويبل. وهذه الطريقة تستند إلى أن تابع الموثوقية لتوزيع ويبل يمكن تحويله إلى تابع خطي لـ Ln.t باستخدام تحويل لوغاريتمي مزدوج. فبأخذ اللوغاريتم الطبيعي لـ R(t)، نحصل على: $Ln\frac{1}{R(t)} = \alpha t^{\beta} .....Or....Ln.R(t) = -\alpha t^{\beta}$ / وبحساب لوغاريتم الطرفين مرة

[54] Freund, J.E.-1990- (Mathematical Statistics)-Prentice Hall, London, 1972,PP113

[55] Miller, I., Freund,J.E., and Richard,A.J.,-1990- (Probability And Statistic For Engineers), Prentice Hall, London, PP.548

ثانية، نحصل على: $LnLn\frac{1}{R(t)} = Ln\alpha + \beta.Ln$ وهكذا، فإن الطرف الأيمن من المعادلة هو خطي بالنسبة لـــ Ln.t.

إن الإجراء التجريبي المعتاد هو أن نخضع n عنصر لاختبار الحياة، وأن نراقب أزمنة تعطل هذه العناصر. فإذا تعطل العنصر i في الزمن ti، فإننا نقرر F(ti)=1-R(ti) باستخدام الطريقة التالية[56]: $\hat{F}(ti) = \frac{i}{n+1}$ ونختبر افتراض أن توزيع زمن العطل هو من نوع ويبل بطريقة بيانية تشبه الاختبار الأسي. فنقيس على المحور العامودي $Ln.Ln.\frac{1}{1-\hat{F}(ti)}$ وعلى المحور الأفقي Ln.ti. وإذا وقعت النقاط على خط مستقيم، فإن الافتراض المذكور يعتبر مقبولاً. ولتوضيح الإجراء المذكور، لنفرض أن عينة من حجم n=100 عنصر وضعت تحت اختبار الحياة لمدة (500) ساعة وأن أزمنة عطل 12 عنصر من هذه العناصر كانت كما يلي على التسلسل: 6 21 50 84 95 130 205 260 270 370 440 480 ساعة. وإذا افترضنا بأن: Xi=Ln.ti، $Ji = Ln.Ln.\frac{1}{1-\hat{F}(ti)}$ فنحصل على الجدول التالي (3 5):

| $\hat{F}(ti)$ | ti | Xi | Ji |
|---|---|---|---|
| 0.010 | 6 | 1.79 | 4.61 |
| 0.020 | 21 | 3.04 | 3.91 |
| 0.030 | 50 | 3.91 | 3.50 |
| 0.040 | 84 | 4.43 | 3.21 |
| 0.050 | 95 | 4.55 | 2.98 |
| 0.059 | 130 | 4.87 | 2.79 |
| 0.069 | 205 | 5.32 | 2.63 |
| 0.079 | 260 | 5.56 | 2.49 |
| 0.089 | 270 | 5.60 | 2.37 |
| 0.099 | 370 | 5.91 | 2.26 |
| 0.109 | 440 | 6.09 | 2.16 |
| 0.119 | 480 | 6.17 | 2.07 |

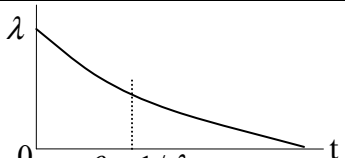
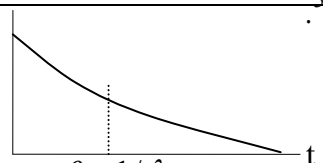
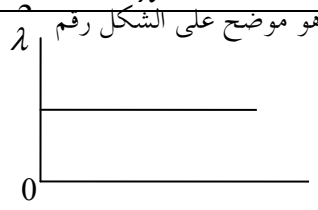
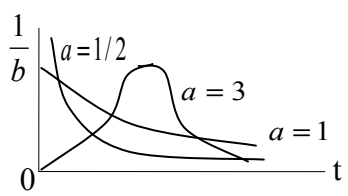
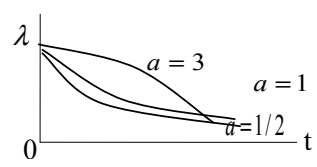
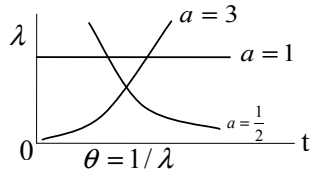
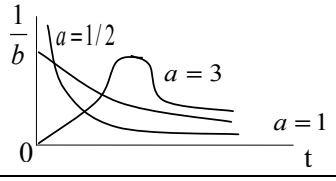
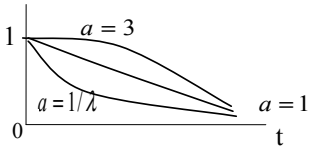
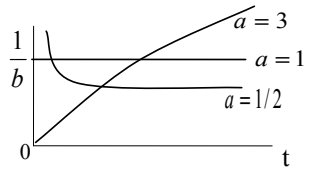
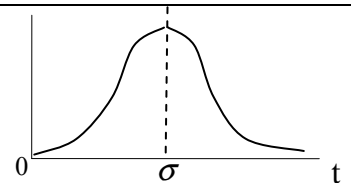
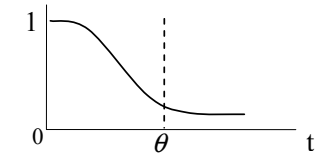
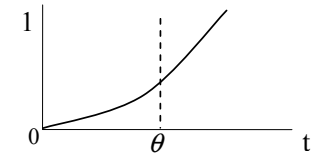
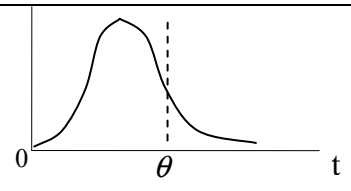
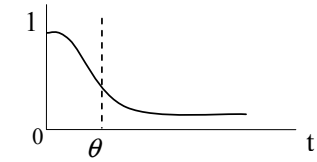
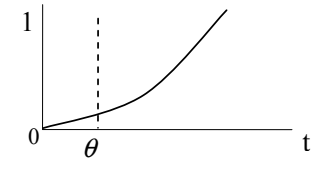
الجدول (3 5)

وبسهولة يمكن أن نحدد بيانياً النقاط $(Xi, Ji)$، وأن نحكم على أن هذه النقاط تقع على خط مستقيم، وبالتالي فإن توزيع أزمنة عطل العناصر يتوافق مع توزيع ويبل. إن الحسابات التي أجريت لمقدرات طريقة الأكبر إمكانية أعطت $\hat{\alpha} = 0.001505$ و $\hat{\beta} = 0.7148$. وعليه فإن الزمن الوسطي للعطل يقدر بـــ:

$\hat{\mu} = (0.001505)^{-1/0.7148}\Gamma(1+\frac{1}{0.7148})$ ويساوي (11000) ساعة تقريباً. وأما قيم معدل العطل فيمكن الحصول عليها بإبدال t بقيمتها في المعادلة التالية: $\hat{Z}(t) = (0.001505).(0.7148).t^{0.7148-1} = 0.00108.t^{-0.2852}$ وبما أن $\hat{\beta} < 1$، فإن معدل العطل يكون متناقصاً مع الزمن. وبصورة عامة، يتصل بالموثوقية واختبار الحياة تابع كثافة احتمال

[56] Miller, I., (Probability And Statistic For Engineers),OP.CIT., PP.171.

مركز الدكتور سامر قنطار المؤتمتة للتطوير الأعمال www.kantakji.com

| | | | |
|---|---|---|---|
| | توزيع العطل | الموثوقية | معدل الخطر |
| | $f(t)$ | $R(t)$ | $z(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$ |
| | $\lambda e^{-\lambda t}$ | $e^{-\lambda t}$ | $\lambda$ |
| |  |  |  |
| | $\frac{a}{b}t^{a-1}e^{-t^{a/b}}$ | $e^{-t^{a/b}}$ | $\frac{a}{b}t^{a-1}$ |
| |  |  |  |
| | $\frac{1}{(a-1)}(\frac{t}{b})^{a-1}e^{-t/b}$ | $\frac{1}{(a-1)/b^a}\int T^{a-1}e^{-t/b}dt$ | $\frac{t^{a-1}e^{-t/b}}{\int_t^\infty T^{a-1}.e^{-T/b}dt}$ |
| |  |  |  |
| | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-(t-\theta)^2/2\sigma^2}$ | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_t^\infty e^{-(t-\theta)^2/2\sigma^2}.dt$ | $\frac{e^{-(t-\theta)^2/2\sigma^2}}{\int_t^\infty e^{-(t-\theta)^2/2\sigma^2}dt}$ |
| |  |  |  |
| | $\frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}}e^{-(\ln t-\mu)^2/2\sigma^2}$ | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_t^\infty \frac{1}{T}e^{-(\ln t-\mu)^2/2\sigma^2}.dt$ | $\frac{t^{-(\ln t-\mu)^2/2\sigma^2}}{\int_t^\infty \frac{1}{T}e^{-(\ln t-\mu)^2/2\sigma^2}.dt}$ |
| |  |  |  |

الشكل (3 7) الموثوقية والتوابع الخاصة بها

العطل أو توزيع العطل ومعدل العطل أو معدل أو تابع الصدفة. والتوزيعات الأكثر استخداماً في هذا المجال يمكن تلخيصها كما هو موضح على الشكل رقم (3-7-1).

# نماذج استبدال وإصلاح التجهيزات[58]

إن استبدال آلات جديدة بأخرى قديمة أو استبدال أداة أكثر حداثة بأداة بطل استعمالها هي إحدى المشكلات المهمة التي تواجه المجتمع الصناعي. فالمؤسسات الصناعية تضطر إلى تنسيق بعض تجهيزاتها بسبب التقادم الزمني أو بسبب التقدم التكنولوجي، كما تضطر إلى تخصيص أموال في كثير من المواقع بسبب ضرورة تشغيل تجهيزات جديدة، أو بسبب الخسارة الناتجة عن توقف العمل فيها، وبديهي أن التكاليف الناجمة عن إدخال صناعات جديدة يمكن تعويضها عن طريق زيادة الإنتاجية أو تخفيض تكاليف الإنتاج. ومصطلح التجهيزات هنا هو مصطلح ذو معنى عام، فقد يشمل الأدوات والآلات وأقسام خطوط الإنتاج.....الخ. فعندما يزداد عمر قطعة من التجهيزات، ترتفع تكلفة تشغيلها وصيانتها، وتتناقص إنتاجيتها وقيمتها كنفاية فيما إذا قررت المؤسسة بيعها. وفي حالات كثيرة، يمكن أن تستمر هذه القطعة من التجهيزات بالعمل لفترات طويلة يصعب تحديدها عندما تقوم المؤسسة بتخصيص مبالغ كبيرة للصيانة. ومع ذلك، فإننا نصل غالباً في أية عملية مستمرة إلى نقطة زمنية يفضل عندها أن تقوم المؤسسة بشراء قطعة جديدة بدلاً من الاحتفاظ بالقطعة القديمة وصيانتها. إن مشكلات استبدال التجهيزات تناولتها أبحاث ودراسات عديدة نظراً لأهميتها، وسنحاول هنا عرض بعض النماذج التي قدمتها الأدبيات لتحديد مدة الاحتفاظ بقطعة من التجهيزات، وكذلك العمل على تطوير بعضها[59].

إن الرائز المألوف والمستخدم لوضع سياسة استبدال مثلى هو في الحقيقة تبنّي أحد أسلوبين متكافئين: تعظيم القيمة الحالية للربح المتوقع أو تصغير القيمة الحالية للتكلفة المتوقعة بالنسبة لآلة معينة خلال أفق زمني معين. ونرى أن تصغير التكلفة أفضل من تعظيم الربح من الوجهة التطبيقية وهو الرائز الأكثر استخداماً لأسباب عديدة منها:

(1) عندما يتطلب إنتاج منتج ما عمليات متنوعة على عدد من الآلات، فإننا نواجه صعوبات مختلفة عند تحديد مساهمة كل آلة في تحديد الربح الإجمالي.

(2) إن مقومات المنتج تكون معروفة منذ البداية في معظم الحالات، وبالتالي فإن الدخل الذي تحققه المؤسسة يكون ثابتاً بحيث أن تنظيم الربح يكافئ تصغير التكلفة.

(3) إن الأرباح الضائعة نتيجة تدني الإنتاجية تشكل عنصراً مهماً من عناصر التكلفة.

وسنحاول هنا البحث عن سياسات مثلى للإصلاح والاستبدال ضمن فرضيات متنوعة تتعلق بالتكاليف وبالخواص الحالية للتجهيزات المستخدمة وتطوراتها المستقبلية. وبما أنه يجب اتخاذ مثل هذه القرارات في كل عام، فإن الموضوع الذي نتصدى له هو عملية قرارات على مراحل.

وفي مثل هذا النوع من المشكلات فإن الفرضيات التي نضعها حول تطورات المستقبل خطرة جداً. ولهذا السبب، سندرس هنا حالة بسيطة نسبياً، حيث سنعتمد على تنبؤات تقديرية تخص المستقبل المدروس. ولا شك في أن

[58] من عيوب هذا النموذج ضرورة توفر بيانات وتنبؤات مستقبلية.

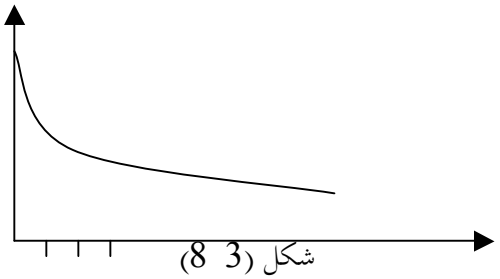
[59] Alchian, A., 1952-(Economic Replacement Policy) -R.224,The RAND Corp.,.

عمل هذه التنبؤات وتعديلها من خلال التجربة هي في حد ذاتها مسائل أكثر تعقيداً، ونأمل أن نتمكن من معالجتها في أبحاث متخصصة في المستقبل.

t

وبهذا التبسيط سنفرض أننا نملك آلة واحدة لها دخل سنوي محدد، وتكلفة صيانة محددة أيضاً، ويمكن استبدال آلة جديدة بها في أية لحظة. ولنفرض أيضاً أن الدخل وتكلفة الصيانة وتكلفة استبدال الآلة هي توابع معروفة بدلالة عمر الآلة. الشكل (3 10)

ونطمح الآن إلى تحديد سياسة مثلى للاستبدال مع الأخذ بعين الاعتبار المعلومات الواردة على الأشكال (3 8)، (3 9)، (3 10).



شكل (3 8)

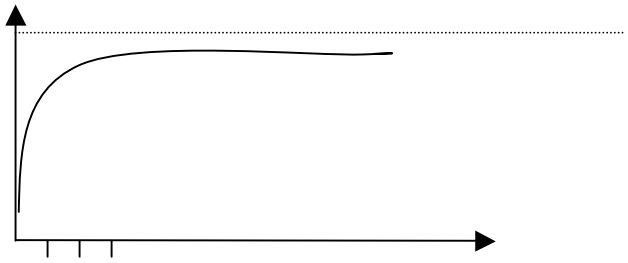
حيث أن $r_t$ هو الدخل السنوي لآلة من عمر t و $p$ هو الدخل السنوي للآلة الجديدة.

$e(t)$ = تكلفة الصيانة السنوية لآلة عمرها t، c ثمن شراء آلة جديدة

الشكل(3 9)

$c(t)$ = تكلفة استبدال آلة عمرها t، A تكلفة صيانة آلة جديدة(حد أدنى)

A+B الحد الأقصى الذي تبلغه تكلفة الصيانة عندما تهرم الآلة



## 4 1 صياغة سياسة الاستبدال باستخدام أسلوب التقريبات المتتالية[60]:

لنرمز $c(t)$ إلى تكلفة استبدال آلة من عمر t و $r(t)$ للدخل السنوي المتوقع لآلة من عمر $(t)$، و $e(t)$ لتكلفة صيانة آلة من عمر t. وخلال فترة عادة تكون سنة. وليكن $\alpha$ يمثل معامل الحسم الذي يحدد القيمة الحالية في بداية سنة معينة لتكاليف معروفة في نهاية هذه السنة. وعليه فإن $\alpha^t$ يعطي القيمة الحالية في بداية الفترة (1) لتكلفة أو دخل معروف في نهاية الفترة $(T)$. وبهدف التبسيط، لنفرض أن الدخل والتكاليف تتحقق جميعاً في نهاية الفترة المدروسة.

إن السياسة المثلى للاستبدال تأخذ صيغة بحيث يحافظ على الآلة لمدة $(T)$ فترة أو سنة ثم تستبدل. وبافتراض أن الآلات المدروسة سوف تستخدم في جميع الفترات المستقبلية، فإن قيمة $(T)$ تحدد بتعظيم القيمة الحالية للربح الصافي خلال أفق زمني غير محدد. وإذا تم تشغيل آلة لـــ$(T)$ فترة، فإن القيمة الحالية لربح[61] هذه الآلة بتاريخ شرائها يساوي:

$$F = \sum_{t=1}^{T} \alpha^t \pi(t) - \sum_{t=1}^{T} \alpha^t e(t) - \alpha^t c(T) \qquad (1\ 3)$$

وبالتالي فإن القيمة الحالية للربح المتوقع لسلسلة غير محدودة من الآلات تساوي:(2 3)

$$K(T) = F + \alpha^T . F + \alpha^{2T} + \ldots = \frac{1}{1-\alpha^T} F \qquad (2\ 3)$$

$$= \frac{1}{1-\alpha^T}\left[\sum_{t=1}^{T} \alpha^t . r(t) - \sum_{t=1}^{T} \alpha^t . e(t) - \alpha^T . c(T)\right]$$

إن القيمة المثلى لـــ:$(T)$ يمكن تحديدها بحساب $K(T)$ من أجل T=1,2,3… وباختيار $(T)$ الذي يعظم $K(T)$

## 4 2 صياغة سياسة الاستبدال بأسلوب البرمجة الديناميكية:

لنفرض أن القرارات تُتخذ في $t=0,1,2$ ، وأنه في كل فترة من هذه الفترات نملك حرية الاختيار بين المحافظة على الآلة القديمة أو شراء آلة جديدة. لنعّين على التوالي هذه الخيارات بالحرف C (أي المحافظة) و A (أي شراء ). ولنستخدم التابع: $f(t)$ ، حيث أن $f(t)$ يساوي الربح الإجمالي خلال الفترة المدروسة إذا بدأت المؤسسات عملها بآلة من عمر $(t)$ واستخدمت سياسة مثلى للاستبدال.

وباستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية، يمكننا كتابة العلاقة التتابعية التالية:

$$f(t) = MAX\begin{bmatrix} A: r(0) - e(0) - \alpha f(1) \\ C: r(t) - e(t) + \alpha . f(t+1) \end{bmatrix} \qquad (2\ 3)$$

وكما ذكرنا، إن أية السياسة المثلى تأخذ الصيغة التالية: احتفظ بالآلة لغاية مضي $(T)$ فترة، ثم استبدلها بجديدة.

وبكتابة: $P(t) = r(t) - e(t)$ . يمكننا أن نحصل على جملة المعادلات التالية:

60 Bellman,R., -1955 -(Equipment Replacement Policy) - Journal of the Society for industrial and applied Mathematics,3 , PP. 133-136.

[61] الربح = إجمالي الدخول المحسومة إجمالي تكاليف الصيانة المحسومة تكاليف الاستبدال محسومة في سنة الاستبدال

$$f(0) = P(0) - \alpha.f(1)$$
$$f(1) = P(1) - \alpha.f(2)$$
.
.
$$f(T-1) = P(T-1) - \alpha.f(T)$$
$$f(T) = P(0) - c(T) + \alpha.f(1)$$

(3 4)

وبحل جملة هذه المعادلات، فإننا نحصل على العلاقة التالية (3 5):

$$f(1) = \frac{\left[P(1) + \alpha.P(2) + ... + \alpha^{T-2}.P(T-1) + \alpha^{T-1}.P(0)\right] - \alpha^{T-1}.c(T)}{1-\alpha^T}$$

وهكذا فإننا نحدد المجهول T بحيث يعظم f(1) لأن هذا الأخير يعظم أيضا f(0). ويلاحظ أن العلاقة (3 5) هي نفسها (3 2).

## 3 4 إدخال أثر التقدم التكنولوجي في استبدال التجهيزات:

فرضنا حتى الآن أن الدخل وتكلفة الصيانة وتكلفة استبدال آلة هي توابع تحدد بدلالة عمر الآلة. ولكن البيانات التي نحصل عليها في معظم الحالات تتطابق مع منحنيات أسية مثل المنحنيات الموضحة على الأشكال (3 8)، (3 9)، (3 10). وعليه يمكن أن نكتب:

$$r(t) = P.e^{-s.t}$$
$$e(t) = A + B(1 - e^{-wt}) \qquad (3\ 6)$$
$$c(t) = C(1 - k.e^{-dt})$$

حيث أن الأسس s و w و d تحدد سرعة اتجاه الدخل والتكاليف المذكورة نحو نهايتها P و A+B و C على التوالي.

وحيث k هي جزء من c وتمثل قيمة الإصلاح بعد الشراء.

لنعتبر الآن أثر التقدم التكنولوجي، إن الآلة التي ستوضع قيد الاستخدام N عام ستحقق في عامها الأول دخلا أكبر من P بسبب التقدم التكنولوجي، وليكن هذا الدخل يساوي P+Q . لنفرض أن التحسن في الدخل الأساسي هو أيضا تابع أسي ويتبع في هذه الحالة تاريخ الصنع (وليس عمر الآلة) وبما أن هذا التاريخ يحدد بالفرق بين تاريخ N المخصص لدراسة الآلة والعمر t الذي تبلغه الآلة في ذلك الوقت. فيمكن أن نكتب:

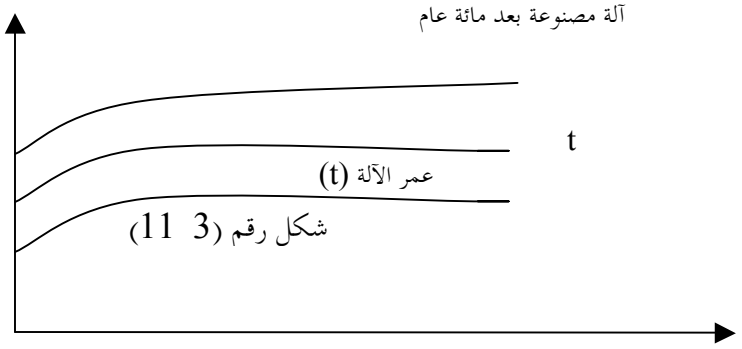
$$r_N(t) = \left[P + Q(1 - e^{-g(N-t)}).e^{-s.t}\right] \qquad (3\ 7)$$

إذا اتجهت تكلفة التشغيل نحو قيمة مهملة مع التقدم التكنولوجي، وإذا كان تزايد تكلفة الصيانة مع العمر يتناقص كل عام بمعامل يساوي u، فنستطيع أن نكتب:

$$e_N(t) = A.e^{-Z(N-t)} + b(1 - e^{-w.t}).u^{N-t} \qquad (3\ 8)$$

كما يمكننا أن نفترض أن تكلفة استبدال هذه الآلات المطورة تتزايد أو تتناقص أو تبقى ثابتة مع الزمن. وهكذا نكون قد حددنا مجموعة من المنحنيات. ويمكننا أيضاً تعريف مجموعة منحنيات للسلوك بدلالة العمر بالنسبة لآلات منتجة في تاريخ محدد. هذه المنحنيات الأخيرة تظهر على الشكل (3 11) وتمثل تغيرات تكلفة الصيانة مع العمر.

آلة مصنوعة بعد عام واحد
مركز الدكتور سامر مظهر قنطقجي لتطوير الأعمال www.kantakji.com
آلة مصنوعة بعد عشرة أعوام
آلة مصنوعة بعد مائة عام




شكل رقم (3 11)

ومع أن افتراض أن التقدم التكنولوجي يكون أسياً هو افتراض مفيد وقريب من الحقيقة. فإن طرائق إيجاد الحل لا تأخذ به. ففي الحقيقة، إن استخدام جداول لتوابع تكلفة متنوعة هو أسهل من التعامل مع تعبيرات تحليلية تفسيرية. ولقد أدخلنا التوابع الأسية في الأسلوب التحليلي السابق ذكره بهدف تسهيل الوصول إلى حل المشكلة المدروسة.

لنعد إلى أسلوب البرمجة الديناميكية، ولنفرض أن $f_N(t)$ يساوي القيمة الحالية في السنة N للربح الكلي المحقق باستخدام آلة عمرها t سنة في ذلك الوقت ويتم استبدالها وفق سياسة مثلى.

ولنفرض أيضا أن السلسلة المدروسة تمتد لـ $N_0$ فترة ثم تنتهي فيكون لدينا إذاً $f_{N+1}(t)=0$ وبما أن القيمة الحالية للربح الكلي في السنة N إذا كان القرار شراء آلة جديدة في ذلك الوقت، تعطى بالعلاقة:

$$f_x^{(A)}(t) = r_N(0) - e_N(0) - c_N(t) + \alpha.f_{N+1}(t) \qquad (9\ 3)$$

وإذا كان القرار المحافظة على الآلة القديمة في ذلك الوقت، تعطى بالعلاقة:

$$f_x^{(c)}(t) = r_N(t) - e_N(t) + \alpha.f_{N+1}(t+1) \qquad (10\ 3)$$

ويحدد الحل الأمثل (تحديد السياسة المثلى) بتطبيق العلاقة:

$$f_N(t) = Max\left[f_N^{(A)}(t), f_N^{(c)}(t)\right] \qquad (11\ 3)$$

$$f_N(t) = Max\begin{bmatrix} A: r_N(0) - e_N(0) - c_N(t) + \alpha.f_{N+1}(1) \\ c: r_{N-1}(t) - e_{N-1}(t) + \alpha.f_{N+1}(t+1) \end{bmatrix} \qquad (12\ 3)$$

وإن التابع $f_N(t)$ يساوي الصفر من أجل $N \geq N_0 + 1$ . وبإعطاء N القيمة $N_0$ في العلاقة (12 3)، فإننا نحصل على $f_{N_0}(t)$ بدلالة توابع معروفة. وهكذا، فإننا نستطيع حساب $f_{N_0}(t)$ بالنسبة لكل قيمة مقبولة لـ t . وتبعا للقرارات السابقة، فإننا نتصرف في السنة الأخيرة بآلة عمرها يتراوح بين عام (إذا كانت عملية الشراء تمت في العام السابق) وعدد متزايد من الأعوام نحدده من خلال قرارات المحافظة على الآلة الأساسية. وبتحديد قيمة التابع $f_{N_0}(t)$ ، يمكننا إيجاد قيمة التابع $f_{N_0-1}(t)$ باستخدام العلاقة (12 3). وبتكرار الأسلوب نفسه نصل إلى قيمة $f_1(t)$ : الربح الأمثل لسلسلة تبدأ في العام (1). إن سلسلة الخيارات المثلى التي نحصل عليها من خلال عملية التعظيم في المعادلة (12 3) تميط اللثام عن السياسة المثلى للاستبدال التي تحقق الربح الأمثل. وبهذا الأسلوب نكون قد حصلنا على الحل العددي للمشكلة.

**4 4 دراسة حالة تطبيقية لاستبدال آلة:**

تعتمد دقة النتائج التي يقدمها حل نموذج البرمجة الديناميكية المقترح بصورة جوهرية على مصداقية تنبؤات المستقبل أي الدخل وتكلفة الصيانة وتكلفة الاستبدال بالنسبة للآلة المدروسة. وبالرغم من قناعتنا أن الحصول على تنبؤات قريبة إلى الصحة هي عملية شاقة وتحتاج إلى دراسة علمية مستقلة، فقد قرأنا الماضي واستشرف منه المستقبل بالنسبة لآلة مهمة في صناعة الإسمنت (رأس مطحنة الإسمنت).

ونعترف مقدماً أن الأرقام التي توصل إليها تقريبية. ومع ذلك فإن هذه الأرقام تعتبر على درجة كبيرة من حيث الأهمية في التطبيق لسببين: الأول: أن النموذج الذي قدمناه من خلال أعمال الأستاذ بيلمان (مبتكر البرمجة الديناميكية) يعتبر صالحاً للتطبيق بالنسبة لاستبدال التجهيزات بمعناها العام وليس لآلة فقط. وأما الثاني: فهو أن التطبيق سيؤدي إلى نتائج وملاحظات إضافية ذات أهمية قصوى.

إن قراءة ماضي الآلة المذكورة واستعان بالمهندسين المسؤولين عن هذه الآلة، واستشراف المستقبل باعتبار سلسلة تستغرق (عشرة سنوات) مستقبلية، توصلنا أن الدخل وتكلفة الصيانة وتكلفة الاستبدال لآلات منتجة خلال كل سنة من السنوات العشر (السلسلة المدروسة) وبدلالة عمرها، يمكن تلخيصها في الجداول التالية (الأرقام المعطاة بمئات ألوف الليرات السورية).

**آلة منتجة في السنة الأولى:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 70 | 70 | 60 | 60 | 60 |
| الصيانة | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| الاستبدال | 200 | 220 | 240 | 250 | 255 | 260 | 265 | 270 | 270 | 270 |

**آلة منتجة في السنة الثانية:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 100 | 90 | 80 | 75 | 70 | 60 | 65 | 65 | 65 |
| الصيانة | 15 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 | 35 |
| الاستبدال | 200 | 220 | 240 | 250 | 255 | 260 | 265 | 270 | 270 |

**آلة منتجة في السنة الثالثة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 80 | 70 | 60 |
| الصيانة | 15 | 15 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 |
| الاستبدال | 200 | 220 | 240 | 250 | 255 | 260 | 265 | 270 |

**آلة منتجة في السنة الرابعة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 115 | 110 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 |
| الصيانة | 15 | 15 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 |
| الاستبدال | 210 | 215 | 220 | 225 | 230 | 235 | 240 |

**آلة منتجة في السنة الخامسة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 120 | 115 | 115 | 110 | 105 | 100 |
| الصيانة | 10 | 10 | 15 | 15 | 20 | 20 |
| الاستبدال | 210 | 215 | 220 | 225 | 230 | 235 |

**آلة منتجة في السنة السادسة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 125 | 120 | 110 | 105 | 110 |
| الصيانة | 10 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| الاستبدال | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 |

**آلة منتجة في السنة السابعة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| الدخل | 135 | 125 | 110 | 105 |
| الصيانة | 10 | 10 | 10 | 10 |
| الاستبدال | 210 | 220 | 230 | 240 |

**آلة منتجة في السنة الثامنة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| الدخل | 140 | 135 | 125 |
| الصيانة | 5 | 10 | 10 |
| الاستبدال | 210 | 220 | 230 |

**آلة منتجة في السنة السابعة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| الدخل | 135 | 125 | 110 | 105 |
| الصيانة | 10 | 10 | 10 | 10 |
| الاستبدال | 210 | 220 | 230 | 240 |

**آلة منتجة في السنة الثامنة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| الدخل | 140 | 135 | 125 |
| الصيانة | 5 | 10 | 10 |
| الاستبدال | 220 | 230 | 240 |

**آلة منتجة في السنة التاسعة:**

| عمر الآلة | 0 | 1 |
|---|---|---|
| الدخل | 150 | 140 |
| الصيانة | 5 | 10 |
| الاستبدال | 220 | 225 |

**آلة منتجة في السنة العاشرة:**

| عمر الآلة | 0 |
|---|---|
| الدخل | 155 |
| الصيانة | 5 |
| الاستبدال | 220 |

ويوجد في المعمل بالأصل من عمر ثلاث سنوات، وسلوكها المستقبلي هو كالآتي:

**الآلة الأساسية:**

| عمر الآلة | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الدخل | 60 | 60 | 50 | 50 | 50 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 |
| الصيانة | 55 | 55 | 55 | 60 | 60 | 60 | 60 | 65 | 65 | 70 |
| الاستبدال | 250 | 260 | 270 | 280 | 280 | 290 | 290 | 300 | 300 | 310 |

نطبق العلاقة التتابعية الخلفية ($3\ \ 12$) من أجل بناء جدول لـ $f_{10}(t)$ ولحساب $f_{10}(1)$، أي:

$$f_{10}(1) = MAX\begin{bmatrix} A: r_{10}(0) - e_{10}(0) - C(1) \\ C: r_{10}(1) - e_{10}(1) \end{bmatrix}$$

حيث أن $\alpha.f_{11}(11) = \alpha.f_{11}(2) = 0$. وعليه يكون لدينا جدول الآلة المنتجة في السنة العاشرة وجدول الآلة المنتجة في السنة التاسعة:

$$f_{10}(1) = MAX\begin{bmatrix} A: 155-5-225=-65 \\ C: 140-10=+130 \end{bmatrix} = 130$$

أي يجب المحافظة على الآلة. ومن الصعوبة بمكان أن نتوقع أن السياسة المثلى في السنة الأخيرة من السلسلة المستقبلية المدروسة تقضي شراء آلة. وبإتباع الأسلوب نفسه، نحسب $f_{10}(2)$ باستخدام جدولي الآلة المنتجة في السنة العاشرة والآلة المنتجة في السنة الثامنة:

$$f_{10}(2) = MAX\begin{bmatrix} A: 155-5-240=-80 \\ C: 125-10=+115 \end{bmatrix} = 115$$

وهكذا يمكننا حساب الجدول الكامل لقيم $f_{10}(t)$ وبأسلوب تراجعي، ونحصل على الجدول رقم ($3\ \ 1$)

| t | $f_0(t)$ | السياسة المثلى |
|---|---|---|
| 1 | 130 | C |
| 2 | 115 | C |
| 3 | 95 | C |
| 4 | 85 | C |
| 5 | 80 | C |
| 6 | 30 | C |
| 7 | 30 | C |
| 8 | 30 | C |
| 9 | 10 | C |
| 12 | 40 | C |

ونبدأ بحساب $f_9(t)$ . ولتسهيل الحساب، نفرض أن $\alpha = 1$ أي أن معدل الفائدة يساوي الصفر، وبالطبع فإن ذلك لا يؤثر على أسلوب الحساب. ونطبق العلاقة التتابعية الخلفية التالية من أجل t=1:

$$f_9(1) = Max\begin{bmatrix} A: r_9(0) - e_9(0) - c_9(t) + \alpha.f_{10}(1) \\ c: r_9(1) - e_9(1) + \alpha.f_{10}(2) \end{bmatrix}$$

ونحصل على قيم هذه العلاقة من جدولي الآلة المنتجة في السنة التاسعة والآلة المنتجة في السنة الثامنة، ومن الجدول (3 1) الخاص بقيم $f_{10}(t)$

$$f_9(1) = MAX\begin{bmatrix} A:150-5-230+130=45 \\ C:135-115=240 \end{bmatrix} = 240$$

ونحصل على قيم $f_9(2)$ باستخدام جدولي الآلة المنتجة في السنة التاسعة والآلة المنتجة في السنة السابعة، ومن الجدول (3 1) الخاص بقيم $f_{10}(t)$ :

$$f_9(2) = MAX\begin{bmatrix} A:150-5-230+130=45 \\ C:110-10+95=195 \end{bmatrix} = 195$$

وبتكرير الأسلوب نفسه فإننا نحصل على الجداول التالية التي تعطي الأرباح والسياسات المثلى[62]

الجدول(3 2) الجدول(3 3) الجدول(3 4)

| t | $f_9(t)$ | السياسة المثلى | t | $f_8(t)$ | السياسة المثلى | t | $f_7(t)$ | السياسة المثلى |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 240 | C | 1 | 310 | C | 1 | 385 | C |
| 2 | 195 | C | 2 | 275 | C | 2 | 360 | C |
| 3 | 175 | C | 3 | 260 | C | 3 | 215 | C |
| 4 | 165 | C | 4 | 145 | A | 4 | 190 | C |
| 5 | 75 | C | 5 | 125 | C | 5 | 175 | A |
| 6 | 70 | C | 6 | 110 | A | 6 | 170 | A |
| 7 | 60 | C | 7 | 105 | A | 9 | 145 | A |
| 8 | 25 | C | 10 | 75 | A | | | |
| 11 | 25 | A | | | | | | |

[62] تصبح هذه الطرق سهلة باستخدام الحاسب. لمزيد من التفصيل يمكن الاتصال بالباحث.

الجدول(3 7)

| السياسة المثلى | $f_4(t)$ | t |
|---|---|---|
| C | 435 | 1 |
| C | 385 | 2 |
| C | 370 | 3 |
| C | 285 | 6 |
| | | |
| | | |

الجدول(3 6)

| السياسة المثلى | $f_5(t)$ | t |
|---|---|---|
| C | 390 | 1 |
| C | 345 | 2 |
| A | 325 | 3 |
| A | 320 | 4 |
| A | 295 | 7 |
| | | |
| | | |

الجدول(3 5)

| السياسة المثلى | $f_6(t)$ | t |
|---|---|---|
| C | 465 | 1 |
| C | 295 | 2 |
| C | 265 | 3 |
| A | 245 | 4 |
| A | 240 | 5 |
| A | 210 | 8 |

الجدول(3 10)

| السياسة المثلى | $f_1(t)$ | t |
|---|---|---|
| A | 310 | 3 |
| | | |
| | | |

الجدول(3 9)

| السياسة المثلى | $f_2(t)$ | t |
|---|---|---|
| C | 490 | 1 |
| C | 385 | 4 |
| | | |
| | | |

الجدول(3 8)

| السياسة المثلى | $f_3(t)$ | t |
|---|---|---|
| C | 440 | 1 |
| C | 425 | 2 |
| C | 280 | 5 |

لنذكر كيف حصلنا على الرقم الأخير في الجداول المذكورة أعلاه $f_1(3) = 310$ ، لأنه يمثل الربح الإجمالي الذي يمكن الحصول عليه باستخدام سياسة مثلى. لقد ابتدأت السلسلة المستقبلية المدروسة بالسنة الأولى وبآلة أساسية موجودة في المعمل يمكن استبدالها أو المحافظة عليها. فإذا تمت عملية الاستبدال بتكلفة (250) كما هو موضح في جدول بيانات هذه الآلة، فإن الآلة الجديدة المنتجة في السنة الأولى ستحقق دخلاً صافياً يساوي (90 20 70) في السنة الأولى ويضاف إليه القيمة الحالية للدخول المستقبلية (490) المحققة نتيجة استخدام سياسة مثلى لآلة عمرها عام كما هو موضح في الجدول رقم (3 9) وبذلك نحصل على ربح صاف يساوي (310). وأما إذا كان القرار هو المحافظة على هذه الآلة الأساسية، فإن الدخل الصافي المحقق في السنة الأولى (60 55 5) حسب البيانات الخاصة بهذه الآلة، ويضاف إليه القيمة الحالية للأرباح المستقبلية (285) حسب بيانات الجدول (3 9) وبذلك نحكم بأن سياسة الاستبدال أفضل من سياسة المحافظة على الآلة المذكورة لأن (310) أكبر من (290).

وبناء على ما سبق، فإن المعمل يملك في السنة الثانية آلة عمرها عام واحد ويجب أن يحتفظ بها طبقاً لجدول الحسابات. وفي السنة الثالثة يملك المعمل آلة عمرها عامان، وتشير الحسابات إلى ضرورة عدم استبدال هذه الآلة. وهكذا بإعادة بناء سلسلة القرارات نرى أن السياسة المثلى تقضي شراء آلة جديدة في السنة الأولى والمحافظة عليها لغاية السنة الخامسة، ومن ثم شراء آلة جديدة والمحافظة عليها لغاية نهاية السلسلة المدروسة. وللتحقق من دقة الحسابات يمكننا إضافة الأرباح السنوية بموجب هذه السياسة وكما هو موضح في الجدول رقم (3 11):

| العام | الربح | السياسة |
|---|---|---|
| 1 | 180 | A |

| | | |
|---|---|---|
| C | 65 | 2 |
| C | 55 | 3 |
| C | 50 | 4 |
| A | 145 | 5 |
| C | 105 | 6 |
| C | 100 | 7 |
| C | 95 | 8 |
| C | 135 | 9 |
| C | 30 | 10 |
| | **310** | |

الجدول (3 11)

ويمكن الآن أن نستخلص نتيجة مهمة أخرى من هذا التحليل. إذا اضطر المعمل لسبب مالي إلى الاحتفاظ بالآلة الأساسية في السنة الأولى وعدم استبدالها فإن جدول الخيارات المثلى يظهر في هذه الحالة أنه يجب الاحتفاظ بها لغاية السنة الخامسة ثم استبدالها في ذلك التاريخ. وهذه السياسة تحقق ربحاً صافياً يساوي 290 ) يقل عن الربح الصافي فحالة الاستبدال بمقدار 310 290 20 ). وفي هذه الحالة فإن مهمة المؤسسة أن تقرر فيما إذا كان من المناسب اقتصاديا أن تستثمر مبلغا وقدره 250 ) في السنة الأولى بهدف تحقيق ربح إضافي مقداره 20 ) في السنة. وإن مثل هذا الحساب يتطلب اختبار $2^{10}$ برنامجاً ممكناً للاستبدال ثم اختيار البرنامج الأفضل.

### 5 4 صياغات أخرى:

إن تقنية الحل التي سبق شرحها تتمتع بدرجة كبيرة من المرونة، ويمكن تطوير صياغتها بأساليب مختلفة. فعلى سبيل المثال يمكن أن تتضمن إمكانية ثالثة للخيار هي شراء آلة مجددة. وفي هذه الحالة نستخدم تابع تكلفة مثل التابع $g_N(t,X)$ لتحديد تكلفة استبدال آلة من عمر t بآلة مجددة من عمر X في السنة N . ونحصل بالتالي على العلاقة التتابعية الآتية:

$$f_N(t) = Max\begin{bmatrix} r_N(0) - e_N(0) - C_N(t) + \alpha.f_{N+1}(1) \\ MAX_X\, r_{N-1}(X) - e_{N-1}(X) - g_N(t,X) + \alpha.f_{N+1}(X+1) \\ r_{N-1}(t) - e_{N-1}(t) + \alpha.f_{N+1}(t+1) \end{bmatrix} \quad (13\ 3)$$

وإذا أعطينا لـ X قيمة أكبر من $t$ فإن شراء آلة جديدة تصبح حالة خاصة من عملية شراء آلة مجددة من عمر $X$.

ويمكن أيضا أن ندخل في الصياغة إمكانية إجراء إصلاح عام إذا قبلنا بأن آلة خاضعة للإصلاح من عمر t لها مميزات آلة غير خاضعة للإصلاح من عمر أقل من t' وفي هذه الحالة فإن t' تتبع في آن واحد t أهمية الإصلاح الذي تخضع له الآلة. ولإدخال عملية الإصلاح العام بصورة مرنة فإننا نضيف بعداً جديداً إلى المسألة المدروسة. ولنعتبر التابع $f_N(t_1,t_2)$ يساوي القيمة الحالية في السنة N للربح الإجمالي المحقق من استخدام آلة من عمر $t_1$ خاضعة للإصلاح للمرة الأخيرة عند العمر $t_2$ وذلك في حالة استخدام سياسة استبدال مثلى من أجل الفترات الباقية في السلسلة المستقبلية. ويتوجب علينا الآن أن نعرف التكاليف المختلفة بدلالة العمر الحالي $t_1$، والعمر $t_2$ المرافق لآخر إصلاح للآلة. وفي هذه الحالة يمكننا كتابة علاقة تتابعيه بصورة مشابهة للأسلوب السابق ونحصل على:

$$f_N(t_1,t_2)=\begin{bmatrix} A: r_N(0,0)-e_N(0,0)-C_N(t_1,t_2)+\alpha.f_{N+1}(1,0) \\ C: r_{N-1}(t_1,t_2)-e_{N-1}(t_1,t_2)+\alpha.f_{N+1}(t_1+1,t_2) \\ R: r_{N-1}(t_1,t_2)-e_{N-1}(t_1,t_2)-R_N(t_1,t_2)+\alpha.f_{N+1}(t_1+1,t_2) \end{bmatrix} \quad (14\ 3)$$

$R_N(t_1,t_2)$ هو تكلفة إصلاح عام لآلة من عمر $t_1$ وخاضعة للإصلاح لمرة أخيرة عند العمر $t_2$. إن التقنية المستخدمة للحصول على الحل العددي تشبه تماماً التقنية التي سبق لنا استخدامها مع ملاحظة أننا نتعامل الآن مع سلسلة من التوابع ذات متغيرين وأن $t_1,t_2$ يجب أن يتغيرا ضمن مجالات مقبولة.

ويمكننا أيضا في صياغة أخرى أن نستخدم نموذجاً تصادفياً أو احتمالياً. وفي مثل هذه الحالة فإننا نعمل على تعظيم التوقع الرياضي للربح الإجمالي، كما ندخل في النموذج احتمال تعطل الآلة بدلالة السنة المدروسة، وعمر الآلة والاستخدام السابق للآلة، ونبحث عن سياسة مثلى للاستبدال بتعظيم بعض معايير أداء الآلة. إن مثل هذه المشكلات هي حالات خاصة من سياقات ماركوف، ولا يمكننا التوسع في مناقشتها هنا لأنها تشكل بحد ذاتها بحثاً مستقلاً.

## 6 4 صياغة سياسة الاستبدال بأسلوب البرمجة الخطية:

يعتمد اتخاذ قرار الاستبدال على مقارنة تكلفة الاحتفاظ بالآلة القديمة وتكلفة شراء الآلة الجديدة. وتشمل تكلفة الاحتفاظ بالآلة القديمة أو الموجودة كلاً من تكلفة التشغيل التي تزداد بمرور الزمن إضافة إلى القيمة الدفترية للآلة والتي تتأثر بصافي القيمة البيعية المقدرة وبأقساط الاهتلاك وطريقة احتسابها. أما تكلفة الآلة الجديدة فتشمل قيمتها ومصاريف شرائها وتكاليف تركيبها، إضافة إلى تكاليف تشغيلها المقدرة وقيمتها البيعية المقدرة.

بفرض أن $B_0$ هي تكلفة شراء الآلة الموجودة وأن $C_{sal,0}$ هي القيمة البيعية المقدرة للآلة الموجودة حالياً، و $C_{sal,1}$ هي قيمتها البيعية المقدرة في السنة التالية، وهكذا فإن $C_{sal,n}$ هي القيمة البيعية في السنة n التالية.

إن طريقة الاهتلاك المتبعة لها دور مهم في استرجاع تكلفة الآلة المشتراة والمستخدمة في العمليات الإنتاجية على شكل أقساط سنوية محملة على حسابات مراكز التكلفة أو حساب التشغيل. فطريقة الاهتلاك بالأقساط المتزايدة تؤخر اقتطاع الأقساط الكبيرة للفترات التالية بينما طريقة القسط المتناقص تستعجل الاقتطاع في الفترات الأولى من عمر الآلة، بينما طريقة القسط الثابت والمتبعة في معظم المؤسسات تعامل جميع الفترات بشكل متساوٍ. وسوف نعتمد في نموذجنا على طريقة الاهتلاك بالقسط الثابت.

وبفرض أن D ترمز للاهتلاك، فإن $F_{slp}$ سيرمز لمعامل القيمة الحالية لليرة السورية على أساس القسط الثابت وستساوي إلى:

$$F_{slp} = \frac{1}{n.i.\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}} \qquad (15\ 3)$$

وسيشكل الفرق بين القيمة الدفترية والقيمة البيعية المقدرة في أي سنة تالية أرباح أو خسائر رأسمالية ناجمة عن سوء تقدير قسط الاهتلاك السنوي بشكل كافٍ، أي أن الفرق هو:

$$B_0 - C_{sal,n} \qquad (16\ 3)$$ وهذه العلاقة صحيحة في حالة n=1

وفي السنوات التالية تصبح العلاقة على الشكل التالي:

$$B_0 - n.D - C_{sal,n} \qquad (17\ 3)$$

وبتطبيق معامل رسملة التكاليف:

$$F_{PK} = \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (18\ 3)$$

فإن العلاقة (3 17) تكتب على الشكل:

$$(B_0 - n.D - C_{sal,n}).F_{PK,i,n} \qquad (19\ 3)$$

وبفرض أن $C_e$ هي تكلفة التشغيل، فإن $C_{e.n}$ هي تكلفة التشغيل المقدرة في السنة n، فإذا كانت r هي تكلفة رأس المال فإن تكلفة التشغيل في السنة n يمكن التعبير عنها بالعلاقة:

$$C_{en}.\frac{1}{(1+r)^n} \qquad (20\ 3)$$

وبتطبيق معامل رسملة التكاليف خلال n سنة العلاقة (3 18) تكون تكلفة التشغيل للفترة الأولى:

$$C_{en}.\frac{1}{(1+r)^n}.F_{PK,i,1} \qquad (21\ 3)$$

بينما تكون تكلفة التشغيل للفترات اللاحقة:

$$\sum_{m}^{cn=1} C_{e.cn}.\frac{1}{(1+r)^{cn}}.F_{PK,i,cn} \qquad (22\ 3)$$

وبإدخال عامل الضريبة في الحسبان فإن تكلفة الاحتفاظ المذكورة تتأثر على الشكل التالي:

- تخضع الأرباح الرأسمالية الناجمة عن عملية بيع الآلة الموجودة لضريبة نوعية t.
- تكاليف الإنتاج تؤثر عكساً في الضريبة حيث تعمل على تخفيض المطرح الضريبي (1-t).

فإذا فرضنا أن t هي الضريبة المحققة فإن العلاقة (3 19) تصبح:

$$t.(B_0 - n.D - C_{sal,n}).F_{PK,i,n} \qquad (23\ 3)$$

كما تصبح العلاقة (3 22) بالشكل التالي:

$$\sum_{m}^{cn=1} (1-t).C_{e.cn}.\frac{1}{(1+r)^{cn}}.F_{PK,i,cn} \qquad (24\ 3)$$

ونحصل على تكلفة الاحتفاظ بالآلة الموجودة بجمع العلاقتين (3 23) و (3 24):

$$K1 = t.(B_0 - n.D - C_{sal,n}).F_{PK,i,n} + \sum_{m}^{cn=1}(1-t).C_{e.cn}.\frac{1}{(1+r)^{cn}}.F_{PK,i,cn} \quad (25\ 3)$$

أما تكلفة الآلة البديلة (المشتراة) فيمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$K2 = t.F_{slp,i,n}.(B_0 - C_{sal}).F_{PK,i,n} + C_e.(1 - t.F_{slp,i,n}).\frac{1}{r} \quad (26\ 3)$$

ويكون القرار مرتبطاً بقيمة كل من K1 و K2 فالقرار أن لا نستبدل الآلة بل نستمر في استخدام الآلة القديمة إذا كانت K2>K1 والعكس بالعكس.

مثال:

بفرض أن القيمة الشرائية لآلة ما 1000 ، والقيمة البيعية لها في نهاية السنة 250 وفي نهاية السنة التي تليها 100 وكانت تكلفة تشغيلها 700 للسنة الحالية و 800 للسنة التالية. وبفرض توافر آلة بديلة قيمتها 3800 ويقدر عمرها الإنتاجي بخمس سنوات وتقدر قيمتها البيعية بصفر. فإذا علمت أن تكلفة رأس المال تقدر بـ 8 % و لا يوجد ضرائب على المؤسسة كونها ضمن فترة إعفاء ضريبي وذلك للتوسعات التي تجريها المؤسسة. فهل ننصح بإجراء الاستبدال؟ علماً أن المؤسسة تعتمد طريقة القسط الثابت في احتساب الاهتلاك.

يمكن تلخيص بيانات المثال في الجدول التالي:

| الآلة البديلة | الآلة الحالية |
|---|---|
| $B_0 = 3800$ | $B_0 = 1000$ |
| $n = 5$ | $C_{sal,0} = 250$ |
| | $C_{sal,1} = 100$ |
| $C_e = 400$ | $C_{e1} = 700$ |
| $C_{sal} = 0$ | $C_{e2} = 800$ |
| r = 8% | |

تكلفة الآلة القديمة

الفترة الأولى:

$$K1 = (1000 - 250).F_{PK,8\%,1} + 250 + 700.\frac{1}{(1+0.08)^1}.F_{PK,8\%,1} = 19125$$

الفترة الثانية:

$$K1 = (1000 - 100).F_{PK,8\%,2} + 100 + 700.\frac{1}{(1+0.08)^1}.F_{PK,8\%,2} + 800.\frac{1}{(1+0.08)^2}.F_{PK,8\%,2} = 15760$$

تكلفة الآلة البديلة:

$$K2 = (3800 - 0).F_{PK,8\%,5} + 0 + 400.\frac{1}{0.08} = 16897$$

وبمقارنة K1 تكلفة الآلة في الفترة الثانية مع K2 للآلة البديلة فالقرار هو استبدال الآلة في الفترة الثانية أي بعد سنتين.

وبإدخال عامل الضريبة t وبفرض أن الضريبة 50%، فتصبح النتيجة كالتالي:

تكلفة الآلة القديمة

الفترة الأولى:

$$K1 = t.(B_0 - C_{sal,0}).F_{PK,8\%,1} + C_{sal,0} + \sum_{1}^{cn=1}(1-t).C_{e1}.\frac{1}{(1+i)^1}.F_{PK,8\%,1}$$

$$K1 = \begin{vmatrix} 1.(1000-250).F_{PK,8\%,1} + 250 + \\ 700.\frac{1}{(1+0.08)^1}.F_{PK,8\%,1} \end{vmatrix} = 19125$$

الفترة الثانية:

$$K1 = t.(B_0 - n.D - C_{sal,1}).F_{PK,8\%,2} + C_{sal,1} + (1-t).C_{e1}.\frac{1}{(1+i)^1}.F_{PK,8\%,2} + (1-t).C_{e2}.\frac{1}{(1+i)^2}.F_{PK,8\%,2}$$

الاهتلاك $D_1 = \frac{B_0 - C_{sal,0}}{n}$

معامل رسملة التكلفة $F_{PK} = \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

معامل القيمة الحالية لليرة السورية $F_{slp} = \frac{1}{n.i.\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}}$

$$K1 = \begin{vmatrix} 1.(1000-100).F_{PK,8\%,1} + 100 + \\ 700.\frac{1}{(1+0.08)^1}.F_{PK,8\%,1} + \\ 800.\frac{1}{(1+0.08)^2}.F_{PK,8\%,2} \end{vmatrix} = 15760$$

تكلفة الآلة البديلة:

$$K2 = t.F_{slp,i,5}.(B_0 - C_{sal}).F_{PK,8\%,5} + C_e.(1 - t.F_{slp,i,5}).\frac{1}{r}$$

$$K2 = t.F_{slp,i,5}.(3800-0).F_{PK,8\%,5} + 400.\frac{1}{0.08} = 16897$$

**التفسير**: طالما K أصغر من K1,K2..Kn فالقرار نستبدل.

فتكون النتائج حسب الجدول التالي:

| السنة | القيمة $B_0$ | النفاية $C_{sal}$ | الضريبة | $F_{PK}$ | $C_e$ ت. التشغيل | $F_{slp}$ معامل القيمة الحالية | D الاهتلاك | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1000 | 250 | %50 | 13.5 | 700 | 0.84 | 100 | 9562 |
| 2 | 1000 | 100 | %50 | 7.0096 | 800 | 0.84 | 100 | 7479 |
| البديل | 3800 | 0 | %50 | 3.1307 | 400 | 0.84 | | **7134** |

وعليه فلو أردنا اتخاذ قرار الاستبدال في السنة الأولى، فالقرار نستبدل. وكذلك الأمر إذا أخذنا القرار في السنة الثانية، طالما أن تكلفة البديل أقل من كليهما.

# استخدام نماذج التخزين في خفض ومراقبة تكاليف قطع التبديل

**مقدمة**

بدأت محاسبة التكاليف في معالجة المخزون من خلال الرقابة على هذه التكلفة بوصفها ركناً من أركان التكاليف المهمة في المشروع. كما أن نظام الضبط الداخلي للمشروع ( نظام الرقابة الداخلية ) صبّ جلّ اهتمامه على ضبط حركتي الدخول والخروج من وإلى المستودعات بهدف الرقابة على صرف هذه المواد والسلع دون أية ضياعات أو هدر. وانصرفت إدارة المخازن إلى الاهتمام بكيفية التخزين من حيث المكان وسعته وشكله وأساليب المناولة ودراسة العوامل الجوية المناسبة للحفاظ على المخزون وأشكال جرد المستودعات إضافة لنظام الرقابة الداخلية.

إن تكاليف قطع التبديل المستخدمة في أعمال الصيانة تمثل نسبة كبيرة من تكاليف الصيانة. ولقد تعرضنا في الفصول السابقة[63] إلى أهمية عنصر تكلفة المواد , كما ذكرنا أن سوء عمليتي الشراء والتخزين للقطع التبديلية مسؤولة بشكل مباشر عن زيادة استهلاك القطع التبديلية. كما أن إدارة الصيانة ترغب عادة في الاحتفاظ بمزيد من قطع التبديل كمخزون أمني بينما تسعى إدارة التكاليف لخفض هذا المخزون إلى أدنى حد لخفض التكاليف.

سنحاول في المبحثين القادمين تطبيق نماذج كمية تهدف للسيطرة على عمليتي الشراء والتخزين بالشكل المرضي والمريح لكلا الإدارتين, فالنموذج يبنى على أساس نظرة الهندسة الصناعية في المؤسسة , وهو عبارة عن مجموعة علاقات مترابطة , تعتبر مخرجات كل منها مؤشراً على الرقابة والتخطيط[64]. كما ظهرت عدة نماذج كميّة ساعدت في عمليات التخطيط ,"لكن تنفيذ تلك النماذج يتطلب قدراً كبيراً من المعلومات لذلك يجب أن يكون المحاسب أول من يلتجئ إليه القائمون بتصميم وتنفيذ تلك النماذج بغية توفير تلك المعلومات. وقد كثرت محاولات الربط بين وظيفة المحاسب وبناء وتنفيذ تلك النماذج في كتابات المحاسبة الإدارية والتكاليف كافة وبشكل أخص بعد تقرير الجمعية الأمريكية للمحاسبة عن دور المحاسب في تطبيق نماذج القرارات الإدارية"[65]. لذلك على المحاسب أن يلفت النظر إلى الوقت الضائع الناجم عن عدم استغلال وقت الشراء المناسب وإلى تكلفة الفرصة المضاعة الناجمة عن إساءة استثمار الأموال (كشراء كميات كبيرة من المخزون تزيد عن الكمية اللازمة, وبالتالي زيادة تكاليف التخزين والتأمين على المخزون...) , أو بتبني سياسات شراء غير صحيحة كالإقدام على شراء كميات كبيرة من إحدى القطع القابلة للعطب نتيجة التخزين الطويل أو بهدف الحصول على حسم كمية مقابل تحمل نفقات تخزين قد تساوي أو تتجاوز الحسم المكتسب.

**تصنيف وتقييم جودة قطع التبديل**[66]: يمكن تصنيف قطع التبديل وقطع الغيار إلى صنفين:

---

[63] مبحث التكاليف المرتبطة بالصيانة

[64] Voest –Alpin – (Industrial Services )- Op. CIT., PP 6.

[65] محمد بيومي , الغريب , (المحاسبة عن تكلفة رأس المال من زاوية ترشيد تخصيص واستخدام الموارد الاقتصادية ) , مجلة العلوم الاجتماعية المجلد 14 العدد 1 ربيع 1989 ص 255.

[66] Voest –Alpin – (Industrial Services )- Op. CIT., PP44.

أ. قطع تبديل خاصة بالمصنع: وهي قطع تبديل يمكن تركيبها في أماكن محددة من الآلات, وتقسم إلى ثلاث فئات:

1. قطع تبديل قابلة للتلف بشكل محدد: وهي القطع التي تعرف متانتها بدقة, لذلك تحدث عملية إعادة الطلب بشكل آلي, وسوف نستخدم نموذجاً ساكناً للتحكم في: الكمية المشتراة, وحد إعادة الطلب. (وتنطبق هذه المواصفات في صناعة الإسمنت موضوع البحث على: البلاطات, القرميد وهما أهم مادتين في عمليات الصيانة.
2. قطع قابلة للتلف بشكل احتمالي: فهي تحتاج إلى خدمات قليلة خلال عمرها الإنتاجي، وبالتالي فهي غير محددة تماماً. وسوف نستخدم نموذجاً احتماليا للتحكم في: الكمية المشتراة, وحد إعادة الطلب. ومن المفيد ذكره أن التفتيش النظامي (الصيانة الوقائية) سواء بالأسلوب التقليدي أو بأسلوب EDP (حسب الحالة, حسب الاستعمال) يساعد في ضبط أو مراقبة هذه القطع من خلال التقارير المرفوعة من مستويات الإدارة العليا للصيانة. (وتنطبق هذه المواصفات في صناعة الإسمنت موضوع البحث على: قطع التبديل والمحركات والقطع الإلكترونية و الكهربائية).
القطع الخطرة أو الإستراتيجية: يمكن أن تنتمي إلى إحدى الفئتين السابقتين ( أ1 ) (أ2 ) وبالتالي تجري مراقبتها حسب انتمائها.

ب. قطع تبديل عامة: وهي مفردات وعناصر التكلفة غير المباشرة, وتجري عملية مراقبتها بالأسلوب الاحتمالي بسبب عدم إمكانية تحديدها بشكل دقيق.

**محددات مستوى المخزون**: يتأثر حجم المخزون من قطع ومواد الصيانة الموجودة في مخازن الشركة بالأمور التالية:

1. مستوى الصيانة المتوقع (صيانة علاجية , صيانة وقائية), وهل تعتمد الشركة على الصيانة الوقائية بالأسلوب التقليدي أم بالأسلوب EDP ؟ فلقد رأينا سابقا أن الصيانة بأسلوب EDP تحتاج إلى قطع تبديل أكثر مما تحتاجه الصيانة الوقائية بالأسلوب التقليدي.
2. تأخر وصول قطع التبديل, سواء كان التأخر ناجماً عن أسباب تتعلق بالشحن أو بسبب الشركة الصانعة لها, أم لأي سبب كان. فهذا التأخير قد يؤدي لاختناقات في الإنتاج.
3. وفورات الشراء (حسم الكمية)، فالشراء بكميات كبيرة يمكّن المشتري من الحصول على حسم كمية، وغالبا ما يكون هذا الحسم مغرياً في اتخاذ مثل هذه القرارات.
4. تكاليف التخزين: كأجور الشحن وأجور الموظفين وإيجار المستودعات والاهتلاك الناجم عن مرور الزمن و أقساط التأمين وأجور العتالة والمناولة والنقل...الخ.
5. توقع حركة الأسعار المستقبلية: حيث يؤدي شبح الحرب أو التضخم إلى ارتفاع في الأسعار مما يغري بشراء كميات كبيرة. كما أن توقع انخفاض الأسعار عامل مهم في الإحجام عن الشراء.
6. تكلفة الأموال المستثمرة في المخزون: فإن كانت قروضاً فإن تكلفتها هي عبارة عن الفوائد المدفوعة، وإذا كانت ملكاً للشركة فتكلفة الفرصة البديلة تستوجب احتساب فرقٍ للفوائد المحسوبة.

وأخيراً , فإن التجارب الماضية للشركة لها أهمية في تحديد حجم وكميات الشراء وكذلك الكميات المخزنة في المستودعات والمخازن. وسوف نتناول استخدام نماذج التخزين في خفض ومراقبة تكاليف قطع التبديل بثلاثة مباحث على الشكل التالي:

المبحث الأول: صياغة نموذج محدد

المبحث الثاني: صياغة نموذج احتمالي

المبحث الثالث: صياغة نموذج تخزين قطع التبديل باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية

# صياغة نموذج محدد (النموذج الساكن)

## حالة التأكد التام

تتوافر عدة نماذج محددة تعالج موضوع المخزون على أساس تسليم محدد أو غير محدد سواء بحالة قبول وجود نقص أو عدم قبوله. وفي حالة عدم وجود نقص يتم إتباع إحدى السياستين: وجود مخزون أمني أو بدونه. أما في حالة وجود نقص فإن ذلك يتبع وجود تأخير, أو تأخير جزئي, أو دون تأخير، وذلك حسب نوعية الزبائن المتوفرين في الأسواق. ولقد اخترنا نموذجاً ساكناً حيث الطلب محدد وزمن التسليم محدد أيضاً ولا يمكن قبول العجز في مخازن قطع التبديل تجنباً للآثار السيئة التي قد تنجم عن ذلك، وسوف نتناول الاحتمالات الأخرى في أبحاث قادمة إن شاء الله.

ويفترض هذا النموذج أن معدل الطلب ثابت خلال الزمن, وأن المخزون يصل إلى أعلى مستوى عندما يستلم النظام الكمية المطلوبة من المادة Q , كما يصل المخزون إلى مستوى الصفر بعد مضي $T = Q/\lambda$ وحدة زمن تلي مباشرة تاريخ استلام الطلبية. حيث $\lambda$ هي معدل الطلب أي كمية الشراء في كل مرة.

وكلما صغر حجم الطلبية Q كلما زاد عدد الطلبيات وبالتالي زادت تكاليف الطلب مما يعني زيادة في حجم الأموال المستثمرة بسبب زيادة التكاليف وبالعكس, وكلما زاد حجم الطلبية Q نقص عدد الطلبيات وبالتالي نقصت تكاليف الطلب مقابل زيادة الأموال المستثمرة في عملية الشراء. الأمر الذي يستدعي الموازنة بين الحالتين

كما ذكرنا سابقاً توفيق الآراء والمصالح بين الفنيين والماليين . وبفرض أن K ترمز لتكلفة عمل الطلبية و h هي تكلفة خزن وحدة واحدة من المادة فإن:

الكمية الاقتصادية للطلب حسب قانون ويلسون تساوي $$Q = \sqrt{\frac{2.k.\lambda}{h}} \quad (1\ 5)$$

بتكلفة كلية قدرها $$TC = \sqrt{2.k.\lambda..h} \quad (2\ 5)$$

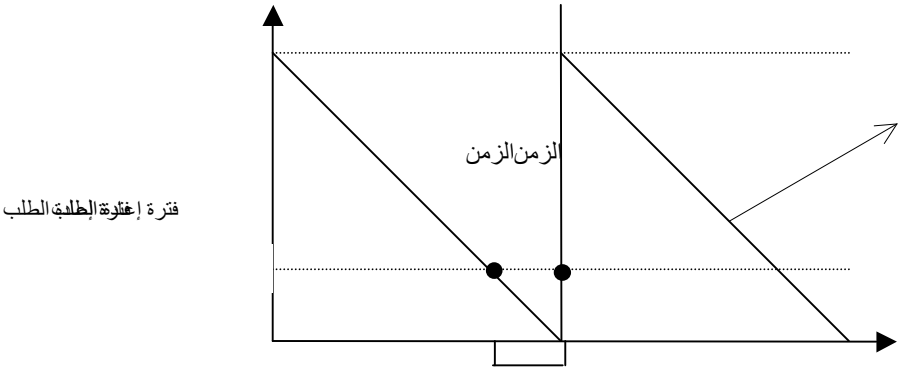
وتكون نقطة إعادة الطلب تساوي $$R = \lambda(L - mT) = \lambda L - mQ \quad (3\ 5)$$

حيث m هي أكبر عدد صحيح أقل أو يساوي $L/T$ . علماً بأن المقصود بمستوى إعادة الطلب هو كمية الوحدات التي يجب عندها تنظيم طلب مواد جديد قبل أن تنخفض كميات المخزون إلى مستوى الحد الأدنى ويقابل الحد الأدنى فترة الانتظار التي تستغرقها عملية إعادة إجراء طلبية أخرى. لذلك فإن R تتعلق بفترة الانتظار ومعدل الاستهلاك (الاستهلاك في عملية الصيانة).

حد إعادة الطلب = الحد الأدنى للمخزون + فترة الانتظار × معدل الاستهلاك (5 4)

وتقسم تكلفة التخزين h إلى جزئيين: تكلفة ضمنية: كإيجار المستودعات (قد يكون محسوباً كتكلفة فرصة بديلة) أو الإنارة والتدفئة والمياه... الخ، وتكاليف مدفوعة كرواتب الموظفين وأجور النقل والتحميل. إضافة لتكاليف الفساد والتلف والتأمين. بينما تمثل تكلفة الطلبية K مجموعة النفقات المترتبة على تجهيز طلبية كتكلفة إجازة الاستيراد والطوابع والرسوم الجمركية والضرائب وأجور التخليص الجمركي وتكاليف النقل من مخازن المصدّر إلى مخازن (المشروع) ويلخص الشكل (5 1 1) هذه العلاقات.

R R
S




الشكل رقم (5 1 1)

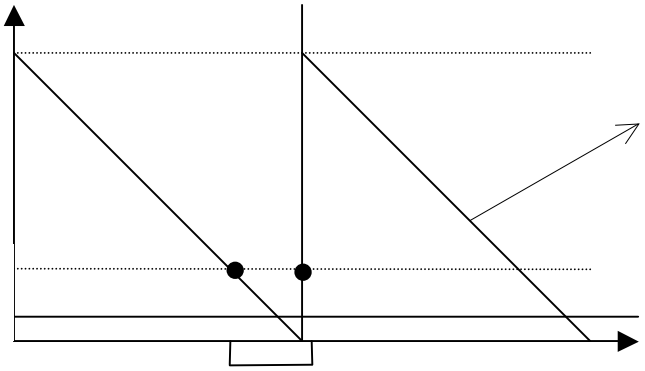
وفي حال تطبيق الإدارة لسياسة المخزون الأمني, الشكل (5 1 2) تصبح المعادلات على الشكل التالي:

حجم الطلبية (5 5) $$Q = \sqrt{\frac{2.k.\lambda}{h}}$$

التكلفة الكلية (5 6) $$TC = \sqrt{2.k\lambda.h} + s.h$$

حيث s هي حجم المخزون الأمني. وتتأثر كميتها بفترة الاستلام وبمعدل الاستهلاك.

وتكون نقطة إعادة الطلب (5 7) $$R = (L - mT) = L - mQ$$



الشكل رقم (5 1 2)

حيث:

$\lambda$ ترمز لمعدل الطلب

K تكلفة الطلبية

h تكلفة الاحتفاظ بالمخزون

L فترة الاستلام

R مستوى إعادة الطلب

Q الكمية الاقتصادية للطلب

TC التكلفة الكلية

**تطبيق:**

تم أخذ خمس حالات تهدف لدراسة أثر كل عنصر من عناصر تحديد Q,R,TC. الجدول (5 1 1).

| $\lambda$ وحدة | K ل.س | h ل.س | L يوم | R وحدة | Q وحدة | TC ل.س |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 25000 | 7.50 | 25 | 95.29 | 577.35 | 433.12 |
| 75 | 25000 | 7.50 | 25 | 460.78 | 707.10 | 5303.12 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 25 | 50.51 | 816.49 | 6123.72 |
| 125 | 25000 | 7.50 | 25 | 386.38 | 912,87 | 6846.53 |
| 150 | 25000 | 7.50 | 25 | 750.00 | 1000,00 | 7500.00 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 25 | 50.51 | 816.49 | 6123.72 |
| 100 | 4000 | 7.50 | 25 | 100.00 | 800.00 | 600.00 |
| 100 | 23000 | 7.50 | 25 | 150.53 | 783.15 | 5873.67 |
| 100 | 22000 | 7.50 | 25 | 202.17 | 765.94 | 5744.56 |
| 100 | 21000 | 7.50 | 25 | 255.00 | 748.33 | 5612.48 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 25 | 50.51 | 816.49 | 6123.72 |
| 100 | 25000 | 7.00 | 25 | 809.69 | 845.15 | 5916.08 |
| 100 | 25000 | 6.75 | 25 | 778.67 | 860.66 | 5809.47 |
| 100 | 25000 | 6.50 | 25 | 711.14 | 894.42 | 5590.17 |
| 100 | 25000 | 6.25 | 25 | 674.25 | 912.87 | 5477.22 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 25 | 50.51 | 816.49 | 6123.72 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 24 | 767.00 | 816.49 | 6123.72 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 23 | 667.00 | 816.49 | 6123.72 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 22 | 567.00 | 816.49 | 6123.72 |
| 100 | 25000 | 7.50 | 21 | 467.00 | 816.49 | 6123.72 |

الجدول (5 1 1)

التفسير

1 كلما انخفضت تكاليف تخزين الوحدة الواحدة فإن فذلك يغري في زيادة الكميات المشتراة دون أن يكون لذلك أثر كبير في زيادة التكاليف الكلية. (من جهة تكاليف الخزن) كما لا يعني ذلك زيادة حد إعادة الطلب.

2 كلما نقص زمن الاستلام نقص حد إعادة الطلب, وكلما زاد، زاد حد إعادة الطلب.

3 إن زيادة معدل الطلب ينعكس في زيادة الكميات المشتراة وكذلك في زيادة التكاليف الكلية.

4 إن زيادة تكلفة الطلبية يؤدي لزيادة حد إعادة الطلب و نقصان الكمية المشتراة وبالتالي نقصان التكاليف الكلية.

تلخيص النتائج:

1. في حالة نقصان تكلفة خزن الوحدة الواحدة h مع ثبات باقي العناصر، يلاحظ زيادة Q وانخفاض R,TC.
2. في حالة انخفاض فترة الاستلام L مع ثبات باقي العناصر يلاحظ انخفاض R وثبات كلا من TC و Q.

3. في حالة زيادة معدل الطلب $\lambda$ مع ثبات باقي العناصر يلاحظ زيادة TC و Q مع تأرجح R.
4. في حالة زيادة تكلفة الطلبية K مع ثبات باقي العناصر يلاحظ زيادة R وانخفاض TC و Q.

النتيجة:

1. تتناسب كلفة خزن الوحدة h طرداً مع TC و R وعكساً مع Q.
2. تتناسب فترة الاستلام L طرداً مع R ولا تتأثر فيها TC و Q.
3. يتناسب معدل الطلب $\lambda$ طرداً مع TC و Q.
4. تتناسب تكلفة الطلبية K طرداً مع R وعكساً مع TC و Q.

# صياغة نموذج احتمالي

## حالة عدم التأكد

إن حالة عدم التأكد تعني وجود نسبٍ من المخاطرة سيتحملها متخذ القرار. لذلك تسمى هذه النماذج نماذج احتمالية أي هناك حالة من عدم التأكد. وهذا الموضوع عولج في بحوث العمليات بعدة طرق مثل: التحليل المتزايد أو حسب التوقعات أو المحاكاة بطريقة مونت كارلو[67].

يفترض هذا النموذج وجود حالة جرد مستمر، فالحالة معروفة في كل لحظة نتيجة تسجيل كل عملية تقع في حينها. كما يفترض هذا النموذج[68]:

1. ثمن شراء الوحدة C مستقل عن الكميات المشتراة Q.
2. تكلفة تأجيل الطلبات تساوي P ليرة لكل وحدة مؤجلة.
3. لا يوجد أكثر من طلبية واحدة في الانتظار.
4. نقطة الطلب R موجبة فلا طلب مؤجل عند نقطة الطلب.

ويختلف هذا النموذج الاحتمالي عن النموذج المحدد المبحث الأول بأنه لا يصف نفس الحالات في كل دورة كما تخضع طول دورته لتقلبات عشوائية فهو يمر بنفس الحالات خلال كل دورة بين [R+Q, R ].

**حساب التكلفة السنوية الكلية:**

التكلفة الكلية السنوية للنموذج = التكلفة الوسطية لإعداد الطلبات+ تكلفة التخزين المتوقعة+ تكلفة العجز المتوقعة (5 8)

1 التكلفة الوسطية لإعداد الطلبات (5 9) $\frac{\lambda..k}{Q}$ حيث:

$\lambda$ الطلب الكلي المتوقع خلال العام

$\frac{\lambda}{Q}$ العدد التقريبي للطلبات

K تكلفة الإعداد لكل طلبية

2 تكلفة التخزين المتوقعة (5 10): E(r-x)، حيث x متغير عشوائي يقيس الطلب خلال فترة الاستلام L.

r هي نقطة إعادة الطلب. إن تكلفة التخزين المتوقعة تعتمد على مستوى المخزون الصافي الذي يشكل المستوى المتاح من المخزون أي الرصيد الموجود مطروحاً منه الطلبات المؤجلة، ويعادل مستوى المخزون الصافي

[67] JELEN- (COST & OPTIMIZATION ENGINEERING)- 1970.PP203.

[68] قاسم، د. أحمد رفيق (المدخل إلى بحوث العمليات) مرجع سابق ص 436.

التوزيع الهامشي للطلب خلال فترة الاستلام: $\frac{Q}{2}+E(r-x)=Q+E(r-x)$ (11 5)

حيث: $f(x)=\int_0^{\infty} h(x/L).g(L).d(L)$ (12 5)

d(L) هو فرق أو تغير الاستلام L.

g( L) هو تابع كثافة الاحتمال لفترة الاستلام L.

h(x/L) هو تابع كثافة الاحتمال الشرطي للطلب خلال فترة الاستلام

3 حساب كمية العجز المتوقع Shortage: $S=\int_0^{\infty} s(x).f(x).dx=\int_0^{\infty}(x-r).f(x).d(x)$ (13 5)

حيث dx هو التوزيع الهامشي للطلب.

وبالتبديل، نجد أن $TC=\frac{\lambda K}{Q}+h.(\frac{Q}{2}+r-E(x))+\frac{\rho\lambda s}{Q}$ (14 5)

أي: التكلفة السنوية الكلية للنظام تساوي كلفة تأجيل الطلبية + كلفة خزن وحدة واحدة مضروبة بكميات + التكلفة الوسطية لإعداد الطلبيات، ونستخلص من معادلة التكلفة السنوية الكلية للنظام:

الكمية الاقتصادية للطلب: $Q^*=\sqrt{\frac{2\lambda.(K+P.S)}{h}}$ (15 5)

حد إعادة الطلب: $\int_{\gamma}^{\infty} f(x).d(x)=\frac{hQ}{p\lambda}$ (16 5)

وتحسب أصغر قيمة ل Q بالمعادلة: $MIN\quad Q^*=\sqrt{\frac{2\lambda K}{h}}$ (17 5)

فإذا كان حد إعادة الطلب معدوماً تكون الكمية الاقتصادية: $Q^*=Q'=\sqrt{\frac{2\lambda.(K+p.E(x))}{h}}$ (18 5)

$Q^*=Q''=\frac{p.\lambda}{h}$ (19 5)

حيث E( x) تمثل الأمل الرياضي وطالما $Q''>Q'$ فهناك قيم وحيدة لـ R وQ وتتكرر العمليات الحسابية إلى أن تصل إلى قيمتين متتاليتين لـ R متساويتين تقريباً، وفي هذه النقطة فإن القيم المحسوبة لـ Q وR هي النقاط المطلوبة، وتسهيلاً للأعمال الحسابية أعددنا برنامجا كمبيوتريا لحساب كل من $R^*,Q^*$.

تطبيق: تم أخذ خمس حالات تهدف لدراسة أثر كل عنصر من عناصر تحديد Tc و R و Q ( الجدول 5 2 1 )

وكانت النتائج التالية:

| كلفة إعداد الطلبية K ل.س | الطلب الكلي المتوقع $\lambda$ وحدة | تكلفة تأجيل الطلبية p ل.س | كلفة خزن الوحدة h ل.س | فترة الاستلام من التوزيع المتماثل | حد إعادة الطلب R وحدة | الكمية الاقتصادية Q وحدة | التكلفة الكلية TC ل.س |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 93.61 | 319.43 | 726.09 |
| 10 | 1000 | 12 | 2 | 100 0 | 94.68 | 318.89 | 727.16 |
| 10 | 1000 | 14 | 2 | 100 0 | 98.29 | 119.64 | 2351.10 |
| 10 | 1000 | 16 | 2 | 100 0 | 96.02 | 318.26 | 728.48 |
| 10 | 1000 | 18 | 2 | 100 0 | 96.46 | 317.99 | 728.93 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 93.61 | 319.43 | 726.09 |
| 10 | 1100 | 10 | 2 | 100 0 | 93.91 | 334.71 | 757.26 |
| 10 | 1200 | 10 | 2 | 100 0 | 94.17 | 349.33 | 787.02 |
| 10 | 1300 | 10 | 2 | 100 0 | 94.40 | 363.36 | 815.54 |
| 10 | 1400 | 10 | 2 | 100 0 | 94.61 | 376.86 | 842.96 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 93.61 | 319.43 | 726.09 |
| 20 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 90.96 | 451.75 | 985.43 |
| 30 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 88.93 | 553.28 | 1184.43 |
| 40 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 87.22 | 638.87 | 1352.19 |
| 50 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 85.71 | 714.28 | 1500.00 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 93.61 | 319.43 | 726.09 |
| 10 | 1000 | 10 | 4 | 100 0 | 95.50 | 224.73 | 180.95 |
| 10 | 1000 | 10 | 6 | 100 0 | 96.33 | 183.18 | 1377.13 |
| 10 | 1000 | 10 | 8 | 100 0 | 96.82 | 158.51 | 1642.72 |
| 10 | 1000 | 10 | 10 | 100 0 | 97.16 | 141.70 | 1888.70 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 20 0 | 93.61 | 319.43 | 726.09 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 40 0 | 37.46 | 317.50 | 669.92 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 60 0 | 56.18 | 318.14 | 688.64 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 80 0 | 74.89 | 318.78 | 707.37 |
| 10 | 1000 | 10 | 2 | 100 0 | 93.61 | 319.43 | 726.09 |

الجدول(5 2 1)

تلخيص النتائج:

1. في حالة زيادة تكلفة تأجيل الطلب P مع ثبات باقي العناصر يلاحظ زيادة R و TC و Qبنسب بسيطة.

2. في حالة زيادة الطلب الكلي المتوقع $\lambda$ مع ثبات باقي العناصر يلاحظ زيادة R بنسب أقل من زيادة TC و R و Q.
3. في حالة زيادة تكلفة إعداد الطلبية K مع ثبات باقي العناصر يلاحظ انخفاض R بينما زادت Q,TC.
4. في حالة زيادة كلفة خزن الوحدة الواحدة h مع ثبات باقي العناصر يلاحظ زيادة R بنسب قليلة وزيادة TC بنسب متزايدة بينما انخفضت Q لأن التكاليف الكلية تتأثر بكلفة خزن الوحدة أكثر من حد إعادة الطلب.

النتيجة:

1. تتناسب تكلفة تأجيل الطلبية طرداً مع كل من TC و Q و R.
2. تتناسب فترة استلام ضمن التوزيع المتماثل طرداً مع كل من TC و Q و R.
3. يتناسب الطلب الكلي المتوقع طرداً مع كل من TC و Q و R.(R بنسب قليلة).
4. تتناسب تكلفة الطلبية K طرداً مع كل من TC و Q وعكساً مع R.
5. تتناسب تكلفة خزن الوحدة h طرداً مع كل من TC و R (R بنسب قليلة) وعكساً مع Q.

لقد تم جمع النتائج لكلا النموذجين (المحدد و الاحتمالي ) ضمن الجدول (5 2 2) لمقارنة النتائج وكانت كالتالي:

| النموذج | كلما زادت | R | Q | TC |
|---|---|---|---|---|
| نتائج النموذج المحدد | h | زيادة | انخفاض | زيادة |
| | L | زيادة | لم يتأثر | لم تتأثر |
| | $\lambda$ | تأرجح | زيادة | زيادة |
| | K | زيادة | انخفاض | انخفاض |
| نتائج النموذج الاحتمالي | P | زيادة | زيادة | زيادة |
| | $\lambda$ | زيادة (بنسب قليلة) | زيادة | زيادة |
| | K | انخفاض | زيادة | زيادة |
| | h | زيادة (بنسب قليلة) | انخفاض | زيادة |
| | L | زيادة | زيادة | زيادة |

الجدول (5 2 2)

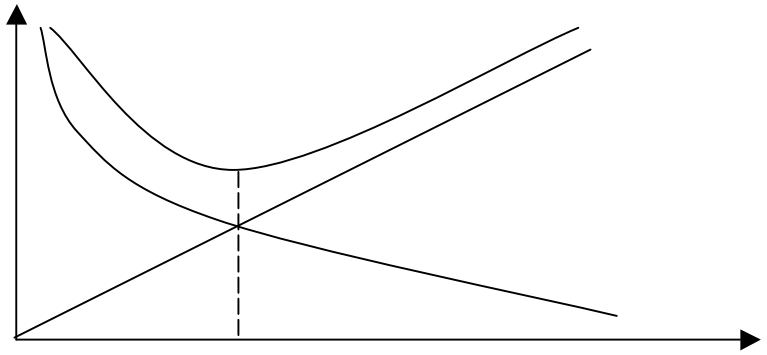
يلاحظ أن حالة K في النموذج المحدد هي عكس حالتها في النموذج الاحتمالي والسبب هو الاحتمالية أي وجود نسب من المخاطرة أكثر. كما نجد أن إعادة الطلب تزداد طرداً مع زيادة تكلفة الطلبية في النموذج المحدد بينما يتناسب عكساً في النموذج الاحتمالي. أما الكمية المشتراة فتنخفض كلما زادت تكاليف الطلبية بسبب حالة التأكد

التي ينتمي إليها النموذج (وبالنتيجة تنخفض التكاليف الكلية)، بينما الكمية المشتراة في حالة النموذج الاحتمالي تزداد بسبب زيادة نسبة المخاطرة في القرار المتخذ (وبالنتيجة تزداد التكاليف الكلية). بينما $\lambda$ و h حالتها متشابهة. أما فترة الاستلام I فقد تماثل فيها حد إعادة الطلب R في النموذجين، ويمكن تفسير ذلك بأن تخفيض عدد أيام الاستلام يؤثر فقط على مستوى إعادة الطلب (نموذج محدد) صعوداً أو هبوطاً حسب الحالة. وتفسر نتائج h أن زيادة كلفة التخزين تخفّض من مستوى الكمية الاقتصادية Q وتزيد التكلفة الكلية TC وحد إعادة الطلب R.

منحني ت. الطلبية
الكمية
Q
s
مخزون أمني

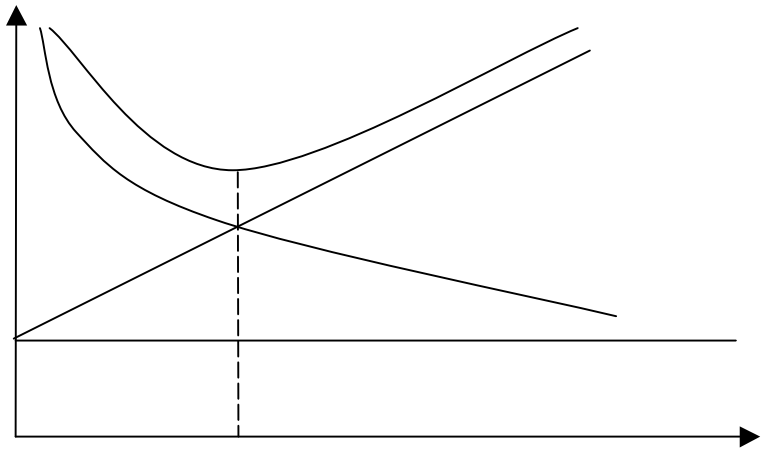
أخيراً، يلاحظ أن التكاليف الكلية TC تزداد بزيادة الكمية، أي أن تكاليف التخزين الكلية هي تكاليف متغيرة نسبة لتغير معدل الطلب، فتزداد بازدياده وتنقص بنقصانه، لذلك فهي تتبع الكمية المخزنة.

والشكل (5 2 1) يوضح هذه النتيجة:



الشكل (5 2 1)

وفي حال اتباع الشركة سياسة المخزون الأمني فإن الجزء الخاص بالمخزون الأمني سيمثل تكاليف ثابتة، الشكل (5 2 2):



الشكل (5 2 2)

وكما أسلفنا فإن s تتأثر بفترة الاستلام وبمعدل الاستهلاك إضافة لدرجة المخاطرة الناجمة عن عدم التأكد:

$s =$ فترة الاستلام × معدل الاستهلاك × درجة المخاطرة (5 20)

المبحث الثالث

# صياغة نموذج تخزين قطع التبديل

**باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية**

تحتاج أعمال الصيانة في المؤسسات الصناعية كافة إلى نوعين من قطع التبديل:

**النوع الأول** ويشمل جميع أنواع القطع غير الأساسية التي لا يمكن أن تؤدي إلى توقف آلة أو خط إنتاج عن العمل. إذ يمتاز هذا النوع بأنه رخيص الثمن، فلذلك يمكن أن تخزن منه المؤسسة كميات مناسبة دون أن يسبب لها ذلك إرهاقاً مالي أو تجميد أموال كبيرة. كما يمكن الحصول على بعض هذه القطع أحياناً من السوق المحلي أو القيام بعملية تصنيعها محلياً. وباختصار فإن النوع الأول من القطع لا ترافقه أية مشكلات تعاني منها المؤسسات الصناعية.

وأما **النوع الثاني** فيضم مجموعة القطع الأساسية والإستراتيجية التي يؤدي حتماً عدم توافرها عند حدوث الأعطال إلى توقف التجهيزات عن العمل وإلى تحمّل المؤسسة تكاليف عجز طائلة. ولذلك تلجأ المؤسسات كافة إلى تخصيص أموال كافية لشراء مثل هذه القطع وتخزينها لمواجهة الأزمات غير المتوقعة. ويمتاز النوع الثاني بأنه مرتفع الثمن لدرجة كبيرة وهو غير متوفر في السوق المحلي لأن الطلب عليه يكون ضئيلاً بل ويكاد يكون معدوماً. كما أن إمكانية تصنيعه محلياً تكون في معظم الحالات معدومة. أضف إلى ذلك، أن عمل طلبية للحصول على مثل هذه القطع يحتاج إلى إجراءات روتينية عديدة، وبالتالي فإن تأمين هذه القطع يستغرق وقتاً طويلاً.

سنحاول حل مشكلات النوع الثاني من قطع التـــبديل ببناء نموذج يقوم على بيانات افتراضية. ولكن هذا النموذج يمكن تطويره في اتجاهات مختلفة بحيث يواجه معظم مشكلات قطع التبديل في المؤسسات الصناعية.

لنتصور أن مؤسسة تتعرض أحياناً للتوقف عن العمل نتيجة عطل بعض القطع الأساسية فيها، وتتحمل أضراراً كبيرة عندما لا تستطيع استبدال القطعة المتعطلة فوراً، وقد قررت بسبب ذلك تخصيص مبلغ مقداره (12) مليون ليرة سورية لشراء وتخزين عدد من هذه القطع. لنفترض أن هناك ثلاث قطع أساسية يجب تخزينها، وأن تكلفة الحصول على القطعة الواحدة من هذه القطع هي على الترتيب 1 , 2 , 3 مليون ليرة سورية، لنرمز إلى تكاليف العجز ( أو تكاليف عدم توفر هذه القطع ) $\prod_j (j=1,2,3)$ وهي تساوي على الترتيب 40،30،65 مليون ليرة سورية. وقد تبين أن الطلب على كل قطعة من هذه القطع الثلاث $k_j (j=1,2,3)$ يتبع توزيع بواسون بقيمة متوقعة $\mu_j (j=1,2,3)$ تساوي الترتيب 1,2,3.

إن هدف المؤسسة تجاه هذه المسألة هو أن تحدد عدد كل نوع من هذه القطع الأساسية الواجب تخزينه $x_j (j=1,2,3)$ بحيث تتحمل أقل تكاليف عجز محتمله مع ملاحظة عدم تجاوز المبلغ المخصص لشراء هذه القطع، أي (12) مليون ليرة سورية. وباستخدام اللغة الرياضية، فإن المسألة المدروسة تأخذ الصيغة التالية:

تابع الهدف هو[69]

$$MininizeW = \sum_{j=1}^{3}[\prod_j \sum_{k_j=x_j}^{\infty} (k_j - x_j)P(k_j,\mu_j(k_j,\mu_j)] \quad (5\text{-}21)$$

[69] التكاليف الكلية = إجمالي (الطلب على القطع × العدد الواجب تخزينه) × الاحتمال المتوقع

يخضع إلى القيود التالية:

$$x_1 + 2x_2 + 2x_3 \le 12 \quad (5\text{-}22)$$

حيث $x_3, x_2, x_3$ أعداد صحيحة غير سالبة

ويلاحظ في تابع الهدف أن $\mathrm{P}(k_j, \mu_j) = \ell^{-\mu_j} \frac{\mu_j^{k_j}}{k_j!}$ هو تابع كثافة بواسون، وإن $\mu_j$ هو الطلب المتوقع على القطعة j. ويمكن أن نبرهن بسهولة على أن (1):

$$k_j\, p(k_j, \mu_j) = \mu_j\, p(k_j - 1, \mu_j) \qquad k_j \ge 1$$

وعليه يمكن أن نكتب:

$$\sum_{k_j = x_j}^{\infty} (k_j - x_j)\rho(k_j, \mu_j) = \begin{bmatrix} \mu_j . P(x_j - 1, \mu_j) - x_j . P(x_j, \mu_j) \ldots\ldots x_j \ge 1 \\ \mu_j \ldots\ldots\ldots\ldots x_j = 0 \end{bmatrix} (5\text{-}23)$$

حيث أن: $P(x_j, \mu_j) = \sum_{k_j = x_j}^{\infty} P(k_j, \mu_j)$ هو التابع التجميعي المتمم. وباستخدام المعادلة (5-23) يسهل تقدير العدد المتوقع من الطلبات على القطعة j التي تحدث عندما يكون النظام بحالة عجز بالنسبة للقطعة j، نظراً لوجود جداول خاصة بالتابع التجميعي المتمم لتوزيع بواسون.

إن البرمجة الديناميكية هي أسلوب فعال لحل المشكلة المطروحة أعلاه حيث يمكننا أن نعتبر كل نوع من القطع الثلاث بمثابة مرحلة من مراحل الحل. وإذا تم استخدام العلاقة التتابعية الأمامية، فإننا لا نحتاج في حالة j=1 إلى تنفيذ خطة تصغير، لأن تكلفة العجز تبلغ قيمتها الصغرى بالنسبة إلى القطعة الأولى عندما يتم تخزين أكبر كمية ممكنة من هذه القطعة. ونظراً لأن قيمة القطعة الأولى تساوي[70] مليون ليرة سورية، فإن المسألة تمثل في هذه المرحلة بالعلاقة التتابعية التالية:

$$f_1(s) = \begin{bmatrix} \prod_1 [\mu_1 . P(x_1 - 1, \mu_1) - x_1 . P(x_1, \mu_1)] \ldots\ldots\ldots x_1 \ge 1 \\ \prod_1 \cdot \mu_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots x_1 = 0 \end{bmatrix} (5\text{-}24)$$

وحيث أن X1 في هذه المرحلة تساوي s (s=0,1,.....,12).

فتكون العلاقة التتابعية من أجل j=2,3 كما يلي: (3-10)

$$f_j(s) = \underset{0 \le x_j \le [s/a_j]}{MIN} \{\prod_j [\mu_j . P . (x_j - 1, \mu_j) - x_j . P(x_j, \mu_j) + f_{j-1}(s - a_j \cdot x_j)]\} .. j = 2,3$$

وحيث أن $a_j$ تشير إلى سعر شراء القطعة j ، و[أن الرمز] يعني العدد الصحيح فقط لحاصل القسمة داخل القوسين.

وباستخدام بيانات المسألة، فإن العلاقة التتابعية (3-9) تأخذ الصيغة التالية:

$$f_1(s) = \begin{bmatrix} 40 * 4 = 160 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots s = 0 \\ 40 * [4 . P(s - 1,4) - s . P(s,4)] \cdots\cdots\cdots\cdots s = 1,2,\ldots,12 \end{bmatrix}$$

[70] Hadly , G., et whitin, T.M.,-1966- (Etude et Partique des Modiles de stocks), Dunad,Paris,1966,PP. 437-438.

وعليه فإن الحل الأمثل $X^*$ للمرحلة الأولى (القطعة j=1) يمكن تمثيله بالجدول التالي.

| s | P(s,4) | $f_1(s)$ | X= |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 160 | 0 |
| 1 | 0.982 | 120.72 | 1 |
| 2 | 0.908 | 84.48 | 2 |
| 3 | 0.762 | 53.84 | 3 |
| 4 | 0.567 | 31.2 | 4 |
| 5 | 0.371 | 16.52 | 5 |
| 6 | 0.215 | 7.76 | 6 |
| 7 | 0.111 | 3.32 | 7 |
| 8 | 0.051 | 1.44 | 8 |
| 9 | 0.021 | 0.60 | 9 |
| 10 | 0.0081 | 0.12 | 10 |
| 11 | 0.003 | 0.0 | 11 |
| 12 | 0.001 | 0.0 | 12 |

ويلاحظ في المرحلة الثانية أن حالة النظام تكون s=0,1,.....,12 وأن $X_2$ =0,1,...,[s/2]. كما يلاحظ أن تحديد قيمة $f_2$ يتطلب حساب $f_1$ بالنسبة لجميع القيم$(s-2X_2)$، وهذا يعني أننا نحتاج فقط حساب $f_2$ بالنسبة للقيم: s=12,10,8,6,4,2,0.

وعليه، لكي نحسب $f_2(s)$ من العلاقة (10-3)، فيمكن أن نحسب أولاً:

$$g_2(x_2,s)=30.[2.P(x_2-1,2)-x_2.P(x_2,2)]+f_1(s-2.x_2)$$

من أجل s=0,2,4,6,8,10,12 و X2=0,1,2,3,4,5,6 ومن ثم نختار $f_2(s)=MIN\,g_2(x_2,s)$ وهكذا فإن حساب $g_2(x_2,s)$ يتطلب استخدام التابع التجميعي المتمم التالي:

| X | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P(X_2,2)$ | 1 | 0.8647 | 0.5940 | 0.3233 | 0.1429 | 0.0527 | 0.0170 |

ويمثل القرار الأمثل $X^*$ للمرحلة الثانية ( القطعة رقم 2 ) بالجدول التالي:

جدول المرحلة الثانية

| $X_2$ | $g_2(X_2,s)$ | | | | | | | $MINg_2=f_2(s)$ | $X^*_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| s | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 0 | 220 | - | - | - | - | - | | 220 | |
| 2 | 144.4 | 94.0 | - | | - | - | | 144.4 | |
| 4 | 91.20 | 118.5 | 176.2 | - | - | - | | 91.20 | |
| 6 | 67.76 | 65.26 | 100.6 | 166.5 | - | - | - | 65.26 | |
| 8 | 61.4 | 41.82 | 47.44 | 91.04 | 162.7 | - | - | 41.82 | |
| 10 | 60.12 | 35.50 | 24.00 | 36.93 | 87.27 | 160.6 | - | 24.00 | |
| 12 | 60.00 | 34.18 | 17.56 | 13.49 | 3.99 | 85.15 | 160.1 | 13.49 | |

ويتم حساب جدول المرحلة الثالثة ( القطعة رقم 3 ) باستخدام الأسلوب السابق نفسه. وتجدر الإشارة هنا إلى أننا نحتاج إلى استخدام جدول التابع التجميعي المتمم التالي لأن $\mu_3=1$ :

| $X_3$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P(X_3,1)$ | 1 | 0.6321 | 0.2642 | 0.0803 | 0.0190 | 0.0037 | 0.001 |

ويلاحظ أننا سنكتفي بحساب $g_3(X_3,12)$ نظراً لأن $g_3(X_3,s)$ يتناقص مع تزايد s، وإن الحسابات ســـــيتم تنفيذها من أجل $\prod_3 = 65, a_3 = 2, \mu_3 = 1$. وعليه، فإن جدول المرحلة الثالثة (القطعة رقم 3) يأخذ الصيغة التالية:

جدول المرحلة الثالثة:

| $X_3$ | $g_3(X_3,s)$ | | | | | | | $MINg3 = f_3(s)$ | $X_3^* =$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 12 | 78.4 | 47.9 | 49.2 | 66.7 | 91.4 | 144.4 | 220 | 47.9 | 1 |

ويحدد الحل الأمثل كما يلي: تقرأ القيمة المثلى لـــ $X_3$ من جدول المرحلة الثالثة حيث نجد أن $X_3^* = 1$ ويكون بالتالي: $(s-2X_3)=10$ ويقابل ذلك في جدول المرحلة الثانية $X_2^* = 2$، ويكون لدينا أخيراً $(10-2X_2)=6$ ويناظر ذلك في جدول المرحلة الأولى $X_1^* = 6$. وعليه، فإن التكلفة الصغرى للقيمة المتوقعة للعجز تساوي (47.91) مليون ليرة سورية، في حين أن هذه التكلفة قد تصل إلى (220) مليون ليرة سورية إذا لم تخصص المؤسسة (12) مليوناً لشراء القطع وإذا لم يتم التخصيص وفق الأسلوب الأمثل المذكور.

وبهذا، نكون قد تعرضنا إلى أهم الأدوات الكمية لضبط عمليات المخزون، وذلك بما يخدم ويوفق بين مصلحتي إدارة الصيانة والإدارات المالية بشكل علمي.

# الفصل السادس

## تمهيد الموارد والجدولة الزمنية لأعمال الصيانة

**مقدمة**

تشكل الصيانة إحدى النقاط الحرجة في الصناعة[71] , فإذا فشل المشروع في ضبط الصيانة فإن الصيانة ستضبط المشروع[72].

وسنعمد في المبحث الأول من هذا الفصل إلى توزيع هذه الموارد (عمالة مواد) على أمثل وجه من خلال استخدام تقنيات طريقة التعيين بغية الحد من تكلفة الفرصة البديلة وبما يتناسب مع استخدام ( الأداة المثلى / العامل المناسب) في المكان والزمان المناسبين.

وسنعالج في المبحث الثاني من هذا الفصل تمهيد الموارد (عمالة مواد) من خلال استخدام تقنيات التخطيط الشبكي بهدف ضبط الزمن المنتج واستبعاد الجزء غير المنتج بغية الحد من تكاليف الوقت الضائع مستخدمين تقنية الـ(PERT) أو برنامج إدارة المشاريع MS-Project لرسم الخرائط الشبكية مع حساب الوقت الفائض وبيان الأوقات المبكرة والمتأخرة محددة باليوم و الساعة والدقيقة.

إن استخدام تقنيات الأساليب الكمية المذكورة لن تنهي التقديرات الخطأ بل ستقللها إلى الحد الأدنى وستساعد في التوجه نحو قرارات أكثر عملية. إضافة إلى أن الـ(HPM) و MS-Project تسمح بإدخال الأوقات الفعلية للتنفيذ, مما يتيح التصحيح الآني للبيانات المعطاة كافة ولتكاليفها مما يساعد في توفير الوقت والجهد اللازمين لإجراء التعديلات اللازمة.

وسوف نتناول تمهيد الموارد والجدولة الزمنية في خفض ومراقبة تكاليف الصيانة بالمبحثين التاليين:

المبحث الأول: استخدام خوارزمية التعيين

المبحث الثاني: استخدام التحليل الشبكي

[71] W.M.j. Geraerds- (The EUT Maintenance Model)- OP, CIT., PP1

[72] W.M.j. Geraerds- (The EUT Maintenance Model)- OP, CIT., PP75

# المبحث الأول

## استخدام خوارزمية التعيين

تستخدم خوارزمية التعيين لتحديد الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة سواء كانت عمالة أو أدوات، وذلك لتنفيذ برنامج الصيانة المخطط بأقل استخدام للموارد ضمن شروط الكفاءة الجيدة.

تعتمد "خوارزمية التعيين على تخصيص موارد معينة على أعمال محددة بحيث تكون كلفة التخصيص أقل ما يمكن، أو الحصول على أعلى مستوى أداء ممكن (زيادة الأرباح)، وتبنى الصيغة الأساسية على وجود مقدار محدد من الموارد وعدد معين من الأنشطة يتطلب كل منها مورداً جديداً"[73]. والمفهوم الذي تقوم عليه طريقة التخصيص هو فكرة النفقة الضائعة أو الاختيار الخاطئ بسبب التخصيص الخاطئ مما يؤدي إلى الحرمان من فرصة الاختيار الأفضل وبالتالي ضياع بعض النفقات أو الوقت أو الربح والتي كان من الممكن توفيرها لو كان التخصيص بشكله الصحيح[74].

وتتلخص مراحل استخدام خوارزمية التعيين بالخطوات التالية:

1. نبحث عن أعلى رقم في المصفوفة ونطرح كل عنصر من عناصر المصفوفة من هذا الرقم.
2. نطرح من كل سطر أصغر قيمة فيه.
3. نطرح من كل عامود أصغر قيمة فيه.
4. نشطب كل سطر أو عامود يحوي على أكثر من خلية صفرية.
5. نختار أصغر رقم من الخلايا غير المشطوبة.
6. نطرح هذا الرقم من كل العناصر غير المشطوبة، ونضيفه لنقطة تقاطع الخطوط.
7. نختار العامود أو السطر الذي يحوي خلية صفرية واحدة، ثم نخصصها بعد شطب عامود وسطره.
8. نحدد مقابل الخلايا المخصصة من مصفوفة الإنتاجية الأصلية ونجمعها لتكون أعظم إنتاجية ممكنة.

ونميز بين حالتي تعظيم الإنتاجية وتخفيض التكاليف، ففي حالة تعظيم الإنتاجية نشكل مصفوفة مربعة تمثل أسطرها الأعمال (أو الأنشطة)، وتمثل أعمدتها التكلفة أو بالعكس. وإذا لم تتوافر المصفوفة المربعة يجري إضافة أسطر أو أعمدة وهمية بإنتاجية كبيرة لغرض تطبيق طريقة التخصيص فإذا كانت الأنشطة أكبر من العمال فنضيف عمالاً وهميين بإنتاجية كبيرة (حالة التعظيم) أو تكلفة صفرية (حالة التخفيض)، والعكس بالعكس. أما في حالة استخدام طريقة التخصيص لخفض التكاليف، فإن الخطوات تشابه حالة التعظيم باستثناء المرحلة رقم /1/ مع أسبقية للمرحلة /3/ على المرحلة/2/.

[73] أيوب، د. ناديا، (نظرية القرارات الإدارية)، 1989، منشورات جامعة دمشق، ص 567.

[74] N.Paul Loomba -Management A quantitive prespective - 1978, pp295.

**دراسة حالة عملية معمل الإسمنت قسم الفرن وتوابعه:**

تم تقدير عدد العناصر اللازمة لبرنامج الصيانة المخطط اعتمادا على احتياجات الأنشطة المكونة لكل برنامج جزئي، وتم توزيع العدد المقترح إلى ثلاثة اختصاصات:

1 عمال ميكانيك
2 عمال خدمات
3 عمال لحام

وتم استبعاد عمال اللحام بسبب قلتهم. كما لخصت النتائج في الجدول (6 1 1) على الشكل التالي:

| رقم برنامج الصيانة | عدد الأنشطة المكونة للبرنامج | عدد العناصر | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ميكانيك | خدمات | لحام | مجموع |
| 1 بوري الغاز والمراوح | 10 | 10 | 4 | 2 | 16 |
| 2 المبرد وشواحط الحرارة | 26 | 12 | 4 | 1 | 17 |
| 3 المسخن | 15 | 6 | 10 | 2 | 18 |
| 4 السيكلونات | 8 | 6 | 1 | 1 | 8 |
| 5 جسم الفرن | 10 | 6 | 2 | 1 | 9 |
| 6 كسارة الكلينكر والشاحط | 12 | 6 | 2 | 1 | 9 |
| 7 قص الفرن | 35 | 10 | 2 | 4 | 16 |

قمنا بدراسة إنتاجية العمال الذين سيتم تخصيصهم على الأعمال والأنشطة المدروسة لتعيين العمال المناسبين في الأمكنة المناسبة للاستفادة من الاختصاص المناط بكل منهم، وبهدف استغلال وقت العمال ذوي المهارة العالية والإنتاجية الكبيرة. ومن الجدير بالذكر، أننا لم نتعرض في خوارزمية التعيين لخفض تكاليف تشغيل العمال بسبب ثبات هذه التكلفة لأن العمال يتقاضون رواتب شهرية نسبة للزمن إضافة لمكافآت وحوافز لقاء العمرات السنوية. وإتماما للفائدة العملية لمشرفي الصيانة تم ذكر الأوقات المقترحة والأوقات الفائضة في جداول التخصيص لتمكين مشرفي الصيانة من الاستفادة من العمال ذوي الخبرات والكفاءات. ولقد قمنا بإعداد برنامج كمبيوتري لحل مسألة التخصيص، كانت النتائج العملية على الشكل التالي:

1 تخصيص عمال الصيانة برنامج بوري الغاز والمراوح: حيث تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك العشرة على الأنشطة العشرة المشكلة لبرنامج بوري الغاز والمراوح، الجدول (6 1 2):

| العامل | النشاط | ن1 | ن2 | ن3 | ن4 | ن5 | ن6 | ن7 | ن8 | ن9 | ن10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ز.فائض | | | | | 24 | | | | | |
| | الزمن | 24 | 24 | 24 | 72 | 48 | 72 | 72 | 36 | 60 | 60 |
| ع1 | | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| ع2 | | 9 | 4 | 3 | 5 | 6 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| ع3 | | 2 | 4 | 5 | 6 | 6 | 3 | 4 | 4 | 5 | 0 |
| ع4 | | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 0 | 1 | 6 | 5 |
| ع5 | | 3 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| ع6 | | 4 | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 6 |
| ع7 | | 5 | 3 | 3 | 4 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| ع8 | | 7 | 5 | 4 | 4 | 6 | 5 | 6 | 6 | 7 | 5 |
| ع9 | | 6 | 1 | 4 | 5 | 5 | 4 | 1 | 5 | 6 | 3 |
| ع10 | | 3 | 5 | 6 | 6 | 4 | 6 | 4 | 4 | 5 | 5 |

ولخصت النتائج في الجدول(6 1 3):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن3 | ن14 | ن5 | ن2 | ن4 | ن9 | ن8 | ن1 | ن10 | ن6 |

**التفسير**: شمل الجدول(6 1 3 ) تخصيص عمال الميكانيك، وعلى مشرفي الصيانة استخدامهم في الأنشطة المحددة للوصول لأفضل النتائج أما باقي العمال فيمكن توزيعهم على الأنشطة الباقية أو لمساعدة زملائهم لأن عدة أعمال تنفذ بشكل متسلسل، أو بإعطائهم راحة من العمل. ثم جرى توزيع إنتاجية عمال الخدمات بعد إضافة عمال وهميين بإنتاجية عالية لغرض تطبيق خوارزمية التعيين، الجدول (6 1 4):

| العامل | النشاط | ن1 | ن2 | ن3 | ن4 | ن5 | ن6 | ن7 | ن8 | ن9 | ن10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ز.فائض | | | | | 24 | | | | | |
| | الزمن | 24 | 24 | 24 | 72 | 48 | 72 | 72 | 36 | 60 | 60 |
| ع1 | | 6 | 5 | 7 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| ع2 | | 3 | 2 | 4 | 6 | 4 | 5 | 4 | 3 | 7 | 6 |
| ع3 | | 4 | 5 | 4 | 4 | 6 | 5 | 4 | 6 | 5 | 7 |
| ع4 | | 7 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| ع5 | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| ع6 | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| ع7 | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| ع8 | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| ع9 | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| ع10 | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |

ولخصت النتائج في الجدول (6 1 5):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 |
|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن3 | ن9 | ن10 | ن1 |

2 تخصيص عمال الصيانة برنامج صيانة المبرد وشواحط الحرارة: تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك الاثني عشر على الأنشطة الستة والعشرين المشكلة لبرنامج صيانة المبرد وشواحط الحرارة، الجدول (3 7 6) بعد إضافة عمال وهميين بإنتاجية عالية لغرض تطبيق خوارزمية التعيين:

| العامل | | | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 | ع11 | ع12 | ع13 | ع25 | ع26 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط | زمن فائض | زمن مقترح | | | | | | | | | | | | | | | |
| ن1 | | 24 | **13** | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 19 | | 19 |
| ن2 | 138 | 12 | 4 | **13** | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 19 | | 19 |
| ن3 | 138 | 24 | 6 | 7 | **16** | 3 | 3 | 2 | 4 | 1 | 6 | 2 | 4 | 5 | 19 | | 19 |
| ن4 | | 24 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 4 | 19 | | 19 |
| ن5 | 66 | 36 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 19 | | 19 |
| ن6 | 66 | 36 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 19 | | 19 |
| ن7 | | 24 | 3 | 3 | 5 | **17** | 6 | 7 | 8 | 3 | 1 | 1 | 6 | 6 | 19 | | 19 |
| ن8 | 66 | 24 | 7 | 1 | 6 | 6 | **12** | 4 | 4 | 5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 19 | | 19 |
| ن9 | | 48 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 7 | 6 | 1 | 1 | 19 | | 19 |
| ن10 | | 48 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | **16** | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 19 | | 19 |
| ن11 | | 12 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 19 | | 19 |
| ن12 | | 18 | 6 | 1 | 6 | 2 | 6 | 1 | 1 | 2 | 6 | 6 | 4 | 6 | 19 | | 19 |
| ن13 | | 24 | 6 | 6 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 19 | | 19 |
| ن14 | 138 | 36 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 19 | | 19 |
| ن15 | | 24 | 6 | 6 | 1 | 1 | 7 | 6 | 7 | **18** | 1 | 1 | 1 | 6 | 19 | | 19 |
| ن16 | | 12 | 1 | 1 | 4 | 5 | 2 | 4 | 1 | 1 | **12** | 3 | 4 | 5 | 19 | | 19 |
| ن17 | | 24 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | **14** | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 19 | | 19 |
| ن18 | 138 | 12 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | **15** | 5 | 4 | 19 | | 19 |
| ن19 | | 12 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 1 | 1 | 2 | 19 | | 19 |
| ن20 | | 12 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 19 | | 19 |
| ن21 | 66 | 24 | 5 | 2 | 5 | 1 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1 | 6 | 10 | 5 | 19 | | 19 |
| ن22 | 66 | 24 | 6 | 6 | 6 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 19 | | 19 |
| ن23 | 66 | 24 | 2 | 10 | 9 | 8 | 1 | 1 | 3 | 4 | 7 | 9 | **13** | 2 | 19 | | 19 |
| ن24 | 66 | 12 | 4 | 1 | 1 | 1 | 6 | 1 | 3 | 2 | 7 | 9 | 5 | 3 | 19 | | 19 |
| ن25 | 66 | 12 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | **13** | 19 | | 19 |
| ن26 | | 24 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 7 | 6 | 6 | 2 | 19 | | 19 |

ولخصت النتائج في الجدول (6 1 8) وكانت النتائج التالية:

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 | ع11 | ع12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن1 | ن2 | ن3 | ن7 | ن8 | ن10 | ن17 | ن15 | ن9 | ن18 | ن23 | ن25 |

3 تخصيص عمال الصيانة برنامج المسخن: تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك الستة على الأنشطة الخمسة عشر المشكلة لبرنامج (المسخن) بعد إضافة عمال وهميين لغرض تطبيق خوارزمية التعيين الجدول (6 1 9):

| العامل | | | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | | | ع14 | ع15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط | زمن فائض | زمن مقترح | | | | | | | | | | | |
| ن1 | | 12 | 4 | 7 | 7 | 10 | 7 | 6 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن2 | | 24 | 6 | 7 | 7 | 11 | 7 | 10 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن3 | 48 | 24 | 4 | 8 | 8 | 12 | 6 | 3 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن4 | | 72 | 5 | 4 | 4 | 9 | 6 | **16** | 19 | | | 19 | 19 |
| ن5 | | 48 | **17** | 5 | 5 | 9 | 7 | 8 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن6 | | 36 | 6 | 6 | 6 | 10 | **15** | 9 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن7 | | 48 | 4 | 6 | 6 | 9 | 8 | 10 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن8 | | 72 | 5 | 7 | 7 | **18** | 7 | 11 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن9 | | 72 | 4 | 8 | **18** | 10 | 8 | 13 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن10 | | 12 | 3 | 7 | 7 | 11 | 9 | 7 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن11 | | 24 | 3 | 6 | 6 | 12 | 8 | 6 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن12 | | 24 | 5 | 7 | 7 | 12 | 7 | 8 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن13 | | 24 | 4 | 6 | 6 | 10 | 6 | 5 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن14 | | 24 | 6 | 5 | 5 | 10 | 7 | 3 | 19 | | | 19 | 19 |
| ن15 | | 48 | 5 | **16** | 6 | 9 | 8 | 4 | 19 | | | 19 | 19 |

ولخصت النتائج في الجدول(6 1 10):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن17 | ن15 | ن18 | ن8 | ن15 | ن4 |

كما جرى توزيع عمال الخدمات العشرة على الأنشطة المبينة في الجدول(6 1 11 ) بعد إضافة عمال وهميين بإنتاجية عالية لغرض تطبيق خوارزمية التعيين. ويعطى نفس التفسير السابق،مع ملاحظة إعفاء بعض العاملين من صفة المهارة أي أنهم عمال عاديون يتم استخدامهم في الأعمال المختلفة والأقل أهمية.

| العامل | | | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 | ع11 | | | ع15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط | زمن فائض | زمن مقترح | | | | | | | | | | | | | | |
| ن1 | | 12 | 4 | 9 | 7 | 9 | 12 | 10 | 12 | 9 | 9 | 11 | 20 | | | 20 |
| ن2 | | 24 | 13 | **13** | 8 | 10 | 12 | 10 | 12 | 9 | 11 | 11 | 20 | | | 20 |
| ن3 | 48 | 24 | 12 | 12 | 8 | 11 | 12 | 11 | 11 | 9 | 11 | 3 | 20 | | | 20 |
| ن4 | | 72 | 10 | 11 | 9 | 11 | 11 | 10 | 11 | 8 | **15** | 8 | 20 | | | 20 |
| ن5 | | 48 | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 11 | **19** | 8 | 11 | 8 | 20 | | | 20 |
| ن6 | | 36 | 10 | 6 | 13 | 13 | 11 | 10 | 11 | **18** | 12 | 10 | 20 | | | 20 |
| ن7 | | 48 | 3 | 7 | 14 | **17** | 11 | 9 | 10 | 9 | 12 | 11 | 20 | | | 20 |
| ن8 | | 72 | 9 | 8 | 15 | 9 | 13 | 9 | 13 | 7 | 3 | 13 | 20 | | | 20 |
| ن9 | | 32 | 10 | 10 | 15 | 8 | **4** | 2 | 2 | 2 | 4 | 12 | 20 | | | 20 |
| ن10 | | 12 | 11 | 8 | **16** | 13 | 11 | 9 | 10 | 9 | 9 | 15 | 20 | | | 20 |
| ن11 | | 24 | 12 | 9 | 9 | 13 | 10 | 9 | 10 | 8 | 10 | **16** | 20 | | | 20 |
| ن12 | | 24 | 13 | 10 | 8 | 13 | 9 | **19** | 11 | 7 | 9 | 15 | 20 | | | 20 |
| ن13 | | 24 | 14 | 11 | 7 | 6 | 8 | 8 | 10 | 6 | 9 | 11 | 20 | | | 20 |
| ن14 | | 24 | **15** | 11 | 6 | 9 | 7 | 7 | 11 | 8 | 8 | 15 | 20 | | | 20 |
| ن15 | | 48 | 13 | 12 | 5 | 10 | 6 | 6 | 11 | 9 | 9 | 8 | 20 | | | 20 |

ولخصت النتائج في الجدول(6 1 12):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن14 | ن2 | ن10 | ن7 | ن9 | ن12 | ن5 | ن6 | ن1 | ن11 |

4 تخصيص عمال الصيانة برنامج السيكلونات: تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك الستة على الأنشطة الثمانية المشكلة لبرنامج (السيكلونات) بعد إضافة عاملين وهميين بإنتاجية عالية لغرض تطبيق خوارزمية التعيين الجدول (6 1 13):

| العامل | النشاط | ن1 | ن2 | ن3 | ن4 | ن5 | ن6 | ن7 | ن8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ز.فائض | | | | | 144 | | | |
| | الزمن | 72 | 60 | 48 | 48 | 12 | 72 | 24 | 12 |
| ع1 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | **11** |
| ع2 | | 6 | 2 | **7** | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| ع3 | | **9** | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| ع4 | | 6 | 1 | 2 | 3 | **7** | 3 | 2 | 6 |
| ع5 | | 3 | **14** | 5 | 1 | 6 | 3 | 4 | 5 |
| ع6 | | 4 | 5 | 6 | **10** | 7 | 8 | 8 | 9 |
| ع7 | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| ع8 | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

ولخصت النتائج في الجدول (6 1 14):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن8 | ن3 | ن1 | ن5 | ن2 | ن4 |

5 تخصيص عمال الصيانة برنامج جسم الفرن: تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك الستة على الأنشطة العشرة المشكلة لبرنامج جسم الفرن بعد إضافة عمال وهميين بإنتاجية عالية لغرض تطبيق خوارزمية التعيين الجدول (6 1 15):

| العامل | النشاط | ن1 | ن2 | ن3 | ن4 | ن5 | ن6 | ن7 | ن8 | ن9 | ن10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ز.فائض | | 24 | 66 | 24 | 66 | | | | | |
| | الزمن | 84 | 24 | 24 | 60 | 24 | 36 | 36 | 36 | 30 | 60 |
| ع1 | | 4 | 5 | 4 | 6 | 4 | **7** | 5 | 6 | 4 | 5 |
| ع2 | | 6 | 6 | 2 | 2 | 7 | 5 | 3 | 4 | 5 | **8** |
| ع3 | | 9 | 3 | 9 | 6 | **16** | 3 | 5 | 6 | 3 | 4 |
| ع4 | | 6 | 6 | 1 | 2 | 3 | 6 | **11** | 2 | 6 | 3 |
| ع5 | | 3 | 4 | 5 | 1 | 5 | 3 | 4 | 4 | **15** | 3 |
| ع6 | | 4 | 5 | 6 | **17** | 7 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| ع7 | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ع8 | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ع9 | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ع10 | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

ولخصت النتائج في الجدول (6 1 16):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن6 | ن10 | ن5 | ن7 | ن9 | ن4 |

6 تخصيص عمال الصيانة برنامج (كسارة الكلينكر والشاحط): تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك الستة على الأنشطة الاثني عشر المشكلة لبرنامج (كسارة الكلينكر والشاحط10)، بعد إضافة عمال وهميين بإنتاجية عالية لغرض تطبيق خوارزمية التعيين، الجدول(6 1 17):

| العامل | | | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 | ع11 | ع12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط | زمن فائض | زمن مقترح | | | | | | | | | | | | |
| ن1 | | 24 | 4 | 5 | **8** | 7 | 6 | 3 | 14 | | | | | 14 |
| ن2 | 12 | 24 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 14 | | | | | 14 |
| ن3 | 24 | 24 | 5 | 6 | 6 | 6 | 2 | 6 | 14 | | | | | 14 |
| ن4 | | 36 | 6 | 7 | 6 | 5 | 2 | 1 | 14 | | | | | 14 |
| ن5 | | 36 | 4 | 2 | 5 | 5 | **11** | 2 | 14 | | | | | 14 |
| ن6 | | 36 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 14 | | | | | 14 |
| ن7 | | 24 | 4 | 3 | 4 | **10** | 3 | 4 | 14 | | | | | 14 |
| ن8 | 12 | 24 | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 14 | | | | | 14 |
| ن9 | | 36 | 6 | 5 | 3 | 1 | 1 | 4 | 14 | | | | | 14 |
| ن10 | | 24 | **7** | 5 | 2 | 3 | 6 | 3 | 14 | | | | | 14 |
| ن11 | | 24 | 3 | 6 | 1 | 3 | 5 | **13** | 14 | | | | | 14 |
| ن12 | | 2 | 2 | **7** | 2 | 1 | 4 | 2 | 14 | | | | | 14 |

ولخصت النتائج في الجدول (6 1 18):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن10 | ن12 | ن1 | ن7 | ن5 | ن11 |

7 تخصيص عمال الصيانة برنامج (قص الفرن): تم توزيع إنتاجية عمال الميكانيك العشرة على النشاطات الخمسة والثلاثين المشكلة لبرنامج (قص الفرن)، بعد إضافة عمال وهميين لغرض تطبيق خوارزمية التعيين، الجدول (6 1 19):

| العامل | | | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع10 | ع11 | | | ع35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط | زمن فائض | زمن مقترح | | | | | | | | | | | | | | |
| ن1 | | 12 | 4 | 3 | 6 | 2 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن2 | | 6 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 6 | 1 | 3 | 4 | 4 | 19 | | | 19 |
| ن3 | | 3 | 6 | 3 | 4 | 6 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن4 | | 6 | 3 | 4 | 4 | 6 | 5 | 5 | 1 | 2 | 2 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن5 | | 12 | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 | 6 | 2 | 1 | 1 | 19 | | | 19 |
| ن6 | | 12 | 4 | 5 | 4 | 4 | 1 | 2 | 5 | 1 | 5 | 2 | 19 | | | 19 |
| ن7 | | 3 | 5 | 6 | 4 | 5 | 1 | 1 | 4 | 2 | **16** | 3 | 19 | | | 19 |
| ن8 | | 3 | 6 | 6 | 5 | 5 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن9 | | 30 | 4 | 5 | 6 | 4 | 13 | 2 | 2 | 3 | 5 | 4 | 19 | | | 19 |
| ن10 | | 6 | 5 | 4 | 6 | 4 | 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 4 | 19 | | | 19 |
| ن11 | | 12 | 5 | 4 | 6 | 3 | 3 | 1 | 5 | 6 | 1 | 6 | 19 | | | 19 |
| ن12 | | 12 | 4 | 3 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 | 6 | 1 | 5 | 19 | | | 19 |
| ن13 | | 24 | 3 | 6 | **5** | 4 | 4 | **13** | 3 | 1 | 4 | 5 | 19 | | | 19 |
| ن14 | 18 | 6 | 4 | 6 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 19 | | | 19 |
| ن15 | | 24 | 3 | 7 | 4 | 5 | 5 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن16 | | 18 | 4 | **8** | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن17 | | 6 | 5 | 7 | 3 | 3 | 6 | 4 | 3 | 2 | 5 | 4 | 19 | | | 19 |
| ن18 | | 24 | 4 | 6 | 4 | 4 | 1 | **15** | 6 | 1 | 4 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن19 | | 48 | 5 | 6 | 5 | 4 | 2 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن20 | | 18 | 4 | 5 | 4 | 4 | 6 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 19 | | | 19 |
| ن21 | | 24 | 5 | 4 | 6 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 19 | | | 19 |
| ن22 | | 18 | 6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | **14** | 4 | 5 | 19 | | | 19 |
| ن23 | | 24 | **7** | 4 | 2 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 19 | | | 19 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ن24 | | 24 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 5 | 19 | | | 19 |
| ن25 | | 24 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 19 | | | 19 |
| ن26 | | 6 | 4 | 4 | 4 | 6 | 2 | 2 | 1 | 4 | 4 | **18** | 19 | | | 19 |
| ن27 | | 24 | 4 | 4 | 4 | 6 | 1 | 3 | 3 | 5 | 4 | 1 | 19 | | | 19 |
| ن28 | | 24 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 2 | 2 | 5 | 4 | 2 | 19 | | | |
| ن29 | | 6 | 4 | 6 | 6 | 4 | 2 | 4 | **16** | 3 | 4 | 2 | 19 | | | 19 |
| ن30 | | 24 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 4 | 5 | 1 | 3 | 1 | 19 | | | 19 |
| ن31 | | 24 | 2 | 3 | 6 | 4 | 2 | 5 | 6 | 3 | 3 | 3 | 19 | | | 19 |
| ن32 | | 24 | 4 | 4 | 6 | **12** | 3 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 | 19 | | | |
| ن33 | | 6 | 5 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 6 | 19 | | | 19 |
| ن34 | | 24 | 4 | 6 | 1 | 3 | 5 | 1 | 6 | 2 | 3 | 1 | 19 | | | 19 |
| ن35 | | 24 | 3 | 6 | 1 | 2 | 6 | 3 | 7 | 1 | 1 | 3 | 19 | | | 19 |

ولخصت النتائج في الجدول (6 1 20):

| رمز العامل | ع1 | ع2 | ع3 | ع4 | ع5 | ع6 | ع7 | ع8 | ع9 | ع 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط المسند إليه | ن23 | ن16 | ن13 | ن32 | ن9 | ن18 | ن29 | ن22 | ن7 | ن26 |

وكنتيجة، تؤمن الجداول السابقة بياناً واضحاً لمشرفي الصيانة لاستغلال القدرات والكفاءات المتوفرة بشكلها الأمثل ابتعاداً عن هدر الوقت الضائع بالبحث عن البدائل أثناء جريان أعمال الصيانة بإعطاء العامل عملاً لا يناسبه وكذلك انسجاماً مع تكلفة الفرصة البديلة حيث يمثل استخدام كل عامل فرصة ضائعة لاستخدام العامل الآخر ذي الكفاءة الأفضل.

ونرى أنه إذا كانت هناك أنشطة مستقلة ضمن البرنامج، فمن الممكن تطبيق خوارزمية التعيين على هذه المجموعات المستقلة عوضاً عن إضافة عمال وهميين كتطبيق عملي أكثر فائدة. ولابد من الإشارة لضرورة مكافأة العمال المهرة وذوي الكفاءات العالية وليس استغلال جهدهم وكفاءتهم فقط.

من الممكن استخدام خوارزمية التعيين في معالجة وترشيد تكاليف استخدام العمال من خلال نظام ربط الأجر بالقطعة بدلاً من نظام ربط الأجر بالزمن مثالنا الماضي ركز على تعظيم الإنتاجية ويكون الهدف في هذه الحالة هو خفض التكاليف إلى أقل ما يمكن باستخدام العامل ذي الأجر العالي بسبب تخصصه في المكان المناسب.

أخيرا، يمكن تطبيق خوارزمية التعيين على استخدام الأدوات والتجهيزات والعدد اللازمة لعمليات الصيانة بنفس الشكل السابق أي بالبحث عن أفضل إنتاجية تجهيزات غالية الثمن أو مستأجرة بأجور مرتفعة.

# المبحث الثاني
# استخدام التحليل الشبكي

تتألف أعمال الصيانة من مجموعة من الأعمال المترابطة أحياناً , ويمكن تنفيذ هذه الأعمال وفق تسلسل معين للوصول إلى أزمنة أداء مثالية وخالية من الأوقات الضائعة. فنقاط الضعف[75] التنظيمية والتقنية سوف تحول دون الوصول إلى توفير في تكاليف الصيانة, ولابد من البحث عن مجالات التوفير حتى في الصناعات التي تنفذ الصيانة على نحو جيد. وبشكل عام, فإن الوقت في نشاطات الصيانة مهم إذ من الضروري معرفة تاريخ الانتهاء والوقت الذي ستخرج فيه الآلة من العمل وكذلك الوقت الذي سيتم البدء فيه.

لذلك فإن التحليل الجيد لكل العوامل باستخدام الخرائط والرسوم سيساعد في وضع الأمور في نصابها, إذ يتم استغلال الوقت الإضافي على أفضل وجه, كما يزاد حجم طاقة العمل في المكان المناسب[76].

وبما أن التخطيط الشبكي هو أسلوب من الأساليب العلمية في إدارة المشروعات المعقدة ذات الموارد البشرية والمادية الكبيرة التي ترمي من خلال توظيفها إلى تحقيق هدف أو جملة أهداف معينة. لذلك فالمخطط الشبكي هو رسم يعكس أعمال المشروع ونتائجه وعلاقاته المنطقية والتقنية بياناً و يتيح إمكانية قياس مؤشراتها الزمنية كمياً.

يعتبر التخطيط الشبكي من أهم الأدوات التطبيقية في برمجة أعمال الصيانة وإدارتها على نحو أمثل بغية السيطرة على أزمنة تنفيذ الأعمال لتحديد زمن دخول وخروج الآلة أو الآلات من الصيانة, وعلى الإدارة أن تفرض مكان وزمان الصيانة لا أن يفرضا عليها.

يتطلب التخطيط الشبكي تحليل المشروع إلى أنشطة وحوادث متميزة وإلى تحديد الزمن اللازم للنشاط ومن ثم تحديد علاقات الأسبقية بين هذه الأنشطة. ثم يتم وضع خريطة زمنية توضح فيها بداية ونهاية كل نشاط وتبين الخريطة علاقة كل نشاط بالأنشطة الأخرى. ويتم في هذه المرحلة التمييز بين الأنشطة الحرجة والأنشطة غير الحرجة. ويقال عن النشاط أنه حرج إذا كان التأخر في البدء به يؤدي إلى تأخير تاريخ إنجاز المشروع بأكمله. كما يقال عن نشاط إنه غير حرج إذا كانت طبيعة المشروع تسمح بالبدء في هذا النشاط في وقت مبكر أو أن الانتهاء منه في وقت متأخر لا يؤخر تنفيذ المشروع بأكمله. كما ترافق الأنشطة غير الحرجة أزمنة نطلق عليها أوقاتاً فائضة تمنح إدارة المشروع مرونة كافية لتنفيذ الأنشطة ولاختصار التكاليف إلى أدنى مستوىً ممكن. ويمكن تلخيص خطوات إعداد الشبكة بالمراحل التالية:

1. تحديد الأعمال الجزئية التي يتألف منها العمل ومعرفة الأعمال اللاحقة ثم تقدير الزمن اللازم لكل عمل (والتكلفة فيما بعد).
2. رسم الشبكة بحالتها البسيطة مع ترميز للأعمال وزمن كل عمل في نفس الشكل.
3. تحديد المسارات وانتقاء المسار الحرج منها.
4. تحديد الأزمنة المبكرة للبدء والانتهاء.

[75] VOEST_ALPIN_(Industrial Services )-OP,CIT,PP5.
[76] Miler &Blood-(Modern Maintenance Management)-OP,CIT., PP34.

5. تحديد الأزمنة المتأخرة للبدء والانتهاء.
6. تحديد الفائض.
7. تلخيص الأعمال السابقة بجدول / إضافة لخريطة الشبكة لتزويد القائمين على التنفيذ بها.

لكن أسلوب التحليل الشبكي يصلح للمشروعات الكبيرة والمتشبعة, وتعتبر معامل الإسمنت نموذجاً أبسط من هذه المشاريع الكبيرة. لذلك فإن أسلوب الشبكات لا يصلح للنموذج العملي موضوع البحث (معامل الإسمنت)، إلا أننا سنستمر في جعلها حالة عملية لإبقاء البحث متكاملاً بنسق واحد.

**إدارة الصيانة:** تتألف إدارة الصيانة حسب نموذج EUT من الأقسام التالية:

1 قسم التخطيط.
2 قسم الأعمال التحضيرية
3 الرقابة.

1 **قسم التخطيط:** يتولى هذا القسم وضع الخطط اللازمة لأعمال الصيانة بأنواعها: الصيانة الطارئة المخططة، والصيانة المانعة بالأسلوب EDP والصيانة التقليدية، وتتضمن الخطة ما يجب أن يكون عليه العمل عند التنفيذ، كما تسعى عادة للوصول إلى هدف أو أهداف، منها تنفيذ أعمال الصيانة بأقل زمن وبأدنى تكلفة مثلاً. ويساعد التخطيط الجيد والمدروس بعناية في حسن سير أعمال الصيانة بأقل اختناقات ممكنة (احتياجات العمالة والمواد). ويشمل التخطيط طويل الأجل إقامة دورات تدريبية للكوادر ولعناصر عمال الصيانة الاختصاصيين أو لتدريب عمال الإنتاج على تنفيذ بعض أعمال الصيانة دون الحاجة لاستدعاء فِرَق الصيانة.

يعتبر التخطيط الشبكي من أهم الأدوات التطبيقية المستخدمة في برمجة أعمال الصيانة وإدارتها على نحو أمثل بغية السيطرة على أزمنة تنفيذ الأعمال لتحديد زمن دخول وخروج الآلة أو الآلات من الصيانة. فكما ذكرنا سابقاً، على الإدارة أن تفرض مكان الصيانة وزمانها لا أن يفرضا عليها. فالتخطيط الشبكي يتطلب تحليل المشروع إلى أنشطة وحوادث متميزة وإلى تحديد الزمن اللازم للنشاط ومن ثم تحديد علاقات الأسبقية بين هذه الأنشطة.

2 **قسم أعمال التحضيرات:** إن أعمال التحضيرات للصيانة أكثر تعقيداً من أعمال التحضيرات للإنتاج، ففي عملية الإنتاج تكون الأهداف وأدوات تحقيقها واضحة. بينما يسود الغموض أعمال الصيانة خاصة في حالة صيانة الأعمال الطارئة. فالسبب غامض والعطل غير محدود النتائج وبالتالي فالإعداد لهذه الأعمال يتسم بالغموض، وكلما كانت التوقعات غير صائبة، احتاجت أعمال التحضيرات لتخطيط أكثر دقة. فزمن العمل المقدر يحتاج لمداخل مختلفة، وتعتبر Universal Maintenance Standards ، وما سنختاره هو أسلوب الجدولة الزمنية. وفي الجدولة الزمنية يتم وضع خريطة زمنية بموجب هذه الجدولة توضح فيها بداية ونهاية كل نشاط وتبين الخريطة علاقة كل نشاط بالأنشطة الأخرى. ويتم في هذه المرحلة التمييز بين الأنشطة الحرجة والأنشطة غير الحرجة.

3 **قسم رقابة الصيانة:** كما تحتاج الخطة إلى تنفيذ كي تخرج إلى حيز الواقع، يحتاج التنفيذ إلى رقابة بغية تحديد الانحرافات بنوعيها الموجبة والسالبة، فالانحرافات الموجبة قد يكون مصدرها جودة فائقة في الأداء أو قصوراً في الخطة. والانحرافات السالبة قد يكون مصدرها ضعفاً في الأداء أو مثالية ومغالاة في الخطة. وإذا رغبت الإدارة في تطبيق محاسبة المسؤولية فلا بديل عن رقابة تنفيذ الخطة بغية تحديد الانحرافات وتحديد المسؤول عنها، وهكذا تكون مكافأته أو معاقبته تبعاً لنوع الانحراف.

وتبدأ عملية الرقابة اعتباراً من أعلى الهرم في إدارة الصيانة ممثلة في مدير الصيانة. فمدير الصيانة هو إنسان خبير في حقل عمله الهندسي، ولديه الدراية الكافية في علوم الإلكترون والكهرباء والميكانيك والهدروليك...الخ بما يضمن بقاء عمله مستمراً، كما أنه المخول باتخاذ القرارات الصعبة المتعلقة بقسم الصيانة، وستكون قراراته نابعة من إحدى حالات ثلاث:

- **حالة التأكد التام:** أي أنه يعلم تماماً بالتغيرات التي ستحدث، والتي ستؤثر على الظاهرة المبحوثة، ويعلم ماهية الأنشطة المكونة للمشروع والعلاقات السببية بينها، فعلى سبيل المثال تسبق عملية تبريد الفرن عملية فك واستبدال القرميد، كما أنه يعلم ماهية الفترات التي تستغرقها هذه الأنشطة مثلاً تبريد الفرن يحتاج إلى يومين0
- **حالة المخاطرة:** أي انه لا يعلم على وجه الدقة مدى الفترة التي سيستغرقها تنفيذ النشاط. وإنما يعلم احتمال تنفيذه خلال مدة معطاة، وهي عبارة عن احتمال، فإن كان الاحتمال 80 % فهذا يعني أن المخاطرة تبلغ 20 %. وهذه النسبة تمثل نتائج أقل دقة. مثلاً، عملية إيقاف الفرن يحتمل أن تتم بعد يوم واحد فقط.
- **حالة عدم التحقق الأكيد:** وهي مرفوضة لأن الاحتمال يساوي الصفر وبالتالي فإن المخاطرة تساوي الواحد الصحيح. وهكذا فهو لا يعلم إن كان النشاط سينفذ خلال فترة معطاة.

**التخطيط الشبكي كوسيلة مساعدة في اتخاذ القرار:** يعرف التخطيط الشبكي[77]، بأنه أسلوب من الأساليب العلمية في إدارة المشروعات المعقدة ذات الموارد البشرية والمادية والمالية الكبيرة التي ترمي من خلال توظيفها إلى تحقيق هدف أو جملة أهداف معينة. والمخطط الشبكي رسم يعكس أعمال المشروع ونتائجه وعلاقاته المنطقية والتقنية بيانياً ويتيح إمكانية قياس مؤشراتها الزمنية كماً.

كما تعرف الشبكة بأنها[78] تجريد رياضي مثالي للعالم الحقيقي من خلال نقاط وعقد متصلة بخطوط أو أقواس أو فروع، ومن خلالها يحدث تدفق بعض المواد.

[77] مجلة الاقتصاد السورية، (التخطيط الشبكي )، د.شمس الدين شمس الدين. العدد250.

[78] Cooper & Stelnberg-(Introduction to Methods of Optimization)-1970.pp 270.

**حالة عملية تطبيق أسلوب التحليل الشبكي في صيانة قسم الفرن وتوابعه**

قمنا باختيار حالات صيانة لمجموعة أجزاء من قسم الفرن وتوابعه لمعامل الإسمنت كحالة تطبيقية لتطبيق أسلوب التحليل الشبكي في صيانة هذا القسم أكثر الأقسام حيوية في خط إنتاج الإسمنت. وكانت الأعمال المختارة متنوعة وتغطي معظم مراحل الصيانة في هذه الصناعة.

ثم قام بتقسيم العمل في كل جزء إلى أنشطة إضافة للزمن اللازم لإجراء الصيانة المتوقعة، وكذلك تم تحديد النشاط السابق، ثم تم رسم المخطط الشبكي وتم بيان وحساب: الزمن المخطط (يوم شهر سنة ساعة دقيقة)+الفائض المتاح (بالساعة )+أبكر زمن للبداية+أبكر زمن للنهاية+آخر بداية ممكنة (متأخرة)+آخر نهاية ممكنة (متأخرة). وظهر المسار الحرج بلون داكن.

| الأجزاء التي تمت دراستها | عدد الأنشطة | رقم الشكل | المسار الحرج بالساعة |
|---|---|---|---|
| 1 المراوح وبوري الغاز | 10 | 1 1 4 | 372 |
| 2 المبرد وشواحط الحرارة | 26 | 2 1 4 | 330 |
| 3 المسخن | 15 | 3 1 4 | 540 |
| 4 السيكلونات | 8 | 4 1 4 | 336 |
| 5 جسم الفرن | 10 | 5 1 4 | 282 |
| 6 كسارة الكلينكز والشاحط | 12 | 6 1 4 | 242 |
| 7 قص الفرن | 35 | 7 1 4 | 567 |

ثم تم رسم مخطط شبكي تجميعي للأنشطة السبعة المدروسة[79]. كما تم ربط الأشكال الجزئية ضمن مخطط شبكي واحد مع بيان جميع البيانات المذكورة السابقة (الأزمنة والفائض) ويظهر الفائض الإجمالي على كامل المشروع عند كل نشاط. ويبدو المسار الحرج على كامل المشروع ظاهراً بلون داكن. والنتيجة عبارة عن خريطة كبيرة ملحقة بالبحث. وسنكتفي بعرض برنامج صيانة بوري الغاز والمراوح، الجدول( 6 2 1 ) والشكل( 6 2 1 ) والنتائج لخصت في الجدول( 6 2 3 ). ويتألف المسار الحرج من الأنشطة: بداية ( 1 2 3 4 7 ) أو( 6 8 10 9 ) نهاية 372 ساعة. وبرنامج صيانة جسم الفرن، الجدول( 6 2 2 ) والشكل( 6 2 2 ) والنتائج لخصت في الجدول (6 2 4). ويتألف المسار الحرج من الأنشطة: بداية (1 6 7 8 9 10 ) نهاية =282 ساعة.

ويساعد معرفة الفائض في تحديد إمكانية تأخير تنفيذ النشاط، مما يوفر للإدارة حرية الحركة في تنفيذ المشروع دون التأثير على زمن انتهائه ككل وبالتالي يفيد الإدارة في التحكم بالانحرافات الناجمة عن التنفيذ. كما يساعد معرفة الأزمنة المبكرة والمتأخرة إلى توفر مواعيد مرنة تساعد المنفذين في التأرجح بين حديها بما يتناسب مع الموقف الذي يعترضهم. إن تأمين هذه البيانات لمراكز اتخاذ القرار هو من مهام المحاسبة لتأمين سرعة الوصول ودقة البيانات بما يتناسب مع عصر المعلوماتية.

[79] لم يتم ضمه للبحث بسبب ضخامته وعدم إمكانية ربطه بالكتاب، وللإطلاع يمكن الاتصال بالباحث

برنامج صيانة بوري الغاز والمراوح

| | النشاط | الزمن المقترح |
|---|---|---|
| 1 | فك وقص وتنزيل تفريعة بوري الغاز من المنسوب 55 إلى المنسوب 64 | 24 |
| 2 | فك وقص وتنزيل بوري الغاز من المنسوب 14 إلى المنسوب 30م | 24 |
| 3 | فك وقص وتنزيل التفريعة السفلية لبوري الغاز حتى المروحة 10 | 24 |
| 4 | صيانة عامة لمروحة الغازات الساخنة 10 | 72 |
| 5 | صيانة عامة لمروحة الغازات النهائية 39 | 48 |
| 6 | صيانة سكورة الغاز 09 012 037 | 72 |
| 7 | تركيب ولحام بوري الغاز في الفقرة الأولى | 72 |
| 8 | تركيب ولحام بوري الغاز في الفقرة الثانية | 36 |
| 9 | تركيب ولحام بوري الغاز في الفقرة الثالثة | 60 |
| 10 | صيانة بوري الغاز في بناء المطحنة حتى مروحة الغازات النهائية | 60 |

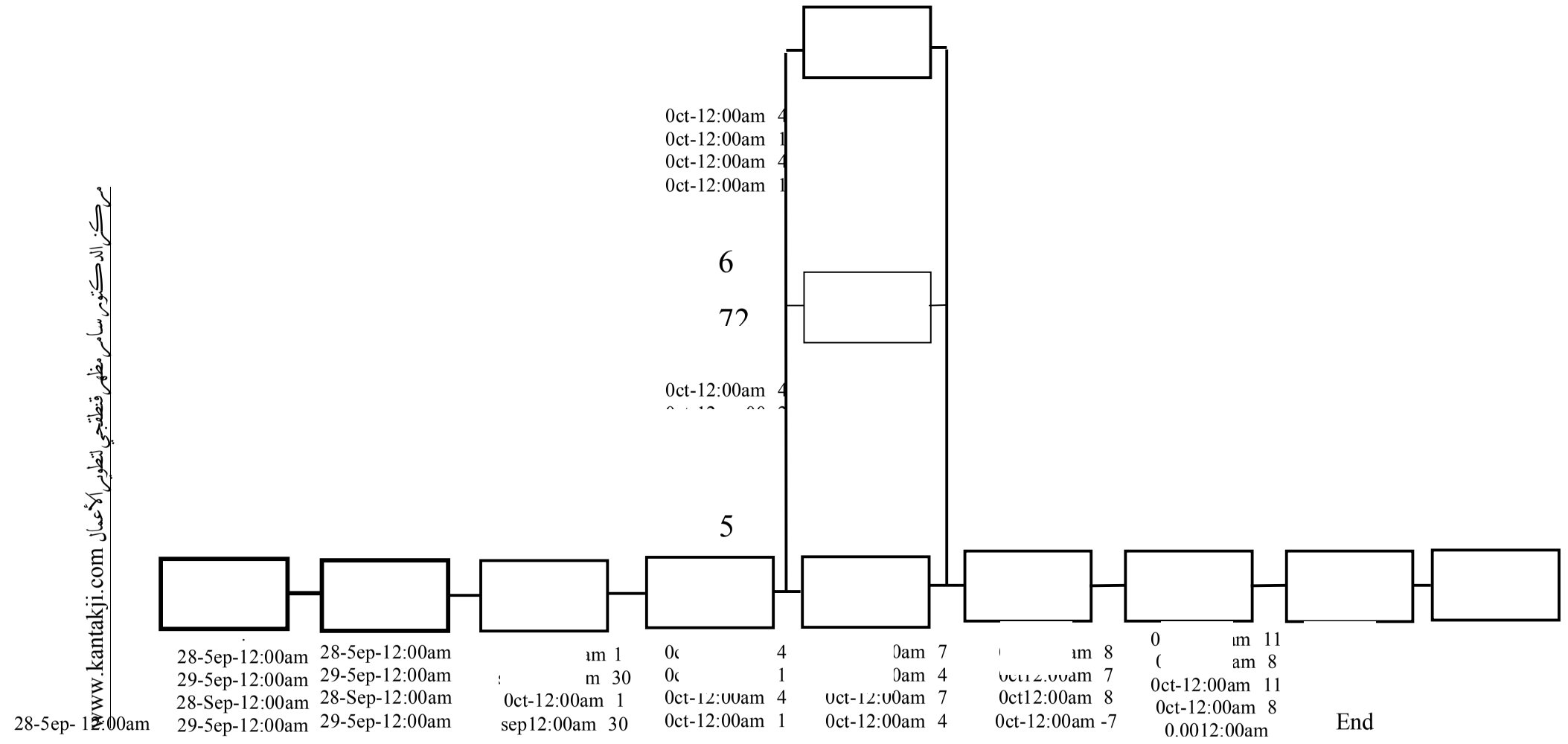
الجدول(6 2 1)

برنامج صيانة جسم الفرن

| | النشاط | الزمن المقترح |
|---|---|---|
| 1 | تبديل طبقات الرنغ الثاني | 84 |
| 2 | وضع المصادم الناقصة للرنغ الثاني | 24 |
| 3 | تبديل كونترتي الفرن | 24 |
| 4 | صيانة كتامة مدخل الفرن | 60 |
| 5 | الكشف على بلاكات مدخل الفرن وتبديل العاطل منها | 24 |
| 6 | صيانة قبة الفرن | 36 |
| 7 | صيانة باب الفرن | 36 |
| 8 | صيانة مسنن الفرن | 36 |
| 9 | صيانة علبة السرعة الرئيسية للفرن | 30 |
| 10 | صيانة كتامة مخرج الفرن وإجراء التعديل ببكرات الضغط | 60 |

الجدول(6 2 3)

مخطط صيانة المراوح، الشكل (6 2 1)



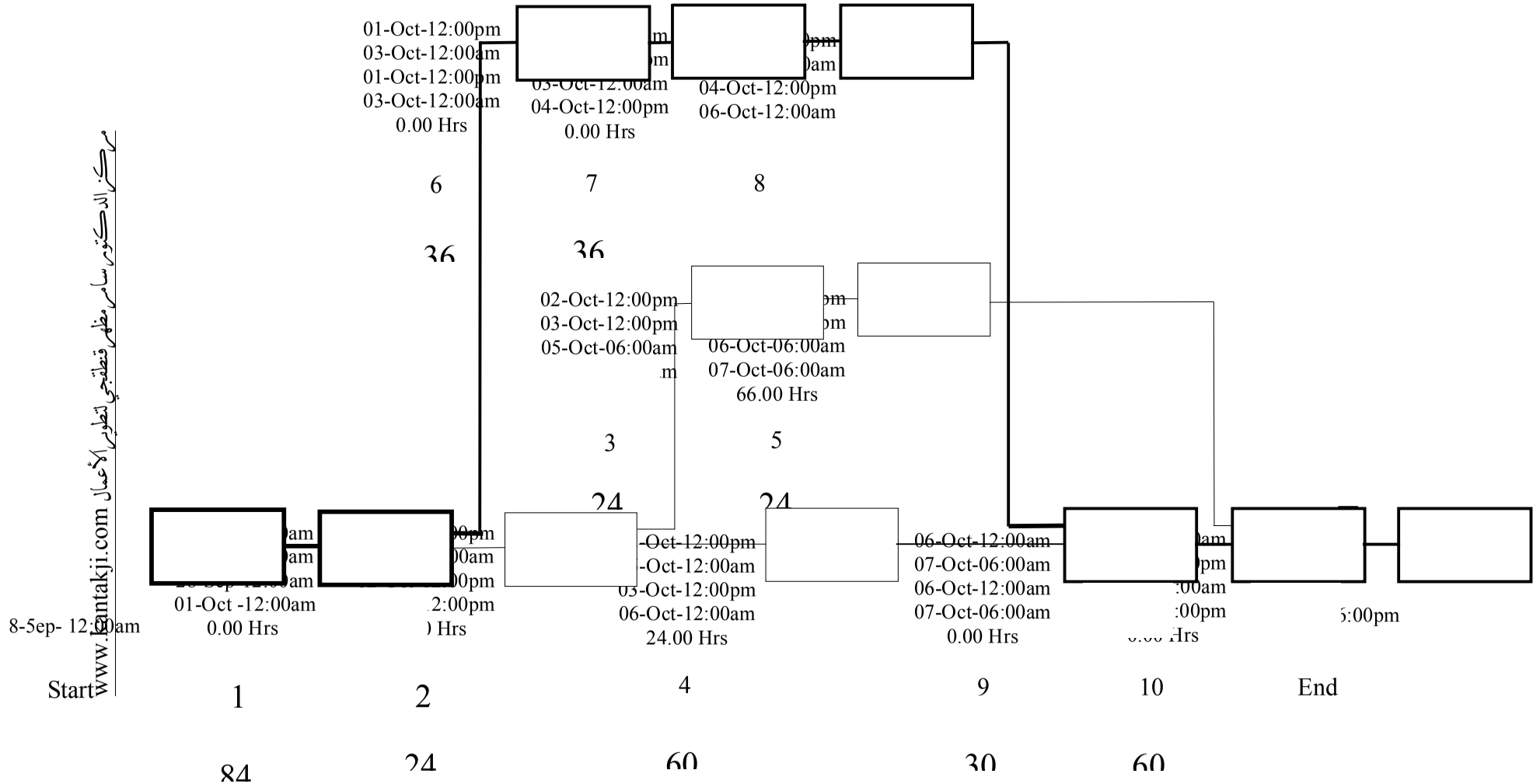

مركز الدكتور سامي مظهر قنطقجي لتطوير الأعمال www.kantakji.com

برنامج صيانة بوري الغاز والمراوح

الجدول(6 2 2)

| رمز النشاط | زمن النشاط | النشاط السابق | الزمن المبكر | | | | الزمن المتأخر | | | | الفائض بالساعات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | بداية | | نهاية | | بداية | | نهاية | | |
| | | | تاريخ | ساعة | تاريخ | ساعة | تاريخ | ساعة | تاريخ | ساعة | |
| | البداية | | 09/28 | 12.00 | | | | | | | |
| 1 | 24 | البداية | 09/28 | 12.00 | 09/28 | 12.00 | 09/29 | 12.00 | 09/29 | 12.00 | 0 |
| 2 | 24 | 1 | 09/29 | 12.00 | 09/30 | 12.00 | 09/29 | 12.00 | 09/30 | 12.00 | 0 |
| 3 | 24 | 2 | 09/30 | 12.00 | 10/01 | 12.00 | 09/30 | 12.00 | 10/01 | 12.00 | 0 |
| 4 | 72 | 3 | 10/01 | 12.00 | 10/04 | 12.00 | 10/01 | 12.00 | 10/04 | 12.00 | 0 |
| 5 | 48 | 3 | 10/01 | 12.00 | 10/03 | 12.00 | 10/02 | 12.00 | 10/04 | 12.00 | 24 |
| 6 | 72 | 3 | 10/01 | 12.00 | 10/04 | 12.00 | 10/01 | 12.00 | 10/04 | 12.00 | 0 |
| 7 | 72 | 4.5.6 | 10/04 | 12.00 | 10/07 | 12.00 | 10/04 | 12.00 | 10/07 | 12.00 | 0 |
| 8 | 36 | 7 | 10/07 | 12.00 | 10/08 | 12.00 | 10/07 | 12.00 | 10/08 | 12.00 | 0 |
| 9 | 60 | 8 | 10/08 | 12.00 | 10/11 | 12.00 | 10/08 | 12.00 | 10/11 | 12.00 | 0 |
| 10 | 60 | 9 | 10/08 | 12.00 | 10/11 | 12.00 | 10/08 | 12.00 | 10/11 | 12.00 | 0 |
| | النهاية | | 10/13 | 12.00 | | | | | | | |

## صيانة جسم الفرن الشكل (6 2 2)




مركز الدكتور سامي مظهر قنطقجي لتطوير الأعمال www.kantakji.com

برنامج صيانة جسم الفرن

الجدول(6 2 4)

| رمز النشاط | زمن النشاط | النشاط السابق | الزمن المبكر | | | | الزمن المتأخر | | | | الفائض بالساعات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | بداية | | نهاية | | بداية | | نهاية | | |
| | | | تاريخ | ساعة | تاريخ | ساعة | تاريخ | ساعة | تاريخ | ساعة | |
| | البداية | | 09/28 | 24.00 | | | | | | | |
| 1 | 84 | البداية | 09/28 | 24.00 | 10/01 | 24.00 | 09/28 | 24.00 | 10/01 | 24.00 | 0 |
| 2 | 24 | 1 | 10/01 | 24.00 | 10/2. | 24.00 | 10/02 | 24.00 | 10/03 | 24.00 | 0 |
| 3 | 24 | 2 | 10/02 | 24.00 | 10/03 | 24.00 | 10/05 | 06.00 | 10/06 | 06.00 | 66 |
| 4 | 60 | 2 | 10/02 | 24.00 | 10/05 | 24.00 | 10/03 | 24.00 | 10/06 | 24.00 | 24 |
| 5 | 24 | 3 | 10/03 | 24.00 | 10/04 | 24.00 | 10/06 | 06.00 | 10/07 | 06.00 | 66 |
| 6 | 36 | 1 | 10/01 | 24.00 | 10/03 | 24.00 | 10/01 | 24.00 | 10/03 | 24.00 | 0 |
| 7 | 36 | 6 | 10/03 | 24.00 | 10/04 | 24.00 | 10/03 | 24.00 | 10/04 | 24.00 | 0 |
| 8 | 36 | 7 | 10/04 | 24.00 | 10/06 | 24.00 | 10/04 | 24.00 | 10/06 | 24.00 | 0 |
| 9 | 30 | 4،8 | 10/06 | 24.00 | 10/07 | 06.00 | 10/06 | 24.00 | 10/07 | 06.00 | 0 |
| 10 | 60 | 5،9 | 10/07 | 06.00 | 10/09 | 18.00 | 10/07 | 06.00 | 10/09 | 18.00 | 0 |
| | النهاية | | 10/09 | 18.00 | | | | | | | |

# التكييف الفقهي لعقود الصيانة

**مقدمة**

لم يكن مصطلح الصيانة مستخدماً بهذا اللفظ في الفقه الإسلامي، ولم يأخذ باباً مستقلاً بعينه في كتب الفقه. لكنه كان موجوداً من حيث المفهوم والمعنى والاستخدام في أبواب الفقه عامة كأبواب المعاملات والضمان والرهن والوقف.. الخ. فعلى سبيل المثال أورد الزيلعي فتوى في مسألة صيانة الوقف، وذلك عندما أفتى في حد العمارة من خلال فهمه للاستعمال العادي للموقوف *(أي مفهوم الصيانة العادية)*، وذلك بقوله: بقدر ما يبقى الموقوف على الصفة التي وقفه بها (الواقف)، لأن الصرف إلى العمارة ضرورة إبقاء الوقف ولا ضرورة في الزيادة. كما أشار أبو جعفر الدمشقي إلى ضرورة تخيّر مخازن مجهزة تخفف من أثر العوامل الخارجية على المخزن من آلات وتجهيزات، فقال "كل ما كان من المخازن ناشفاً وحيطانه وأرضه ناشفة من البلل والنداوة فإن كانت أرضه مبلطة فهو أفضل... ويجب أن يكون بابه وطاقاته التي للضوء إلى جهة المشرق لأنها مهب ريح الصبا وهي أقل الرياح رطوبة وعفنة"[80]، ثم أشار إلى حاجة الأشياء إلى الصيانة والاحتياط والتفقد بثلاثة أمور[81]:

(1) التحفظ في وقت شرائها وتحصيلها وذلك بأمرين: أحدهما العلم بقيمتها المتوسطة والعلم بجيدها ورديئها.

(2) معونة الخبيرين بها إذا كانوا ثقاتاً واستماع نصحهم.

(3) صيانتها من أن يسرع إليها الفساد والتغيير وذلك بشيئين أحدهما العلم بالشيء المفسد لكل نوع منها، ما هو؟ وكم هو؟ والآخر المعرفة بما يمنع من ذلك الفساد وبما يزاد في ذلك التوقي (أي الصيانة الوقائية) وينقص بحسب اختلاف الأوقات والأحوال من صيف أو شتاء (عوامل الزمن) وسفر وحضر (الاستعمال).

**عقد الصيانة**

إن عقد الصيانة هو من العقود التي شرعت أو وضعت لتلبية حاجات الناس الاجتماعية والاقتصادية وغيرها، بحيث تحفظ لكل طرف حقوقه على أسس عادلة وميسرة حتى إذا ما حصل خلاف بين المتعاقدين على شيء ما في هذه العقود إما في تكوينها أو في آثارها سهل عليهم الرجوع إلى نصوصها التشريعية المفصلة التي بينت فيها شروطها وأركانها ثم سائر أحكامها وآثارها فيعرضون عليها مشكلتهم ويتوصلون من خلال ذلك إلى حل هذه المشكلة دون مزيد من عناء وبالتالي يحققون حفظ الحقوق وحسم أي خلاف. إلا أن مصالح الناس اليومية متنامية ومتغيرة بحسب الزمان والمكان وبخاصة في زماننا هذا الذي زادت فيه وتيرة تسارع هذا التنامي بشكل مذهل وقد جد لنا بسبب المخترعات الحديثة التي سهلت ارتباط العالم بعضه ببعض ظهور مخترعات جديدة وآلات معقدة أدت إلى ظهور عقود جديدة لم يكن هناك حاجة إليها من قبل منها عقود الصيانة.

---

[80] الدمشقي، أبو جعفر، الإشارة لمحاسن التجارة، دار صادر ببيروت طبعة 1، 1999، ص 43.

[81] الدمشقي، مرجع سابق، ص 20.

**مبادئ وقواعد العقود في الفقه الإسلامي**[82]

تقوم العقود عامة في الفقه الإسلامي على قاعدتين بيّنهما القرآن والسنة يجب مراعاتهما في كل عقد من العقود. والمخالفات على أنواع ودرجات بعضها يؤدي إلى بطلان العقد من أساسه وجعله كأنه لم يكن وبعضها يؤدي إلى فساده ووجوب العمل على فسخه مع الاعتراف له ببعض الآثار الضرورية إلى حين فسخه، وبعضها يؤدي إلى توقيفه حتى زوال المخالفة التي توقف من أجلها وبعضها يسلب اللزوم عنه ويتيح لمن ثبت عدم اللزوم لمصلحته أن يفسخه بإرادته المنفردة إن شاء أن يلتزم به وبعضها يجعلها مكروها محاسباً عليه في الآخرة ولا أثر لذلك في أحكام الدنيا. وهذا ن الأساسان هما: الرضا وانتفاء الجهالة والغرر.

1. **الرضا**: هو رضا المتعاقدين بالعقد، لقوله  يا أيها الذين آمنوا لا تأكلوا أموالكم بينكم بالباطل إلا أن تكون تجارة عن تراض منكم [النساء: 29]. وكذلك قوله  "إنما البيع عن تراض"[83].
2. **انتفاء الجهالة**: لأن الجهالة تورث المنازعة والخصومة وهي ممنوعة إلا أن الجهالة على قسمين: جهالة يسيرة فاليسيرة منها مغتفرة لدى الفقهاء جميعاً وغير مؤثرة في العقود لأنها لا تؤدي للنزاع غالباً ومما يصعب التنزه عنها أما الجهالة الفاحشة فهي الجهالة المؤثرة في العقود عند جمهور العلماء.

**أنواع العقود التي تتكيف مع عقد الصيانة:**

أولا عقد الإجارة: هو بيع منفعة، وشروطه:

1. أن يكون محلها منفعة شيء يمكن استدامته فلا تصح في مال استهلاكي.
2. أن يكون محلها منفعة مقومة ومقصودة الاستيفاء بالعقد.
3. أن يكون محلها منفعة مباحة الاستيفاء.
4. القدرة على استيفاء المنفعة فيها من المستأجر والوفاء بها من المؤجر.
5. أن تكون المنفعة فيها معلومة ليس فيها جهالة فاحشة مفضية للمنازعة.
6. أن تكون الأجرة فيها معلومة ليس فيها جهالة فاحشة مفضية للمنازعة.
7. أن لا تكون المنفعة المعقود عليها فرضاً على الأجير أو واجباً عليه قبل عقد الإجارة.
8. أن لا تكون الأجرة جزء اً من المأجور.

إن عقد الإجارة هو أقرب العقود لعقد الصيانة وأقربها إليه حتى إنه يمكن أن يقال إن عقد الصيانة هو عقد إجارة وذلك من حيث تعريفه ومن حيث تكوينه مما يجعله مثله في أحكامه وآثاره، إلا أن الإجارة تتميز عن الصيانة في أنها أكثر انضباطاً بالقواعد العامة لعقود المعوضات وأقل جهالة وغرراً منها.

ثانيا عقد الاستصناع: هو عقد على بيع في الذمة شرط فيه العمل، وشروطه:

1. أن يكون المصنوع معلوماً وذلك ببيان الجنس والنوع والصفة والقدر.
2. أن يكون المصنوع مما يجري التعامل على استصناعه في عرف الناس.

[82] الكردي، د. أحمد الحجي، عقود الصيانة، مجلة الاقتصاد الإسلامي، 1996، المجلد 15 العدد 180، الصفحات 44 51.
[83] [مسند ابن ماجه: 2176]

وهناك تقارب بين الصيانة و الاستصناع فكل منهما يحتاج إلى عمل وصنعة بمقابل بدل ثم إن عقد الاستصناع فيه إلى جانب العمل تقديم مواد مختلفة منضبطة بالجملة.وهذا ما يرشح صحة القول بجواز أن يكون في عقد الاستصناع تقديم مواد مختلفة إذا كانت منضبطة بالجملة كالشحوم والزيوت وما إليها أما المواد التي تندر الحاجة إليها وتكثر فيها الجهالة والغرر كقطع الغيار فلا تدخل في ذلك لفحش الجهالة فيها. إلا أن بين الصيانة و الاستصناع اختلافاً، ذلك أن الاستصناع يرد على عمل هو صنع شيء يمكن إزالة الجهالة الفاحشة عنه بالوصف بشكل مناسب أما الصيانة فإنها ترد على عمل أكثر تعقيداً من الأول وأكثر جهالة وغرراً منه ولهذا لا يمكن القول بأنها فرع عنه رغم التشابه بينهما.

ثالثا عقد الجعالة: الجعالة هي التزام عوض معلوم على عمل معين معلوم أو مجهول يعسر ضبطه وهي مشروعة لدى أكثر الفقهاء على خلاف القياس كالإجارة إلا أنها على خلاف الإجارة تصح على معلوم أو على مجهول يتعذر ضبطه ووصفة كمعالجة مريض. وشروط عقد الجعالة:

1 قدرة العامل على القيام بالعمل إذا كان العامل معيناً و إلا لم يشترط ذلك.
2 أن يكون العمل غير واجب على العامل قبل الجعالة.
3 تحديد الجعل ( الأجرة).

و الجعالة نوع من الإجارة إلا أنها تتحمل من الجهالة والغرر ما لا تسعه الإجارة ولهذا قال بعض الفقهاء ببطلانها إلا أن الجمهور أجازها للحاجة إليها على ما فيها من الجهالة والغرر.

ويرى الدكتور الضرير أن تخريج أو تكييف بعض الباحثين لعقد الصيانة على أنه "جعالة" هو تخريج غير مقبول ومن هؤلاء الباحثين الدكتور يوسف قاسم بقوله: يمكن أن ينظر إلى بعض عقود الصيانة بحيث نستطيع تخريجها على أساس أنها من عقود الجعالة، مثال ذلك إذا أعلنت إحدى الشركات أن الذي يقوم بعملية صيانة كاملة للمصنع المملوك لها والكائن في مكان كذا فإنها تقدم له مكافأة إجمالية شاملة قيمتها كذا، والحال أن هذا الإعلان موجه للمهندسين المختصين في صيانة هذا النوع من المصانع، فلا شك أن هذا العقد يُكيَّف على أنه عقد جعالة.

ومن الباحثين الذين كيفوا عقد الصيانة بأنه عقد جعالة د. أحمد الحجي الكردي بقوله: "الجعالة أقرب العقود قاطبة إلى عقد الصيانة مما يمكن معه إدخالها فيها، وتريب شروطها وأحكامها على وفقها ومنهم عز الدين محمد توني بقوله: "النظر في تخريج بعض عقود الصيانة على عقد الجعالة: الجعالة عقد يقع على عمل الإنسان نظير عوض" وكما ذكرنا من قبل فإن أهم ما يميز عقد الجعالة أنه عقد جائز فلكل من الطرفين فسخه، وأن العوض فيها لا يستحق إلا بتمام العمل وأن العمل فيها يجوز أن يكون مجهولاً. فلو أن بيت التمويل الكويتي مثلاً، أعلن في الصحف أن من قام بإصلاح أجهزة التكييف في المبنى الكائن بشارع كذا فله كذا فتقدمت إحدى الشركات وتعاقد بيت التمويل معها وذكر في العقد نوع العمل وتحديد قدر العوض ثم ذكر في العقد أن الشركة لا تستحق هذا العوض إلا بعد تمام العمل وأنها لو تركت العمل قبل إتمامه لا تستحق شيئاً ووافقت الشركة على ذلك كان هذا العقد عقد جعالة مسمىً باسم الصيانة وقد أخذت الندوة الفقهية الرابعة بالكويت 1416هـ 1995م برأي هؤلاء الأساتذة فجاء في قراراتها ما يلي: تطبيقات الإجارة والجعالة على عقود الصيانة: إن عقد الصيانة عقد مستحدث مشروع تنطبق عليه الأحكام العامة للعقود ولا يخالف نصاً أو قاعدة شرعية عامة وهو في تكييفه الفقهي أقرب ما يكون إلى عقد الجعالة حيث إن معظم صور الصيانة لا يمكن فيها تحديد مقدار العمل بشكل دقيق. وبعد تحديد جنس العمل ونوعه ومحل العمل والمقابل والزمن وما فيه من جهالة أو غرر فهو من اليسير المغتفر الذي لا يؤدي إلى التراع بالرجوع إلى المتعارف عليه

في كل مجال (هكذا) وهذا بالنسبة لعقد الصيانة بدون الالتزام بقطع الغيار. أما إذا كان العقد شاملاً لقطع الغيار فيختلف الحكم بين حالتين اثنتين:

**الحالة الأولى**: أن يلتزم مالك العين المطلوب صيانتها بتقديم قطع الغيار من عنده عيناً أو يلتزم بدفع ثمنها المحدد ممن يقدمها، وهذه الصورة جائز شرعاً لأنها جعالة رافقها بيع.

**الحالة الثانية**: أن تلتزم الجهة المتعهدة بالصيانة بتقديم قطع الغيار مع العمل، فهناك صورتان:

الصورة الأولى: أن تكون الصيانة دورية وقطع الغيار معلومة بالرجوع إلى العرف من حيث تحديد عددها وصفاتها وعمرها الافتراضي ووقت تبديلها فهذه الصورة جعالة جائزة أيضاً ويمكن التعاقد على العمل بعقد واحد يغتفر الجهالة اليسيرة (هكذا).

الصورة الثانية: أن تكون قطع الغيار غير قابلة للتحديد عند التعاقد بالرجوع للعرف أو مراعاة الطبيعة التقنية للمعدات، ويقع التفاوت الكبير في تكلفتها ففي هذه الصورة لا يجوز التعاقد على التزام الجهة المتعهدة بالصيانة بالقيام بالعمل وتقديم قطع الغيار وذلك للجهالة الكبيرة المؤدية للتزاع.

وقد قدم الدكتور الضرير حجة تثبت عدم إمكانية تكييف عقد الصيانة على أنه عقد جعالة تتلخص فيما يلي:

1_ عقد الصيانة ملزم للطرفين بإتمام العمل أما في عقد الجعالة فيحق للمجعول له أن يتخلى عن العمل في أي وقت يشاء ويحق ذلك للجاعل قبل شروع المجعول له في العمل.

2_ لا يستحق العوض في عقد الصيانة إلا بعد إتمام العمل بينما يستحق العوض في عقد الجعالة قبل الشروع في العمل أو خلال العمل أو بعد إنهائه.

3_ يجوز أن يكون العمل في عقد الجعالة مجهولاً، أما في عقد الصيانة فيجب أن يكون العمل المتفق عليه معلوماً عند التعاقد و خالياً من الجهالة الفاحشة.

ولو طبقنا أحكام عقد الجعالة على عقد الصيانة كما يقول الدكتور الحجي لأصبح عقد جعالة لا عقد صيانة. والمثال الذي ذكره الدكتور يوسف هو عقد جعالة محله صيانة المصنع تطبق عليه أحكام الجعالة وليس عقد صيانة والمثال الذي ذكره د. عز الدين هو أيضاً عقد جعالة وقد اعترف الدكتور عز الدين بهذا في قوله آخر المثال:"كان هذا العقد عقد جعالة مسمىً باسم الصيانة". أما قرار الندوة فقد بدأ بداية جيدة حيث اعتبر عقد الصيانة عقداً مستحدثاً مشروعاً تطبق عليه الأحكام العامة للعقود ولكنه عاد فجعله عقد جعالة فقط إذا كان بدون الالتزام بقطع الغيار، وعقد جعالة رافقه بيع إذا كان مع الالتزام بقطع الغيار، وإذا كان التكييف بالجعالة غير مقبول فالتكييف بالجعالة والبيع أولى بعدم القبول.

رابعا عقد السَّلم: هو بيع موصوف في الذمة ببدل عاجل أو بيع آجل بعاجل وهو مشروع عند الفقهاء عامة وشروطه:

1. قبض رأس المال في المجلس.
2. أن يكون السلم فيه ديناً موصوفاً في الذمة.
3. أن يكون السلم فيه معلوماً بجنسه ونوعه وصفته وقدره.
4. تأجيل المسلم فيه لدى الجمهور خلافاً للشافعية.
5. الأجل، القدرة علي التسليم عند حلول الأجل.
6. وجود المسلم فيه عند التعاقد والظن باستمرار وجوده في السوق إلى تاريخ التسليم.

7 بيان مكان التسليم إن كان لحمل المسلم فيه مؤنة.

خامساً عقد المضاربة أو القراض: هو عقد بين إنسان له مال وعامل يقوم بموجبه بتثمير هذا المال بالتجارة وما إليها وله جزء معين من الربح فإذا خسر فالخسارة على رب المال وحده ولاشيء منها على العامل ولاشيء له.

سادسا عقد الحفظ: هو عقد بين إنسان له مال وعامل يقوم بموجبه بحفظ هذا المال وحراسته من السرقة وغيرها بمقابل أجر معين من المال يتفق عليه في العقد وهو مشروع كالإجارة لأنه نوع منها وله شروطه وأحكامه. وبين العقدين تشابه كبير في أن كلاً منهما محله العمل ثم إن العمل في عقد الحفظ لا يحتاج إلى آلات أو مواد غالباً أما الصيانة فعلى خلافه لهذا جاز الاستئناس بالحفظ في ترتيب أحكام الصيانة مع التحفظ لما في ذلك من الجهالة والغرر.

مما سبق فإن الدكتور الكردي يرى أن عقد الصيانة هو عقد معاوضة لما فيه من البدل والأجرة من جانب والعمل من جانب آخر كما يتبين لنا أن أقرب العقود وأقربها إلى عقد الصيانة هو عقد الإجارة، لذلك فإن عقد الصيانة جائز أي أن عقد الصيانة عقد مشروع في الأصل على خلاف القياس كما تقدم، هذا إذا استجمع الشروط التالية عُدَّ عقداً ملزماً للجانبين خلال المدة المتفق عليها فيه فإذا انقضت المدة المتفق عليها انقضت آثار العقد ما لم يتفق على تمديده من جديد مدة أخرى. وعليه فإن عقد الصيانة هو عقد معاوضة بين اثنين يقال للأول الصائن وللثاني المصون له يقدم بموجبه الصائن عملاً يتفق عليه وتحدد أوصافه وزمانه فيه. أما موضوعه فهو جعل آلة معينة أو عقار معين أو غير ذلك للمصون له يستمر سليماً منتجاً لمنافعه المعتادة وذلك عن طريق مراقبته دورياً وإصلاحه عند التعيب بمقابل بدل عين من المال يدفعه المصان له للصائن في أول العقد دفعة واحدة أو على أقساط يتفق على مقدارها وزمانها في العقد. ويشترط لصحة عقد الصيانة شروط لابد من توافرها كلها و إلا فسد وهي:

1 أن يكون كل من العاقدين كامل الأهلية ومطلق التصرف في ماله بأن يكون عاقلاً بالغاً غير محجور عليه في ماله لأي سبب من أسباب الحجر وذلك لأنه عقد معاوضة وهذه شروطها.

2 أن يكون العمل المتفق عليه مشروعاً غير محرم في الشريعة الإسلامية ولا القوانين الوضعية النافذة فلا يجوز التعاقد على صيانة مصانع الخمرة وأجهزة دور اللهو والقمار والمصارف الربوية لأن ذلك شرط العقود كلها.

3 أن يكون الصائن مؤهلاً وقادراً علي القيام بالعمل المتفق عليه عند العاقد بنفسه أو بعماله القائمين عند التعاقد على الصيانة.

4 أن يكون العمل المتفق عليه في الصيانة معلوماً عند التعاقد وخالياً من الجهالة الفاحشة المفضية للتزاع أما الجهالة القليلة أو الجهالة الفاحشة المنضبطة فلا تؤثر فيه لقلتها نسبياً وعدم تأديتها للتزاع غالباً وللحاجة الماسة إليه هذا إذا ضبط بالشروط الآتية:

1 تعيين الشيء المتفق على صيانته آلة أو عقاراً أو غيرهما بوصفه أو بالإشارة إليه.

2 تعيين نوع الصيانة المطلوبة بدقة منعاً للتزاع وذلك بتحديد شروط ومواصفات خاصة ينص عليها العقد ويحددها الخبراء.

3 تعيين فترات الصيانة الدورية أسبوعياً أو شهرياً أو سنوياً وشكلها وطبيعتها.

4 تعيين وصف ورتبة العامل الذي يقوم بها مهندساً أو عاملاً فنياً فإذا أمكن تحديده بشخصه كان أولى.

5 تحديد مدة عقد الصيانة أسبوعاً أو شهراً أو سنة مع تحديد بدء المدة و لا بأس بتحديد البدء بمدة متأخرة عن تاريخ التعاقد كالإجارة.

6 تحديد أجرة الصيانة وطريقة دفعها للصائن وتاريخ كل دفعة ومكان الدفع.

7 تحديد الآلات اللازمة للصيانة والطرف الذي عليه تأمينها الصائن أو المصون له كالعدة وسيارات النقل.

5 تحديد المواد اللازمة للصيانة الدورية كالشحوم والزيوت والجهة التي عليها أن توافرها وذلك محصور بما هو مظنون الحاجة إليه غالباً.

6 لا يدخل في أعمال الصيانة ترميم ما ينتج عن سوء تصرف المصنوع له أو عماله ووكلائه كما لا يدخل فيها إصلاح الأعطال الناتجة عن الحروب والكوارث لما فيها من الغرر الشديد فإن اشترطت فسد عقد الصيانة كله لما فيها من الجهالة الفاحشة والمؤدية للتراع والغرر.

7 يدخل في أعمال الصيانة فقط الأعطال المظنونة مع سلامة التشغيل أو مع أخطاء التشغيل المعتاد حصولها عادة أو غالباً.

وعليه فإن أحكام عقد الصيانة تتلخص بما يلي:

1 عقد الصيانة عقد لازم لطرفيه متى تم مستوفياً لشروطه فلا يجوز فسخه بإرادة منفردة كالإجارة.

2 يجوز إدخال خيار الشرط فيه لأحد المتعاقدين أو لكليهما لمدة يتفقان عليها فيكون لصاحب الخيار فسخه في المدة المشروطة ما لم يسقط خياره صراحة أو دلالة أو ضرورة.

3 يجوز فسخ عقد الصيانة من قبل أحد العاقدين للأعذار الطارئة غير المتوقعة عند التعاقد والمبيحة لفسخ الإجارة عند الحنفية كسرقة الآلة المتفق على صيانتها أو حدوث زلزال وما إلى ذلك.

4 إذا امتنع الصائن عن القيام بأعمال الصيانة المتفق عليها لعذر أو لتوقف عن دفع الأجرة المتفق عليها إن لم يكن دفعها سابقاً وإن لم يصبه من ذلك ضرر. فإن أصابه ضرر من ذلك كان له مع التوقف عن الدفع فسخ عقد الصيانة بإرادته المنفردة واسترداد ما دفعه من أجرة للصائن من أول المدة إلا أن يكون قد حل له من العمل السابق منفعة معتبرة في العرف فإن كان كذلك فإنه يستردها بعد حسم حصة تلك المنفعة منها، وذلك أخذاً بمذهب الحنابلة في جواز فسخ عقود المعاوضة عند امتناع أحد الطرفين عن تنفيذ التزامه إذا أصاب الطرف الثاني ضرر وقياساً على الجعالة.

5 ينفسخ عقد الصيانة بموت أحد العاقدين أو جنونه أو بانحلال الشركة ذات الشخصية الاعتبارية أخذاً بمذهب الحنفية في فسخ الإجارة بذلك وعندها تطبق على هذه الحالة أحكام امتناع الصائن المتفق عليها السابقة.

سابعا عقد المقاولة[84]: يرى الدكتور الضرير أن عقد الصيانة هو عقد مقاولة, قد يتعهد فيه الصائن بتقديم عمله فقط, ويتعهد فيه صاحب الشيء المصون بتقديم المادة, وقد يتعهد فيه الصائن بتقديم العمل والمادة معاً. وعليه فقد ميّز بين ستة أنواع لعقود الصيانة:

1. تكييف عقد الصيانة غير المقترن بعقد, وغير المحتاج لمادة "المجرد".
2. تكييف عقد الصيانة غير المقترن بعقد , والمحتاج لمادة والمتعهد بالمادة صاحب الشيء المصون.
3. تكييف عقد الصيانة غير المقترن بعقد والمحتاج لمادة والمتعهد بالمادة الصائن.
4. تكييف عقد الصيانة المشروط في عقد البيع على البائع.
5. تكييف عقد الصيانة المشروط في عقد الإجارة على المؤجر أو المستأجر.
6. تكييف عقد الصيانة المشروط في عقد المقاولة على المقاول.

[84] الضرير، د. الصديق محمد الأمين، مدى شرعية التمويل الإسلامي لعقود الصيانة، مجلة الاقتصاد الإسلامي، المجلد 19 العدد 225، 2000، الصفحات 18 23.

1 تكييف عقد الصيانة غير المقترن بعقد آخر, وغير المحتاج لمادة: وهو أبسط عقود الصيانة, فهو عقد صيانة مجرد أو مستقل, غير مقترن بعقد آخر, مقاولة أو غيرها وغير محتاج إلى مادة, لا من الصائن ولا من صاحب الشيء المصون, فهو عقد يتعهد فيه الصائن بأداء عمل فقط هو الصيانة. هذا النوع من عقود الصيانة يشبه عقداً معروفاً في الفقه الإسلامي هو عقد إجارة الأشخاص قد يكون فيه الأجير مشتركاً, وقد يكون الأجير خاصاً والأجير المشترك هو من يُستأجر لأداء عمل معين, و لم يختص به شخص معين كالبناء, والمهندس, والصائن إذا لم يكن عملهم مقصوراً على عين, والأجير الخاص هو من يستأجر مدة محددة لأداء عمل لشخص معين بحيث لا يتقبل عملاً من غيره مدة الإجارة. وفي عقد الصيانة قد يكون الصائن ممن يعمل لجميع الناس, فتطبق عليه في هذه الحالة أحكام الأجير المشترك, وهذا هو الغالب, وقد يكون الصائن يعمل لشخص معين كما لو اتفق صاحب مصانع مع شخص ليتفرغ لصيانة مصانعه بأجر شهري, فتطبق عليه أحكام الأجير الخاص. والمعقود عليه في عقد الصيانة عندما يكون الصائن أجيراً مشتركاً هو العمل, ولذا يجب أن يعين تعييناً ينتفي معه الغرر المؤدي إلى فساد العقد, كما يجب أن يكون الأجر معلوماً, أما المعقود عليه بالنسبة للصائن عندما يكون أجيراً خاصاً فهو منفعته أو وقته في المدة التي يعمل فيها, لهذا يجب أن تكون المدة معينة في العقد.

2 تكييف عقد الصيانة غير المقترن بعقد , والمحتاج لمادة والمتعهد بالمادة صاحب الشيء المصون: هذا النوع من عقود الصيانة كالنوع الأول يكون فيه الصائن إما أجيراً مشتركا, أو أجيراً خاصاً, تطبق عليه أحكامها, ويضاف إلى هذا النوع أن المادة التي يقدمها صاحب الشيء المصون تكون أمانة في يد الصائن يضمنها إذا تعدى أو قصر في حفظها باتفاق الفقهاء, أما إذا تلفت من غير تعد أو تقصير, وكان الصائن أجيراً خاصاً فإنه لا يضمن.

3 تكييف عقد الصيانة غير المقترن بعقد والمحتاج لمادة والمتعهد بالمادة الصائن: هذا النوع من عقود الصيانة يتضمن عقد إجارة كما في النوع الأول والثاني، ويتضمن عقد بيع للمواد من الصائن إلى صاحب الشيء المصون، فهو عقد اجتمع فيه عقدان: البيع والإجارة، فهو صفقتان في صفقة، فهل يشمله النهي الوارد في حديث النهي صفقتين في صفقة؟ عن سماك عن عبد الرحمن بن عبد الله بن مسعود عن أبيه قال: نهى رسول الله عن صفقتين في صفقة واحدة "لا تحل صفقتان في صفقة"[85]. وفسرّه السَّماك وهو أحد رواته، بأن يبيع الرجل البيع فيقول هو بنَساء بكذا وكذا، وهو بنقد بكذا وكذا. وهو أيضاً تفسير عبيد القاسم بن سلام فقد قال: صفقتان في صفقة أن يقول الرجل للرجل أبيعك هذا نقداً بكذا[86].

وعلى هذا التفسير فإن مسألتنا لا تدخل في النهي الوارد في هذا الحديث، ولكن التحقيق أن بيعتين في بيعة أخص من صفقتين في صفقة، لأنه من نوع خاص من الصفقات هو البيع[87]. أما صفقتان في صفقة فإنه يشمل البيع وغيره من الصفقات، فيدخل فيه الجمع بين عقدين في عقد واحد أياً كان نوع العقدين، فالجمع بين البيع والإجارة أو البيع والإعارة، أو البيع والسلف، أو البيع والشرط كل ذلك ونحوه من صفقتين في صفقة، ولكن هل يتناول النهي كل ما يصدق عليها لفظ صفقتين في صفقة؟ لفظ الحديث عام ولكن الفقهاء لم يأخذوا بهذا العموم، فالمالكية يمنعون الجمع بين كل عقدين بينهما تضاد، ولذلك منعوا الجمع بين البيع وأحد العقود الستة وهي الجعالة، والمساقاة، والقراض، والصرف، والشركة، والنكاح، وجوزوا الجمع بين البيع والإجارة، جاء في المدونة. (قلت) أرأيت، إن استأجرت رجلاً

[85] [مسند الإمام أحمد: 3595]
[86] فتح القدير ج 2، ص 218
[87] فتح القدير ج 2، ص 218

على أن يبتني لي داري على أن الجص والآجر من عند الأجير، قال: لا بأس بذلك، قلت: وهو قول مالك؟ قال: نعم، قلت: لم جوزه مالك؟ قال: لأنها إجارة وشراء جص وآجر صفقة واحدة[88]. فتكييف هذا النوع من عقد الصيانة بالبيع والإجارة مقبول حسب مذهب المالكية. ويجب إن أخذنا بهذا التكييف تحقق شروط كل من عقد البيع وعقد الإجارة في هذا النوع من عقد الصيانة، ولكن يبدو لي أن تحقق شروط البيع غير ممكن في جميع الحالات، لذا فإن الأولى عندي،إذا كان صاحب العمل لا يقدم المادة بنفسه، أن يوكل الصائن بشرائها، فيكون تكييف العقد في هذه الصورة إجارة ووكالة بالشراء، ولا مانع من هذا

4 تكييف عقد الصيانة المشروط في عقد البيع على البائع: قد يشتري شخص سلعة من السلع التي تحتاج إلى صيانة، ويشترط على بائعها أن يقوم بصيانتها مدة من الزمن، فيجتمع في العقد بيع وشرط، وقد ورد أن رسول الله نهى عن بيع وشرط. وأخذ المالكية به في موضوعين أحدهما: الشرط الذي يناقض مقتضى العقد، والثاني: الشرط الذي يعود بخلل في الثمن[89]. ومن الأمثلة التي يذكرها الفقهاء للبيع والشرط التي تعيننا في تكييف مسألتنا هذه أنه إذا اشترى شخص ثوباً على أن يخيطه البائع قميصاً. قال الحنفية: البيع فاسد، لأن الخياطة يقابلها شيء من الثمن فهو شرط إجارة في بيع فيكون من صفقتين في صفقة[90]. والبيع فاسد أيضاً عند الشافعية لحديث النهي عن بيع وشرط، ولأنه شرط ينافي مقتضى العقد[91]. والبيع جائز عند الحنابلة، قال ابن قدامة: ويصح أن يشترط المشتري نفع البائع في المبيع، مثل أن يشتري ثوباً، ويشترط على بائعه خياطته قميصاً[92]. والعقد صحيح عند المالكية على أصل مذهبهم في جواز اجتماع البيع والإجارة، وبناء على ما تقدم فإن هذا النوع الرابع من عقود الصيانة يكيف على أنه "بيع وشرط"، وهو جائز عند المالكية والحنابلة.

5 تكيف عقد الصيانة المشروط في عقد الإجارة على المؤجر أو المستأجر: صيانة العين المؤجرة على المؤجر، لأنه هو المالك للعين، والمستأجر يملك المنفعة، وعلى مالك العين تمكينه من الانتفاع. جاء في المدونة: أرأيت أن استأجرت داراً على من مرمة الدار؟ وإصلاح ما بها من الجدران والبيوت، قال: على رب الدار، قلت: وهذا قول مالك. وقال: سألنا عليه أنه إن انكسرت خشبة أو احتاجت الدار إلى مرمة يسيرة كان ذلك إلا أن يشترط من كرائها، فهذا يدلك على أن المرمة كلها في قول مالك على رب الدار[93]. وجاء في المغني، على المكري بناء حائط إن سقط وإبدال خشبة إن انكسرت، وعليه تبليط الحمام، وإن شرط هذا على المكتري فالشرط فاسد، لأن العين ملك للمؤجر فنفقتها عليه[94].

6 تكيف عقد الصيانة المشروط في عقد المقاولة على المقاول: قلنا إن عقد المقاولة هو عقد يتعهد فيه المقاول بصنع شيء أو أداء عمل، وإن عقد الصيانة يندرج في عقد المقاولة لأن الصائن يتعهد فيه بأداء عمل من نوع خاص، وقد يتعهد المقاول بصنع شيء ويلتزم بصيانته مدة من الزمن، فيجتمع عقد الصيانة والمقاولة في عقد واحد، كما لو تعهد مقاول بإقامة مصنع وتعهد أيضاً بصيانته لمدة عشر سنين. تكييف هذه المعاملة هو أنها عقد إجارة على صناعة شيء وصيانته إذا كانت المادة من صاحب العمل، وعقد إجارة وبيع إذا كانت المادة من المقاول، وكل هذا جائز شرعاً كما بينا. هذا وقد نص قانون المعاملات المدنية 1984 م(السوداني) في المادة 386 ) والقانون المدني الأردني في المادة

88 المدونة 55/11
89 المبسوط 13/3
90 فتح القدير 221:5
91 المهذب 268:1
92 الشرح الكبير 49/4
93 المدونة 15/11
94 المغني 458/5

778 ، عند الكلام عن التزامات المقاول على الآتي: " إذا كان عقد المقاولة قائماً على تقبل بناء يضع المهندس تصميمه على أن ينفذه المقاول تحت إشرافه كانا متضامنين في التعويض لصاحب العمل عما يحدث في خلال عشر سنوات من تهدم كلي أو جزئي فيما شيداه من مبان أو أقاماه من منشآت، وعن كل عيب يهدد متانة البناء وسلامته إذا لم يتضمن العقد مدة أطول. هذه المادة تعني أن المقاول ملزم بنص القانون بصيانة ما بناه لمدة عشر سنوات ويجوز أن يكون الالتزام بالصيانة لمدة أكثر باتفاق الطرفين.

# الخلاصة والتوصيات

قمنا في الفصول السبعة السابقة بمعالجة موضوع يلعب دوراً مهماً وحيوياً في حياة أي مؤسسة. وقد تبلورت أهميته في السنوات الماضية خاصة بعد تعقد النواحي الفنية في تجهيزات الإنتاج. إنه موضوع الصيانة، حيث تعرّضنا إلى أساليب إدارة أعمال الصيانة منذ أن كانت بسيطة وحتى أن أصبحت في غاية التعقيد. كما تعرّضنا إلى ضبط أعمال الصيانة مستندياً وتكاليفياً بغية الوقوف على بيانات دقيقة وواقعية مما يؤمن للإدارة العليا بيانات مستمدة من التقارير المالية تساعدها في عملية اتخاذ القرارات بشكل علمي. ثم طبقنا مجموعة من الأساليب الكمية المناسبة للسيطرة على تكاليف الصيانة لضبطها ضمن أقل حدود، مع مراعاة استراتيجيات المخزون الأمني وأساسيات الصيانة.

وبذلك فإن الإدارة العليا ستضمن لنفسها موثوقية كبيرة في نظامها الإنتاجي ينعكس بالتالي على موثوقية الآخرين بها. فهي تؤدي مالها وما عليها من التزامات في الوقت الصحيح دون أي إرباكات. فمصداقية الإدارة العليا مرتبطة بنظامها الإنتاجي. وتعتبر الصيانة بوابة الأمان لهذا النظام، ويحقق ذلك بأن تفرض الإدارة مكان وزمان الصيانة لا أن يُفرضا عليها.

لذلك، فعلى الإدارة العليا أن تنسق مع إدارة الإنتاج وإدارة الصيانة لاختيار شكل التنظيم الملائم لإدارة الصيانة وبما يتناسب مع الإمكانيات المتوافرة لديها وفي الأسواق.

وكنتيجة، فإن الإدارة العليا مسؤولة عن تحديد شكل وطبيعة العلاقة بين إداراتها. وعليها أيضاً توضيح التداخل فيما بينها من خلال رسم خريطة تنظيمية توضح ذلك. فإدارة الصيانة يجب أن تشارك في عمليات شراء التجهيزات والآلات وقطع التبديل اللازمة لتتحمل مسؤولية الاختيار عند حدوث أي تقصير في الأداء. كما يترتب على إدارة الصيانة وبالتنسيق مع إدارة الأفراد أن تخطط مواردها البشرية لاختيار عناصرها ولتبادل البيانات اللازمة حول ذلك وبالتالي إصدار موازنة خاصة بهذه الموارد. أما عن العلاقة بين إدارتي الصيانة والحسابات فيجب أن ينجم عنها إصدار موازنتين لتكاليف الصيانة الثابتة والمتغيرة وكذلك إصدار القوائم التكاليفية، ثم تحليل الانحرافات وتطبيق محاسبة المسؤولية لمكافأة المجدين ومعاقبة المقصرين وتطبيق معايير الجودة على إنجازاتها لمساعدة الإدارة في تقييم أعمالها. وعليهما أيضاً وضع السجلات اللازمة التي تصف الدورة المستندية للتنظيم المختار مع مراعاة الاختصار و عدم التكرار لأن إدارة الصيانة يغلب عليها الطابع الفني ويجب عدم عرقلة العمل الفني بالإجراءات الإدارية.

عليه فإنه من الضروري أن تصمم إدارة الصيانة نموذجها الخاص الذي يعكس مفهوم الصيانة المطبق أو الذي سيطبق للقيام بوظيفة الصيانة على أكمل وجه فهي تعرف تماماً جميع التجهيزات والآلات التي تحتاج للصيانة وتعرف أيضاً طاقاتها الداخلية والإمكانيات الخارجية المتاحة من فرق الصيانة، ويجب عليها مراقبة مخزونها من قطع التبديل. أي أن النموذج المتبنى سيؤمن تدفق شبكة من البيانات المعلوماتية بدرجة معقولة من التفصيل وذلك بما يساعد في تحديد الخلطة المناسبة من تكاليف الصيانتين الوقائية والإصلاحية للوقوف عند الحد الاقتصادي المناسب وبحيث تكون تكاليف الصيانة الإجمالية عند أدنى حد لها مع تأمين خدمات صيانة كاملة لخطوط الإنتاج وبما يضمن لها استقراراً إنتاجياً مثالياً.

وأخيراً، فإنه يترتب على إدارة الصيانة الاستفادة من تطور بحوث العمليات وذلك من خلال:

* دراسة معدلات الأعطال وقياس الموثوقية، ودراسة توزيعات زمن العطل لجميع تجهيزاتها وأنظمتها التقنية الموجودة في المؤسسة. ويفيد ذلك في مراقبة الجودة أثناء الإنتاج أو لإجراء تعديلات على تصميم النظام التقني. ومن الجدير بالذكر:

1. أن الموثوقية بالعناصر وكذلك بالأنظمة التقنية، سيستمر بالنمو وذلك نتيجة للتحسين في التصميم ولوجود المواد الجديدة ولاستبدال الدارات المتكاملة بالرقابة الميكانيكية.
2. إن الأعطال نتيجة الكسر (الصيانة حسب الاستعمال UBM) يتم تخفيضها بشكل كبير بزيادة التفتيش الدوري الذي يهتم بالتنظيف والأعطال المخفية الأساسية.
3. إن الأعطال نتيجة الكسر (الصيانة حسب الحالة CBM) سيزداد وسيصبح تحت السيطرة.
4. إن السعي لتقصير فترات الصيانة سيؤدي حتماً إلى تصميمات أفضل وأسرع وأبسط وتعتمد الإصلاح عن طريق الاستبدال.
5. إن الجهود المبذولة لتنفيذ قياسات (الصيانة حسب الحالة CBM) ومقارنتها بالقيم المعيارية سوف تتناقص باعتماد (الصيانة حسب الحالة عن بُعد Tele-CBM). وذلك كالقياسات الآلية مثلاً.
6. كما ستسود رقابة الإنتاج ورقابة الصيانة عن طريق الحاسبات Computer system بدلاً من شاشات العرض والمصابيح. مما سيساعد على تكامل أعمال الصيانة والإنتاج.
7. يجب التركيز على مهارات الصيانة الداخلية.
8. تحليل الصيانة بهدف تحسينها من خلال تحقيق مواصفات أفضل لتصاميم جديدة.

* إيجاد نماذج لاستبدال تجهيزاتها في الوقت المناسب للاستفادة من وفورات الشراء ومن الوفورات التكنولوجية المتاحة.
* وكذلك إيجاد نماذج للرقابة على مخزون قطع التبديل من حيث الحد الأدنى والحد الأعلى وكمية وزمن الشراء المناسبين.
* تمهيد الموارد المتاحة للاستفادة من الزمن الفائض في جدولة أعمال وأدوات الصيانة.

ورغم الصعوبات التي تواجه تطبيق مثل هذه النماذج فإن استخدام الحاسوب جعل تطبيق هذه النماذج سهلاً للغاية، فضلاً عن الاستفادة منه في ربط جميع إدارات المؤسسة بشكل متكامل وبما يضمن تأمين قاعدة معطيات على مستوى المؤسسة تشمل جميع وظائف وأعمال الصيانة. إضافة إلى ربط برنامج الصيانة مع برامج أخرى كالتخطيط الشبكي ومع أنظمة الـــ EDP إن وجدت ومحطات مراقبة الأعطال.

ومن المفيد ذكره، إمكانية بناء نموذج مرن لكل قطاع صناعي، مع إمكانية إجراء بعض التعديلات عليه. ويُستفاد بذلك من فِرَق الصيانة الخارجية المتخصصة على مستوى القطاع، مما يوفر في التكاليف المرتفعة للصيانة التي تتطلب مهارات وأدوات خاصة.

# قائمة بالمصطلحات

| English | عربي |
|---|---|
| Breakdown Maintenance | صيانة العطل |
| Computer System | نظام حاسوبي |
| Condition Based Maintenance (CBM) | الصيانة حسب الحالة |
| Corrective Maintenance | الصيانة التصحيحية |
| Electronic Data Processing (EDP) | معالجة البيانات الكترونياً |
| Emergency Maintenance | الصيانة الاسعافية |
| Failure Based Maintenance (FBM) | الصيانة حسب العطل |
| Hazard Function | تابع الصدفة |
| Mean Time Between Failure (MTBF) | الزمن الوسطي بين العطل |
| Maintenance | الصيانة |
| Maintenance Management | إدارة الصيانة |
| Maintenance Planning | تخطيط الصيانة |
| Maintenance Program | برامج الصيانة |
| Maintenance Programming | برمجة الصيانة |
| Maintenance Schedule | جدول الصيانة |
| Maintenance Scheduling | الجدولة الزمنية للصيانة |
| Minimize | تصغير |
| Model | نموذج |
| Only Produce to Customer | الإنتاج لأمر الزبون |
| Original Equipment Manufacture (OEM) | صانع التجهيزات الأساسي |
| Overhaul | العمرة |
| Personal Computer (PC) | حاسب شخصي |
| Planned Maintenance | الصيانة المخططة |
| Planned Corrective Breakdown Maintenance | صيانة علاجية أثناء التوقفات |
| Planned Corrective Maintenance | صيانة علاجية مخططة |
| Planned Corrective Running Maintenance | صيانة وقائية مخططة |
| Planned Corrective Shutdown Maintenance | صيانة علاجية أثناء التوقفات الاختيارية |
| Planned Preventive Shutdown Maintenance | صيانة وقائية أثناء التوقفات الاختيارية |

| | |
|---|---|
| Planned Preventive Running Maintenance | صيانة وقائية جارية أثناء عمل الآلات |
| Predictive Maintenance | الصيانة التوقعية |
| Preventive Maintenance | الصيانة الوقائية |
| Rebuild | العمرة |
| Recondition | العمرة |
| Refit | العمرة |
| Repair | الإصلاح |
| Routine Maintenance | الصيانة الدورية |
| Running Maintenance | الصيانة المستمرة |
| Rule of Thumb | قواعد التحكم بالضغط |
| Scheduled Maintenance | الصيانة المجدولة |
| Servicing | الخدمة |
| Shutdown Maintenance | الصيانة التوقيفية |
| Tele-CBM | الصيانة حسب الحالة عن بُعد |
| Tele-Diagnosis | تشخيص عن بُعد |
| Total Productive Maintenance | صيانة الناتج الإجمالي |
| Unix, Dos, Novel | أسماء لأنظمة تشغيل للحاسب |
| Universal Maintenance Standards (UMS) | نمطيات الصيانة الشاملة |
| Unplanned Maintenance | الصيانة غير المخططة |
| Unplanned Emergency Maintenance | الصيانة الفجائية غير المخططة |
| Use Based Maintenance (UBM) | الصيانة حسب الاستعمال |

| رقم الشكل | المضمون | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| 1 1 | نموذج لتطبيق الصيانة الإستراتيجية | |
| 2 1 | نموذج وحدات القياس التي تساهم في بناء وظيفة الصيانة | |
| 3 1 | نموذج توزع وحدات القياس حول سجل المعمل | |
| 4 1 | نموذج لتحديد الحجم الأمثل للقوة العاملة لوظيفة الصيانة | |
| 5 1 | نموذج حالات تجهيزات الإنتاج | |
| 6 1 | نموذج تحديد الجهد الأمثل للصيانة الوقائية | |
| 7 1 | نموذج EUT المقترح للصيانة | |
| 8 1 | الأقسام الفنية المشكلة لمعمل إسمنت حماة | |
| 9 1 | الشكل التنظيمي لمعمل إسمنت حماة | |
| 10 1 | الشكل التنظيمي للصيانة المطبقة في معمل إسمنت بورتلاند الدانمركي | |
| 11 1 | المفاهيم الجديدة للصيانة المطبقة في معمل إسمنت بورتلاند الدانمركي | |
| 12 1 | الشكل التنظيمي المقترح لمعمل إسمنت حماة | |
| 1 2 | سجلات وجداول التزييت والتشحيم والفحص والتفتيش المقترحة | |
| 2 2 | سجل الآلات والتجهيزات المقترح | |
| 3 2 | سجل أوامر الشراء | |
| 4 2 | كشف بالاختصاصات المتوفرة | |
| 5 2 | نموذج يوضح التداخل الوظيفي داخل إدارة الصيانة و بينها وبين باقي الإدارات | |
| 6 2 | الموازنة المقترحة للتكاليف الثابتة في إدارة الصيانة | |
| 7 2 | موازنة مقترحة لإجمالي ساعات عمل فرق الصيانة | |
| 8 2 | موازنة مقترحة للمواد المستخدمة في عمليات الصيانة | |
| 9 2 | قائمة مقترحة لتكاليف الصيانة | |
| 10 2 | قائمة مقترحة انحرافات موازنة التكاليف الثابتة في إدارة الصيانة | |
| 11 2 | قائمة مقترحة لانحرافات ساعات عمل فرق الصيانة | |
| 12 2 | قائمة تحليلية لأسباب انحرافات ساعات عمل فرق الصيانة | |
| 13 2 | سلوك تكاليف الصيانة الثابتة والمتغيرة وشبه الثابتة وشبه المتغيرة | |
| 14 2 | تمثيل سلوك تكاليف الصيانة حسب جيرارد | |
| 15 2 | أثر درجة الأتمتة على تكاليف الصيانة | |
| 16 2 | سلسلة زمنية 1988 1993 لبيانات تكاليف الصيانة لشركة إسمنت حماة | |
| 17 2 | معدلات التطور النسبي لتكاليف الصيانة | |
| 18 2 | معدلات التطور النسبي لتكاليف الصيانة بيانياً | |
| 1 3 | التفسير الاحتمالي للأعطال | |
| 2 3 | العطل بسبب تباين الضغط | |
| 3 3 | منحنى معدل العطل النموذجي | |
| 4 3 | خريطة اختبار | |
| 5 3 | نماذج معدل العطل ( أو الصدفة ) | |
| 6 3 | توابع كثافة ويبل | |
| 7 3 | الموثوقية والتوابع الخاصة بها | |

# الملحق (أ)

## شرح لأنظمة الصيانة التي تعتمد الحاسوب[95]

تهدف هذه الدراسة إلى إعطاء نظرة شاملة على الأجزاء التي تشمل تحكماً كمبيوترياً للصيانة.

أولاً مكونات النظام: أجهزة، برامج، بيانات

يتألف نظام الصيانة الحاسوبي من المكونات الأساسية الأربعة التالية:

أ الأجهزة: وتشمل الحاسب الرئيسي ( المخدم )، وطرفيات الحاسب، والطابعات.

ب البرمجيات: وتشمل برامج تشغيل الحاسب.

ج التطبيقات: وتشمل برامج الصيانة، ومعالجات نصوص،....، الخ.

د البيانات: وتشمل بيانات جاهزة للصيانة، وبيانات قطع التبديل،...، الخ.

### الأجهزة

من المفيد التعرض لأنظمة EDP الضخمة لأن المستخدمين يستطيعون التعامل معها بأقل زمن انتظار مقابل شاشاتهم. إن النظام المعروض هو نظام IBM يمكن وصله إلى 16 طرفية (محطة طرفية / طابعة ). والحاسب مطوّر من أجل هذا الهدف، ويتناسب عدد الطرفيات مع حجم المؤسسة ويتراوح العدد من 3 10 طرفيات حسب الحاجة حيث بالإمكان زيادته. وتحتاج التجهيزات المطلوبة للحد الأدنى التالية:

حاسب متوافق IBM:

1 معالج 386 أو أكثر بذاكرة معالجة 1 ميغابايت على الأقل و55 ميغابايت سعة على القرص الصلب على الأقل.

2 نظام تشغيل DOS.

3 شاشات ملونة أو أسود وأبيض.

4 طابعات نقطية أو ليزرية.

5 السعات القياسية المطلوبة من القرص الصلب:

- كل 2500 وحدة صناعية تحتاج إلى سعة قدرها 1 ميغابايت سعة على القرص الصلب.
- كل 4000 صنف مستودع تحتاج إلى سعة قدرها 4ميغابايت سعة على القرص الصلب.
- كل 12500 نشاط صيانة وقائية تحتاج إلى سعة قدرها 7ميغابايت سعة على القرص الصلب.
- يحتاج البرنامج إلى سعة قدرها 3 ميغابايت على القرص الصلب.
- يحتاج نظام التشغيل إلى سعة قدرها 7 ميغابايت على القرص الصلب.
- يقدر حجم منطقة العمل اللازمة للملفات المؤقتة 7 ميغابايت على القرص الصلب.

[95] Jan H. Nielsen -1991- (Illustration Of A Computerized Maintenance System Which May Be Designed To Operate At Various Functional Levels) - F.L. Smith, Denmark ,PP. 36.

- يقدر حجم منطقة الفراغ اللازمة 26 ميغابايت على القرص الصلب.

## البرمجيات

إن برمجيات النظام أو ما تسمى ببرامج التشغيل هي البرامج المستخدمة من قبل الحاسب لتشغيل الطرفيات. مثلاً، نظام DOS لتشغيل أجهزة PC، نظامي UNIX,NOVEL للشبكات.

## التطبيقات

تمثل التطبيقات البرامج التصميمية للمستخدمين، ومستخدمو أنظمة الصيانة إلى جانب موظفي الصيانة هم خازنون من جهة مسك الدفاتر والسجلات ووظائف الشراء.

والسؤال هو... لَمَ التوجه نحو الصيانة باستخدام EDP؟

نذكر أدناه بعض المشاكل التي حُلّت باستخدام أنظمة الصيانة الحاسوبية:

1. تُذكّر بجميع أعمال الصيانة.
2. تُجمّع الأعمال ضمن مجموعات وتعيّن مسؤوليات هذه المجموعات.
3. تُزوّد المشرفين بتسهيلات التخطيط والموازنة.
4. تُجمّع كل معلومات الصيانة ذات العلاقة بشكل نموذجي.
5. تُزوّد العمال بالمعلومات الكافية عن شكل تنفيذ الأعمال.
6. تُخطط الصيانة الوقائية المستقبلية.

وقبل اختبار البرنامج الأخير ينفذ تحليل للإجراءات الإدارية للمقارنة مع إجراءات البرنامج المعروض. ويُشابه هذا النظام وإجراءاته ذلك النظام الموجود ويحوي الإجراءات الجديدة المطلوبة للأعمال المختارة، مما يجعل التحوّل إلى نظام EDP أسهل.

تُظهر التجارب أن هناك تشابهاً كبيراً بين الإجراءات الخاصة بنفس المهن، مثال ذلك صناعات: الطيران، والإسمنت، و تكرير البترول. وإذا رغب أحد ببناء نظام جديد بشكل جذري فإن ذلك سيكلّف من 20 60 مرة كما لو اشترى نظاماً جاهزاً، ومن الموصى به اختيار نظام ذي وظائف معروفة للمهنة نفسها. ويمكن الإجابة عن الأسئلة المشكوك بها من قبل عارض النظام أو من قبل المستخدمين القدامى للنظام. ويشكل مجموعة المستخدمين للنظام ضغطاً على المنتج أو العارض من أجل تطوير نظامه. كما يُوصى باقتناء التطبيقات البرمجية التي تُشغِّلها الأجهزة المشتراة. وتبديل مُورّد التجهيزات أسهل من إجراء تعديلات على البرنامج وذلك من حيث الوقت والتكاليف. بكلمات أخرى: ***اختر البرمجيات قبل التجهيزات.***

## البيانات

يجب البدء بتحديث سجلات البيانات حالما تركب الأجهزة والبرمجيات والتطبيقات الخاصة بالصيانة. إن تحديث معمل إسمنت جديد سيتناول 20000 30000 سجل، وبذلك من المناسب تخصيص استثمار لإمكانية اقتناء البيانات من مصنّع الجهاز. وإذا أمكن شراء سجلات لبيانات المعمل، أو سجلات قطع التبديل وسجلات الصيانة الوقائية فإن الجهاز سوف يشغل خلال أسبوع واحد. ومن وجهة نظر فريق العمل، فمن المهم عند اتخاذ قرار تشغيل EDP السرعة في تشغيل الجهاز قدر الإمكان، لذلك فإن التحديث سوف يبدأ حالاً على الحاسب، وذلك لتجنب ازدواجية العمل ولضمان مكان وجود البيانات.

وبالنسبة للمعامل التي تعتمد تقنية التجهيزات الإلكترونية فإن نقل البيانات يتم إلكترونياً من مخازن البيانات إلى الحاسب مباشرة.

## تضمينات

يمكن استخدام الخطوات الستة التالية عند إجراء التنظيم الضروري كنموذج للتضمينات لتشغيل نظام الصيانة الوقائية.

الخطوة 1 المخطط التدفقي: قم بتحديد تدفق العمليات وحدد وحدات المعمل الحرجة. ومن الممكن إجراء ذلك بناء على التكلفة وتسلسل الأعطال.

الخطوة 2 الوحدات الحرجة: يصنّف المعمل إلى بنود أساسية، وتصنف البنود الحرجة بشكل كامل أما باقي البنود فتصنف بشكل جزئي.

الخطوة 3 إجراءات الصيانة الوقائية وقطع التبديل: وتشمل تصميم إجراءات الصيانة الوقائية وقطع التبديل لكل بند.

الخطوة 4 خطة العمل: توضع خطة دقيقة للأعمال المعرّفة. وُينظر إلى المعمل بكونه ذا إنتاج متسلسل أو أن منتجاته تتدفق بشكل جماعي. فالمعمل المصمم بشكل تسلسلي يؤدي إلى صعوبات لأن جدولته تستدعي مراعاته ككل، بينما ُينظر إلى المعمل الذي يتألف من بنود وأعمال جماعية بشكل إفرادي.

الخطوة 5 جدولة الصيانة: وتشمل جدولة أعمال الصيانة المباشرة وغير المباشرة وأعمال التوقفات. حيث يتم جدولة أعمال الصيانة المباشرة بشكل مستقل طبقاً لمستوى البند. وُتصنّف مثل هذه الأعمال حسب المنطقة الجغرافية، أو حسب التكرار وطبيعة العمل وهي تنفذ في المدى القصير. وتنفذ أعمال الصيانة غير المباشرة كتوقفات متفق عليها وتجدول عادة بالاتفاق مع إدارة الإنتاج.

الخطوة 6 الصيانة الإصلاحية: تتمثل الصيانة الإصلاحية بالإرشادات، وهي أعطال غير متوقعة تحصل على الرغم من تطبيق الصيانة الوقائية. ومثال ذلك التجهيزات التي تتعطل بشكل عشوائي وبدون سابق إنذار. ومثل هذه الأعطال يجب تخطيطها من حيث قطع التبديل والعمالة (طاقات الصيانة). ويجب الاعتناء بالوحدات الحرجة من حيث طرق الإصلاح والتوثيق والإرشادات المطبقة.

## ثالثاً وظائف النظام

طُوّر النظام في الدانمرك خلال السنوات العشر الأخيرة. ويعتمد تشغيل النظام على المعرفة والتنظيم الجيدين.

1 النظام: هو نظام إدارة للصيانة المنهجية ولقد طُوّر بالتعاون مع مشرفي ومهندسي الصيانة. ويشمل النظام: سجل المشروع، ونظام الصيانة الوقائية، ونظام قطع التبديل، وسجل الوثائق، ونظام الشراء، ونظام العمل، وضبط التكلفة والموازنة. ويزود النظام كلاً من ( مدير التنفيذ، ومدير الإنتاج، ومدير الصيانة، والمهندسين، والمشرفين، والعمال) بمهمة: الرقابة الدورية للتجهيزات، والتزييت الدوري، ورقابة قطع التبديل الحرجة، والمكان الجيد للوثائق، وتخطيط الإصلاح، والرقابة الاقتصادية. وبرهنت التجربة خلال السنوات الماضية الحصول على: سرعة إنجاز، ونقص في التكاليف بمعدل 10 15%، ومستوىً عالٍ من الخدمة.

2 يتولى مشرفو الصيانة مسؤولية ترقيم كل الآلات، ثم تعنون الآلات وتقيد في سجل المعمل. وترتبط مسؤولية مشرف الصيانة بهذا الرقم، حيث يتعرف كل مشرف على الآلات المرتبطة بمسؤوليته.

3 يترتب على كل مشرف ورشة عمل حماية آلاته مباشرة.

4 تنفذ نشاطات الصيانة الوقائية ضمن فترات متكررة حسب مواعيد محددة أو في وقت تشغيلي محدد. وتوصف الأنشطة المنفذة على الآلات في نظام الصيانة الوقائية، ويطبعها النظام على شكل قائمة بالأعمال بالفترات المناسبة ومرتبة وجاهزة للمختصين أو للعمال لإنجاز كل من: التزييت، والتنظيف، والتفتيش، وضبط الحالة، والاستبدال الدوري، واختبارات التشغيل.

5 قائمة بالأعمال مع بيان رقم واسم الآلة إضافة لوصف موقع الآلة، وماذا يجب عمله؟ وتظهر هذه القائمة أقصر الطرق خلال المعمل.

6 تفتيش الضواغط.

7 ضبط الحالة بمساعدة الموجات فوق الصوتية لكشف التصدعات في الأنابيب.

8 ضبط الحالة بمساعدة الموجات فوق الصوتية لكشف التصدعات في الاسطوانات.

9 التقرير عن كل الأعطال مباشرة في نظام العمل.

10 مقياس انزلاق يدوي يمكن وضعه في جيب العامل، وتختلف احتياجات الآلات باختلاف الأعطال.

11 يؤمن النظام دعماً سريعاً للتعريف بالموقع، وبالأدوات، وبالتعليمات، ودليل الاستخدام...الخ. من خلال رقم الآلة (كمفتاح تعريف).

12 مثال عن التوثيق الفوري للآلة: نستطيع معرفة أدوات التجميع التي نحتاجها بالإشارة لرقمها فتظهر على الشاشة.

13 تُظهر الشاشة أماكن الوثائق بالإشارة للملف الحاوي عليها.

14 الحصول على نسخة مطبوعة من الميكروفيلم من الملف.

15 من الممكن أن تكون الإشارة إلى صندوق حديدي.

16 حالة أخرى قد تشمل توقفَ محرك، والعامل بحاجة لمعرفة مكان المحرك البديل بسرعة.

17 تشمل البيانات الأساسية عن الآلة من أجل حالة تعطل محرك: الصانع والطراز، والتأثير بالكيلووات، وسرعة الدوران، والوزن...الخ. وبإدخال هذه البيانات من لوحة المفاتيح ستظهر البيانات التالية على الشاشة: قائمة

بكل المحركات المعرّفة في المعمل بالمواصفات المذكورة أعلاه سواء كانت قيد العمل أو كانت في المخازن وذلك لبيان قطع التبديل المخزنة ومكان إجراء العمل بدقة، وهذه البيانات ستكون متوفرة في كل الأوقات.

18 قائمة بكل محركات المعمل (تحديد المحركات البديلة وأماكن وجودها في المخازن).

19 من الممكن التوجه إلى المستودعات ومعرفة أماكن قطع التبديل على مدار 24 ساعة خلال العام.

20 يضمن النظام تعريفاً بأماكن المخازن ومحتوياتها بسرعة.

21 يظهر نظام قطع التبديل البيانات التالية: رقم القطع، ومعلومات عن القطع، وكمية المخزون، ومكان التخزين. وعند كل استجرار فإن النظام يُحدِّث آلياً: كمية المخزون في نظام قطع التبديل، وإحصاءات عن الاهتلاكات، وتكلفة مواد كل عمل، وتكلفة مواد الموازنة.

22 معرفة الاهتلاكات من قطع التبديل من خلال رقم القطعة، الكمية المستهلكة، رقم المهمة. مع إجراء تحديث فوري لمخزون قطع التبديل، وللإحصاءات، ولتكلفة المهمة، ولموازنة كل مادة.

23 عند الوصول لحد إعادة الطلب فإن النظام يطبع تقارير خاصة بلجان المشتريات.

24 يجب اعتبار القطع الخاصة والغالية الثمن عند تنظيم الصيانة قبل شرائها، ويجيب النظام عن كل من الأسئلة التالية: هل يمكن تأجيل الشراء؟ هل يمكن أن يتغير الحد الأدنى للمخزون؟ هل يمكن أن تتغير النوعية؟ ما هي الكمية الواجب شراؤها؟

25 يؤمن النظام حماية لكل الآلات عن مكان استخدام قطع التبديل ومواصفات الاستهلاك خلال السنوات الخمس الأخيرة لكل آلة.

26 يساعد النظام في الإجابة على السؤال: متى نتخذ قرار الشراء؟، كما يطبع النظام أوامر الشراء جاهزة للتوقيع والإرسال للمورد. ويعالج نظام الشراء كل طلبات الشراء حتى إتمام التسليم.

27 يعالج النظام الموازنة الاقتصادية لتنظيم الصيانة ويدعم يوماً بيوم الموازنة والتكاليف المعيارية بعلاقتها بالصيانة الفعلية وخطة العمل. وُيحدّث النظام تنظيم الصيانة والموازنة الإجمالية للصيانة مشكلاً موازنة مجمعة حسب كل مشرف على حدة وبكل الأعمال المتعلقة بأنشطة الموازنة وبالمشرف. وكذلك تجميع التكاليف في التنظيم بهدف تحليلها عند أي مستوى.

28 تشكيل موازنة تكاليف مجمعة على أساس كل مشرف من مشرفي الصيانة على حدة. وهذه التكاليف يمكن تجميعها عند أي مستوى.

29 يستطيع المشرف تتبع الموازنة من خلال عدة مداخل: الموازنة والمستخدم الحالي و الأعمال المخططة والرصيد، مع بيان ما يمكن استخدامه قبل زيادة الموازنة.

30 تحليل نشاطات الموازنة: ساعات وأجور وقطع تبديل ومتعاقدين ويساعد مثل هذا التحليل في متابعة مشرف الصيانة للمناطق المسؤول عنها.

31 يشكل النظام تقريراً كاملاً يساعد الفنيين والمدراء التنفيذيين والمراقبين.

32 يمكن اعتبار النظام بمثابة نموذج Model يمكن الانطلاق به بشكل مبدئي ليشمل:

- أساسيات النظام في الصيانة: وتشمل سجل المعمل بكل الآلات، و نظام الصيانة الوقائية، ونظام قطع التبديل.

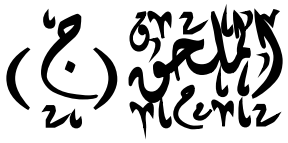
- ويمكن تطوير هذا النظام ليشمل كل وظائف إدارة الصيانة فيشمل: سجل التوثيق، ونظام الشراء، و نظام العمل، والموازنة وضبط التكلفة.
- وكذلك يمكن أن يتضمن هذا النظام كتطوير إضافي: الاستشارات والتمويل والإنتاج و التسويق والمبيعات والاستثمار والأفراد.

The cumulative normal II distribution function

$$\phi(\mathrm{Z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \; For 0.00 \le z \le 4.99.$$

| = | .00 | .01 | .02 | .03 | .04 | .05 | .06 | .07 | .08 | .09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .0 | .3989 | .3989 | .3989 | .3988 | .3986 | .3984 | .3982 | .3980 | .3977 | .3973 |
| .1 | .3970 | .3965 | .3961 | .3956 | .3951 | .3945 | .3939 | .3932 | .3925 | .3918 |
| .2 | .3910 | .3902 | .3894 | .3885 | .3876 | .3867 | .3857 | .3847 | .3836 | .3825 |
| .3 | .3814 | .3802 | .3790 | .3778 | .3765 | .3752 | .3739 | .3725 | .3712 | .3697 |
| .4 | .3683 | .3668 | .3653 | .3637 | .3621 | .3605 | .3589 | .3572 | .3555 | .3538 |
| .5 | .3521 | .3503 | .3485 | .3467 | .3448 | .3429 | .3410 | .3391 | .3372 | .3352 |
| .6 | .3332 | .3312 | .3292 | .3271 | .3251 | .3230 | .3209 | .3187 | .3166 | .3144 |
| .7 | .3123 | .3101 | .3056 | .3034 | .3011 | .2989 | .2966 | .2966 | .2943 | .2920 |
| .8 | .2897 | .2874 | .2850 | .2827 | .2803 | .2780 | .2756 | .2732 | .2709 | .2685 |
| .9 | .2661 | .2637 | .2613 | .2589 | .2565 | .2541 | .2516 | .2492 | .2468 | .2444 |
| 1.0 | .2420 | .2396 | .2371 | .2347 | .2323 | .2299 | .2275 | .2251 | .2227 | .2203 |
| 1.1 | .2179 | .2155 | .2131 | .2107 | .2083 | .2059 | .2036 | .2012 | .1989 | .1965 |
| 1.2 | .1942 | .1919 | .1895 | .1872 | .1849 | .1826 | .1804 | .1781 | .1758 | .1736 |
| 1.3 | .1714 | .1691 | .1669 | .1647 | .1626 | .1604 | .1582 | .1561 | .1539 | .1518 |
| 1.4 | .1497 | .1476 | .1456 | .1435 | .1415 | .1394 | .1374 | .1354 | .1334 | .1315 |
| 1.5 | .1295 | .1276 | .1257 | .1238 | .1219 | .1200 | 1182 | .1163 | .1145 | .1127 |
| 1.6 | .1109 | .1092 | .1074 | .1057 | .1040 | .1023 | .1006 | .09893 | .09728 | .09566 |
| 1.7 | .09405 | .09246 | .09089 | .08933 | .08780 | .08628 | .08478 | .08329 | .08183 | .08038 |
| 1.8 | .07895 | .07754 | .07614 | .07477 | .07341 | .07206 | .07074 | .06943 | .06814 | .06687 |
| 1.9 | .06562 | .06438 | .06316 | .06195 | .06077 | .05959 | .05844 | .05730 | .05618 | .05508 |
| 2.0 | .05399 | .05292 | .05292 | .05082 | .04980 | .04879 | .04780 | .04682 | .04586 | .04491 |
| 2.1 | .04398 | .04307 | .04217 | .04128 | .04041 | .03955 | .03871 | .03788 | .03706 | .03626 |
| 2.2 | .03547 | .03470 | .03394 | .03319 | .03246 | .03174 | .03103 | .03034 | .02965 | .02898 |
| 2.3 | .02833 | .02768 | .02705 | .02643 | .02582 | .02522 | .02763 | .02406 | .02349 | .02294 |
| 2.4 | .02239 | .02186 | .02134 | .02083 | .02033 | .01984 | .01936 | .01888 | .01842 | .01797 |
| 2.5 | .01753 | .01709 | .01667 | .01625 | .01585 | .01545 | .01506 | .01468 | .01431 | .01394 |
| 2.6 | .01358 | .01323 | .01289 | .01256 | .01223 | .01191 | .01160 | .01130 | .01100 | .01071 |
| 2.7 | .01042 | .01014 | .029871 | .029606 | .029347 | .029094 | .028846 | .028605 | .028370 | .028140 |
| 2.8 | .027915 | .027697 | .027483 | .027274 | .027071 | .026873 | .026679 | .026491 | .026307 | .026127 |
| 2.9 | .025953 | .025782 | .025616 | .025454 | .025296 | .025143 | .024993 | .024847 | .024705 | .024567 |
| 3.0 | .024432 | .024301 | .024173 | .024049 | .023928 | .023810 | .023695 | .023584 | .023475 | .023370 |
| 3.1 | .02367 | .023167 | .023070 | .022975 | .022884 | .022794 | .022707 | .022623 | .02541 | .022461 |
| 3.2 | .022384 | .022309 | .022236 | .022165 | .022096 | .022029 | .021964 | .021901 | .021840 | .021780 |
| 3.3 | .021723 | 0.21667 | .021612 | .021560 | .021508 | .021459 | .021411 | .021364 | .021319 | .021275 |
| 3.4 | .021232 | .021191 | .021151 | .021112 | .021075 | .021038 | .021003 | .039689 | .039358 | .039037 |
| 3.5 | .038727 | .038426 | .038135 | .037853 | .037581 | .037317 | .037061 | .036814 | .036575 | .036343 |
| 3.6 | .036119 | .035902 | .035693 | .035490 | .035294 | .035105 | .034921 | .034744 | .034573 | .034408 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.7 | .034248 | .034093 | .33944 | .033800 | .033661 | .033526 | .033396 | .033271 | .033149 | .033032 |
| 3.8 | .032919 | .032810 | .032705 | .032604 | .032506 | .032411 | .032320 | .032232 | .032147 | .032065 |
| 3.9 | .031987 | .031910 | .031837 | .031766 | .031698 | .031633 | .031569 | .031508 | .031449 | .031393 |
| 4.0 | .031338 | .031286 | .031235 | .031186 | .031140 | .031094 | .031051 | .031009 | .049687 | .049299 |
| 4.1 | .048926 | .048567 | .048222 | .047890 | .047570 | .047263 | .046967 | .046683 | .046410 | .046147 |
| 4.2 | .045894 | .045652 | .045418 | .045194 | .044979 | .044772 | .044473 | .044382 | .044199 | .044023 |
| 4.3 | .043854 | .043691 | .043535 | .043386 | .03242 | .043104 | .042972 | .042845 | .042723 | .042606 |
| 4.4 | .042494 | .042387 | .042284 | .042185 | .042090 | .041999 | .041912 | .041829 | .041749 | .041672 |
| 4.5 | .041598 | .041528 | .041961 | .041346 | .041334 | .041275 | .041218 | .041164 | .041112 | .041062 |
| 4.6 | .041014 | .059684 | .059248 | .058830 | .058430 | .058047 | .057681 | .057331 | .056996 | .056676 |
| 4.7 | .056370 | .056077 | .055797 | .055530 | .055274 | .055030 | .054796 | .054573 | .054360 | .054156 |
| 4.8 | .053961 | .053775 | .053598 | .053428 | .053267 | .053112 | .052965 | .052824 | .052690 | .052561 |
| 4.9 | .052439 | .052322 | .052211 | .052105 | .052003 | .051907 | .051814 | .051727 | .051643 | .051563 |



The Ordinate height values I for the normal distribution

$$\phi(z)=\frac{1}{\sqrt{2\Pi}}\int_{-00}^{z}e^{-x^2/2}dx for 0.00 <=< 4.99.$$

| = | .00 | .01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | .08 | 09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .0 | .5000 | .5040 | .5080 | .5120 | .5160 | .5199 | .5239 | .5279 | .5319 | .5359 |
| .1 | .5398 | .5438 | .5478 | .5517 | .5557 | .5596 | .5636 | .5675 | .5714 | .5753 |
| .2 | .5793 | 5832 | .5871 | .5910 | .5948 | .5987 | .6026 | .6064 | .6103 | .6141 |
| .3 | .6179 | .6217 | .6255 | .6293 | .6331 | .6368 | .6406 | .6443 | .6480 | .6517 |
| .4 | .6554 | .6591 | .6628 | .6664 | .6700 | .6736 | .6772 | .6808 | 06844 | .6879 |
| .5 | .6915 | .6950 | .6985 | .7019 | .7054 | .7088 | .7123 | .7157 | .7190 | .7224 |
| .6 | .7257 | .7291 | .7324 | .7357 | .7389 | .7422 | .7454 | .7486 | .7517 | .7549 |
| .7 | .7580 | .7611 | .7642 | .7673 | .7703 | .7734 | .7764 | .7794 | .7823 | .7852 |
| .8 | .7881 | .7910 | .7939 | .7967 | .7995 | .8023 | .8051 | .8078 | .8106 | .8133 |
| .9 | .8159 | .8186 | .8212 | .8238 | .8264 | .8289 | .8315 | .8340 | .8365 | .8389 |
| 1.0 | .8413 | .8438 | .8461 | .8485 | .8508 | .8531 | .8554 | .8577 | .8599 | .8621 |
| 1.1 | .8643 | .8665 | .8686 | .8708 | .8729 | .8749 | .8770 | .8790 | .8810 | .8830 |
| 1.2 | .8849 | .8869 | .8888 | .8907 | .8925 | .8944 | .8962 | .8980 | .8997 | .90147 |
| 1.3 | .90320 | .90490 | .90658 | .90824 | .90988 | .91149 | .91309 | .91466 | .91621 | .91774 |
| 1.4 | .91924 | 092073 | .92220 | .92364 | .92507 | .92647 | .92785 | .92922 | .93056 | .93189 |
| 1.5 | .93319 | .93448 | .93574. | .93699 | .93822 | .93943 | .94062 | .94179 | .94295 | .94408 |
| 1.6 | .94520 | .94630 | .94738 | .94845 | .94950 | .95053 | .95154 | .95254 | .95352 | .95449 |
| 1.7 | .95543 | .95637 | .95728 | .95818 | .95907 | .95994 | .96080 | .96164 | .96246 | .96327 |
| 1.8 | .96407 | .96485 | .96562 | .96638 | .96712 | .96784 | .96856 | .96926 | .96995 | .97062 |
| 1.9 | .97128 | .97193 | .97257 | .97320 | .97381 | .97441 | .97500 | .97558 | .97615 | .97670 |
| 2.0 | .97725 | .97778 | .97831 | .97882 | .97932 | .97982 | .98030 | .98077 | .98124 | .98169 |
| 2.1 | .98214 | .98257 | .98300 | .98341 | .98382 | .98422 | .98461 | .98500 | .98537 | .98574 |
| 2.2 | .98610 | .98645 | .98679 | .98713 | .98745 | .98778 | .98809 | .98840 | .98870 | .98899 |
| 2.3 | .98928 | .98956 | .98983 | .920097 | .920358 | .920613 | .920863 | .921106 | .921344 | .921576 |
| 2.4 | .921802 | .922024 | .922240 | .922451 | .922656 | .922857 | .923053 | .923244 | .923431 | .923613 |
| 2.5 | .923790 | .923963 | .924132 | .924297 | .924457 | .924614 | .924766 | .924915 | .925060 | .925201 |
| 2.6 | .925339 | .925473 | .925604 | .925731 | .925855 | .925975 | .926093 | .926207 | .926319 | .926427 |
| 2.7 | .926533 | .926636 | .926636 | .926833 | .92628 | .927020 | .927110 | .927197 | .927282 | .927365 |
| 2.8 | .927445 | .927523 | .927599 | .927673 | .927744 | .27814 | .927882 | .927948 | .928012 | .928074 |
| 2.9 | .928134 | .928193 | .928250 | .928305 | .928359 | .928411 | .928462 | .928511 | .928559 | .928605 |
| 3.0 | .928650 | .928694 | .928736 | .928777 | .928817 | .928856 | .928893 | .928930 | .928965 | .928999 |
| 3.1 | .930324 | .930646 | .930957 | .931260 | .931553 | .931836 | .932112 | .932378 | .932636 | .932886 |
| 3.2 | .93129 | .933363 | .933590 | .933810 | .934024 | .934230 | .934429 | .634623 | .934810 | .934991 |
| 3.3 | .935166 | .935335 | .935499 | .935658 | .935811 | .935959 | .936103 | .936242 | .936376 | .936505 |
| 3.4 | .936631 | .936752 | .936869 | .936982 | .937091 | .937197 | .937299 | .937398 | .937493 | .937585 |
| 3.5 | .937674 | .937759 | .937842 | .937922 | .937999 | .938079 | .938146 | .938215 | .938282 | .938347 |
| 3.6 | .938409 | .938469 | .938527 | .938583 | .938637 | .938689 | .938739 | .938787 | .938834 | .938879 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.7 | .938922 | .938964 | .940039 | .940426 | .940799 | .941158 | .941504 | .941838 | .942159 | .942568 |
| 3.8 | .942765 | .943052 | .943327 | .943593 | .943848 | .944094 | .944331 | .944558 | .944777 | .944988 |
| 3.9 | .945190 | .945358 | .945573 | .945753 | .945926 | .946092 | .946253 | .946406 | .946554 | .946696 |
| 4.0 | .946833 | .946964 | .947090 | .947211 | .947327 | .947439 | .947546 | .947649 | .947748 | .947843 |
| 4.1 | .947934 | .948022 | .948106 | .948186 | .948263 | .948338 | .948409 | .948477 | .948542 | .948605 |
| 4.2 | .948665 | .948723 | .948778 | .948832 | .948882 | .948931 | .948978 | .950226 | .950655 | .951066 |
| 4.3 | .951460 | .951837 | .952199 | .952545 | .952876 | .953193 | .953497 | .953788 | .954066 | .954332 |
| 4.4 | .954587 | .954831 | .955065 | .955288 | .955502 | .955706 | .955902 | .956089 | .956268 | .956439 |
| 4.5 | .956602 | .956759 | .956908 | .957051 | .957187 | .957318 | .957442 | .957561 | .957675 | .957784 |
| 4.6 | .957888 | .957987 | .958081 | .958172 | .958258 | .958340 | .958419 | .958494 | .958566 | .958634 |
| 4.7 | .959699 | .958761 | .958821 | .958877 | .958931 | .958983 | .960320 | .960789 | .961235 | .961661 |
| 4.8 | .962067 | .962453 | .962822 | .963173 | .963508 | .963827 | .964131 | .964420 | .964696 | .964958 |
| 4.9 | .965208 | .965446 | .965673 | .965889 | .966094 | .966289 | .966475 | .966652 | .966821 | .966981 |

# رموز الفصل الأول

| الرمز | الدلالة |
|---|---|
| A | جاهزية المعمل |
| MTBF | الزمن الوسطي بين الأعطال |
| MDT | متوسط الزمن الأدنى بين الأعطال ( لفترة زمنية محددة ) |
| Av | جاهزية الإنتاج |
| To | الزمن عندما تكون التجهيزات بحالة عمل |
| Ta | الزمن عندما تكون التجهيزات بحالة توقف |

# رموز الفصل الثالث

| | |
|---|---|
| G | مستوى الطاقة |
| S | مستوى الجهد المتوقع |
| Rs | موثوقية نظام متسلسل |
| Ri | موثوقية العنصر I |
| Fi | عدم الموثوقية للعنصر I |
| Fp | عدم الموثوقية في النظام المتوازي |
| Rp | الموثوقية في النظام المتوازي |
| f(t) | كثافة احتمال زمن حدوث عطل في عنصر معين |
| t | فترة زمنية |
| Z(t) | معدل العطل بدلالة توزيع زمن العطل (تابع الصدفة) |
| $\alpha, \beta$ | ثوابت |
| $\mu s$ | الزمن الوسطي بين العطل للنظام بكامله بدلالة الزمن الوسطي |
| Tr | الحياة المتراكمة حول الاختبار لغاية حدوث العطل ذي الترتيب r |
| $\hat{\mu}$ | وسطي الحياة للعنصر |
| $\sigma^2$ | التباين |
| **I** | تكاليف تركيب آلة |
| Cj | التكلفة المتوقعة لتشغيل وصيانة آلة خلال فترة الاستخدام J |
| Sj | القيمة المتوقعة لثمن بيع الآلة كنفاية عندما يبلغ عمر الآلة j |
| $\alpha$ | معامل الخصم الذي يحدد القيمة الحالة في بداية فترة معينة |
| H | القيمة الحالية لتكلفة الآلة عند تاريخ شرائها |

| | |
|---|---|
| K(n) | القيمة الحالية لسلسلة غير محدودة |
| $\varphi(x)$ | القيمة الحالية للتكاليف التي تتحملها المؤسسة خلال جميع الفترات المستقبلية |
| $\Pi_i$ | تكاليف العجز أو تكاليف عدم توفر هذه القطع |
| Kj | الطلب على كل قطعة |
| $\mu_j$ | الطلب المتوقع على القطعة |
| Xj | عدد كل نوع من القطع الواجب تخزينه |
| P(Xj,Uj) | التابع التجميعي المتمم |
| aj | سعر شراء القطعة j |

# Rationalization Of Maintenance Process By Quantitive Methods

## Summary

Maintenance jobs were a secondary function in the companies. They meant repairing. Higher management dealt with these works as a sudden disease because of the unexpected extra costs.

But in the later years , studies and researches which are looking for mathematical models and scientific ways to control these increasing costs.

So, the researcher focuses on **Maintenance Managing** by revering to the maintenance organization methods, by explaining the organization ways ( Inner, External, Central, Non-Central organizations). This leads the management to adopt a method or more to organize the maintenance jobs, this management suits its financial and technical sources and its activity nature.

After that the management must use the organization techniques ( manual, EDP, computerized ) to get the best way to control its maintenance selected system to determine: What to do ? Where to do ? When to do ? Who must do ? How to do ?.

When the management gathers these rules in addition to: maintenance jobs planning , builds information systems, manages the human sources, and gets the economic considerations, it will get a suitable maintenance model belonging to its company activity. This model must illustrate the documents and the necessary papers which reflex the documentation cycle to explain the spare parts system and the used buying system.... etc. The main function of the model is to determine the limits of the mixture of repairing and planning maintenance. The researcher applied these concepts in **EUT Model** with some modifications.

Then the researcher focuses on the **Cost Accountancy of Maintenance** by explaining the accountancy and production cycles. Cost accountancy is the best tool which the high management followed to obtain a stream of information. So, the researcher focuses on the maintenance documents , maintenance cost items, , preparing the estimating maintenance budget , Preparing the maintenance cost statement. In addition the researcher studies the cost behavior and suggests some optimal standards in maintenance works and maintenance costs.

The benefits of this matter are to apply the responsibility of accountancy in giving the rewards to the good and hardworking workers, while punishing the lazy ones to perform the jobs sincerely to have a stable production basis which secure a real reliability in the company.

At last , the researcher uses **A quantitive methods for reducing the maintenance costs** by studying the interpretation of Failure potentiality , and apply a Reliable measurements in technical systems to know the failure rate of the systems in the production machines. In addition to studying the life examination by using the Exponential model of distribution an Weibull model of distribution. Then the researcher tries to establish Equipment replacement model to determine when the machines should be replaced by a dynamic programming methods to solve this problem. Then the researcher tries to establish Spare parts stock models to determine when and how much the management must buy.

So the study leads the management to use the scientific methods in maintenance management to close or reduce the gap between the theory and practice.

# المراجع العربية

## الكتب:


1 أحمد بن حنبل، مسند الإمام أحمد.

2 الروسان، أحمد،1990 (دليل تطور مصانع الإسمنت العربية)، منشورات الاتحاد العربي للإسمنت بدمشق، 296 صفحة.

3 الدمشقي، أبو جعفر، 1999 (الإشارة لمحاسن التجارة)، دار صادر ببيروت، الطبعة الأولى.

4 الخطيب، كامل، 1991 (مدخل لصناعة الإسمنت ج1) طبعة ثانية، منشورات الاتحاد العربي للإسمنت ومواد البناء بدمشق، 491 صفحة.

5 الخطيب، كامل، 1991 (مدخل لصناعة الإسمنت ج2) طبعة ثانية، منشورات الاتحاد العربي للإسمنت ومواد البناء بدمشق، 455صفحة.

6 الخطيب وإسماعيل،د. عبد الفتاح وفؤاد، 1992 (الإدارة الآلية باستخدام الحاسبات الإلكترونية لمجموعة تكنولوجية صناعة الإسمنت ) طبعة أولى، منشورات الاتحاد العربي للإسمنت بدمشق، 105 صفحات.

7 شحاتة، شوقي إسماعيل، 1987 (نظرية المحاسبة من منظور إسلامي)، الزهراء للإعلام العربي القاهرة 296 صفحة.

8 عاطف بسخرون، طلعت (المحاكاة والصيانة) 1987.


## الدوريات:


1 أبو بكر، د.م. عبد الفتاح، 1991 (مستلزمات الصيانة واحتياجاتها) دورة إدارة الصيانة، مركز تطوير الإدارة والإنتاجية بدمشق.

2 أبو بكر، د.م. عبد الفتاح، 1991 (الصيانة الصناعية) دورة إدارة الصيانة، مركز تطوير الإدارة والإنتاجية بدمشق.

3 جحوان وظنح، م. كامل و م. عبد الكريم، 1985 (محاضرات دورة الصيانة الوقائية)، منشورات مركز تطوير الإدارة والإنتاجية بدمشق 178 صفحة.

4 الحمو، م. أحمد، 1989 (التخطيط للصيانة العامة للأفران الدوارة في معامل الإسمنت) شركة الشهباء للإسمنت ومواد البناء حلب.

5 شرفلي، م. محمد هشام، 1991 (مزايا الصيانة المبرمجة وتأثيرها على عمر المعدات) منشورات الاتحاد العربي للإسمنت ومواد البناء دمشق.

6 الضرير، د. الصديق محمد الأمين، 2000 (مدى شرعية التمويل الإسلامي لعقود الصيانة) مجلة الاقتصاد الإسلامي، المجلد 19 العدد 225، دبي.

7 عطية، م. محمد يعقوب، 1989 (حالة صيانة ميكانيكية عامة للفرن الدوار خلال التشغيل وأثناء التوقف) منشورات الاتحاد العربي للإسمنت ومواد البناء دمشق.

8 الكردي، د. أحمد الحجي، 1996 (عقود الصيانة)، مجلة الاقتصاد الإسلامي، المجلد 15 العدد 180، دبي.

9 علي أحمد، محمد نمر، 1989 (المفهوم الإداري للصيانة الصناعية وتطورها) مجلة الكفاية الإنتاجية العدد 3و4 مصر.

# المراجع الأجنبية

## BOOKS:


1. Alchina, A. - 1952 - (ECONOMIC REPLACEMENT POLICY) - R.224, The RAND Corp..
2. Batty J. - 1992 - (MANAGEMENT ACCOUNTANCY) - Fifth edition - The English Lang. Book Society & MacDonald & Evans Ltd., Plymouth, 861 Page.
3. Freud, J.E. - 1990 - (MATHEMATICAL STATISTICS) - Prentice Hall ,
4. London 1972.
5. Hadley, G., -1948 - (Non-Linear and Dynamic Programming) - Addison-Wesley, Massachusetts. 750 Pages.
6. Hadley, G., -1966 - et whitin, T.M.., (ETUDE ET PARTIQUE DES MODILES DE STOCKS) , Dunad, Paris.
7. K.c. Kapur, 1977 - (RELIABILITY IN ENGINEERING DESIGN) - L.R. Lamberson - 670 Pages.
8. Miller,I., Freud , J.E., and Richard,A.J., - 1990 - (PROBABILITY AND STATISTIC FOR ENGINEERS) - Prentice Hall , London.
9. Miller & Blood , 1971 - (MODERN MAINTENANCE MANAGEMENT) - Second edition - D.B. Taraporeva;la Sons & Co. Pvt -Bombai. 135 Page.
10. N.Paul Loomba , 1978 - (MANAGEMENT A QUANTITIVE PRESPECTIVE) - MaCmillan , P. Co.,Inc. Newyork - 295 Page.
11. Simpson - H. A. - 1948 - (INDUSTRIAL ACCOUNTING) - Second edition - SIR ISAAC PITMAN & SONS,LTS., London, 205 Page.


## PERIODICALS:


1- Bellman ,R., - 1955 - (EQUIPMENT REPLACEMENT POLICY) - Journal of the society for industrial and applied Mathematics, 3,.
2- Bellman , R., and S. Dreyfus, - 1982 - (APPLIED DYNAMIC PROGRAMMING) - Princeton University press.
3- C.W. Gits - 1988 - (THE SYSTEMATIC DESIGN OF THE MAINTENANCE CONCEPT FOR A CENTRIFUGAL SEPARATOR) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 12 Page.
4- C.W. Gits - 1990 - (DEVELOPMENT IN THE FUNDAMENTALS OF MAINTENANCE MANAGEMENT) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 23Page.
5- Dreyfus ,S., - 1980 - (A GENERALIZED EQUIPMENT STUDY) - Journal of the society for industrial and applied Mathematics, 8,.
6- Jan H. Nielsen - 1990 - (ILLUSTRATION OF A COMPUTERIZED MAINTENANCE SYSTEM WHICH MAY BE DESIGNED TO OPERATE AT VARIOUS FUNCTIONAL LEVELS ) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 46Page.
7- Ken John Moller -1991 - (THE HUMAN FACTOR IN CONNECTION WITH THE APPLICATION SYSTEM - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 11 Page.
8- Sh. Javed Elahi - 1990 - (ADOPTION OF INSTRUMENTS AND BENIFITS OF ON-CONDITION MAINTENANCE) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 10 Page.

9- Svend Erik Nielsen - 1990 - (MAINTENANCE A SYSTEMATIC APPROACH) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 12Page.
10- Svend Erik Nielsen - 1990 - (THE MAINTENANCE ORGANIZATION) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 31Page.
11- W.M.J. Geraerds - 1990 - (THE EUT MAINTENANCE MODEL) - International Maintenance seminar - F.L. Smith - Denmark , 18 Page.
12- VOEST-ALPIN Co. - 1985 - (INDUSTRIAL SERVICES) -Industrial Services Corp. LTD., AISU Seminar - Austria - 246 Pages.