تخطيط أعمال الصيانة باستخدام الأساليب الكمية

- دراسة حالة مؤسسة ALZINC-

د. بلعربي عبد القادر[2] ، مغبر فاطمة الزهراء، نسيمة لعرج مجاهد

belarbiabdelkader@yahoo.fr

ملخص:

يتطرق هذا البحث إلى إبراز أهمية الصيانة كوظيفة استراتيجية في المؤسسة يجب أن تنظم وتسير بطريقة صحيحة وفق مناهج علمية سليمة. كما يوضح كيفية تطبيق الأساليب الكمية في تخطيط أعمال الصيانة ومدى أهميتها في زيادة اتاحية المعدات الانتاجية. يتم تطبيق أحد الأساليب الكمية في مؤسسة جزائرية (مؤسسة ALZINC) مختصة في انتاج الزنك الصافي وهو صنف رفيع خاص (Spécial High Grade ou SHG) مسجل ببورصة لندن للمعادن LME. يتم ذلك عن طريق دراسة حجم وطبيعة الأعطال التي تتعرض لها الآلات ومن ثم تخطيط أعمال الصيانة باستخدام أسلوب المسار الحرج قصد تقليص زمن توقفها لأجل تحسين سير العملية الانتاجية.

الكلمات المفتاحية: الصيانة، التخطيط، الأساليب الكمية. **JEL CODE:** C61, Z19

Résumé:

Notre travail consiste à illustrer l'importance de la maintenance qui s'impose comme fonction stratégique au sein d'une entreprise soucieuse du bon fonctionnement des équipements. Il explique également comment appliquer les méthodes quantitatives dans la planification des travaux de maintenance et leur importance dans l'augmentation de la disponibilité des équipements. On a utilisé l'une des méthodes quantitatives dans l'entrprise algérienne (ALZINC) spécialisé dans la production du zinc pur de qualité S.H.G enregistré à la bourse de LONDRES des Métaux LME.

Vu le nombre et la nature des pannes que subissent les équipements de la productivité, nous avons choisi la méthode du chemin critique CPM pour planifier les travaux de maintenance. Cette méthode nous montre son importance dans la diminution du temps d'arrêt des équipements et par conséquent augmenter leur disponibilité pour améliorer la productivité.

Mots clés : maintenance, planification, méthode quantitatives.

[2]-أستاذ محاضر بكلية العلوم الاقتصادية، جامعة سعيدة

– أستاذتين وباحثتين بكلية العلوم الاقتصادية جامعة تلمسان

مقدمة:

شهد النصف الأخير من القرن العشرين تطورات هائلة في مجال العلم والمعرفة والتكنولوجيا، الأمر الذي انعكس على المؤسسات الصناعية والخدماتية التي اضطرت لمسايرة هذه التطورات والتفاعل معها تأثرا وتأثيرا. كما أن شدة المنافسة في الأسواق العالمية استلزمت زيادة الإنتاجية وضمان عدم توقف عمليات الإنتاج والاهتمام بمستوى الجودة واستراتيجيات الصيانة الحديثة. ونظرا للارتباط الوثيق بين الجودة والإنتاج وبين إدارة الصيانة التي تعتبر مرتكزا أساسيا لكل من الجودة والإنتاج، فقد تضاعف الاهتمام بالصيانة إلى المدى الذي أصبحت فيه فرعا من فروع العلم والمعرفة له نظرياته وأصوله واستراتيجياته الخاصة.

وعملية الصيانة عملية دقيقة ومحددة إذا ما قورنت بالعمليات الإنتاجية والخدمية الأخرى، وهي تهدف أساسا إلى المحافظة على صحة وسلامة العاملين بالمؤسسة من خلال البرامج المعدة سلفا إلى جانب استخدام الآلات والمعدات بشكل صحيح وسليم، كما أنها ليست مجرد مصاريف وتكاليف تتحملها المؤسسة بدون عائد بل هي تهدف للمحافظة على مستوى أفضل وعالي للإنتاجية.والإعداد والتخطيط لأعمال الصيانة هو من الاستراتيجيات الهامة التي صارت ركيزة من ركائز العمل في جل المؤسسات بمختلف نشاطاتها. وعليه سيتم من خلال هذا البحث التطرق إلى التساؤل الرئيسي المتمثل في الإشكالية التالية:

كيف يمكن تطبيق الأساليب الكمية لمساعدة المؤسسات الجزائرية في تخطيط أعمال الصيانة من أجل تحسين سير العملية الإنتاجية؟

1- مفهوم الصيانة:

تعود جذور كلمة الصيانة إلى المصطلحات الحربية بمعنى"الحفاظ على المعدات وعدد القوات المسلحة في وحدات القتال في مستوى ثابت[3]" . وبعدها وفي سنوات الخمسينات 1950 بالو.م.أ برزت كلمة الصيانة في المجال الصناعي[4]. وحسب معجم ***OXFORD*** فان كلمة الصيانة هي ***Manu Tenere*** و التي تعني حسب نفس المعجم ***"To hold it one's hand"*** أي اجعله في متناول اليد[5] أما المسلمون فقد استعملوا مصطلح"حد العمارة"كمرادف بديل للصيانة.

وتعرض تعريف الصيانة لتقلبات متعددة في معانيه طبقا للنواحي العلمية التي مرت بها الصيانة فحسب المؤسسات الدولية المتخصصة ندرج التعاريف التالية:

- تعريف الجمعية الفرنسية للتنميط (Association Française de Normalisation) AFNOR X 60-010(décembre1994) "الصيانة هي مجموع الأعمال التي تسمح بحفظ أو إعادة المعدة إلى حالتها التشغيلية أو لضمان تحقيق الخدمة المطلوبة منها[6]"

- تعريف اللجنة الأوروبية للتنميط(Comité Européen de Normalisation)CEN WI 319-003(1997)"الصيانة هي مجموع الأعمال التقنية، الإدارية والتسييرية طوال دورة حياة المعدة الموجهة لحفظها وإعادتها إلى الحالة التي تسمح لها بإكمال الوظيفة المنوطة بها[7]" أما المفهوم الحديث للصيانة يربط بين أنشطة الصيانة ودورة الحياة الاقتصادية،

---

[3] François Monchy « Maintenance méthode et organisation », Dunod, Paris, 2000, P : 04
la fonction Maintenance ; Formation à la gestion de la maintenance industrielle », Masson, Paris, 1996, [4] François Monchy « P : 17

3 د.سامر مظهر قنطقجي "ترشيد عمليات الصيانة بالأساليب الكمية"، ص:03
www.Kantakji.com/figh/files/manage/Maintenance.pdf

[6] Groupe de réflexion et d'orientation en maintenance « Réussir sa maintenance », édition Mare Nostrum1996, P : 14
[7] François Monchy « Maintenance méthode et organisation », op.cit, p: 07

ويعتبرها **"مزيجا من الأعمال الإدارية والهندسية والفنية المتعلقة بالمحافظة على الموجودات المادية المتاحة للمؤسسة الصناعية، وتعقب دورة حياتها الاقتصادية، وتهتم بمواصفاتها وتصميمها للتأكد من إمكانية الاعتماد عليها"**[8].

2- تكاليف الصيانة:

2-1- التكاليف المباشرة:

1 - **تكلفة الأجور**:
أعمال الصيانة تتطلب توفر أفراد متخصصين يتم حساب أجورهم بالاستعانة بأمر التدخل الذي يتضمن عدد العمال وعدد الساعات المنجزة من قبل كل عامل.

2- تكلفة المواد:
يقصد بالمواد كل ما يستخدم من قطع تبديلية وأدوات التفكيك والتركيب ووسائل الفحص والمراقبة وزيوت وغيرها خلال عمليات الصيانة.

3- تكلفة الخدمات الخارجية:
ويتم في هذه الحالة الاستعانة بجهات خارج نطاق المعمل تابعة إلى دوائر أخرى إما محلية أو أجنبية للقيام ببعض أعمال الصيانة التي لا تستطيع المؤسسة القيام بها[9].

2-2- التكاليف غير المباشرة:

1 - **التكاليف الإدارية**[10]**:**
وتشمل تكاليف العاملين والمشرفين في قسم الصيانة ومخزن الأدوات الاحتياطية الذين لا يشاركون مباشرة في أعمال الصيانة وكذلك تكاليف الأثاث واندثار الأبنية وخدمات الماء والكهرباء.

2- تكاليف الأضرار:
تشمل مجمل الأضرار التي قد تتحملها المؤسسة نتيجة أعطال خطيرة وتنقسم إلى أضرار داخلية تتمثل فيما يلحق بالمؤسسة من انخفاض في الدخل نتيجة لتوقف الإنتاج وما يتبعه من تكاليف، وأضرار خارجية تتمثل في مجمل الرسوم والغرامات.

3- تكاليف النقل:
تعتبر أجور النقل كعنصر تكلفة غير مباشرة عندما تعتمد الإدارة سياسة الصيانة المركزية. إذ يتوجب في هذه الحالة نقل الآلات والقطع المعطوبة إلى الورشات.

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،..).

---

[8] خالد عبد الرحيم الهيتي وآخرون "أساسيات التنظيم الصناعي"، دار زهران للنشر والتوزيع، عمان، 1997، ص: 152

[9] د.رامي حكمت فؤاد الحديثي"الاتجاهات الحديثة في إدارة الصيانة المبرمجة"، مرجع سابق، ص:128

[10] د.عبد الكريم محسن، د.صباح مجيد النجار"إدارة الإنتاج والعمليات"، مرجع سابق، ص:533

5- تكلفة الوقت الضائع: تكلفة الوقت الضائع تمثل مجموع الأجور المدفوعة للعمال المتوقفين عن العمل لسبب ما كالعطل العادي، أو العطل الطارئ، أو بسبب الإهمال أو الإجهاد أثناء المسيرة العادية للعمل.

6- تكاليف الأعطال:

تكاليف الأعطال تجمع بين تكاليف الإصلاح والخسارة الناتجة عن توقف الإنتاج أو تكاليف عدم الإتاحية الناجمة عن توقف المعدات بسبب العطل. ويعتبر تقييم هذه التكاليف أمر لا غنى عنه بسبب أن الخسارة الناتجة عن توقف الإنتاج بسبب الأعطال تكلف أكثر من نفقات الصيانة.[11]

3- سياسات الصيانة:

3-1- الصيانة غير المخططة:

هي الصيانة غير المقيدة ببرنامج زمني وترتبط فقط بالعطلات ويتوقف زمن الصيانة على الإمكانيات المتوفرة لدى كادر الصيانة كما أن مدة الصيانة غير مخططة لها ولا توجد استعدادات مسبقة لها. وتتمثل الصيانة غير المخططة في الصيانة الاضطرارية وهي الفعالية التي تحتاج إلى ضرورة الإجراء الفوري لمنع حدوث عطل أكبر[12] هذا ما يجعل منها عملية مفتقرة إلى المرونة والسيطرة على الكلفة، ويتم اللجوء إليها فقط في الظروف التي يصعب التنبؤ فيها بالعطلات الفجائية.

3-2- الصيانة المخططة:

هي تنظيم أنشطة الصيانة وانجازها والسيطرة عليها وفق تقديرات مسبقة وتوثيق هذه الإجراءات ضمن الخطة الموضوعة.

3-2-1- الصيانة التصحيحية: *La maintenance corrective*

هي أعمال الصيانة التي تتولى إصلاح العيوب حين ظهورها، ويطلق على هذا النوع من الصيانة أيضا الصيانة العلاجية (الإصلاحية). وحسب الجمعية الفرنسية للتنميط (norme X 60-010) AFNOR الصيانة التصحيحية هي:"أعمال الصيانة التي تتم بعد حدوث العطل"[13]

3-2-2- الصيانة الوقائية: *La maintenance Préventive*

إن مفهوم الصيانة الوقائية هو وضع برنامج زمني للصيانة استنادا في ذلك على توقعات وقوع أعطال أساسية وذلك قبل حدوثها. وحسب الجمعية الفرنسية للتنميط (norme X 60-010) AFNOR فإن الصيانة الوقائية هي:"الصيانة التي تتم على أساس معايير محددة مسبقا بنية تخفيض احتمال تعطل تجهيز ما"[14]

أما اللجنة الأوروبية للتنميط (1997)CEN W 319-003 فتعتبر أن الصيانة الوقائية هي"الصيانة التي تجري على فترات محددة سلفا أو وفقا للمعايير المنصوص عليها والتي تهدف إلى الحد من احتمالات فشل أو تدهور المعدات"[15]

3-2-3- الصيانة التنبؤية: *La maintenance prédictive*

تعتبر الصيانة التنبؤية من أحدث أنواع الصيانة وأكثرها اقتصادية لما توفره من الجهد والمال وباعتبارها طريقة عظيمة لتحسين الإنتاجية وجودة المنتج، والربحية والأداء العام للمؤسسة.[16] وهي " أعمال الصيانة التي تعمل

---

[11] Groupe de Réflexion et d'orientation en Maintenance, op.cit, P: 105

[12] أ.د. غسان قاسم داود اللامي، أ.أميرة شكرولي البياتي ، مرجع سابق، ص:479

[13] François Monchy « La fonction maintenance, formation à la gestion de la maintenance industrielle», op.cit, P : 56

[14] François Monchy « La fonction maintenance », op.cit, P : 58

[15] François Monchy « Maintenance, méthode et organisation », op.cit, P : 35

على التنبؤ بحدوث العطل وتوقعه قبل حدوثه وذلك من خلال المراقبة والفحص والتسجيل المستمر ومن ثم تحديده منعا لانتشاره"[17]

3-2-4- الصيانة المرتكزة على المعولية (الموثوقية): La maintenance basée sur la fiabilité

إن الصيانة المرتكزة على المعولية لاتعتبر أسلوب صيانة جديد وإنما هي نهج منظم يعمل على تحسين بنية وشكل نظام الصيانة الوقائية وجعلها خطة مثلى تعمل على تدنية الأخطار الناتجة عن تعطل الآلات إلى أقصى حد، وذلك بالتركيز على زيادة معولية المعدات من خلال الأخذ بعين الاعتبار برامج الموثوقية فهي تتطلب المعرفة الجيدة بالمعدات والأعطال التي تحدث لها.[18] وحسب الجمعية الفرنسية للتنميط AFNOR x 06-501 فان الموثوقية هي:" احتمال أن يستمر جهاز في أداء عمله بصورة جيدة ضمن شروط استخدام محددة ولفترة زمنية محددة"[19].

3-2-5- الصيانة الإنتاجية الشاملة: *Totale productive maintenance*

يعرف برنامج الصيانة الإنتاجية الشاملة بأنه "برنامج للصيانة يشمل كل الشركة ويهدف إلى تحسين ظروف العمل وتقليل الخسائر عن طريق تقليل العطلات والمشاكل ورفع كفاءة أداء المعدات"، أو هو"الارتقاء بمستوى فاعلية الآلات في الشركة عن طريق مشاركة جميع العاملين بأعمال الصيانة"،كذلك يعرف من قبل Nakajima الذي يعتبر أب الصيانة الإنتاجية الشاملة بأنه"نظام للصيانة طوال فترة حياة المعدة ويشمل كافة القطاعات بما فيها التخطيط والتصنيع والصيانة".

4- أساليب تخطيط أعمال الصيانة:

تعتمد أعمال الصيانة بمفهومها العلمي والحديث على أساليب التخطيط لضمان تنفيذها على أكمل وجه وبأقل تكلفة وفي أقل زمن مستطاع، حيث أن وضع خطة لأعمال الصيانة في الوحدات الإنتاجية تعتبر وسيلة لضمان تنفيذ العمل بأقصى كفاءة وبطريقة اقتصادية.

4-1- البرمجة الخطية:

عبارة عن أسلوب أو طريقة رياضية لتحديد برنامج أمثل لمجموعة متغيرات متداخلة في ضوء مجموعة موارد متاحة للمنشأة خلال فترة زمنية معينة.[20]

4-2- نظرية صفوف الانتظار:

تمثل أحد الأدوات الهامة في تخطيط ومراقبة العمليات الإنتاجية والمستخدمة على نطاق واسع في هذا المجال[21]. ويرجع أصل هذه النظرية إلى عام 1909 حيث قام مهندس الهاتف الدنماركي Erlang بدراسة بهدف حل مشكلة الازدحام في مركز تبادل المكالمات الهاتفية من قبل العاملين[22]. تختص النظرية بوضع الأساليب الرياضية اللازمة لحل المشاكل المتعلقة بالمواقف التي تتسم بنقاط اختناق، أو تشكل صفوف انتظار نتيجة لوصول الوحدات الطالبة للخدمة وانتظار دورها لتلقيها، على أن يكون الوصول إلى مكان أداء الخدمة عشوائيا يتبع توزيعا معين. كما تقدم قياسا لقدرة مركز الخدمة على تحقيق الغرض الذي أنشئ من أجله، ويكون ذلك عن طريق قياس رياضي دقيق

---

[16] R.Keith Mobley « La maintenance prédictive », Masson, Paris, 1992, P : 05

[17] R.Keith Mobley « La maintenance prédictive », op.cit, P : 04

[18] Daniel Richert, Marc Gabriel, Denis Malon, Gaetan Blaison, « Maintenance basée sur la fiabilité », Masson, Paris, 1996, P : 05

[19] Françoi Monchy, « Maintenance, méthodes et organisation », op.cit, P : 155

[20] د.عيد أحمد أبو بكر، د.وليد إسماعيل السيفو،"مبادئ التحليل الكمي"، دار اليازوري، عمان/الأردن، الطبعة العربية2009، ص: 231

[21] د.جلال إبراهيم العبد، «إدارة الإنتاج والعمليات، مدخل كمي"، الدار الجامعية، جامعة الإسكندرية، 2002، ص: 293

[22] أ.د.شفيق العتوم، "بحوث العمليات"، دار المناهج، عمان، الطبعة الأولى 2006، ص: 133

لمتوسط وقت الانتظار للحصول على الخدمة وكذلك متوسط عدد المنتظرين للحصول على الخدمة[23]. إذا فنظرية صفوف الانتظار أداة احتمالية حيث أنه لا يمكن معرفة وقت الوصول مسبقا ولا مدة تقديم الخدمة المطلوبة.[24]

4-3- أسلوب التعيين والتخصيص:

هو أحد أساليب توزيع الموارد المتاحة على الإمكانيات المتاحة ويستخدم لتحديد الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة سواء كانت عمالة أو أدوات، وذلك لتنفيذ برنامج الصيانة المخطط بأقل استخدام للموارد ضمن شروط الكفاءة الجيدة. ويقوم هذا الأسلوب على 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.

4-4- أسلوب التحليل الشبكي:

يعتبر التخطيط الشبكي من أهم الأدوات التطبيقية في تخطيط أعمال الصيانة وإدارتها على نحو أمثل بغية السيطرة على أزمنة تنفيذ الأعمال لتحديد زمن دخول وخروج الآلة أو الآلات من الصيانة.

4-4-1- أسلوب المسار الحرج CPM:

تم تصميم أسلوب المسار الحرج عام 1957 في شركة Du Pont لأغراض تخطيط وجدولة تنفيذ أحد مصانع الكيمياويات التابع لها، ثم انتشر استخدام هذا الأسلوب في عدد من مجالات الصناعات الإنشائية كبناء الجسور والمستشفيات والمصانع.

يعرف المسار الحرج على أنه أطول مسارات شبكة الأعمال زمنا والمسار هو النشاطات المتعاقبة من بداية الشبكة حتى نهايتها[25]. ويتم حساب المسار الحرج في شبكات CPM من خلال ثلاث مراحل هي:[26]

المرحلة الأولى: حسابات مرحلة الانتقال نحو الأمام

وتهدف هذه المرحلة إلى حساب زمن البداية المبكر لجميع الأنشطة والذي يرمز له بـ ES_i حيث أن $ES_1=0$، أما مدة النشاط (i,j) فيرمز لها بـ D_{ij}. وبالتالي يتم الحصول على حسابات الانتقال نحو الأمام بتطبيق العلاقة التالية:

$$ES_j = \underset{i}{\text{Max}}\left[ES_i + D_{ij} \right] \ldots(1)$$

ومن خلال هذه العلاقة يتبين أنه لحساب زمن البداية المبكر للحدث (j) يجب أولا حساب زمن البداية المبكر للحوادث الخلفية لجميع الأنشطة (i,j) والتي تنتهي في الحادث (j).

المرحلة الثانية: حسابات مرحلة الانتقال نحو الوراء

في هذه المرحلة يتم الانتقال من حادث نهاية الشبكة إلى الوراء حتى حادث بداية الشبكة وتهدف هذه المرحلة إلى حساب زمن الانجاز المتأخر لجميع الأنشطة والذي يرمز له بـ LC_i، وقد أتفق على أنه عندما i=n (الحدث النهائي)

---

[23] د. محمد توفيق ماضي، "الأساليب الكمية في مجال الإدارة"، الدار الجامعية، الإسكندرية، 1998، ص: 338

[24] Malika Babes, « Statistiques, Files d'attente et simulation », Office des publications universitaire, Alger, 1995, P : 86

[25] فتحي خليل حمدان، رشيق رفيع مرعي، "مقدمة في بحوث العمليات"، دار وائل للنشر والتوزيع، عمان/الأردن، الطبعة الرابعة 2004، ص: 187

[26] د.إبراهيم نائب، د. أنعام باقية، مرجع سابق، ص: 206

فان $LC_n=ES_n$، وبالتالي يمكن الحصول على حسابات الانتقال نحو الوراء بتطبيق العلاقة التالية:

$$LC_i = \underset{j}{Min}\left[LC_j - D_{ij} \right] \ldots(2)$$

ولحساب زمن النهاية المتأخرة للحدث (i) يجب أولا حساب زمن النهاية المتأخرة لجميع الأنشطة التي تنطلق من الحدث (i).

المرحلة الثالثة:مرحلة تحديد الأنشطة الحرجة

تحدد الأنشطة الحرجة باستخدام نتائج الانتقالين نحو الأمام ونحو الوراء حسب القاعدة التالية:

نقول أن النشاط (i,j) يقع في المسار الحرج إذا تحققت الشروط التالية:

$$\begin{cases} ES_i = LC_i \\ ES_j = LC_j \\ ES_j - ES_i = LC_J - LC_i = D_{ij} \end{cases} \ldots(3)$$

4-4-2- أسلوب تقييم ومراجعة البرامج PERT:

صممت تقنية تقييم ومراجعة البرامج بتعاون مجموعة من الباحثين في عامي 1958 و1959 لحساب البحرية الأمريكية بغرض تخطيط وجدولة تنفيذ مشروعاتها العسكرية ولأغراض التحكم في شيفرات الأسلحة الهجومية والدفاعية، وقد انتشر هذا الأسلوب أيضا من ذلك التاريخ في كل المجالات الإستراتيجية وجدولة وتنفيذ المشروعات باختلاف أنواعها.[27]

يتميز أسلوب PERT عن أسلوب المسار الحرج بأنه يستند إلى مفهوم الاحتمالية في تحديد الأوقات للزمن الذي يستغرقه كل نشاط. ويقسم الزمن حسب أسلوب PERT إلى ثلاثة أنواع وهي:

الزمن التفاؤلي t_1: وهو الزمن المرغوب للانجاز، بافتراض تحقق أفضل الشروط لانجاز النشاط؛

الزمن التشاؤمي t_2: وهو الزمن غير المرغوب للانجاز، بافتراض تحقق أسوء الشروط للانجاز؛

الزمن الأكثر احتمالا t_3: وهو زمن التنفيذ الطبيعي، بافتراض تحقق شروط طبيعية لانجاز النشاط.

وقد بينت الدراسات أن تقديرات زمن انجاز النشاط في أسلوب PERT تخضع لتوزيع بيتا β Beta Distribution وحسب هذا التوزيع فان التوقع الرياضي لزمن انجاز كل نشاط هو: $E_{ij} = \frac{t_1 - 4t_2 + t_3}{6}$

والانحراف المعياري لزمن انجاز كل نشاط هو: $\sigma = \frac{t_3 - t_1}{6}$.

[27] د.إبراهيم نائب، د. أنعام باقية، مرجع سابق، ص: 196

ولحساب قيمة المسار الحرج وتحديد الأنشطة الحرجة حسب أسلوبPERT يتم اتباع نفس الأسلوب السابق مع الأخذ بعين الاعتبار بدلا من D_{ij} القيمة المتوقعة لزمن انجاز النشاط (i,j) أي E_{ij}، وبالتالي فان العلاقات (1) و (2) و(3) تأخذ الشكل:

$$ES_j = \underset{i}{Max}\left[ES_i + E_{ij}\right] \quad ...(4)$$

$$LC_i = \underset{j}{Min}\left[LC_j - E_{ij}\right] \quad ...(5)$$

وحيث $LC_n=ES_n$

$$\begin{cases} ES_i = LC_i \\ ES_j = LC_j \\ ES_j = ES_i = LC_j - LC_i = E_{ij} \end{cases} \quad ...(6)$$

وبناءا على ذلك فان المسار الحرج في شبكة PERT يساوي إلى مجموع القيم المتوقعة للأنشطة الحرجة الداخلة في المسار، أما الانحراف المعياري للمسار الحرج في PERT فيحسب باستخدام العلاقة التالية:

$$\sigma_{PE} = \sqrt{\sum \sigma_{ij}^{\,2}}$$

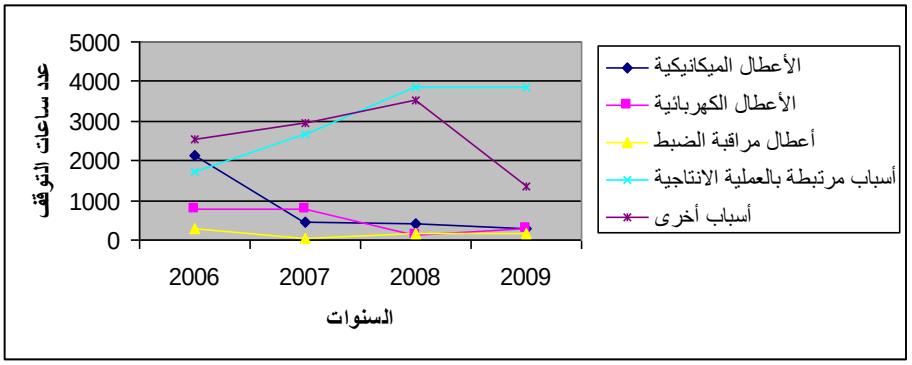
5- دراسة حالة مؤسسة التحليل الكهربائي للزنك ALZINC:

5-1- تقديم المؤسسة: الشركة الجزائرية للزنك ALZINC هي فرع من مجمع METANOF تابعة للشركة القابضة للصلب.أحدثت بتاريخ 24-05-1998 برأسمال اجتماعي يقدر بـ855 مليون دج. تهدف الشركة إلى إنتاج وتسويق مادة الزنك وخلائط الزنك (زماك)، الحامض الكبريتي وسبائك النحاس. القدرة الإنتاجية للزنك ومشتقاته هي 36850 طن سنويا.

5-2- تحليل حجم وطبيعة التعطلات أثناء العملية الانتاجية: هناك مجموعة من الأسباب تقف وراء توقف العملية الإنتاجية أو تعطلها، تم بتصنيفها إلى خمسة أنواع أساسية وهي: التعطل لأسباب ميكانيكية والتعطل لأسباب كهربائية والتعطل لأسباب مرتبطة بمراقبة الضبط، وأسباب مرتبطة بالعملية الإنتاجية إلى جانب أسباب أخرى تضم مشاكل متعلقة بالمخزون سواءا من حيث انقطاعه أو رداءة نوعيته، والتغذية الكهربائية والتغذية السائلة (الماء، الهواء، البخار) إلى جانب الغيابات والكوارث وغيرها.

والتمثيل البياني التالي يوضح تطور الحجم الساعي للتوقفات لكل نوع من هذه الأسباب:

الشكل رقم (2): تطور الحجم الساعي لكل سبب من أسباب التوقف للفترة 2006-2009



يظهر جليا من التمثيل البياني أن أعطال مراقبة الضبط تبقى في مستوياتها الدنيا طيلة فترة الدراسة بمعدل 170سا توقف في السنة أي ما يقارب 7 أيام توقف، تليها مباشرة الأعطال الكهربائية بمعدل 485.4سا توقف سنويا كانت مرتفعة في سنتي 2006-2007 ثم بدأت في الانخفاض، ومن بين الأعطال الكهربائية الأساسية نجد تعطل المحرض المغناطيسي المتواجد بالفرن الذي يعمل على تذويب الزنك، أما فيما يخص الأعطال الميكانيكية فقد كانت في أعلى مستوى لها سنة 2006 حتى أنها فاقت الأسباب المرتبطة بالعملية الإنتاجية، ثم انخفضت بعد ذلك ومن بينها توقف الصحن الدوار الذي يعمل على توزيع المعدن. إن انخفاض الحجم الساعي للتوقفات الناجمة عن الأعطال الميكانيكية والكهربائية ومراقبة الضبط يرجع إلى الجهود المبذولة من عمال قسم الصيانة من صيانة وقائية وعلاجية.

5-3- سياسات الصيانة بالمؤسسة:

تتبنى مؤسسة ALZINC سياستي الصيانة الإصلاحية والوقائية، حيث تلجأ إلى أعمال الصيانة الإصلاحية عندما يحدث خلل مفاجئ أثناء سيرورة العملية الإنتاجية كأن تتوقف أحد التجهيزات عن العمل أو تنخفض إنتاجيتها، ويتم ذلك عن طريق تحرير طلب العمل من قبل رئيس دائرة الإنتاج (أو الورشة أو الفرقة أو رئيس المصلحة) بعدما يتفحص مكان حدوث الخلل ويقرر على حسب خبرته ما إذا كان العطل ميكانيكيا أو كهربائيا أو متعلقا بقياس الضبط، ثم ترسل طلبات التدخل من طرف مصلحة الإنتاج إلى مسؤول دائرة الصيانة الذي يحولهم إلى أوامر، هذه الأوامر توجه إلى فرق الإنجاز قصد التنفيذ. أما الصيانة الوقائية فهي تحتل أهمية كبيرة في المؤسسة باعتبارها تعمل على ضمان تقليص عدد تدخلات الصيانة الإصلاحية وبالتالي ضمان تقليص عدد توقفات العملية الإنتاجية، وتمثل تكاليفها النسبة الأكبر من تكاليف الصيانة الكلية. لذا يتم تخطيط أعمالها سنويا بناءا على المعلومات الواردة في السجلات التقنية المرفقة بكل آلة إلى جانب خبرة مهندسي الكيفيات الذين يقومون بمراقبة مدى حاجة التجهيزات للصيانة، هذا فيما يخص الصيانة الوقائية النظامية أما الصيانة الوقائية الشرطية فترتبط بحدوث خلل معين في الآلة ينتج عنه صدور بعض الأصوات أو يتسبب في ارتفاع درجة حرارتها مما ينبئ بأنها ستتوقف في أي وقت ممكن أو أنها ستتسبب في رداءة الإنتاج.

5-4- تكاليف الصيانة بالمؤسسة:

بتقادم المعدات والتجهيزات الإنتاجية تتزايد أعمال الصيانة والتصليح لها وبالتالي فإن تكاليف الصيانة المباشرة تتزايد هي الأخرى والتي تشمل تكاليف اليد العاملة وتكاليف قطع الغيار إلى جانب المواد المستعملة كالزيوت وغيرها، كما أن تعطل التجهيزات يحمل المؤسسة تكاليف أخرى وهي التكاليف غير المباشرة والتي تشمل تكاليف خسارة الإنتاج من مصاريف ثابتة غير مغطاة وأجور عمال الإنتاج العاطلين عن العمل...

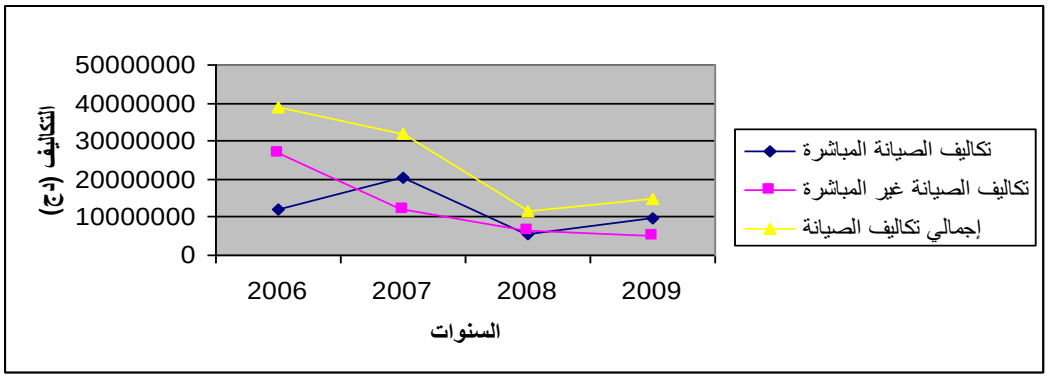
ومن خلال الجدول الموالي يمكننا التعرف على مدى تأثير كل من تكاليف الصيانة المباشرة وغير المباشرة على التكاليف الإجمالية.

الجدول رقم (3): تطور تكاليف الصيانة المباشرة وغير المباشرة ونسبة كل منها لإجمالي تكاليف الصيانة للفترة 2006-2009

السنوات / البيان (دج)	2006	2007	2008	2009
التكاليف المباشرة (1)	12052279.37	20170517.65	5394330.025	9718713.44
التكاليف غير المباشرة (2)	26653851.52	11877202.54	6303406.364	4934046.1
إجمالي تكاليف الصيانة (3)	38706130.89	32047720.19	11697736.39	14652759.54
نسبة التكاليف المباشرة إلى إجمالي التكاليف 3/1%	31.14	62.94	46.11	66.33
نسبة التكاليف غير المباشرة على إجمالي التكاليف 3/2%	68.86	37.06	53.89	33.67

يعكس الجدول حجم تكاليف الصيانة التي تتحملها المؤسسة، ونسبة كل من الصيانة المباشرة وغير المباشرة إلى إجمالي التكاليف، ونلاحظ أن هناك تذبذب في تأثير كل واحدة منهما حيث نجد أن في سنتي 2006 و 2008 تفوق تكاليف الصيانة غير المباشرة تكاليف الصيانة المباشرة والعكس في سنتي 2007 و2009. ويمكن توضيح التمثيل البياني لتطور التكاليف المباشرة وغير المباشرة لأعمال الصيانة والتصليح وكذا تطور إجمالي تكاليف الصيانة على النحو التالي:

الشكل رقم (4): تطور تكاليف الصيانة المباشرة وغير المباشرة وإجمالي تكاليف الصيانة للفترة 2006-2009



يوضح التمثيل البياني وجود العلاقة العكسية بين تكاليف الصيانة المباشرة وغير المباشرة وهو ما يبرز أهمية الاهتمام بالصيانة الوقائية التي تعمل على تقليص حجم توقف العملية الانتاجية إلى جانب الاهتمام بالآلات في حالتها الجيدة ومنه سلامة القائمين على هذه الآلات.

6- تخطيط أعمال الصيانة بمؤسسة ALZINC :

بناءا على المعطيات التي تم التحصل عليها من المؤسسة وحسب طبيعة وحجم الأعطال التي تتعرض لها التجهيزات الإنتاجية، فإن استخدام أسلوب المسار الحرج يعتبر الأسلوب الكمي الأنسب في تخطيط أعمال الصيانة بالمؤسسة. وقد تم اختيار أحد أهم التجهيزات للقيام بتخطيط أعمال الصيانة الوقائية التي تتم له سنويا وهو المحول الكهربائي المقوِّم المسؤول عن تغذية 24 خلية للتحليل الكهربائي للزنك .

والجدول التالي يوضح برنامج الصيانة الوقائية للمحول الكهربائي المقوِّم:

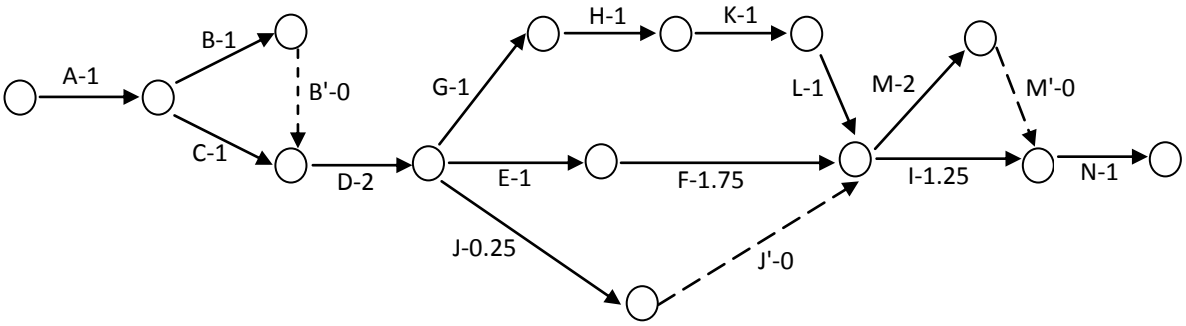
الجدول رقم (1): برنامج صيانة المحول الكهربائي المقوِّم

رمز النشاط	النشاط	الزمن (سا)	النشاط السابق
A	عزل المحول الكهربائي المُقوِّم ووضعه على الأرض	1	-
B	غلق دورة الزيت ما بين الحوض وخزان الانتشار مع تسجيل مستوى الزيت	1	A
C	تنظيف مكان المحول وتغطية المناشب الكهربائية وعلب الضوء بالبلاستيك	1	A
D	غسل المحول الكهربائي	2	B-C
E	تحضير مضخة الزيت، الإيصال الكهربائي والمائي	1	D
F	تحويل الزيت من الحوض إلى الخزان بالاستعانة بالمضخة مع مراقبة مستوى الزيت وبمجرد وصوله إلى المستوى المطلوب يتم إيقاف المضخة	1.75	E
G	تفكيك القاطع ووضعه في إناء معدني نقي	1	D
H	مسح القاطع باستخدام قماش وكذلك موضعه، ثم شظفه باستخدام الزيت النقي والفرشاة	1	G
I	إعادة تشغيل المضخة والتحقق من أن مستوى الزيت هو نفسه الذي تم تسجيله في المرحلة B	1.25	L-F-J
J	المراقبة والتحقق من المَفصل واستبداله إذا كان الأمر ضروريا	0.25	D
K	إعادة القاطع بحذر إلى مكانه مع شد المسامير	1	H
L	تنظيف حواف القاطع من كل أثر للزيت	1	K
M	مراقبة ما إذا كان هناك تسربات من جراء تنظيف المحول الكهربائي	2	L-F-J
N	إعادة المحول إلى مكانه وتشغيله	1	M-I

المصدر:من إعداد الباحثتين بالاعتماد على المعطيات المقدمة من مصلحة الصيانة الكهربائية

انطلاقا من معطيات الجدول سنقوم برسم شبكة CPM التي تتضمن الأنشطة الخاصة بصيانة المحرك الكهربائي كما هو موضح في الشكل الموالي.

الشكل رقم (5): شبكة الأعمال الخاصة بصيانة المحرك الكهربائي المقوِّم



يُمكِّننا رسم الشبكة من حساب الأوقات المبكرة والمتأخرة للبداية والنهاية ومن ثم تحديد المسار الحرج الذي يشخص جميع الأنشطة الحرجة في الشبكة، وهو مايوضحه الجدول الموالي:

الجدول رقم (2): حسابات الأزمنة المختلفة لبرنامج صيانة المحول الكهربائي المقوِّم

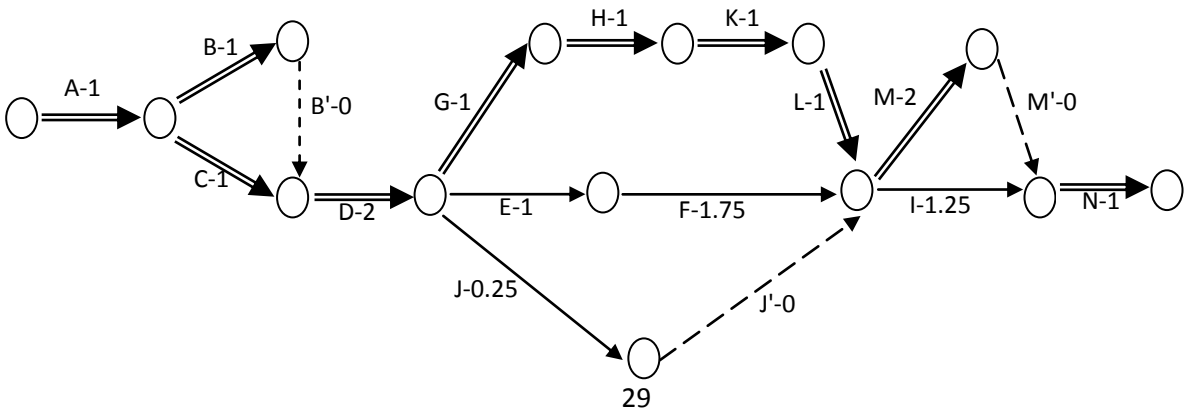
رمز النشاط	الأنشطة السابقة	زمن النشاط (سا)	الزمن المبكر		الزمن المتأخر		الفائض بالساعات	الأنشطة الحرجة
			بداية	نهاية	بداية	نهاية		
A	-	1	0	1	0	1	0	X
B	A	1	1	2	1	2	0	X
C	A	1	1	2	1	2	0	X
D	B-C	2	2	4	2	4	0	X
E	D	1	4	5	5.25	6.25	1.25	-
F	E	1.75	5	6.75	6.25	8	1.25	-
G	D	1	4	5	4	5	0	X
H	G	1	5	6	5	6	0	X
I	L-F-J	1.25	8	9.25	8.75	10	0.75	-
J	D	0.25	4	4.25	7.75	8	3.75	-
K	H	1	6	7	6	7	0	X
L	K	1	7	8	7	8	0	X
M	L-F-J	2	8	10	8	10	0	X
N	M-I	1	10	11	10	11	0	X

التفسير:

يتضح لنا من خلال الجدول أن المسار الحرج هو المسار الذي يضم الأنشطة ذات الفائض الزمني يساوي إلى الصفر أي أن أي تأخير في انجاز أحد هذه الأنشطة يؤدي إلى تأخير مدة تنفيذ أعمال الصيانة ككل وبالتالي تعطل العملية الإنتاجية من جهة وانخفاض إنتاجية التجهيز من جهة أخرى وهو ما نسعى إلى تفاديه من خلال القيام بعملية التخطيط لأعمال الصيانة باستخدام أسلوب المسار الحرج CPM.

والشكل الموالي يبرز لنا المسار الحرج بلون داكن وهو: A-B-C-D-G-H-K-L-M-N

الشكل رقم (6): شبكة الأعمال موضح عليها المسار الحرج



طول المسار الحرج هو مجموع أزمنة تنفيذ الأنشطة الحرجة، وهو يساوي إلى 12 ساعة أي أن أقصى مدة لتنفيذ أعمال الصيانة الوقائية للمحرك الكهربائي المقوم هي 12 ساعة، بينما نجد أن هذه الأخيرة كانت تنفذ في الواقع في مدة 16 ساعة و15 دقيقة أي بفارق 4 ساعات و15 دقيقة.

وتبدو أهمية معرفة الأنشطة غير الحرجة والأوقات الفائضة لها من أنها تمكن من تحديد إمكانية تأخير تنفيذ هذه الأنشطة وبالتالي توفر للمنفذين حرية الحركة في تنفيذ أعمال الصيانة دون التأثير على زمن الانتهاء. كما ويساعد معرفة الأزمنة المبكرة والمتأخرة إلى توفر مواعيد مرنة تساعد المنفذين في التأرجح بين حديها بما يتناسب مع الموقف الذي يعترضهم.

خاتمة:

إن لوظيفة الصيانة أهمية كبيرة في تحسين سير العملية الانتاجية وتخفيض تكاليفها إلى جانب تقديم منتجات ذات معولية عالية بدرجة جودة ومرونة مرتفعة ،والأساليب الكمية هي أسلوب فعال في ترشيد قرارات الصيانة وتخطيط أعمالها إلا أن ذلك لا يعني إنهاء التقديرات الخطأ بل سيقللها إلى حدها الأدنى وسيساعد في التوجه نحو قرارات أكثر عملية.

- المراجع:

1- د.سامر مظهر قنطقجي "ترشيد عمليات الصيانة بالأساليب الكمية"، ص:03
www.Kantakji.com/figh/files/manage/Maintenance.pdf

2- خالد عبد الرحيم الهيتي وآخرون "أساسيات التنظيم الصناعي"، دار زهران للنشر والتوزيع، عمان، 1997

3- د.رامي حكمت فؤاد الحديثي"الاتجاهات الحديثة في إدارة الصيانة المبرمجة"، دار وائل للنشر ، بغداد، الطبعة الأولى 2004

4- د.عبد الكريم محسن، د.صباح مجيد النجار"إدارة الإنتاج والعمليات"، مكتبة الذاكرة، جامعة بغداد، الطبعة الثانية 2006

5- أ.د غسان قاسم داود اللامي ، أ.أميرة شكرولي البياتي "إدارة الإنتاج والعمليات، مرتكزات كمية ومعرفية"، دار اليازوري للنشر والتوزيع، الأردن ، الطبعة العربية 2008

6- د.عيد أحمد أبو بكر، د.وليد إسماعيل السيفو"مبادئ التحليل الكمي"، دار اليازوري، عمان/الأردن، الطبعة العربية2009

7- د.جلال إبراهيم العبد «إدارة الإنتاج والعمليات، مدخل كمي"، الدار الجامعية، جامعة الإسكندرية، 2002

8- أ.د.شفيق العتوم "بحوث العمليات"، دار المناهج، عمان، الطبعة الأولى 2006

9- د. محمد توفيق ماضي "الأساليب الكمية في مجال الإدارة"، الدار الجامعية، الإسكندرية، 1998

10- د. إبراهيم نائب،د. أنعام باقية "بحوث العمليات، خوارزميات وبرامج حاسوبية"، دار وائل للنشر، عمان، الطبعة الأولى 1999

11- فتحي خليل حمدان، رشيق رفيع مرعي، "مقدمة في بحوث العمليات"، دار وائل للنشر والتوزيع، عمان/الأردن، الطبعة الرابعة 2004

12- François Monchy « Maintenance méthode et organisation », Dunod, Paris, 2000

13- François Monchy « la fonction Maintenance ; Formation à la gestion de la maintenance industrielle », Masson, Paris, 1996

14- Groupe de réflexion et d'orientation en maintenance « Réussir sa maintenance », édition Mare Nostrum1996

15- R.Keith Mobley « La maintenance prédictive », Masson, Paris, 1992

16- Daniel Richert, Marc Gabriel, Denis Malon, Gaetan 16- Blaison « Maintenance basée sur la fiabilité », Masson, Paris, 1996

17- Malika Babes, « Statistiques, Files d'attente et simulation », Office des publications universitaire, Alger, 1995