

# دور الصيانة في تحسين إنتاجية المؤسسات

إعداد الطلاب:

أحمد محمد الحسن الطيب  
شهاب مصطفى إسماعيل علي  
محمد المعتصم يس سعد الجزولي  
مصطفى عبد الله حسن عبد الله

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في  
الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية  
كلية الهندسة  
جامعة الشيخ عبدالله البدري



يونيو 2025م

# دور الصيانة في تحسين إنتاجية المؤسسات

إعداد الطلاب:

- أحمد محمد الحسن الطيب 151199588  
شهاب مصطفى إسماعيل علي 16110169494  
محمد المعتصم يس سعد الجزولي 1731016509  
مصطفى عبد الله حسن عبد الله 1931030725

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في  
الهندسة الميكانيكية

إشراف:  
أ/ خولة أمير

قسم الهندسة الميكانيكية  
كلية الهندسة  
جامعة الشيخ عبدالله البدري



يونيو 2025م

## الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى :

﴿ وَقُلْ أَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَى عَالَمِ الْغَيْبِ  
وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ ﴾

صدق الله العظيم

سورة التوبة الآية (105)

## الاهداء

بكل معاني الامتنان، وبحروف سقتها التجربة وسنوات الكفاح،  
أهدي هذا العمل المتواضع إلى من كان لهم الفضل بعد الله في أن أصل إلى هذا اليوم:

إلى من غرسوا في قلبي حب التعلم، وعلموني أن القمم لا تُبلغ إلا بالصبر والإيمان...  
إلى من حملوني في دعائهم، وكانوا لي دفئاً في الليالي الباردة، ورفاقاً في صمت البعد...  
إلى والدي العزيز، رمز العطاء والصبر، قدوتي الأولى،

وإلى والدتي الحبيبة، نبع الحب والدعاء، وسري الخفي نحو النجاح...  
إلى إخوتي وأخواتي، سندي في الحياة، وأعمدة قوتي في لحظات الضعف.

إلى أساتذتي الأفاضل، منارة دربي، ومصدر إلهامي في كل فكرة ومعلومة،  
إلى زملائي في هذا المشوار، من شاركوني التعب، وتبادلنا الأمل والنجاحات،  
إلى أصدقائي الحقيقيين، الذين لم يخذلوني في محطات الإنهاك والضغط، وكانوا بلسماً في وقت  
الحاجة.

إلى وطني الحبيب... السودان،  
رغم الجراح، ما زلت النبض الذي لا يخبو، والحنين الذي لا يهدأ،  
لك وحدك أهدي الحلم، والعلم، والأمل في غدٍ أجمل تُشيده أيادينا بالمعرفة والعمل الصادق.

وإلى كل شخص ساهم - ولو بكلمة - في إنجاح هذا الإنجاز،  
لكم مني هذا الجهد، عربون وفاء ومحبة.

## الشكر والعرفان

الحمد لله رب العالمين، الذي بنعمته تتم الصالحات، والذي منحنا القوة والعزم لإتمام هذا المشروع، رغم ما واجهتنا من صعوبات وتحديات خلال مراحل العمل. الحمد لله الذي ألهمنا الصبر، ويسر لنا السبل، ووفقنا لأن نقطف ثمرة سنوات من الاجتهاد والتعلم.

نتقدم بخالص الشكر والامتنان لكل من كان له دور - صغيراً كان أو كبيراً - في إنجاح هذا المشروع، فقد كانت رحلتنا العلمية مليئة بالدروس والخبرات التي كان لها الأثر البالغ في نضجنا الأكاديمي.

ونخص بالذكر:

مشرف المشروع الأستاذة/ خولة أمير، الذي كان لها فضل كبير بعد الله في توجيهنا وإرشادنا طيلة فترة العمل على المشروع. فقد كان دعمها العلمي والإنساني منارة أضاءت طريقنا، ونبراساً موجهاً نحو التميز والدقة. كلمات التقدير تعجز عن الوفاء بما قدمته من وقت وجهد وصبر، ومتابعة دقيقة لكل تفاصيل هذا المشروع.

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى أعضاء هيئة التدريس في كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانيكية، على ما بذلوه من جهد في تعليمنا وتوجيهنا طوال سنوات الدراسة. لقد كنتم بحق القدوة والمصدر الأول للمعرفة التي نعتز بها.

## فهرس المحتويات

| الرقم                                   | المحتوى                                        | رقم الصفحة |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|------------|
|                                         | الآية                                          | I          |
|                                         | الإهداء                                        | II         |
|                                         | الشكر والعرفان                                 | III        |
|                                         | فهرس المحتويات                                 | IV         |
|                                         | المستخلص                                       | VI         |
|                                         | Abstract                                       | VII        |
| <b>الباب الأول : المقدمة</b>            |                                                |            |
| 1.1                                     | مقدمة                                          | 1          |
| 2.1                                     | مشكلة الدراسة                                  | 2          |
| 3.1                                     | أهمية الدراسة                                  | 2          |
| 4.1                                     | أهداف الدراسة                                  | 2          |
| 5.1                                     | أسئلة الدراسة                                  | 2          |
| 6.1                                     | فرضيات الدراسة                                 | 3          |
| 7.1                                     | حدود الدراسة                                   | 3          |
| 8.1                                     | المنهجية                                       | 3          |
| <b>الباب الثاني : الإطار النظري</b>     |                                                |            |
|                                         | تمهيد                                          | 4          |
|                                         | المبحث الأول: الإطار النظري للصيانة            | 5          |
|                                         | الفرع الأول: تعريف الصيانة                     | 5          |
|                                         | الفرع الثاني: أنواع الصيانة                    | 7          |
|                                         | الفرع الثالث: خصائص الصيانة                    | 13         |
|                                         | الفرع الرابع: مفهوم الإنتاجية وأهميتها         | 14         |
|                                         | المبحث الثاني : تكاليف الصيانة                 | 16         |
|                                         | الفرع الأول: تكاليف الصيانة                    | 16         |
|                                         | الفرع الثاني: تصنيف تكاليف الصيانة             | 18         |
| <b>الباب الثالث : الدراسة الميدانية</b> |                                                |            |
|                                         | المبحث الأول: مصنع أسمنت بربر بولاية نهر النيل | 23         |

|                                  |                                               |  |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|--|
| 25                               | المبحث الثاني: تحليل البيانات ومناقشة النتائج |  |
| الباب الرابع : مناقشة النتائج    |                                               |  |
| 33                               | مناقشة النتائج                                |  |
| الباب الخامس : النتائج والتوصيات |                                               |  |
| 35                               | النتائج                                       |  |
| 35                               | التوصيات                                      |  |
| 36                               | المراجع                                       |  |

## المستخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على دور الصيانة في تحسين إنتاجية المؤسسات الصناعية، من خلال دراسة ميدانية تحليلية أجريت بمصنع أسمنت بربر بولاية نهر النيل، خلال العام 2021م. ركزت الدراسة على تقييم أنظمة وأساليب الصيانة المتبعة، وتحليل علاقتها بمعدلات الإنتاجية من حيث الكمية والجودة.

تمثلت مشكلة الدراسة في أن العديد من المصانع تعاني من انخفاض الإنتاجية نتيجة غياب أو ضعف برامج الصيانة الفعالة، مما يؤدي إلى أعطال متكررة وتوقفات غير مخططة. سعت الدراسة للإجابة على عدد من الأسئلة المتعلقة بأنواع الصيانة المستخدمة، وتأثير فعاليتها على الأداء الاقتصادي والإنتاجي، وكذلك التحديات التي تواجه تنفيذها.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت أدوات جمع البيانات مثل الاستبيانات والمقابلات ومراجعة التقارير الفنية. كما تم استخدام أدوات تحليل إحصائية مثل الانحدار، معامل الارتباط، وتحليل التباين (ANOVA) باستخدام برنامج SPSS أو Excel.

توصلت الدراسة إلى وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين كفاءة أنظمة الصيانة وزيادة الإنتاجية. كما أثبتت أن تقليل الأعطال من خلال الصيانة الوقائية يساهم في تقليص فترات التوقف وتحسين الأداء العام. وأشارت النتائج إلى أن التكاليف العالية للصيانة التنبؤية يمكن تعويضها من خلال رفع كفاءة التشغيل وتقليل الخسائر الناتجة عن التوقفات.

وفي ضوء النتائج، توصي الدراسة بوضع نموذج متكامل لتحسين كفاءة الصيانة، يراعي الجدولة الوقائية، والتدريب المستمر، وتوظيف التكنولوجيا، مما يساهم في رفع الإنتاجية وتحقيق كفاءة تشغيلية عالية.

## **Abstract:**

This study aims to highlight the role of maintenance in improving industrial productivity through a field-based analytical study conducted at the Berber Cement Factory in the River Nile State during the year 2021. The study focused on evaluating the maintenance systems and methods in place and analyzing their relationship with productivity levels in terms of both quantity and quality.

The problem addressed in this research lies in the fact that many factories suffer from low productivity due to the absence or weakness of effective maintenance programs, which leads to frequent breakdowns and unplanned downtimes. The study sought to answer several questions regarding the types of maintenance applied, the impact of maintenance effectiveness on economic and production performance, and the challenges facing the implementation of maintenance programs.

The study adopted a descriptive and analytical methodology and utilized data collection tools such as questionnaires, interviews, and reviews of technical reports. Statistical analysis tools including regression, correlation coefficient, and ANOVA were employed using SPSS or Excel software.

The findings revealed a statistically significant positive relationship between the efficiency of maintenance systems and increased productivity. They also demonstrated that reducing breakdowns through preventive maintenance helps minimize downtimes and improve overall performance. Additionally, the study indicated that the high costs of predictive maintenance can be offset by improved operational efficiency and reduced losses from production stoppages.

In light of these results, the study recommends developing an integrated model to enhance maintenance efficiency, incorporating preventive scheduling ,continuous training, and the use of technology, all of which contribute to increased productivity and high operational performance.

# الباب الأول

## المقدمة

### 1.1 مقدمة:

الصيانة هي مجموعة الأنشطة التقنية والإدارية التي تهدف إلى إبقاء المعدات في حالة عمل أو إعادتها إلى حالة العمل المقبولة.

تُعد الصيانة أحد الركائز الأساسية التي تعتمد عليها المؤسسات الصناعية في تحقيق استمرارية الإنتاج ورفع كفاءته، إذ تسهم الصيانة الفعالة في تقليل معدلات الأعطال المفاجئة، مما ينعكس بشكل مباشر على تقليل التوقفات غير المخططة في خطوط الإنتاج، وبالتالي زيادة الإنتاجية وتحقيق الاستقرار التشغيلي. كما أن للصيانة دوراً محورياً في تحسين جودة المنتجات، من خلال ضمان عمل المعدات والأدوات بدقة وكفاءة ضمن الحدود التصميمية المقررة.

وتؤدي الصيانة المنتظمة إلى خفض التكاليف التشغيلية، من خلال تقليل الحاجة إلى إصلاحات جذرية أو استبدال المعدات، فضلاً عن إطالة العمر التشغيلي للأصول الصناعية. كذلك تسهم الصيانة في تحسين بيئة العمل، من خلال الحد من الحوادث والإصابات المهنية الناتجة عن الأعطال الفنية، مما يعزز من سلامة العاملين ويرفع من مستوى الأمان داخل المنشأة.

وتُعد الصيانة الوقائية والتنبؤية من أهم الأدوات الحديثة التي تعتمد عليها المصانع المتقدمة لضمان الأداء المستدام، حيث تتيح إمكانية التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها واتخاذ الإجراءات اللازمة بشكل استباقي. وبذلك، فإن أهمية الصيانة تتجاوز المفهوم التقليدي المرتبط بإصلاح الأعطال، لتصبح أداة استراتيجية تدعم التنافسية والكفاءة التشغيلية للمصانع، خاصة في البيئات الصناعية الحيوية مثل مصانع ولاية نهر النيل.

## 2.1 مشكلة الدراسة:

تعاني كثير من المصانع من انخفاض الإنتاجية بسبب ضعف أو غياب خطط الصيانة الفعالة. الصيانة ليست مجرد إصلاح الأعطال، بل عنصر استراتيجي يؤثر على الأداء العام للمصنع. لذلك اتجهت الدراسة لإيجاد:

1. أثر أنظمة وأساليب الصيانة المتبعة في مصانع ولاية نهر النيل على معدلات الإنتاجية.
2. العلاقة بين فاعلية برامج الصيانة وتحسين جودة وكمية الإنتاج.

## 3.1 أهمية الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى توضيح العلاقة بين كفاءة أنظمة الصيانة والإنتاجية الصناعية في ولاية نهر النيل، وتقديم حلول مقترحة لتحسين الأداء الصناعي.

## 4.1 أهداف الدراسة (Objectives) :

أهداف رئيسية:

تقييم واقع الصيانة في مصانع نهر النيل.

تحليل العلاقة بين الصيانة والإنتاجية.

وضع نموذج لتحسين كفاءة الصيانة بما يرفع الإنتاجية.

أهداف فرعية:

تصنيف أنواع الصيانة المطبقة في المصانع.

قياس الأثر المالي والزمني للصيانة على التشغيل.

## 5.1 أسئلة الدراسة (Research Questions) :

1. ما هي أنواع الصيانة المستخدمة في مصانع ولاية نهر النيل؟

2. ما العلاقة بين فاعلية الصيانة والإنتاجية؟

3. كيف تؤثر تكلفة الصيانة على الأداء الاقتصادي للمصنع؟

4. ما التحديات التي تواجه تنفيذ برامج الصيانة الفعالة؟

## 6.1 فرضيات الدراسة: (Hypotheses)

H1: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين كفاءة نظام الصيانة وزيادة الإنتاجية.

H2: انخفاض الأعطال بسبب الصيانة الوقائية يؤدي إلى تقليل التوقفات وتحسين الأداء.

H3: التكاليف العالية للصيانة التنبؤية تُعوّض بتحسين كفاءة التشغيل.

## 7.1 حدود الدراسة:

الحدود المكانية: مصنع اسمنت بربر ولاية نهر النيل

الحدود الزمانية: 2021م

## 8.1 المنهجية: (Methodology)

نوع الدراسة:

دراسة ميدانية تحليلية باستخدام منهج وصفي وتحليلي.

طرق جمع البيانات:

استبيانات للمهندسين والفنيين.

مقابلات مع مديري الصيانة والإنتاج.

مراجعة تقارير الأداء والإنتاج والصيانة.

تحليل بيانات الأعطال والتوقفات.

أدوات التحليل:

برنامج إحصائي (SPSS) أو (Excel)

تحليل الانحدار، معامل الارتباط، تحليل التباين (ANOVA)

## الباب الثاني

### الإطار النظري

#### تمهيد:

نتيجة لتطورات التكنولوجيا التي يشهدها العالم أصبح من الضروري على المؤسسة شراء أحدث الآلات وأحسنها إنتاجاً وللحفاظة على هذه الآلات يجب استخدام مبادئ الصيانة المتطورة وضرورة البحث المستمر عن كيفية إدارتها من أجل تحقيق أهداف المؤسسة في زيادة الكمية وتحسين النوعية والمحافظة على الآلات وبأقل تكاليف ممكنة.

بما أن تكاليف الصيانة تشكل جزءاً لا بأس به من التكاليف الإجمالية للمؤسسة مما يتوجب عليها الوقوف بصفة دقيقة على هذه التكاليف دون الإخلال بمستوى كفاءة الصيانة وهذا ما سنتطرق إليه في هذا الفصل بشيء من التفاصيل ضمن المباحث التالية بالتطرق إلى مفاهيم الصيانة والإنتاجية في إطار مبحثين يحتوي الأول على مجموعة من الأطر النظرية للصيانة والإنتاجية أما المبحث الثاني فسنعرض فيه مجموعة من الدراسات السابقة التي سبق لها وتناولت الموضوع.

#### الدراسة النظرية للصيانة:

سنتطرق في هذا الفصل بدراسة النظرية للصيانة فقننا بتقسيم هذا الفصل إلى المبحث الأول يوضح تقديم الصيانة بصفة عامة، أما المبحث الثاني شمل مجموعة من الدراسات السابقة.

## المبحث الأول: الإطار النظري للصيانة:

كانت ولا تزال الآلة عنصراً أساسياً في المؤسسة الصناعية وبالنسبة لوظيفة الإنتاج خاصة، والحفاظ على القدرات الإنتاجية للمؤسسة كما ونوعاً يستدعي اهتمام المسؤولين والعمال بهذا العنصر الأساسي وهو ما يعطي لوظيفة الصيانة أهمية كبيرة في ميدان التسيير بالنسبة للمؤسسة.

### المطلب الأول: تقديم الصيانة بصفة عامة:

سوف نقوم في هذا المطلب بالتعريف بالصيانة وأنواعها والتعريف بالإنتاجية وعلاقتها بالصيانة.

### الفرع الأول: تعريف الصيانة:

لقد حدد الباحثون والكتاب مفاهيم متعددة للصيانة (Maintenance) وإن اختلفت في الشكل إلا أنها اتفقت من حيث المضمون، فقد عرفت على أنها جميعه الأنشطة اللازمة للمحافظة على المكنائن والمعدات والأدوات والأبنية في حالة صالحة للأشغال الطبيعية. كما عرفها بأنها جميع الأنشطة التي تمارس على المكنائن والمعدات والأبنية لغرض التأمين والمحافظة على صلاحيتها وفي جميع الأوقات وبمستويات مقبولة من الكفاءة التشغيلية.

الصيانة وظيفة من وظائف المؤسسة تعرف على أنها مجموعة النشاطات التي تهدف إلى المحافظة على المعدة والتركيبات والأصول المادية الأخرى في حالة عمل مرغوب فيها أو ارجاعها الى هذه الحالة أي تسعى الصيانة لتحقيق أكبر إتاحة (Accessibility) ممكنة للمعدات بتقليل عدد الأعطال وذلك بأقل تكلفة وبجودة عالية.

- أهمية الصيانة: لسنوات كان ينظر للصيانة على أنها أمر لا مفر منه ولكن مع التقدم التكنولوجي وتطور مفهوم إدارة الأعمال أصبحت وظيفة هامة تتطلب استخدام تقنيات محددة لتحقيق اهداف المؤسسة ولكنها ليست هدفا في حد ذاتها وإنما تشكل عاملا هاما للجودة والسلامة واحترام الوقت والإنتاجية<sup>(1)(2)</sup>.

وبالتالي القدرة التنافسية للمؤسسة تتطور وتستمد الصيانة كوظيفة داخل المؤسسة أو كعملية مرتبطة بضرورة العملية الإنتاجية أهميتها من حيث أنها:

1- تساعد الصيانة في تقليل أعطال الآلات والتجهيزات المختلفة وجعلها في الحدود الدنيا، فهي تقلل توقف العمليات الإنتاجية مما يؤدي إلى منع تعطل النقل والتسليم للمستهلكين أو العملاء وبالتالي فهي تجعل العمليات الإنتاجية أكثر كفاءة وأيضاً أقل تكلفة.

2- تعمل الصيانة على تحقيق فعالية الآلات والأجهزة التشغيلية المختلفة للمحافظة على معايير الجودة.

3- يؤدي انخفاض الصيانة إلى انخفاض الروح المعنوية للعاملين، مما يجعل العامل غير منتج ومرتاحاً في عمله.

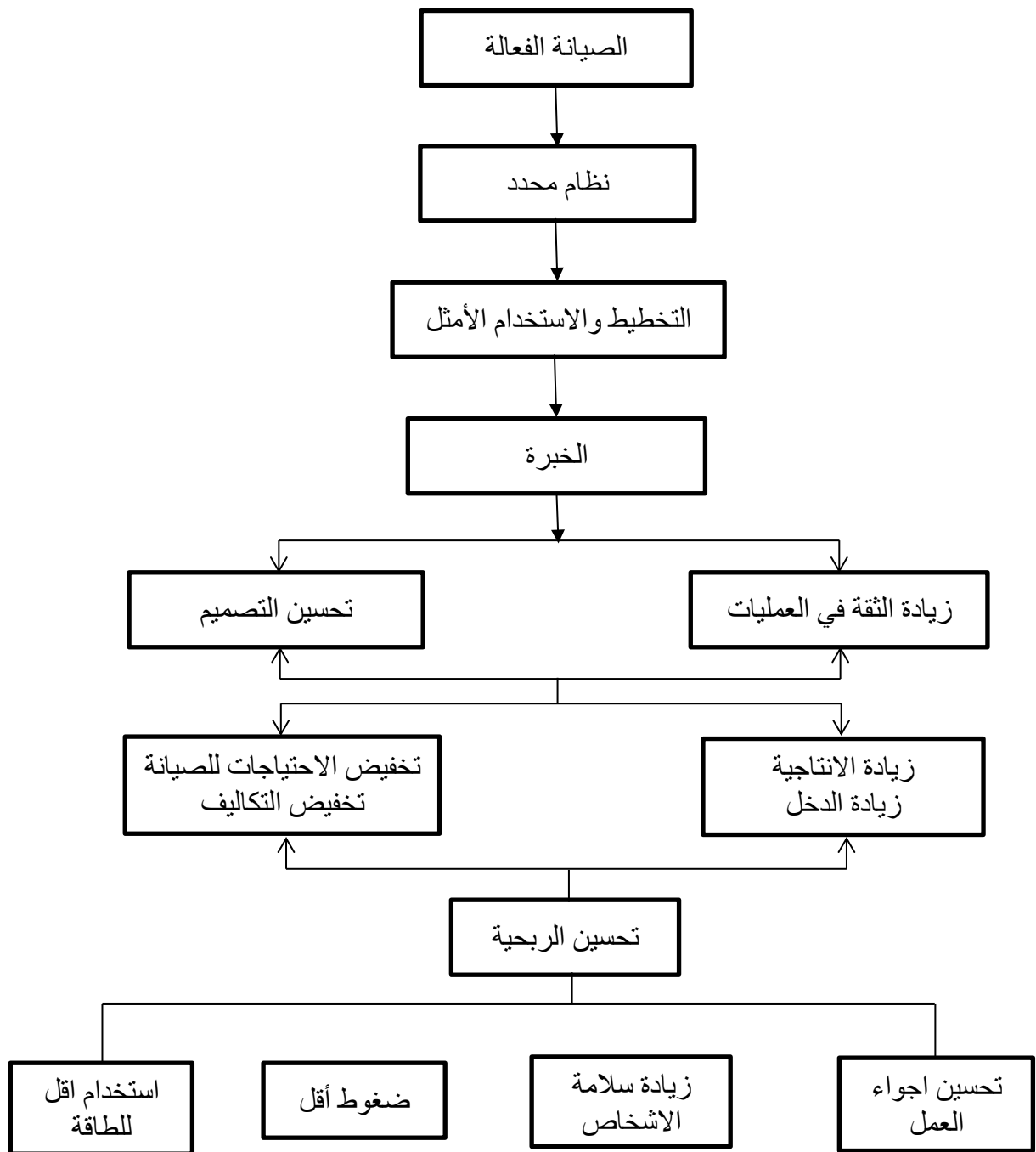
4- تساعد الصيانة في تقديم التسهيلات الخدمية المختلفة، والتي بدورها تؤثر على الإنتاجية.

5- الحفاظ على أصول المنظمة وإطالة العمر الإنتاجي للمعدات.

6- تحسين شروط السلامة المهنية.

جعلت هذه الأهمية قسم الصيانة وحدة مركزية لأداء نشاط الصيانة والإدامة حيث أصبحت تحتل مكانة هامة في الهيكل التنظيمي للمؤسسة في نفس مستوى أقسام الإنتاج والإدارة والبحث والتطوير. ويمكن تلخيص أهمية الصيانة في الشكل التالي<sup>(3)(4)</sup>:

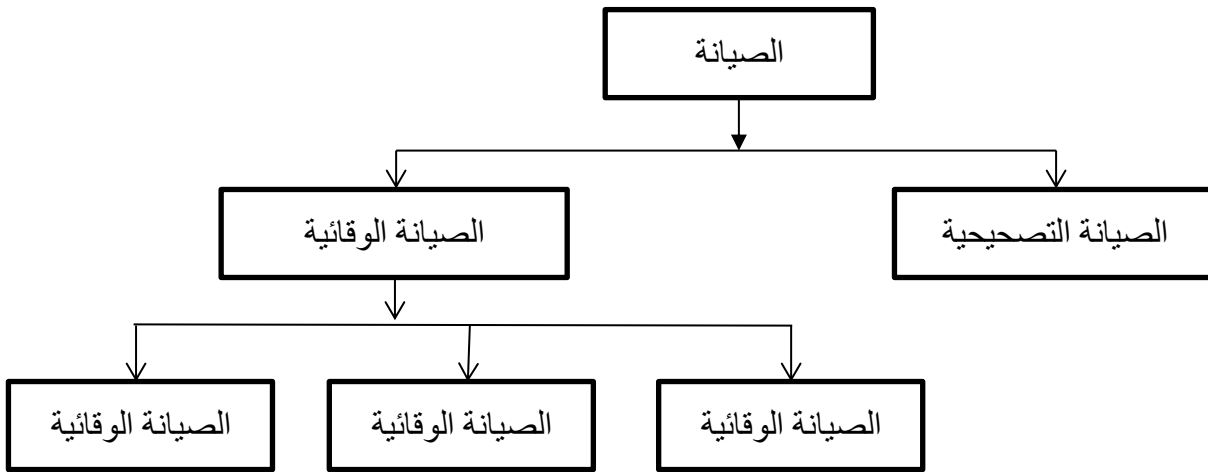
الشكل رقم (1.2) أهمية الصيانة<sup>(4)</sup>



## الفرع الثاني: أنواع الصيانة: (سياسات الصيانة):

تعد وظيفة الصيانة من الوظائف الحساسة داخل المؤسسة نظراً لارتباطها المباشر بضرورة العملية الإنتاجية، حيث تسعى المؤسسة الى تحديد فاعليتها وتدقيقها ضمن نشاطها العام، من خلال تنظيمها وتوفير القوى البشرية المؤهلة للاضطلاع بها وهي تبني سياسات ناجعة لممارستها على الوجه الأفضل بما يحقق أغراضها باعتبار أن السياسة هي مجموع الطرق والوسائل الموجهة لتحقيق هدف أو أهداف معينة ومنه يمكن تقسيم أنواع الصيانة كما يلي :

الشكل رقم (2.2) أشكال الصيانة:<sup>(5)</sup>



### 1/ الصيانة التصحيحية (La maintenance corrective):

هي أعمال الصيانة التي تتولى اصلاح العيوب حين ظهورها ويطلق على هذا النوع من الصيانة أيضا الصيانة العلاجية (الاصلاحية) وهي أعمال الصيانة التي تتم بعد حدوث العطل. تمثل الصيانة التصحيحية هي اصلاح علاج وصيانة غير مجدولة فتمثل تصحيح الفشل المقتطع والعيوب الخفية وأكثر استهلاكاً للوقت ولكن مع التشخيص والأسباب يمكن عزلها، فهي تقوم بعد الفشل الكلي<sup>(6)</sup>.

وتتم عملية الصيانة التصحيحية وفق مجموعة من المراحل كما هو موضح في الشكل التالي:

## 2/ الصيانة الوقائية (La maintenance preventive):

ان مفهوم الصيانة الوقائية هو وضع برنامج زمني للصيانة استناداً في ذلك على توقعات وقوع أعطال أساسية وذلك قبل حدوثها ولهذا فإنه عادة ما يكون عدد مرات إجراء الصيانة الوقائية أكبر من مرات إجراء الإصلاحات بعد حدوث العطل، وذلك في مقابل أن هذه الصيانة عادة ما تجنب المؤسسة أنواعاً من التكاليف الكبيرة المرتبطة بالعطب والوقت، وتظهر هذه الفكرة بوضوح إذا تمت الصيانة الوقائية خلال وقت توقف العمل الرئيسي للمؤسسة. وهي تنطلق من ضرورة عمل الفحص الوقائي والتزييت والتشحيم وإدخال تعديلات على التجهيزات وتجنب عمل إصلاحات كبيرة ونقص عيوب التشغيل وخفض تكاليف الإنتاج.

### أصناف الصيانة الوقائية:

وتشمل الصيانة ثلاثة أصناف هي:

## 1/ الصيانة الوقائية المجدولة (Maintenance preventive Systematique):

هي الصيانة التي يتم إجراؤها وفقاً لجدول زمني معد مسبقاً حسب الزمن أو حسب عدد العمليات التي تنفذها الآلة ، بمعنى ان الآلات والمعدات تخضع للصيانة الوقائية النظامية كلما مرت فترة زمنية معينة أو بعد إنتاج كمية معينة وفي كل مرة يتم تحديد حالة الآلة بالاعتماد على مجموعة من القياسات (الارتفاع، درجة الحرارة، الكثافة ، ... الخ).

## 2/ الصيانة الوقائية التوقعية (Maintenance preventive conditionally):

يتدخل هذا الصنف من الصيانة عند توفر شرط معين يتمثل في بلوغ الآلة حد مسموح به من اداء بحيث ان تجاوز هذا دون صيانة سيؤدي الى تحمل أعباء إضافية يمكن تفاديها اذا تدخلت الصيانة التوقعية في وقتها.

تتطلب الصيانة الوقائية التوقعية المعرفة الجيدة بالآلة، وحسب M.VISINTINI فإن نجاح هذا النوع من الصيانة يتوقف على التشخيص الجيد لحالة الآلة من خلال عمليات المتابعة التي تتم خلال دورة اشغالها والمتمثلة على سبيل المثال في :

- مراقبة مستوى الزيت.
- مراقبة نوع وجودة الزيت.
- مراقبة الحرارة.
- مراقبة الضغط.
- بعض القياسات الكهربائية.

### 3/ الصيانة الوقائية التنبؤية (Maintenance previsionelle):

تعتمد هذه الصيانة على تحليل تطور حالة المعدات واستنتاج مؤشرات تلفها بعد ذلك ومن خلال هذه المؤشرات يمكن التخطيط لتدخلات مصلحة الصيانة ومن ثم تأخيرها الى الوقت المناسب بدل إجرائها في وقت سابق لذلك. وقد يؤدي تطبيق الصيانة الوقائية الى تحقيق فوائد عديدة منها:

- يؤدي تخطيط اعمال الصيانة الوقائية واستخدام المقاييس الى توفير المواد قبل البدء بتنفيذ أوامر العمل ومن ثم تقليل كلفة الصيانة الى الحد الأدنى.
- التمكن من السيطرة والرقابة على مخزون المواد الاحتياطية واداء الأفراد والمعدات.
- تحديد الاحتياجات الفعلية للمواد الاحتياطية وتقليل مستوى التخزين فيها الى الحد الأدنى.
- تقليل الحاجة الى الوقت الإضافية لأداء أعمال الصيانة ومن ثم تخفيض أجور العمل الإضافي.
- تقليل وقت التوقف الإضافي للمعدات خارج الخدمة الى الحد الأدنى.
- تخفيض الحاجة الى رؤوس الأموال للاستثمار بالمعدات أو الآلات البديلة نتيجة لأداء المعدات للخدمة في الوقت المناسب<sup>(5)</sup>.

## أهداف الصيانة:

ما من نشاط تقوم به المؤسسة إلا وكانت له مجموعة من الأهداف ولا تخرج الصيانة عن هذه القاعدة حيث أنها تهدف الى ما يلي:

1/ ضمان تحقيق الإنتاج المخطط له : ويكون ذلك من خلال ضمان إتاحة الآلات لزمن محدد ومعين مسبقا وللتأكيد على سلامة استغلال هذه الآلات حسب ما هو مخطط وبمعنى آخر تتخفف زمن توقف النظام الإنتاجي الى الحد الأدنى الممكن.

2/ الحفاظ على جودة المنتجات : للصيانة والتجهيزات دورها وأثرها على مستوى جودة المنتجات حيث كثيرا ما تتسبب الاخطاء المرتكبة عند ضبط الآلات في انتاج منتجات معيبة ، كما أن بقاء الآلة المختلفة مشغلة سيؤدي الى النتيجة ذاتها ما لم ينتبه لها العاملون عليها أو المسؤولون عن صيانتها.

3/ احترام الآجال المحدد: ويتعلق الامر هنا بالآجال الخاصة بالإنتاج من جهة وتلك الخاصة بأعمال الصيانة من جهة ثانية ، حيث تسعى وظيفة الصيانة الى احترام كل الآجال التي تتضمنها برامج الصيانة وبرامج الإنتاج ولضمان ذلك يجب على المسؤولين عن الصيانة ما يلي :

- المعرفة الدقيقة لحالة كل آلة وضمان تشغيلها خلال الزمن المحدد باستثناء حالة الحوادث غير المتوقعة كالحرائق والكوارث الطبيعية.

- التحضير والاستعداد للأعمال التي يجب القيام بها ووصف هذه الأعمال بالدقة الكافية حتى يكون التدخل في الوقت المناسب وبالمدة المناسبة.

وبالمقابل يجب على وظيفة الإنتاج أن تأخذ بعين الاعتبار كل المواعيد والآجال الخاصة بالصيانة المتفق عليها مسبقا وذلك تفادياً لضياع الوقت وتحمل تكاليف إضافية.

4/ تخفيض التكاليف : حتى لا تخرج الصيانة عن الأهداف العامة للمؤسسة فإنها تسعى دائما لتحقيق أقل تكلفة ممكنة للمنتج النهائي وتشمل هذه التكلفة جزء متغير او جزء ثابت يمثلات معا تكاليف الإنتاج مضافا اليها تكاليف الصيانة وتكاليف الفرصة البديلة عن التوقعات التي تحدث في النظام الإنتاجي بسبب الأعطال أو بسبب إجراء الصيانة الوقائية.

5/ أمن العاملين وسلامتهم : تتكفل الصيانة بضمان أمن القائمين بها من جهة وبضمان سلامة باقي العاملين في المؤسسة أثناء تواجدهم بأماكن عملهم من جهة أخرى. وفي هذا الإطار يبدأ كل تحضير لأعمال الصيانة بتوجيه مجموعة من النصائح المكتوبة والشفوية للعاملين ، وهذا للتقليل من المخاطر المختلفة كالسقوط ، التعرض للصدمات الكهربائية ، الحريق والانفجارات وغيرها ، وينتهي كل عمل صيانة بالتنظيف الكامل للمكان وإزالة كل المخلفات التي يمكن أن تؤثر على سلامة العمال.

6/ حماية البيئة : باعتبار أن المؤسسة مطالبة في ظل التنمية المستدامة أكثر من أي وقت مضى باحترام نظافة المحيط وتفاذي تلويثه فإن لصيانة دور مهم في ذلك من خلال إصلاح بعض الأعطال والاختلالات التي تتسبب في تلويث المحيط وكذلك اصلاح التجهيزات من التلوث كالمصافي التي تستعملها مصانع الاسمنت وغيرها.

وان كانت هذه أهم اهداف الصيانة الا أنها في مفهومها الحديث توسعت حتى أصبحت مصلحة الصيانة تعمل دور المستشار بالنسبة لإدارة المؤسسة عندما ترغب في تجديد آلاتها كما تستشار حتى في تصميم هذه الآلات بهدف تسهيل الصيانة المستقبلية لها والاستجابة أكثر لمتطلبات الإنتاج من حيث التكلفة والجودة.

### الفرع الثالث : خصائص الصيانة :

تعتبر الصيانة من الوظائف الأساسية المساعدة للإنتاج ومن أجل فهم أعمالها وتكاليفها ومساهمتها في تحسين الإنتاج يجب الفهم الصحيح والمفصل لطبيعتها ولا يتم ذلك إلا بالتعرف على خصائصها المتمثلة فيما يلي :

1/ تنوع أعمال : أي أنها مجموعة متناسقة ومتكاملة فيما بينها تبدأ من مرحلة التحضير لجميع الآلات والمعدات حتى مرحلة التركيب والتشغيل ثم مرحلة المراقبة والمتابعة إلا أن إدارة الصيانة تسعى للوصول الى تشغيل المعدات بأقل تكلفة.

2/ توفير اعمال مجهزة : تتجلى هذه الخاصية في مجموع الأوامر والارشادات المحددة لوقت الصيانة ، وهي مرتبطة بنوعية وكمية المواد وقطع الغيار وكل الوسائل الخاصة بتخطيطها وبرمجتها<sup>(9)</sup>.

3/ تحقيق عمل دائم ومستمر : أي تتخذ كل الاجراءات الضرورية الروتينية منها والدورية بصورة دائمة لأن هذه الاعمال تزيد من تشغيل الآلات وهذا حسب مرحلة الاهتلاك كما يجب العمل على جعل هذه الاستمرارية خاصة بكل الآلات والمعدات وفقاً للخطط والبرامج الموضوعة.

4/ تحقيق الفاعلية : وهذا من خلال صيانة أكبر مجموعة ممكنة من الآلات في أقصر وقت ممكن ، حيث يؤثر انعدام هذه الخاصية مباشرة على الإنتاجية وبالتالي زيادة التوقفات والأعطال المتتالية.

5/ تحسين الانتاجية: حيث تلعب الصيانة دورا كبيرا في تمديد العمل التشغيلي للآلات والمعدات، زيادة على حفظ مواصفاتها التقنية وبالتالي الاستغلال الجيد لها يمكن من استمرارية تدفق الانتاج وجودته، وهذا ما يحقق احترام شروط وآجال التسليم. ويعتبر التنسيق الجيد بين وظيفتي الإنتاج والصيانة بالإضافة الى كفاءة العمال المباشرين من العوامل الأساسية في تحقيق هذه الخاصية ودوامها.

6/ رفع إدارة متخصصة: أي أنها في يد مجموعة من العمال المدربين والمؤهلين لكل أنواع التدخلات المبرمجة منها أو الطارئة مما يحقق ديمومة الوظيفة واستمراريتها.

#### الفرع الرابع : مفهوم الإنتاجية وأهميتها:

إن عملية إجراء صيانة في المؤسسة تمس العمليات الداعمة للإنتاج هذه الوضعية الاعترافية تقود الى معرفة العلاقة المحددة مع الإنتاج لأن الصيانة تعبر عن نشاط إنتاجي وليس عبء على المؤسسة فالإبقاء أو الحفاظ maintenir يعني ضمان الجاهزية للإنتاج وبالتالي ضمان الكمية والجودة. وعلى هذا أخذت المؤسسات تنقِط شيئاً فشيئاً للرهان الاقتصادي الذي تمثله الصيانة بصفة عامة وصيانة تجهيزات الإنتاج بصفة خاصة ، فالصيانة من الآن فصاعداً يجب اعتبارها مصدراً للإنتاجية وأحد ركائز النشاط الصناعي ، فتخفيض سعر التكلفة يتأتى من تخفيض التوقعات والرفع من جاهزية وسائل الإنتاج وبالتالي الرفع من الإنتاجية والاستمرارية وجودة الإنتاج. وهنا تجدر الإشارة الى توضيح فكرة أن وظيفة الصيانة مصدر للربح من خلال:

1/ جاهزية الآلات للعمل المستمر: تخفيض تكاليف الطاقة واللاجودة.

2/ بواسطة الدراسات ومشاريع التحسين.

3/ بواسطة تحسين الانتاجية الشاملة للمؤسسة.

4/ تحاشي أعطال الآلات.

5/ تحسين الإنتاجية.

6/ الوصول بالتوقعات عن التشغيل الى الوضع الأمثل.

7/ تطوير نشاطات تطوير تجهيزات الإنتاج من أجل الرفع من الجاهزية.

#### مفهوم الإنتاج :

كان مفهوم الإنتاجية غامضاً غير محدد حتى قام الاقتصادي المجري روستاس (Rostas) بنشر دراسته الشهيرة عن الإنتاجية في الصناعات الأمريكية والبريطانية والتي أثارت اهتمام العديد من الدارسين ، وشكلت نقطة البداية من الأبحاث والدراسات عن الإنتاجية وقياسها والعوامل المؤثرة فيها

، وعلى الرغم من كثرة الابحاث والدراسات التي قدمت خلال السنوات الأخيرة والتي أدت الى تسليط الضوء حول جوانب مهمة لمفهوم الانتاجية مما أدى الى ظهور عدة تعاريف للإنتاجية فقد عرفت منظمة العمل الدولية على أنها: النسبة الحسابية بين مخرجات الثروة المنتجة ومدخلات الموارد التي استعملت في عمليات الإنتاج.

### أهمية الإنتاجية:

تعتبر الإنتاجية مؤشرا مهما للحكم على مستوى كفاءة الإدارة وكيفية استغلالها للموارد المتاحة من أجل الحصول على أفضل النتائج. وعلى ذلك فإن زيادة الانتاجية يعني إمكانية زيادة أجور العاملين وإدخال التقنيات الفنية الحديثة لتطور المنتج ورفع معدل المهارة للعمال، أي بمعنى محاولة الإدارة استغلال الموارد المتاحة لها الاستغلال الجيد أما الفوائد التي تحققها زيادة الإنتاجية على مستوى المنشأة فهي كالتالي:

- 1- تحقيق الأرباح وزيادة القدرة على الاستثمار بتمويل ذاتي.
- 2- توسع نطاق السوق عن طريق تقديم المزيد من السلع والخدمات.
- 3- الاستخدام الكفاء للطاقات الإنتاجية ومن ثم خلق فرص التوظيف والتشغيل.
- 4- زيادة مرتبات وأجور العمال ، وبالتالي النهوض بمستوى المجتمع ككل<sup>(10)</sup>.

## المبحث الثاني : تكاليف الصيانة:

سنتطرق في هذا المبحث الى عناصر تكاليف الصيانة ومؤشرات الصيانة.

### الفرع الأول: تكاليف الصيانة:

لكل عمل تكلفة والتصرف الرئيسي لكل مؤسسة هو البحث عن أقل تكلفة معايير الجودة الضرورية. واعمال الصيانة هي مزيج من العمل الفني والمواد وأدوات الصيانة والتكاليف المرتبطة بأعمال الصيانة هي:

1/ تكلفة الأجور: الأجر هو مقابل الحصول على جهد او عمل بشري ولا يمكن تصور تكلفة بشري ، والأعمال ذات الصلة الأولية إنما تتم بتوجيه إنساني ومن خلال جهد منظم مسبقا ، وحسن استخدام اليد العاملة هو بمثابة استثمار جيد للموارد البشرية ، قد يكون الأجر متمثل في النقود التي يحصل عليها العامل في نهاية مدة محدودة ولقاء القيام بعمل معين.

1. الأجور الخارجية: وهي تلك المبالغ المدفوعة للفنيين والعمال وورشات الصيانة من خارج المؤسسة مقابل أدائهم لأعمال الصيانة.

2. الأجور الداخلية: وهي تلك المبالغ المدفوعة للفنيين والعمال وورشات الصيانة من داخل المؤسسة مقابل خدماتهم.

2/ تكلفة المواد : يقصد بالمواد كل ما يستخدم من قطع تبديلية خلال عمليات الصيانة. حيث تستهلك بعض القطع التبديلية نتيجة عوامل الاحتكاك ويؤدي الاستخدام الجيد للقطع التبديلية الى نقص تكلفة الصيانة كما ان نظام الشراء ركن مهم وعامل مرجح لزيادة التكلفة.

3/ التكلفة الغير مباشرة: تعتبر عناصر التكلفة الغير مباشرة جزءا مهما من أجزاء التكلفة حيث تلعب دوراً أساسيا في زيادة تكلفة الصيانة وتزداد بعض هذه العناصر مع تزايد الإنتاج ، ويشكل البعض الآخر نفقة ثابتة كالأجارات والاهلاكات والتأمين.

كما يشمل هذا العنصر من التكلفة أجور المشرفين ، والإداريين في الإدارة الصيانة وتعتبر أجور النقل لعنصر تكلفة غير مباشرة عندما تعتمد الإدارة سياسة الصيانة المركزية.

4/ تكلفة الفرصة المضاعة: إن تكلفة الفرصة المضاعة هي تكلفة ناتجة عن ضياع فرصة استثمار الأموال التي انفقت على العناصر التي سبق ذكرها (أجور ، مواد ، التكلفة غير المباشرة).

5/ تكلفة الوقت الضائع: الوقت الضائع هو الوقت الغير منتج والناجم عن توقف العمال عن العمل بسبب ما كالعطل العادي "، أو العطل الطارئ أو بسبب الإهمال أو الإجهاد أثناء المسيرة العادية للعمل ، أما تكلفة الوقت الضائع فتتمثل مجموع الأجور المدفوعة للعمال للمتوقفين عن العمل. ويتبلور الوقت الضائع في (صفوف الانتظار) وتظهر هذه الحالة عندما يزيد الطلب على الإصلاح عن طاقة إدارة الصيانة مما يسبب الانتظار وتؤدي الى خسائر مالية تتمثل في توقف الآلات عن الإنتاج.

يمكن تقسيم الوقت الضائع إلى:

- وقت ضائع بسبب العامل كالتأخير عن الحضور للعمل ، والأحداث الجانبية بين العمال والانصراف المبكر .

- وقت ضائع بسبب الإدارة وهو يحدث نتيجة لسوء تنظيم العمل من قبل الإدارة.

- وقت ضائع لأسباب فنية مثل حالات التوقف الناتجة عن انقطاع التيار الكهربائي<sup>(4)</sup>.

#### تكاليف الصيانة:<sup>(4)</sup>

| تكاليف مباشرة                       | تكاليف غير مباشرة                            |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| تكاليف المواد المستعملة في الصيانة  | تكاليف المستخدمين الغير المحددة بدقة         |
| أجور الافراد العاملين في الصيانة    | تدريب المستخدمين                             |
| تكاليف المعدات المستخدمة في الصيانة | نفقات العناية بالإصلاح والادوات المخصصة      |
| تكاليف إعادة التصحيح (التعديل)      | نفقات مرتبطة بتطور وتحديث الوثائق التقنية    |
| التكاليف الإدارية لإدارة الصيانة    | نفقات الهياكل، صيانة التجهيزات، والسيارات    |
|                                     | النفقات الادارية المرتبطة باللجوء الى الضمان |

## الفرع الثاني: تصنيف تكاليف الصيانة:

تنقسم الصيانة حسب طبيعتها وبحسب جهة التنفيذ الى:

- 1/ الصيانة بحسب طبيعتها: وذلك بمراعاة الظروف إلى تأكد تام وظروف لا تأكد ومن المعلوم أن الإدارة كلما استطاعت التحكم بظروف اللا تأكد على ظروف التأكد التام كلما كانت قراراتها أصوب.  
- التكاليف الغير قابلة للتحكم (ظروف اللا تأكد): وهي التكاليف الناتجة عن الأعطال الطارئة والتي تكون معلومة الحدود عادة ومن الصعب تحديد المسؤول عنها.  
- التكاليف القابلة للتحكم (ظروف التأكد التام) : وهي التكاليف الناتجة عن الصيانة الوقائية وتكون الاعطال في هذه الحالة معلومة الحدود (زمنًا وتكلفة).

- 2/ الصيانة حسب جهة تنفيذها: من المفيد عزل تكاليف الصيانة الداخلة الخارجية في قوائم مالية ، او إلزام ادارة الصيانة بإعداد قائمة التكاليف بين كل نوع من انواع الصيانة وحجم وتكاليف وذلك للإفصاح عن سياستها اتجاه الصيانة ، مع بيان الفترات اللازمة لكل نوع من أنواع الصيانة<sup>(4)</sup>.

## الفرع الثالث: مؤشرات الصيانة:

ان الاسلوب الأمثل لإدارة أعمال الصيانة يكون من خلال حصول قسم الصيانة على كمية وفيرة من المعلومات تساعد في معرفة مستويات ادائه، ويستطيع قسم الصيانة الاعتماد على جملة مؤشرات ومعايير تمكن من الحكم على مستوى ونوعية الصيانة المطبقة وهذه المؤشرات هي:

### 1/ مؤشرات اقتصادية:

يستخدم مسؤولو إدارة الصيانة مجموعة من المؤشرات لدراسة وتحليل الموازنة المخصصة للصيانة ، وهذا من اجل اتخاذ التدابير الضرورية والإجراءات اللازمة التي تمكنهم من تحديد استراتيجية العمل المناسبة لتحقيق المردودية الفعلية ، وتجسيد الأهداف المسطرة.

$$\text{المؤشر الأول} = \frac{\text{تكاليف الصيانة}}{\text{القيمة المضافة للمنتج}}$$

تمثل هذه النسبة لإجراء المقارنات بين الوحدات والشركات في مجالات مماثلة فإنه يمكن ان يكتمل بحلول المؤشرات الثانية.

$$\text{المؤشر الثاني} = \frac{\text{تكلفة الصيانة} + \text{تكاليف الأعطال}}{\text{دوران على إنتاج}}$$

تمثل هذه النسبة لمتابعة تطور الكفاءة الاقتصادية للصيانة.

$$\text{المؤشر الثالث} = \frac{\text{تكلفة الخدمات الخارجية}}{\text{تكلفة الصيانة}}$$

تمثل هذه النسبة نسبة الخدمات الخارجية من إجمالي تكاليف الصيانة.

$$\text{المؤشر الرابع} = \frac{\text{قيمة السلع} + \text{تكلفة الصيانة}}{\text{الكمية المنتجة}}$$

تمثل هذه نسبة تتبع تطور تكاليف التشغيل للوحدة المنتجة<sup>(11)</sup>.

$$\text{المؤشر الخامس} = \frac{\text{تكاليف الوثائق التقنية}}{\text{تكلفة الصيانة}}$$

تمثل هذه النسبة تكاليف الوثائق التقنية من إجمالي تكاليف الصيانة.

$$\text{المؤشر السادس} = \frac{\text{تكاليف الصيانة الوقائية}}{\text{إجمالي تكاليف الصيانة}}$$

$$2/ \text{المؤشرات التقنية: ساعة عمل}$$

$$\text{المؤشر الاول} = \frac{\text{الوقت المستعمل}}{\text{وقت الصيانة}}$$

تمثل هذه النسبة تغير في معدلات إنتاج المعدات.

$$\text{المؤشر الثاني} = \frac{\text{الوقت الفعلي}}{\text{وقت التوقف الفعلي}}$$

تمثل هذه النسبة وتستخدم لتقييم جاهزية المعدات.

$$\text{المؤشر الثالث} = \frac{\text{الوقت المستعمل للصيانة}}{\text{الوقت المتاح للصيانة}}$$

تمثل هذه النسبة أهمية الأنشطة في اعداد عمل مقارنة التدخلات على الممتلكات.

$$\text{المؤشر الرابع} = \frac{\text{الوقت المستعمل للصيانة التصحيحية}}{\text{الوقت المستعمل للصيانة}}$$

وتبين هذه النسبة على أهمية الصيانة التصحيحية في التدخلات الفعالة في الصيانة.

$$\text{المؤشر الخامس} = \frac{\text{الوقت المستعمل للصيانة الوقائية}}{\text{الوقت المستعمل للصيانة}}$$

وتبين هذه النسبة على أهمية الصيانة الوقائية في التدخلات الفعالة في الصيانة.

تؤثر الأعطال في صناعة الاسمنت أو فرن الاسمنت على عدة جوانب ، وتشمل ما يلي:

#### 1. الأعطال الميكانيكية:

\* تآكل المعدات: نتيجة لاحتكاك المستمر ودرجات الحرارة العالية، تتعرض المعدات لتآكل يؤدي الى تلفها.

\* تعطل المحركات والمضخات: يؤدي توقف هذه الاجزاء الحيوية الى توقف خطوط الإنتاج.

\* مشاكل في ناقلات الحركة: مثل السيور والتروس، التي تنقل المواد عبر مراحل الإنتاج.

\* أعطال في بطانة الطوب الحراري للفرن: تآكل وتلف الطوب الحراري المبطن للفرن الدوار يؤدي

الى تسرب الحرارة وتقليل كفاءة الفرن.

#### 2. الاعطال الكهربائية:

\* انقطاع التيار الكهربائي: يؤدي الى توقف كامل للعمليات الإنتاجية.

\* أعطال في أنظمة التحكم: مثل الحساسات والمفاتيح الكهربائية، التي تتحكم في العمليات.

\* مشاكل في الأسلاك والكابلات: نتيجة للحرارة والغبار، مما يؤدي الى ماس كهربائي.

### 3. الأعطال التشغيلية:

- \* مشاكل في نظام التغذية: مثل انسداد القنوات (السايفون) أو عدم انتظام تدفق المواد.
- \* مشاكل في نظام الاحتراق: مثل عدم كفاءة الاحتراق أو مشاكل في إمداد الوقود.
- \* مشاكل في نظام التبريد: مثل عدم كفاءة التبريد أو مشاكل في تبريد الكلنكر.
- \* توليد الغبار: يعد توليد الغبار مشكلة شائعة في الأفران الدوارة مما يؤدي الى تلوث البيئة والمخاطر الصحية وفقدان المواد.

### 4. الأعطال المتعلقة بالمواد:

- \* تغير في جودة المواد الخام: يؤدي الى مشاكل في عملية الإنتاج وجودة المنتج النهائي.
- \* تكتل المواد: يؤدي الى انسداد المعدات وتوقف الإنتاج.
- 5. تأثير الأعطال على صناعة الاسمنت:
- \* توقف الإنتاج: يؤدي الى خسائر مالية وتأخير في تسليم المنتج.
- \* زيادة تكاليف الصيانة: نتيجة لإصلاح الاعطال واستبدال المعدات التالفة.
- \* تدهور جودة المنتج: نتيجة لعدم استقرار العمليات الإنتاجية.
- \* تأثيرات بيئية: مثل زيادة انبعاثات الغبار والغازات الضارة.
- لتقليل هذه الأعطال، يجب:

- \* إجراء صيانة دورية للمعدات.
- \* استخدام معدات عالية الجودة.
- \* تدريب العاملين على التعامل مع المعدات بشكل صحيح.
- \* تركيب أنظمة فعالة لتجميع الغبار، مثل المرسبات الكهروستاتيكية (الفلاتر) أو المرشحات الكيسية لالتقاط وتقليل انبعاثات الغبار.

\* ترقية أنظمة الشعلات لتحسين كفاءة الاحتراق وتقليل استهلاك الوقود.

\* تحسين عزل الفرن لتقليل فقدان الحرارة والحفاظ على درجات حرارة داخلية ثابتة.

## الباب الثالث

### الدراسة الميدانية

المبحث الأول: مصنع أسمنت بربر بولاية نهر النيل:

الموقع والتأسيس:

يقع المصنع على بعد نحو 8 كلم جنوب شرق بلدة بربر، التي تبعد حوالي 350 كم شمال الخرطوم، بمحاذاة الضفة الشرقية لنهر النيل، و6 كم من خط السكة الحديد والطريق القومي بين عطبرة وبربر. تأسس بتكلفة تقارب 210 مليون دولار، ويعمل بتكنولوجيا أوروبية وصينية.

الطاقة الإنتاجية والتقنيات:

طاقته الإنتاجية التصميمية تصل إلى 5000 طن أسمنت يومياً ( $\approx 1.58$  مليون طن سنوياً). يستخدم المصنع تقنيات متقدمة في الإنتاج، ويعتمد في مدخلاته على محاجر محلية (رملة حجر تيفيلا، ورخام قريبة).

موقعه ضمن سوق الأسمنت السوداني:

يعد من بين 8 مصانع أسمنت رئيسية عاملة في السودان، مثل عطبرة، الأمل، التكامل، الشمال، السلام، وغيرها.

الإنتاج السنوي للمصنع عام 2015 بلغ حوالي 369,600 طن، من إجمالي إنتاج الأسمنت السوداني الذي تجاوز 3.7 مليون طن في تلك السنة.

تحديات تشغيلية:

في السنوات الأخيرة، تراجع الإنتاج بشكل ملحوظ بسبب انقطاع الكهرباء ونقص الوقود، حيث انخفض إنتاج المصنع من 70,000 طن إلى 30,000 طن شهرياً خلال 2018.

هذا الانخفاض أثر على الإيرادات ودفع سعر الطن للارتفاع، وقد ظهرت مخاوف من إمكانية التوقف إذا استمر الوضع.

الخلاصة:

مصنع بربر للأسمنت هو أحد أعمدة صناعة الأسمنت في السودان، بطاقة إنتاجية عالية وتقنيات حديثة، ويخدم المناطق الشمالية والمجاورة لإثيوبيا. لكن مثل غيره من المنشآت، تأثر بالتحديات الطاقة والوقود.

المبحث الثاني : تحليل البيانات

|    |            |       |       |      |
|----|------------|-------|-------|------|
| 1  | 11/01/21   | 07.50 | 08.10 | 0:20 |
|    |            | 19.50 | 20.20 | 0:30 |
|    |            | 02.55 | 03.35 | 0:40 |
|    |            | 03.35 | 04.00 | 0:25 |
|    |            | 10.50 | 11.10 | 0:20 |
|    |            | 00.15 | 00.30 | 0:15 |
| 3  | 11/03/21   | 16.10 | 17.30 | 1:20 |
|    |            | 21.10 | 21.30 | 0:20 |
| 4  | 11/04/21   | 08.45 | 09.00 | 0:15 |
|    |            | 02.50 | 04.20 | 1:30 |
| 5  | 11/05/21   | 07.20 | 07.40 | 0:20 |
|    |            | 10.10 | 10.30 | 0:20 |
|    |            | 01.25 | 02.10 | 0:45 |
|    |            | 02.50 | 03.20 | 0:30 |
|    |            | 04.20 | 04.40 | 0:20 |
| 6  | 11/06/21   | 06.15 | 06.30 | 0:15 |
| 8  | 11/08/21   | 08.55 | 11.30 | 2:35 |
|    |            | 11.40 | 12.00 | 0:20 |
|    |            | 17.05 | 17.25 | 0:20 |
|    |            | 19.10 | 19.30 | 0:20 |
|    |            | 20.30 | 21.00 | 0:30 |
|    |            | 21.10 | 21.50 | 0:40 |
| 9  | 11/09/21   | 11.10 | 11.40 | 0:30 |
|    |            | 16.45 | 18.45 | 2:00 |
|    |            | 23.15 | 23.40 | 0:25 |
|    |            | 23.50 | 00.10 | 0:20 |
|    |            | 00.20 | 00.40 | 0:20 |
|    |            | 03.30 | 04.00 | 0:30 |
|    |            | 04.30 | 05.00 | 0:30 |
|    |            | 05.30 | 06.00 | 0:30 |
| 10 | 11/10/21   | 06.40 | 07.00 | 0:20 |
|    |            | 08.30 | 08.50 | 0:20 |
|    |            | 19.15 | 19.30 | 0:15 |
| 11 | 11/11/21   | 16.30 | 17.20 | 0:50 |
|    |            | 20.25 | 20.45 | 0:20 |
| 12 | 11/12/21   | 07.10 | 07.30 | 0:20 |
|    |            | 21.05 | 22.10 | 1:05 |
|    |            | 02.00 | 06.00 | 4:00 |
| 14 | 14/11/2021 | 06.00 | 10.40 | 4:40 |
|    |            | 10.40 | 13.00 | 2:20 |
|    |            | 14.30 | 14.55 | 0:25 |
|    |            | 15.10 | 15.30 | 0:20 |
| 18 | 18/11/2021 | 06.00 | 06.40 | 0:40 |
|    |            | 08.50 | 09.10 | 0:20 |
|    |            | 12.10 | 12.35 | 0:25 |
|    |            | 12.35 | 13.45 | 1:10 |
|    |            | 17.40 | 18.15 | 0:35 |
|    |            | 04.45 | 05.10 | 0:25 |
|    |            | 06.30 | 07.00 | 0:30 |

|    |            |       |       |      |
|----|------------|-------|-------|------|
| 19 | 19/11/2021 | 09.30 | 09.50 | 0.20 |
|    |            | 14.40 | 15.05 | 0.25 |
|    |            | 16.35 | 17.00 | 0.25 |
|    |            | 17.00 | 17.20 | 0.20 |
|    |            | 17.20 | 17.30 | 0.10 |
|    |            | 18.50 | 19.10 | 0.20 |
|    |            | 19.45 | 20.10 | 0.25 |
|    |            | 20.15 | 20.30 | 0.15 |
| 20 | 20/11/2021 | 07.00 | 07.25 | 0.25 |
|    |            | 07.50 | 08.10 | 0.20 |
|    |            | 09.50 | 10.15 | 0.25 |
|    |            | 10.30 | 10.50 | 0.20 |
|    |            | 11.10 | 12.55 | 1.45 |
|    |            | 13.00 | 13.35 | 0.35 |
|    |            | 17.00 | 17.25 | 0.25 |
| 21 | 21/11/2021 | 08.35 | 09.10 | 0.35 |
|    |            | 09.40 | 10.00 | 0.20 |
|    |            | 10.00 | 10.40 | 0.40 |
|    |            | 14.10 | 14.40 | 0.30 |
|    |            | 17.40 | 18.20 | 0.40 |
|    |            | 18.20 | 19.00 | 0.40 |
|    |            | 19.10 | 19.30 | 0.20 |
|    |            | 21.10 | 21.35 | 0.25 |
| 22 | 22/11/2021 | 23.00 | 23.25 | 0.25 |
|    |            | 06.25 | 06.45 | 0.20 |
|    |            | 11.40 | 12.00 | 0.20 |
|    |            | 12.00 | 12.30 | 0.30 |
|    |            | 14.05 | 14.25 | 0.20 |
|    |            | 14.25 | 15.00 | 0.35 |
|    |            | 00.30 | 00.50 | 0.20 |
|    |            | 00.50 | 01.10 | 0.20 |
|    |            | 01.10 | 01.40 | 0.30 |
|    |            | 05.10 | 05.30 | 0.20 |
| 23 | 23/11/2021 | 05.30 | 05.55 | 0.25 |
|    |            | 05.55 | 06.00 | 0.05 |
|    |            | 06.00 | 06.35 | 0.35 |
|    |            | 06.50 | 15.30 | 8.40 |
|    |            | 15.30 | 18.15 | 2.45 |
|    |            | 18.15 | 19.50 | 1.35 |
|    |            | 20.05 | 20.25 | 0.20 |
|    |            | 23.15 | 23.40 | 0.25 |
| 24 | 24/11/2021 | 03.00 | 03.35 | 0.35 |
|    |            | 03.40 | 04.00 | 0.20 |
|    |            | 07.00 | 11.50 | 4.50 |
|    |            | 11.50 | 12.30 | 0.40 |
|    |            | 19.05 | 19.30 | 0.25 |
|    |            | 19.30 | 20.00 | 0.30 |
|    |            | 20.00 | 20.50 | 0.50 |
|    |            | 20.50 | 00.40 | 3.50 |
|    |            | 05.40 | 06.00 | 0.20 |

|    |            |       |       |      |
|----|------------|-------|-------|------|
| 25 | 25/11/2021 | 06:00 | 06:10 | 0.10 |
|    |            | 06:10 | 06:55 | 0.45 |
|    |            | 15:25 | 17:30 | 2.05 |
|    |            | 17:30 | 19:40 | 2.10 |
|    |            | 19:40 | 20:30 | 0.50 |
|    |            | 22:00 | 22:15 | 0.15 |
|    |            | 22:15 | 00:30 | 2.15 |
| 26 | 26/11/2021 | 07:20 | 07:30 | 0.10 |
|    |            | 07:30 | 08:30 | 1.00 |
|    |            | 08:30 | 09:30 | 1.00 |
|    |            | 09:30 | 11:40 | 2.10 |
|    |            | 11:40 | 13:00 | 1.20 |
|    |            | 13:00 | 14:10 | 1.10 |
|    |            | 14:10 | 16:40 | 2.30 |
|    |            | 16:40 | 17:30 | 0.50 |
|    |            | 17:30 | 18:00 | 0.30 |
|    |            | 18:00 | 18:30 | 0.30 |
|    |            |       |       | 2.00 |
|    |            |       |       | 7.30 |
|    |            | 04:00 | 04:50 | 0.50 |
| 27 | 27/11/2021 | 08:00 | 08:15 | 0.15 |
|    |            | 08:15 | 12:45 | 4.30 |
|    |            | 12:45 | 15:30 | 2.45 |
|    |            | 15:30 | 16:25 | 0.55 |
|    |            | 17:00 | 17:10 | 0.10 |
|    |            | 17:10 | 17:35 | 0.25 |
|    |            | 17:35 | 18:00 | 0.25 |
|    |            | 18:00 | 18:50 | 0.50 |
|    |            | 18:50 | 19:20 | 0.30 |
|    |            | 19:25 | 22:40 | 3.15 |
|    |            | 22:40 | 23:20 | 0.40 |
|    |            | 23:20 | 23:45 | 0.25 |
|    |            | 23:45 | 00:20 | 0.35 |
|    |            | 00:20 | 00:30 | 0.10 |
|    |            | 00:30 | 03:10 | 2.40 |
|    |            | 03:10 | 03:50 | 0.40 |
|    |            | 03:55 | 04:15 | 0.20 |
|    |            | 04:15 | 04:35 | 0.20 |
|    |            | 04:35 | 05:00 | 0.25 |
|    |            | 05:00 | 05:25 | 0.25 |
|    |            | 05:25 | 05:30 | 0.05 |
|    |            | 05:30 | 06:00 | 0.30 |
| 28 | 28/11/2021 | 14:50 | 15:10 | 0.20 |
|    |            | 15:25 | 15:40 | 0.15 |
|    |            | 15:40 | 17:00 | 1.20 |
|    |            | 20:40 | 21:00 | 0.20 |
|    |            | 21:00 | 21:20 | 0.20 |
|    |            | 02:15 | 02:35 | 0.20 |
|    |            | 02:35 | 02:50 | 0.15 |
|    |            | 05:55 | 06:00 | 0.05 |

|    |            |                    |       |        |
|----|------------|--------------------|-------|--------|
| 29 | 29/11/2021 | 06.00              | 07.15 | 1.15   |
|    |            | 07.15              | 07.30 | 0.15   |
| 30 | 30/11/2021 | 07.05              | 08.35 | 1.30   |
|    |            | 09.20              | 09.45 | 0.25   |
|    |            | 03.30              | 03.50 | 0.20   |
| 31 |            | Downtime           |       | 330:45 |
| 32 | Downtime   |                    |       |        |
| 33 | SIN        | Power instruction. |       | 0:25   |
| 34 | MEC        | Mechanical         |       | 122:15 |
| 35 | ELE        | Electrical         |       | 15:20  |
| 36 | PRC        | Process            |       | 60:35  |
| 37 | INST       | Instrument.        |       | 1:35   |
| 38 | Civil      | Civil              |       | 0:00   |
|    | Other      | Other              |       | 0:00   |
| 39 | Util       | Utility            |       | 53:05  |
| 40 |            | Total              |       | 253:15 |



|                                                        |  |  |     |
|--------------------------------------------------------|--|--|-----|
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Power instruction.                                     |  |  |     |
| Main drive tripped ESS alarm                           |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Top air slide blower 4208/M tripped                    |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Mech. work on bucket elevator chute                    |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Tow way valve 4104 jam                                 |  |  |     |
| Power instruction.                                     |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low             |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Main drive tripped ESS alarm                           |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low             |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low             |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low             |  |  |     |
| Main drive tripped ESS alarm                           |  |  |     |
| Main drive tripped ESS alarm                           |  |  |     |
| Silo B/E 4201 B/M bottom drum bearing damaged          |  |  |     |
| Elec. Problem at hot gas pump                          |  |  |     |
| heat up                                                |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| cylinder #3 bolt broken & cylinder #2 bladder replaced |  |  |     |
| heat up                                                |  |  | PRC |
| High vibration                                         |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low             |  |  |     |
| Cylinder #1 pressure dropped                           |  |  |     |
| Tension pressure low                                   |  |  |     |
| High vibration                                         |  |  | PRC |

|                                                           |  |  |     |
|-----------------------------------------------------------|--|--|-----|
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Power instruction.                                        |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low 3 times        |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low 3 times        |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Roller not lowering due to high diffrenace at cylinder #1 |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low 4 times        |  |  |     |
| Cooling down 2 times                                      |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| Main drive tripped ESS alarm                              |  |  |     |
| Water spray pump tripped ESS                              |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Main drive tripped ESS alarm                              |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low 2times         |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| heat up                                                   |  |  | PRC |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Power instruction.                                        |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Oil pressure at seg.thrust bearing low low                |  |  |     |
| Cooling down                                              |  |  |     |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Main drive tripped ESS alarm 4times                       |  |  |     |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Main drive tripped ESS alarm                              |  |  |     |
| High vibration                                            |  |  | PRC |
| Main drive tripped ESS alarm                              |  |  |     |
| Cylinder #2 one bolt missed                               |  |  |     |



## الباب الرابع

### مناقشة النتائج

كشفت نتائج الدراسة الميدانية في مصنع أسمنت بربر عن وجود ارتباط وثيق بين فعالية نظام الصيانة ومعدلات الإنتاجية، وهو ما يتماشى مع فرضيات الدراسة. أظهرت البيانات التي تم جمعها وتحليلها أن نسبة كبيرة من التوقفات ناتجة عن أعطال ميكانيكية، حيث بلغت حوالي 65% من إجمالي الأعطال المسجلة، تلتها الأعطال المتعلقة بالعمليات بنسبة 15%، ثم خدمات المساندة (Utility) بنسبة 13%، في حين كانت الأعطال الكهربائية في حدود 6%، وأعطال الأجهزة الدقيقة معدومة تقريباً.

إن تكرار الأعطال المرتبطة بالاهتزاز العالي (High Vibration) وانخفاض ضغط الزيت (Oil Pressure Low) وارتفاع درجات الحرارة (Heat Up) يشير إلى ضعف واضح في تطبيق برامج الصيانة الوقائية والتنبؤية. وقد لوحظ أن العديد من هذه الأعطال كانت قابلة للكشف المبكر عبر أدوات تحليل الحالة، مثل أجهزة تحليل الاهتزاز وقياس درجة الحرارة والضغط، مما يدعم صحة الفرضية الأولى:

H1: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين كفاءة نظام الصيانة وزيادة الإنتاجية.

علاوة على ذلك، فإن الأعطال المتكررة والمتشابهة في طبيعتها، تدل على غياب أو قصور في تطبيق منهجية تحليل جذور المشكلات (Root Cause Analysis)، الأمر الذي يؤدي إلى إعادة تكرار العطل دون حلول دائمة، مما يؤثر سلباً على زمن التشغيل الفعلي ويزيد من تكاليف الصيانة.

وقد أظهرت البيانات أن الاعتماد المفرط على الصيانة التصحيحية (بعد حدوث العطل) أسهم بشكل كبير في ارتفاع زمن التوقف الكلي، وهو ما كان بالإمكان الحد منه من خلال تطبيق جداول منتظمة للصيانة الوقائية. هذا ما يؤكد صحة الفرضية الثانية:

H2: انخفاض الأعطال بسبب الصيانة الوقائية يؤدي إلى تقليل التوقفات وتحسين الأداء.

كما أن تنفيذ صيانة تنبؤية فعالة – على الرغم من تكلفتها المبدئية المرتفعة – كان من الممكن أن يحد من الأعطال المتكررة، ويقلل من الأثر المالي الناتج عن توقف الإنتاج. وهو ما يتوافق مع الفرضية الثالثة:

H3: التكاليف العالية للصيانة التنبؤية تُعوَّض بتحسين كفاءة التشغيل.

بالنظر إلى الأثر الكلي لهذه الأعطال، فإن فترات التوقف المسجلة تسببت في خسائر ملموسة سواء على مستوى الوقت أو الطاقة أو الإنتاج، مما يستوجب إعادة النظر في آليات وإستراتيجيات الصيانة المعتمدة حالياً، والانتقال إلى نموذج أكثر تطوراً يقوم على التحليل المبكر والتخطيط الاستباقي.

#### الاستنتاج:

من خلال هذه النتائج، يتضح أن نظام الصيانة يلعب دوراً جوهرياً في رفع كفاءة الأداء وتحسين الإنتاجية، وأن تحسين برامج الصيانة يمكن أن ينعكس إيجاباً على الاقتصاد التشغيلي للمؤسسة. كما أن تقنيات التحليل الإحصائي المعتمدة مثل تحليل التباين والانحدار يمكن أن تساهم في تقديم مؤشرات واضحة لتوجيه قرارات الإدارة في مجال تطوير الصيانة الصناعية.

## الباب الخامس

### النتائج والتوصيات

#### النتائج المتوقعة: (Expected Outcomes)

1. وجود علاقة قوية بين كفاءة الصيانة وتحسن مؤشرات الإنتاج.
2. كشف ضعف الصيانة التصحيحية واعتماد غير كافٍ على الصيانة الوقائية.
3. تقديم نموذج محلي لتحسين الصيانة الصناعية.
4. غياب توثيق إلكتروني دقيق لأعطال الصيانة.
5. الحاجة إلى تطوير برامج تدريب للكوادر الفنية.
6. ضعف التنسيق بين أقسام الإنتاج والصيانة.

#### التوصيات: (Recommendations)

1. تعزيز الصيانة الوقائية والتنبؤية بدلاً من الاعتماد على الصيانة التصحيحية فقط.
2. تطوير نظام رقمي لتوثيق الأعطال وتحليل أسبابها (مثل استخدام نظام CMMS).
3. تدريب فنيي الصيانة على تحليل الاهتزاز والضغط والحرارة لاكتشاف الأعطال مبكراً.
4. تحسين التنسيق بين أقسام التشغيل والصيانة لضمان سرعة الاستجابة.
5. ربط مؤشرات الأداء الإنتاجي بفعالية نظام الصيانة بشكل مباشر في نظام التقييم.
6. تخصيص ميزانية مناسبة للصيانة طويلة الأجل.
7. الاستفادة من التحول الرقمي في مراقبة الأداء.

## المراجع:

1. صفاء محمد هادي هاشم، استخدام بحوث العمليات في تقدير دورة الصيانة الوقائية، مقال عملي، البصرة ، 2002م.
2. Jean Heng, pratique de la maintenance preventive, Dunod, Paris, 2002, p03
3. عبد الكريم محسن، صباح مجيد النجار، إدارة الإنتاج والعمليات، مكتبة الذاكرة، جامعة بغداد، الطبعة الثانية، 2006م، ص522.
4. بوعنينة وهيبة، دور إدارة الصيانة في تخفيض تكاليف الإنتاج، مذكرة لنيل شهادة ماجستير اقتصاد وتسيير المؤسسة، جامعة سكيكدة ، 2006 ، ص11
5. Liliane Pentelon and Frank Van puyvelde maintenance Decision making first edition , Acco , Leuven , Belgium , 2006 , p03
6. مفيد فاطمة ، تخطيط اعمال الصيانة باستخدام الأساليب الكمية ، مذكرة لنيل شهادة الماجستير، بحوث العمليات وتسيير المؤسسات ، جامعة تلمسان ، 2010 ، ص51
7. Decision making first edition , Acco , Leuven , Belgium , 2006 , p03
8. R, KEITHMOBLEY, MAINTENANCE FUNDAMENTALS, 2ND EDITION , PARIS , 2004
9. عبد الغاني تلابت، تأثير الصيانة على تكاليف الجودة في المؤسسة الصناعية، مذكرة لنيل شهادة الماجستير المؤسسات ، جامعة باتنة ، 2002.
10. زرقى عمار، التعمير بإدارة الصيانة كاختيار استراتيجي للمؤسسة الصناعية مدخل لتحسين الإنتاجية، مذكرة لنيل شهادة الماجستير اقتصاد وتسيير المؤسسة جامعة ورقلة، 2011 ، ص35.
11. دويس محمد الطيب، مؤشرات تكاليف الصيانة، محاضرات سنة أولى ماستر، ص 75-76.