تطوير نموذج لدعم القرار في اختيار خطة الصيانة للمعدات

د.م. عبدالسلام زيدان*

الملخص

هَدَفَ هذا البحث إلى تطوير نموذج مساعد على اتخاذ القرار بشأن إستراتيجية الصيانة المثلى للمعدات المستخدمة في تنفيذ مشروعات التشييد، ونقصد بالصيانة المثلى تلك المحققة للكلفة الدنيا. حيث تبرز الحاجة لوجود نظام يتم من خلاله التحكم بخطة عمل وصيانة الآليات بما يضمن حدوث أقل توقفات ممكنة، وذلك من خلال وجود برنامج لصيانة مختلف الأعطال وإصلاحها آخذين بالحسبان تحقيق أقل كلفة ممكنة (سواء كانت كلفة الإصلاح أو الخسائر الناتجة عن توقفات العمل المتعلقة بالصيانة) بحيث يسهم ذلك في النهاية في تخفيض الكلفة النهائية للمشروع.

ولا بدَّ من اعتماد أساس علمي يتم من خلاله اتخاذ القرار بشأن خطة الصيانة استناداً إلى مختلف المعطيات التي تؤثر في عمل الآليات وتقدم سير الأعمال، وقد قمنا بعرض نموذج رياضي مساعد لعملية اتخاذ القرار الأنسب في عملية الصيانة يعتمد على تحليل ماركوف كتقنية رياضية ملائمة لنموذج المسألة المدروسة، ويتطلب النموذج المقترح مراقبة سير العمل مدة كافية (تطول أو تقصر حسب حجم المشروع وعدد الآليات) مما يوفر البيانات المتعلقة بحالة الآليات خلال مدة تنفيذ المشروع، وتُحلَّلُ البيانات لاستخدام نتائجها في عملية دعم القرار مستقبلاً.

الكلمات المفتاحية: مشروعات التشييد، إدارة عمليات الصيانة، نظم دعم القرار، سلاسل ماركوف.

*مدرس- قسم الإدارة الهندسية والإنشاء – كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

1-مقدمة:

من الأهداف الأساسية لمديري المشاريع الوصول إلى مستوى عالٍ من الإنتاجية، ولا بدَّ لتحقيق ذلك من تشغيل المعدات والتجهيزات الرئيسية بكفاءة وفعالية وبأقل التوقفات الطارئة، ويتطلب تحقيق هذا الهدف من إدارة المشروع اختيار خطة الصيانة اللازمة، إذْ إن أعمال التصنيع والإنتاج والتركيب في تنفيذ المنشآت تعتمد اعتماداً أساسياً على مجموعة من الآليات تعمل ضمن منظومة مترابطة، ومن ثمَّ يمكن أن يعرقل توقف إحداها العمل في المشروع.

هناك مجموعة من التعريفات الممكنة لعملية الصيانة فقد عرف الباحث Buffa [1] الصيانة بأنها "تلك الوظيفة التي تمكن من تهيئة المعدات لكي تشتغل بفاعلية في تأمين معايير الكمية والنوعية والكلف للمخرجات المستهدفة"، في حين عرفها الباحث Monks [2] على أنها "نشاط يصمم من أجل الحفاظ على المعدات وغيرها من الموجودات في الحالة التشغيلية"، أمَّا الباحث Clifton [3] فقد عرفها "بأنها ذلك العمل الذي يجب القيام به من أجل الحفاظ على التسهيلات كلّهافي إعادة الآليات إلى الحالة المقبولة".

وعرفتها المؤسسة البريطانية للقياسات British standard institution [4] "بأنها مجموعة من الفعاليات التي تنجز من أجل الحفاظ على مادة معينة أو إعادتها إلى حالة مقبولة". واقترح قنطقجي [10] تعريفاً للصيانة" بأنها العمل أو مجموعة من الأعمال الفنية التي تهدف إلى تلافي الأعطال ومعالجتها بغية استرجاع الأصل إلى حالته الأولية التي كان عليها، ومما يضمن قيام الأصل بوظيفته الإنتاجية".

ولابدّ من أن تخضع عملية الصيانة إلى مراقبة وتطوير مستمرين، كما يجب أن تعتمد على كل من الممارسة والخبرة، وحالما يتم عمل إطار الصيانة يجب على الإدارة أن تضمن أن الأعمال جميعها المنفذة تتناسب والأهداف العامة للمشروع.

2- مفهوم الصيانة وأنواعها:

هناك عدة أنواع للصيانة، وسنعرض الأنواع الرئيسية لها، وهي الصيانة الوقائية والصيانة التنبؤية، والصيانة التصحيحية أو الإصلاحية.

2-1 الصيانة الوقائية Preventive Maintenance

وهي أعمال الصيانة التي تخضع لبرنامج زمني محدد مسبقاً بهدف تقليل الأعطال التي يمكن أن تحدث مستقبلاً، من أجل المحافظة على الكفاءة الإنتاجية للمعدات بحيث تعمل وفقاً للمعايير المحددة لها [11].

إلا أننا وبطريقة الصيانة الوقائية أو الدورية يمكن أن نخفض فقط من خطورة العطل وليس منعه من الحدوث، لأن معظم أنماط الأعطال عشوائية في حدوثها. وتتمثل إيجابيات هذه الطريقة بالتقليل من التراجع في العمل، ومن ثمَّ تحسين مستويات استخدام المعدات، وتنظيم جداول عمل مبرمجة ومنظمة لطاقم الصيانة، بحيث تسهل من عملية تخصيص العامل المختص بالصيانة عندما تكون مهارات المختصين والخبرة مطلوبة. أمَّا سلبياتها فتتمثل بأنها تستبدل العناصر الأساسية بحسب زمن الاستخدام فقط وليس وفقاً لحالة العنصر، لذلك فإن الأجزاء التي يمكن أن تكون سليمةً يُستَبعَدُ ولا يؤخذ أي اعتبار لعمر الخدمة المتبقي.

ورغم تأمين هذه التقنية حماية ضد الأعطال، فإنها لا تستطيع التنبؤ بها، ومن ثمَّ عندما يحدث العطل ستنتج عنه كلفة لإجراء عملية الإصلاح.

2-2 الصيانة التنبؤية Condition Based Maintenance

تعتمد الصيانة التنبؤية على حالة المعدات، إذْ تركز الصيانة التنبؤية على إجراء اختبارات لعمليات الاهتراء على العناصر الميكانيكية وذلك بافتراض أنّ الاهتراء هو المسؤول عن الأعطال الميكانيكية غير المحدودة، وحتى عندما لا يكون الاهتراء مسؤولاً مباشرةً عن العطل، فإن بعض آثار العطل تزيد من الاهتراء [5]. إن الاهتراء هو عملية تدريجية تؤثر في العناصر بنسب متفاوتة ولا تسبب هذه العملية عادةً عطلاً ميكانيكياً مفاجأ بل إن الاهتراء يزيد مع التغيّرات في السلوك الحساس للآلة.

3-2 الصيانة الإصلاحية (التصحيحية) Corrective Maintenance

تنفذ الصيانة الإصلاحية عندما يحدث فقط عطل للآلية، إذْ يتم إعادة وضع الآلية إلى شروط عمل آمنة وفعالة وبأقصر زمن ممكن، وعادة يتبع تشخيص الفشل أو العطل تنفيذ أعمال تصحيحية قد تتضمن:

- ضبط القطع والعناصر والأنظمة التي سببت العطل الطارئ أو إصلاحها أو استبدالها.
- فحص قابلية التشغيل ثانيةً للآلية.

إن الصيانة الإصلاحية هي ممارسة سليمة لأعمال الصيانة إذْ إنَّه وبغض النظر عن التقدم التكنولوجي والخطط المتبعة، يبقى مديرو المشاريع معرضين لمواجهة أعطال غريبة والتي لا يمكن التنبؤ بها أو قد لا تتوافر أعمال يمكن القيام بها لمنع حدوث مثل هذه الأعطال [9].

4-2 المقارنة بين أنواع الصيانة

نلخص أهم الميزات والمساوئ لأنواع الصيانة المشروحة سابقاً، حيث رمزنا: + للميزات و– مساوئ [6].

- الصيانة الدورية (الصيانة المخططة)

+ التحكم بعملية الصيانة.
+ احتمال الأعطال منخفض.
+ يمكن السيطرة على مخزون قطع الغيار.
+ تخفيض العطل غير المتوقع.
- صيانة المعدات دون حاجة.
- لا يمكن تجنب الأعطال غير المجدولة.

- الصيانة التنبؤية (الصيانة عند الحاجة)

+ تخفيض العطل غير المتوقع.
+ طلب قطع الغيار عند الحاجة.
+ إجراء الصيانة عند الحاجة.
+ التخفيض من رأس المال الثابت.
- الحاجة لمهارة إضافية للمراقبة.
- تحتاج إلى عملية توثيق دقيقة.

- الصيانة التصحيحية (الصيانة عند وقوع العطل)

+ لا توجد صيانة فائضة.
+ لا تحتاج إلى استثمار أولي كبير.
- احتمال وقوع أعطال بسيطة.
- توقف طويل غير متوقع.
- ارتفاع تكاليف قطع الغيار.
- انخفاض معدل السلامة.

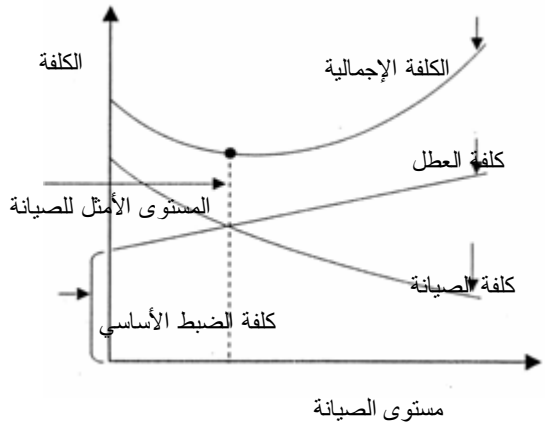
5-2 المستوى الأمثل للصيانة

لكل نوع من الأنواع السابقة من الصيانة (التي يمكن أن يصنف منها أنواع فرعية) كلفة متعلقة بأعمال الصيانة نفسها، فضلاً عن الكلفة غير المباشرة لتوقف العمل في أثناء تنفيذ الصيانة، ومن هنا برزت الحاجة إلى أداة مساعدة على اتخاذ القرار الصحيح في اختيار الأسلوب الأمثل للصيانة المعتمدة الذي يشكل الهدف الرئيس من هذا البحث.

إن الغاية الأساسية لكل سياسات الصيانة الممكنة (دورية

أو تنبؤية أو الإصلاحية) هو الحفاظ على المعدات في حالة عمل، ومن ثمَّ زيادة إنتاجيتها، ومع ذلك فإن الإستراتيجية المطلوبة لتحقيق هذا الهدف تتطلب تنفيذ إجراءات إدارية وتقنية تعتمد على تحليل كل من كلفة الأعطال وكلفة الصيانة وكلفة توقف العمل.

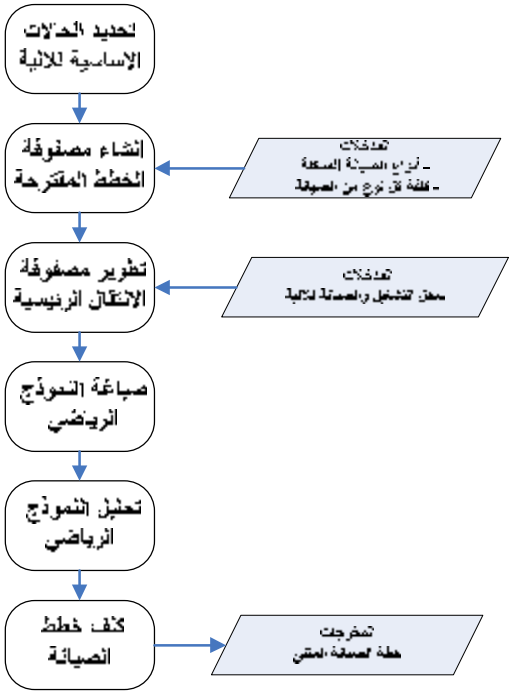
ولتأمين فعالية الصيانة، هناك مستوى أمثل لتأمين الصيانة كما هو موضح في الشكل (1). عند تجاوز هذا المستوى فإن كلفة تأمين خدمة الصيانة ستفوق تكاليف تعطل الآلية. ومن ثمَّ ليس المهم فقط اتباع إجراءات صيانة صحيحة ولكن يجب أيضاً مراقبة التكاليف والتحكم بها [10] .



الشكل (1) المستوى الأمثل لتأمين الصيانة

3 – شرح نموذج دعم القرار المقترح

قمنا بتطوير نموذج دعم القرار لاختيار تقنية الصيانة المثلى خلال مدة عملها، وذلك تبعاً للحالات المختلفة التي يمكن أن توجد الآليات بها، يمكن تعريف هذا النظام بأنه أداة مساعدة على اتخاذ القرار الأفضل من وجهة نظر اقتصادية اعتماداً على تحليل بيانات التشغيل والصيانة للآلية وصياغتها ضمن نموذج رياضي. ويبيّن الشكل (2) تخطيطاً للخطوات المتبعة في نظام دعم القرار المقترح.



الشكل (2): نموذج دعم القرار لاختيار تقنية الصيانة المثلى

نلخص مراحل هذا النظام كما يأتي:

1. الخطوة الأولى:

تحديد الحالات التي يمكن أن توجد فيها الآلية، (من حالة العمل الجيد إلى حالة التوقف الكامل).

2. الخطوة الثانية:

إنشاء مصفوفة الخطط المقترحة، وتتشكل خطط الصيانة الممكنة من خلال ربط قرارات الصيانة الممكنة بالحالات التي توجد فيها الآلية، مع تحديد الكلف المترتبة على هذه القرارات.

3. الخطوة الثالثة:

تطوير مصفوفة احتمالات الانتقال التي تعبر عن احتمال انتقال الآلية من حالة إلى حالة أخرى (مثل الانتقال من تعطل جزئي إلى توقف كامل).وتعتمد هذه الخطوة على سجلات التشغيل والصيانة لدى مراقبة عمل الآلية.

4. الخطوة الرابعة:

صياغة النموذج الرياضي وتحليله اعتماداً على مصفوفات الانتقال للخطط.

5. الخطوة الخامسة:

الحصول على كلف الخطط المقترحة واختيار الخطة الاقتصادية.

ونشرح فيما يأتي بالتفصيل نظام دعم القرار:

3-1 تحديد الحالات التي يمكن أن توجد فيها الآلية

لابد عند بدء الدراسة من أن نحدد ونعرف جميع الحالات المحتملة للمعدات، فمثلاً يمكن لآلية أن تكون في واحدة من الحالات الآتية فهي:

- أمَّا عاملة بصورة سليمة.
- أو لا تعمل بصورة سليمة تامة (أي تعمل ولكن بوجود خلل جزئي فيها).
- أو تعمل بصورة سيئة (أي تعمل ولكن بوجود خلل رئيسي فيها).
- أو قد لا تعمل على الإطلاق.

تفترض هذه الخطوة أن هناك عدداً محدوداً من الحالات الممكنة (أو نكتفي بدراسة عدد محدد تبعاً لطبيعة المسألة المدروسة).

3-2 إنشاء مصفوفة الخطط المقترحة

تتضمن هذه الخطوة المراحل الآتية:

1- تحديد القرارات والاستراتيجيات المتبعة للصيانة.
تتنوع القرارات بتنوع أنواع الصيانة الممكنة مثل الصيانة الدورية أو التنبؤية أو التصحيحية، كما يعدُّ عدم إجراء أي نوع من الصيانة أحد القرارات الممكنة.

2- تحديد كلفة كل قرار لكل حالة من حالات الآلية.
لتبسيط هذه الخطوة ننظم البيانات في مصفوفة تربط بين كل قرار وحالة مع تحديد الكلفة الموافقة، كما يبيّن الجدول (1) الذي يفترض وجود أربع حالات للآلية (1- عمل أي الآلية سليمة، 2- عطل بسيط، 3- عطل رئيسي، 4- توقف عن العمل)، وثلاثة قرارات ممكنة إذْ رمزنا ب D1 إلى قرار الصيانة الوقائية، وD2 إلى قرار الصيانة التنبؤية وD3 إلى قرار الصيانة الإصلاحية. ويمثل C_{ij} كلفة القرار رقم i للحالة و j رقم القرار.

الجدول (1): مثال لمصفوفة الكلف والقرارات

الحالة / القرار	الحالة (1) عمل	الحالة (2) عطل بسيط	الحالة (3) عطل رئيسي	الحالة (4) توقف عن العمل
الصيانة الدورية D1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
الصيانة التنبؤية D2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
الصيانة الإصلاحيةD3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}

وتختلف كلف القرارات تبعاً لتغيّر الإجراءات والمتطلبات والمهارات لكل نوع من أنواع الصيانة (الكلفة المباشرة)، فضلاً عن الخسارة المترتبة على انخفاض الإنتاجية وكلفة إيقاف العمل (الكلفة غير المباشرة). عندما تكون إحدى آليات مجموعة العمل المعينة في الحالة (2) أي تعاني من بعض الأعطال البسيطة فإنها تسبب خسارة يومية بسبب انخفاض الإنتاجية. وحين وجودها ضمن الحالة (3) أي تعاني من عطل رئيسي، يسبب انخفاض الإنتاجية خسارة أكبر من السابقة. أمَّا عندما توجد في الحالة (4) أي الآلية في وضع عطل كامل، فتسبب الآلية حينها خسارة ناتجة عن توقف العمل.

ويمكن إضافة خيار الاستمرار في العمل وعدم فعل أي شي إلى القرارات الممكنة، بهدف التوافق مع بعض الحالات الملائمة له (مثل حالة العمل). وتكون كلفة هذا القرار معدومة في حال وجود الآلية بحالة عمل، وتصبح الكلفة حين وجودها في حال عطل (بسيط أو رئيسي) معادلة للخسارة الناتجة عن ضعف الإنتاجية، أمَّا في حال

وجود الآلية في حال عطل يتسبب بإيقافها فتصبح كلفة القرار معادلة للخسارة المترتبة عن التوقف بعمل الآلية.

3- اقتراح خطط الصيانة الممكنة.

خطة الصيانة عبارة عن تحديد نوع الصيانة المعتمدة لكل حالة من حالات الآلية. حيث نشكل مصفوفة الخطط الممكنة لتوضيح قائمة القرارات التي يمكن اتخاذها، ويوضح الجدول (2) مثالاً لمصفوفة الخطط الذي يمثل مجموعة من قرارات الصيانة المعتمدة، وهي D1 وD2 و D3 موزعة على أربع خطط مفترضة، وذلك لكل حالة من الحالات الأربع التي يمكن أن توجد فيها الآلية. يتوافر عادة عدد كبير من الخطط المحتملة، ولكن تُستَبعَدُ تلك التي تحوي قرارات غير منطقية، مثل اتخاذ قرار إصلاح الآلية عندما تكون في الحالة الأولى (الآلية سليمة)، كما نلاحظ أن الخطط لا تتضمن في الحالتين الثالثة والرابعة (توقف عن العمل) أي خيار للقرارات باستثناء القرار D3 أي إصلاح الآلية المعطوبة.

الجدول (2): مثال لمصفوفة الخطط الممكنة

الحالة / الخطة	الحالة (1) عمل	الحالة (2) عطل بسيط	الحالة (3) عطل رئيسي	الحالة (4) توقف عن العمل
الأولى	D1	D1	D3	D3
الثانية	D1	D2	D3	D3
الثالثة	D1	D3	D3	D3

ولمّا كان كل قرار له كلفة معينة تختلف باختلاف الحالة الموافقة، كان المطلوب لاحقاً تحديد أي من الخطط المقترحة هي الأكثر اقتصادية اعتماداً على كلف القرارات.

3-3 تطوير مصفوفة احتمالات الانتقال

في هذه الخطوة من النموذج سنحصل على مصفوفة احتمالات الانتقال بين الحالات، وهي مصفوفة احتمالات شرطية، إذْ يتوقف وجود الآلية في حالة مستقبلية معينة على الحالة التي توجد فيها الآن (أي في حالة وجود الآلية في الحالة 1 ما قيمة احتمال انتقالها إلى الحالة 2).

تستخدم هذه الخطوة المنهجية سلاسل ماركوف أو تحليل ماركوف وهو تقنية رياضية تتعامل مع احتمالات الحوادث المستقبلية وذلك بتحليل بيانات حالية معروفة، وتساعد في نمذجة نظام معين للمساعدة في عملية اتخاذ القرار [7]. عادةً تُفسَّرُ سلسلة ماركوف على أنها عبارة عن متتابعة من الحالات التي يمكن أن يكون فيها نظام ما عند أي لحظة زمنية t، أو متتابعة من المواضع التي يحتلها نظام متحرك [13].

يفترض ماركوف أن النظام ينطلق من وضع ابتدائي محدد ومعروف ثم يعمل على توقع الحالات المستقبلية الممكنة لهذا النظام بما يتضمن تحديد إمكانيات تغيّر النظام أو احتمالات التغيّر من حالة إلى أخرى، وبعد جمع هذه الاحتمالات يتم ترتيبها ضمن مصفوفة يطلق عليها اسم مصفوفة احتمالات الانتقال أو باختصار مصفوفة الانتقال. وهي توضح إمكانية أن يتغيّر النظام في مدة زمنية من حالة معينة إلى أخرى تالية مما يمكننا من توقع حالات أو شروط مستقبلية [8].

ونفترض في بناء مصفوفة الانتقال الفرضيات الآتية:

1- يمكننا دائماً أن نضع قائمة بالحالات الممكنة للآلية كلّها.

2- تكون الآلية في حالة واحدة فقط في لحظة زمنية معينة، وقد يبدو هذا الأمر بديهياً، ولكن في حال صياغة النموذج اعتماداً على المنطق الضبابي (Fyzzy Logic) يمكن عندها أن تنتمي آلية إلى عدة حالات بدرجة انتماء مختلفة تراوح بين القيمة صفر والقيمة واحد [9].

3- احتمالات تغيّر الحالات يبقى ثابتاً طوال مدة التحليل (في حال تغيّر الاحتمالات تُقسَّم الدراسة إلى عدة مراحل بحيث يكون الاحتمال ثابتاً في كل مرحلة، ومن ثمَّ يصبح لدينا عدة مصفوفات انتقال).

5- حجم النظام المعالج وترتيبه لا يتغيّر خلال مدة الدراسة.

سنحسب احتمال أن تكون الآلية في حالة معينة، ومن ثم نرتب المعلومات ضمن شعاع لاحتمالات الحالات خلال مدة زمنية معينة (i)، كما تبيّن المعادلة (1).

$$\pi(i)=(\pi_1,\pi_2,\pi_3,\mathbf{KK},\pi_n) \quad (1)$$

حيث:

n: عدد الحالات الممكنة

$\pi_1,\mathbf{KK},\pi_n$: احتمال أن تكون الآلية ضمن الحالة 1، احتمال الحالة 2 .....، احتمال الحالة n.

بعد أن تُحسَبُ الحالات الأولية واحتمالات كل حالة نتجه إلى إيجاد مصفوفة احتمالات الانتقال التي ستستخدم مع احتمالات الحالة في توقع المستقبل.

عناصر هذه المصفوفة من الشكل P_{ij} إذْ:

$$P=\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \mathbf{L} & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \mathbf{L} & P_{2n} \\ M & M & M & M \\ P_{n1} & P_{n2} & \mathbf{L} & P_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

P_{ij}: احتمال أن تصبح الآلية في الحالة j في المستقبل إذا كان حالياً في الحالة i. والقيم P_{ij} هي قيم تجريبية تُحسَبُ بالمراقبة والمتابعة للمعدات خلال مدة زمنية معينة (من الناحية العملية تُستَخدَمُ بيانات إحصائية سابقة لآليات مشابهة)، وتُعتَمَدُ خطوة زمنية كأساس لقياس احتمال انتقال الآليات من حالة إلى حالة أخرى، فبفرض اعتماد قياس الشهر كوحدة قياس أساسية لآلية تم مراقبة أداؤها مدة كافية في حالة العمل ومن خلال المراقبة أمكن استنتاج المعلومات الآتية:

1- إذا عملت الآلية بصورة صحيحة خلال الشهر الحالي:

آ- احتمال أن تعمل بصورة صحيحة في الشهر التالي هو 80%.

ب- احتمال أن تتعطل الآلية في الشهر التالي هو 20%.

2- إذا تعرضت الآلية لعطل جعلها تعمل بطريقة غير صحيحة خلال الشهر الحالي:

آ- احتمال أن تعمل بصورة صحيحة في الشهر التالي هو 0%.

ب- احتمال أن تعمل بصورة غير صحيحة في الشهر التالي هو 100%.

- يمكن إنشاء مصفوفة احتمالات الانتقال باعتبار أن:

الحالة (1): الآلية تعمل بصورة سليمة.

الحالة (2): الآلية لا تعمل بصورة سليمة.

$$P=\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0.80 & 0.20 \\ 0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

نسمي هذه المصفوفة بمصفوفة الانتقال الرئيسية للمسألة المدروسة، ولكن يجب إعادة صياغة هذه المصفوفة لتلائم قرارات كل خطة من الخطط المقترحة، حيث تُشَكَّلُ مصفوفات الانتقال الموافقة لكل خطة من الخطط.

مثال: لتوضيح طريقة الحصول على مصفوفات الانتقال للخطة، سنفرض تمثيل مصفوفة الانتقال الرئيسية لآلية توجد بأربع حالات (1- آلية سليمة، 2- عطل بسيط، 3- عطل رئيسي، 4- توقف عن العمل) كما يأتي:

$$P=\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}$$

بفرض أن خطة الصيانة تتضمن القرارات الآتية للحالات الأربع للآلية:

D1- الاستمرار في تشغيل الآلية وعدم فعل شي عندما تكون الآلية في الحالة 1 (آلية سليمة).

D2- الاستمرار في تشغيل الآلية وعدم فعل شي عندما تكون الآلية في الحالة 2 (عطل بسيط).

D3- إصلاح الآلية عندما تكون الآلية بالحالة 3 (عطل رئيسي) بحيث تصبح تنتقل الآلية إلى الحالة 1 (الحالة السليمة).

D4- إصلاح الآلية عندما تكون في الحالة 4 (توقف عن العمل) بحيث تعود إلى الحالة 1 (الحالة السليمة).

فتصبح مصفوفة الانتقال الخاصة بهذه الخطة:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

حيث حافظنا على القيم في مصفوفة الانتقال للسطرين 1 و2 ليتوافق مع قرار الخطة بعدم فعل أي شيء، فيما تم في السطر الثالث تمثيل القرار المتضمن إصلاح الآلية تنقلها من حالة عطل رئيسي إلى الحالة السليمة، وذلك بوضع مقدار الاحتمال 1 في الحالة السليمة للتعبير عن وجود الآلية في هذه الحالة بعد القيام بهذا القرار، كذلك خصصنا القيمة 1 في السطر الرابع ليمثل إجراء إصلاح للآلية ونقلها من حالة توقف عن العمل إلى حالة عمل سليمة. وبذلك تمثل هذه المصفوفة احتمالات وجود الآلية بعد القيام بإجراء الخطوات المبينة في القرارات الموافقة للخطة.

3-4 صياغة النموذج الرياضي وتحليله:

بعد الحصول على مصفوفة الانتقال الخاصة بالخطة المدروسة، نقوم بتحديد احتمال وجود الآلية في كل حالة لهذه الخطة اعتماداً على الفرضية الآتية:

يمكن الحصول على احتمال أي حالة مستقبلية من الحالة السابقة لها ومن مصفوفة احتمالات الانتقال، من خلال العلاقة:

(المدة التالية) y = (المدة الحالية) y * P أي:

$$y_{(n+1)} = y_{(n)}.P \quad (3)$$

ويفترض تحليل ماركوف أن y ستبقى ثابتة في النظام المدروس، أي تصبح العلاقة (3):

$$y = y.P \quad (4)$$

ويمكن تمثيل العلاقة بشكل عام على الشكل الآتي:

$$(y_1, y_2, \mathbf{KK}, y_n) = (y_1, y_2, \mathbf{KK}, y_n).\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & M & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & M & P_{2n} \\ M & M & M & M \\ P_{n1} & P_{n2} & M & P_{nn} \end{pmatrix}$$

ونظراً لأنَّ مجموع الاحتمالات في أي فترة زمنية سيبقى مساوياً للواحد سنحصل على معادلة إضافية وهي:

$$\sum_{i=1}^{i=n} y_i = 1 \quad (5)$$

ينتج من العلاقة (4) n معادلة تحوي n متحولاً ويضاف لها المعادلة الناتجة من العلاقة (5)، ويصبح عدد المعادلات الناتجة عن تحليل النموذج لـــ n حالة هو n+1 تحوي n متحولاً، ومن ثمَّ لابدَّ من إهمال إحدى المعادلات الناتجة عن ضرب المصفوفات بحيث يصبح العدد النهائي للمعادلات مساوياً للعدد النهائي للمتحولات، ذلك أن هناك معادلة فائضة رياضياً. بعد حل المعادلات سنحصل على قيم احتمالات وجود الآلية في كل حالة. نكرر الخطوة السابقة للخطط الممكنة كلّها لنحصل على مصفوفة القيم الاحتمالية للحالات في الخطط جميعها التي نمثلها كما يأتي:

$$y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & M & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & M & y_{2n} \\ M & M & M & M \\ y_{m1} & y_{m2} & M & y_{mn} \end{pmatrix}$$

تمثل y_{ij} احتمال وجود الآلية في الحالة j في الخطة i

وتمثل i رقم الخطة i=1,2,….m

وتمثل j رقم الحالة j=1,2,….n

3-5 حساب كلف الخطط المقترحة واختيار الخطة الاقتصادية

لحساب كلفة كل خطة يجب ضرب قيم الاحتمالات y_{ij} لكل خطة بكلف القرارات المحددة لهذه الخطة، كما توضح العلاقة (6):

$$\sum_{j=1}^{i=n} y_{ij}.C_{(j)} = 1 \quad (6)$$

إذْ تمثل i رقم الخطة i=1,2,….n

ونحصل على الكلف من جدول الكلف المشروح سابقاً في الفقرة 3-2، وللمثال المذكور في الخطوة السابقة يوضح الجدول (3) جدول الكلف بعد تحديد الكلف الموافقة للخطة المقترحة في نص المثال:

الجدول (3): نموذج جدول الكلف للمثال الدروس

الحالة / القرار	عمل	عطل ثانوني	عطل رئيسي	توقف عن العمل
الاستمرار في العمل	**C_{11}**	**C_{12}**	C_{13}	C_{14}
الصيانة الدورية	C_{21}	C_{22}	**C_{23}**	C_{24}
الصيانة الإصلاحية	C_{31}	C_{32}	C_{33}	**C_{34}**

وتكون كلف القرارات للخطة هي:

C_{11} للحالة الأولى = $Cost_{(1)}$ (الاستمرار في العمل)

C_{12} للحالة الثانية = $Cost_{(2)}$ (الاستمرار في العمل)

C_{33} للحالة الثالثة = $Cost_{(3)}$ (الصيانة الإصلاحية)

C_{34} للحالة الرابعة = $Cost_{(4)}$ (الصيانة الإصلاحية)

ونحصل على الكلفة الإجمالية لهذه الخطة (بفرض أنها الخطة i) من العلاقة:

$$Total\ Cost = Cost_{(1)}.y_{i,1} + Cost_{(2)}.y_{i,2} + Cost_{(3)}.y_{i,3} + Cost_{(4)} . y_{i,4}$$

بعد الحصول على كلف الخطط جميعها نختار الخطة الأقل كلفة كخطة تحقق الخيار الاقتصادي الأفضل.

4- مثال لتطبيق النموذج

في هذا الجزء من البحث سنقوم بإجراء دراسة تطبيقية للنموذج المقترح، إذْ سنفرض وجود رافعة تعمل على رفع المواد المطلوبة ونقلها لتنفيذ مبنى، وسنتبع الخطوات المبينة في النموذج.

أولاً - تحديد الحالات التي توجد فيها الرافعة.

نفرض وجود أربع حالات متمايزة لهذه المجموعة تُحدَّدُ كما يأتي:

أ –حالة العمل، وتشمل ثلاث حالات:

- الحالة الأولى: حالة تشغيل جيدة جداً، حيث تكون الإنتاجية قريبة من الإنتاجية الاسمية (فوق 90%).
- الحالة الثانية: حالة عطل بسيط، الإنتاجية تنخفض إلى مستوى متوسط من الإنتاجية الاسمية (من 70% إلى 90%).
- الحالة الثالثة: حالة عطل رئيسي، الإنتاجية تكون أقل بكثير عن الإنتاجية الاسمية (أقل من 70%).

ب- حالة عطل نهائي، وتشمل حالة وحيدة:

- الحالة الرابعة: حالة توقف كامل للرافعة.

ثانياً - إنشاء مصفوفة الخطط المقترحة.

وسنتبع الخطوات المبينة في النموذج:

1- تحديد القرارات والاستراتيجيات المتبعة للصيانة، وقد لحظنا وجود ثلاثة قرارات ممكنة هي:

القرار الأول D1: عدم القيام بأي شيء.

القرار الثاني D2: إجراء صيانة دورية للرافعة تتضمن إجراء الإصلاحات اللازمة بحيث تتحسن الإنتاجية لها، وتنقلها للحالة السابقة لها (مثلاً من الحالة 2 إلى الحالة 1).

القرار الثالث D3: إجراء الصيانة الإصلاحية للرافعة (أو تبديل القطع التالفة) مهما كانت حالة الرافعة، أي القيام بعملية الإصلاح بهدف تجنب الوقوع في العطل، بحيث

تستبدل القطع التي هي في طور التلف بصورة دورية حتى قبل أن تصل إلى مرحلة الاهتلاك.

2- تحديد كلفة كل قرار من القرارات الثلاثة في الحالات الأربع للرافعة، وقد حصلنا على الكلفة المترتبة على القرارات والموضحة بالجدول (4).

الجدول (4): مصفوفة القرارات والكلف للرافعة

الحالة / القرار	الحالة (1) عمل	الحالة (2) عطل بسيط	الحالة (3) عطل رئيسي	الحالة (4) توقف عن العمل
عدم فعل شيءD1	0	1000	-	-
الصيانة الدورية D2	4000	4000	-	-
الصيانة الإصلاحية D3	6000	6000	6000	6000

وكما شرحنا لدى تطوير النموذج فإن الكلف للقرار الأول (عدم فعل أي شيء) تعبّر عن الخسارة الناتجة عن انخفاض الإنتاجية. أمَّا كلفة القرار الثاني (إجراء صيانة دورية) فهي مكونة من شقين، الأول كلفة إجراء الفحص والإصلاح، والثاني كلفة توقف العمل، وهي كلفة ثابتة بغض النظر عن الحالة. ونلاحظ أن القرار الأول والثاني لا يشملان حالة العطل الرئيسي وحالة التوقف عن العمل للرافعة (الحالة رقم 3 و 4) لأن عدم فعل أي شيء أو القيام بصيانة دورية لن يؤدي إلى إصلاح الرافعة المعطلة تماماً. أمَّا في القرار الثالث (الصيانة الإصلاحية) فتكون التكاليف أعلى بسبب تضمين أسعار قطع الغيار من جهة، ولأن تركيب مثل هذه القطع يحتاج إلى وقت أطول، ومن ثمَّ كلفة توقف عن العمل أكبر. وهذا القرار هو القرار الوحيد المتاح في الحالة الرابعة.

3- تحديد الخطط الممكنة للصيانة

اقترحنا للحالة المدروسة الخطط الثلاث التالية، واستبعدنا الخطط التي تحوي خيارات غير منطقية مثل عدم فعل أي شيء في حال توقف الآلية عن العمل أو الصيانة الدورية في حال وجود عطل رئيسي.

- الخطة الأولى: اتخاذ القرار رقم 1 (عدم فعل شيء) في حالة العمل السليمة. واتخاذ القرار رقم 2 (الصيانة الدورية) عندما تكون في الحالة رقم 2 (عطل بسيط يمكن تلافية بالصيانة الدورية). واتخاذ القرار رقم 3 (الصيانة الإصلاحية) عندما تكون في الحالة 3 أو 4 (عطل رئيسي أو توقف عن العمل).
- الخطة الثانية: اتخاذ القرار رقم 1 (عدم فعل شيء) في الحالات 1 و2. واتخاذ القرار رقم 3 (الصيانة الإصلاحية) عندما تكون في الحالة 3 أو 4.
- الخطة الثالثة: اتخاذ القرار رقم 1 (عدم فعل شيء) في الحالة 1. واتخاذ القرار رقم 3 (الصيانة الإصلاحية) عندما تكون في الحالة 2 أو 3 أو 4.

نشكل مصفوفة الخطط الممكنة بناء على توصيف الخطط، ويوضح الجدول (5) مصفوفة الخطط للحالة المدروسة.

الجدول (5): مصفوفة الخطط الممكنة لصيانة الرافعة

الحالة / الخطة	الحالة (1) عمل	الحالة (2) عطل بسيط	الحالة (3) عطل رئيسي	الحالة (4) توقف عن العمل
الأولى	D1	D2	D3	D3
الثانية	D1	D1	D3	D3
الثالثة	D1	D3	D3	D3

ثالثاً - تطوير مصفوفة احتمالات الانتقال

للحصول على مصفوفة الانتقال الرئيسة للحالة المدروسة، يتم الاعتماد على سجلات الصيانة والإصلاح للرافعة ومراقبة عملها خلال عدة مشاريع، حيث يمكن أن نحدد مصفوفة الانتقال كما يأتي:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}$$

وكانت معطيات المصفوفة للحالة المدروسة هي:

$$P=\begin{bmatrix}0 & 7/8 & 1/16 & 1/16\\ 0 & 3/4 & 1/8 & 1/8\\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

بالاعتماد على مصفوفة الانتقال الأساسية يمكن الحصول على مصفوفات الانتقال للخطط المقترحة:

- تطبيق الخطة الأولى:

اتخاذ القرار رقم 1 (عدم فعل شيء) في الحالات 1. واتخاذ القرار رقم 2 (الصيانة الدورية) عندما تكون في الحالة رقم 2 لنقلها للحالة السليمة 1. واتخاذ القرار رقم 3 (الصيانة الإصلاحية) عندما تكون في الحالة 3 أو 4.

وتكون مصفوفة الانتقال هي:

$$P_1=\begin{bmatrix}P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14}\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

والمصفوفة الموافقة لها:

$$P_1=\begin{bmatrix}0 & 7/8 & 1/16 & 1/16\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

- تطبيق الخطة الثانية:

إصلاح الرافعة في الحالتين 3 أو 4، وتكون مصفوفة الانتقال هي:

$$P_3=\begin{bmatrix}P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14}\\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24}\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

والمصفوفة الموافقة لها:

$$P_3=\begin{bmatrix}0 & 7/8 & 1/16 & 1/16\\ 0 & 3/4 & 1/8 & 1/8\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

- تطبيق الخطة الثالثة:

إصلاح الرافعة عندما تكون في الحالات 2 أو 3 أو 4، لنقلها للحالة السليمة، وتكون مصفوفة الانتقال هي:

$$P_4=\begin{bmatrix}P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14}\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

والمصفوفة الموافقة لها:

$$P_4=\begin{bmatrix}0 & 7/8 & 1/16 & 1/16\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

رابعاً - صياغة النموذج الرياضي وتحليله

اعتماداً على الخطة المتبعة في التشغيل يكون حساب احتمال وجود الرافعة في إحدى الحالات الأربع من المعادلة المصفوفة الآتية:

$$(y_1,y_2,y_3,y_4)=(y_1,y_2,y_3,y_4)*P$$

حيث:

y_1 y_2 y_3 y_4

هي احتمالات أن تكون الرافعة في الأوضاع 1,2,3,4.

P: المصفوفة الموافقة للخطة المتبعة.

سنوضح خطوة الحل للخطة الأولى، إذْ المعادلة الأساسية لهذه الخطة:

$$(y_1,y_2,y_3,y_4)=(y_1,y_2,y_3,y_4)\cdot\begin{bmatrix}0 & 7/8 & 1/16 & 1/16\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

وتكون جملة المعادلات الناتجة:

$$y_1 = y_2 + y_3 + y_4$$

$$y_2 = 7/8 y_1$$

$$y_3 = 1/16 y_1$$

$$y_4 = 1/16 y_1$$

ويضاف إليها المعادلة المعبرة عن مجموع الاحتمالات

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 = 1$$

تُحلُّ هذه المعادلات بإهمال إحدى المعادلات الأربع الأولى، ونكرر هذه الخطوة للخطط المقترحة بالتطبيق المدروس للحصول على احتمال وجود الرافعة في الحالات المختلفة لكل خطة.، ويمثل الجدول (6) قيم المتحولات الناتجة من حل جمل المعادلات لكل خطة.

الجدول (6):احتمال وجود الرافعة في الحالات المختلفة لكل خطة

المتحول / الخطة	y1	y2	y3	y4
الخطة الأولى	1/2	7/16	1/32	1/32
الخطة الثانية	2/11	7/11	1/11	1/11
الخطة الثالثة	1/2	7/16	1/32	1/32

خامساً - الحصول على كلف الخطط المقترحة واختيار الخطة الاقتصادية.

ستُطَبَّقُ في هذه الخطوة إجراءات الحل بهدف الوصول إلى كلفة كل خطة من الخطط المقترحة اعتماداً على الكلف المبينة في الحل C_{ij} من خلال ضرب المتحولات y_i للخطة المدروسة بالكلف الموافقة C_{ij}.

وبالعودة لمصفوفة الكلف والقرارات المبينة في الجدول، نوضح في الجدول(7) قيم الكلف الموافقة لقرارات الخطة الأولى:

الجدول (7): مصفوفة الكلف والقرارات بعد تظليل الخلايا الموافقة لقرارات الخطة الأولى

الحالة / القرار	الحالة (1) عمل	الحالة (2) عطل بسيط	الحالة (3) عطل رئيسي	الحالة (4) توقف عن العمل
عدم فعل شيءD1	0	1000	-	-
الصيانة الدورية D2	4000	4000	-	-
الصيانة الإصلاحيةD3	6000	6000	6000	6000

ومن ثمَّ الكلف الموافقة للخطة (1) هي:

$Cost_{(1)} = 0$

$Cost_{(2)} = 1000$

$Cost_{(3)} = 4000$

$Cost_{(4)} = 6000$

وتصبح معادلة الحصول الكلفة الإجمالية للخطة الأولى هي:

Total Cost
=0*1/2+4000*7/16+6000*1/32+6000*1/32=
2125

وبالمنهجية نفسها يمكن الحصول على كلف الخطط المتبقية بعد تحديد كلف القرارات وضربها بالقيم الاحتمالية لمتحولات النموذج، ويوضح الجدول (8) قيم الكلف الإجمالية للخطط المقترحة، ويساعدنا الجدول على تحديد خطة الصيانة الاقتصادية والموافقة للكلفة الدنيا (في الحالة المدروسة هي الخطة الثانية).

الجدول (8): قيم الكلف لخطط صيانة الرافعة

الخطة	الكلفة الإجمالية
الخطة الأولى	2125
الخطة الثانية	1727
الخطة الثالثة	3000

أي أن الخيار الأمثل لإستراتيجية الصيانة للرافعة هو إصلاح الرافعة عندما تكون ي في حالة عطل رئيسي وفي حالة توقف عن العمل، واستمرار العمل في حال وجود عطل بسيط، وأيضاً استمرار العمل حين عدم وجود أعطال بها (حالة العمل).

5- نتائج البحث

بعد دراسة النتائج المتحصل عليها وتحليلها وتعرّف خطوات تطوير النموذج المقترح يمكن تقديم النتائج الآتية:

1- يمكن استخدام الأدوات الرياضية في مساعدة مدراء المشاريع على تحديد السياسات المثلى لصيانة المعدات.

2- النموذج الرياضي المقترح يعتمد على سجلات التشغيل والصيانة للآلية، مما يتطلب عملية التوثيق المستمر للعمل.
3- يجب حصر أنماط الصيانة الممكنة وتحديد الحالات التي يتم وجود الآلية بها، وتطوير خطط الصيانة الممكنة وكلفها واستبعاد تلك غير المنطقية رغم إمكانية معالجتها رياضياً.
4- تعدُّ النتائج المتأتية عن هذا النموذج مؤشراً مساعداً على اتخاذ القرار المناسب، وذلك بسبب استنادها إلى معطيات احتمالية الأمر الذي يجعل التقيد بها ليس إلزامياً بل هو دليل يشير إلى الاتجاه الصحيح.

6- الخاتمة والتوصيات

إن الهدف الأساسي لعملية الصيانة مهما كانت الإستراتيجية المتبعة لإجرائها هو الحفاظ على المعدات في حالة عمل جيّدة وفعّالة بهدف ضمان جودة الإنتاج والحصول على عائد اقتصادي أكثر جدوى. مع الأخذ بالحسبان الكلفة المترتبة على عملية الصيانة والخسارة الناجمة عن توقف العمل وضعف الإنتاجية.

وكما رأينا فإنه ووفقاً لمتطلبات الإنتاج وشروط العمل المحيطة فإن الإستراتيجية المتبعة يمكن أن تكون صيانة دورية أو تنبؤية أو إصلاحية، كما يمكن أيضاً المزج بين هذه الممارسات؛ وذلك تبعاً للحالات المتعددة التي يمكن أن توجد فيها الآلية. ولضمان فعّالية الصيانة يمكن استخدام نموذج رياضي لعملية اتخاذ القرار فيما يتعلق باختيار إستراتيجية الصيانة المناسبة، حيث يتم اتخاذ القرار على أساس حالة الآلية والتكاليف المترتبة من عملية الصيانة وتوقف العمل. طُوِّرَ نموذج دعم القرار بالاعتماد على المعرفة المتوافرة والخبرات السابقة، وباستخدام تقنيات رياضية (تحليل ماركوف) لتحليل البيانات المتوافرة.

النموذج يعتمد على فرضية تنويع طرائق الصيانة خلال عمل الآليات، إذْ يجب عدم اعتماد طريقة صيانة محددة للآليات (دورية، تنبؤية، إصلاحية) طوال مدة المشروع، بل يمكن تنويع طريقة الصيانة تبعاً لوضع الآليات بحيث نوفر الكلفة الناجمة عن صيانة فائضة أو الكلفة الناتجة عن قلة الصيانة، ومن ثمَّ خسارة توقف العمل.

وننوه بأن جودة عمل النموذج تعتمد على مصداقية المعلومات المتعلقة بمصفوفة الانتقال الاحتمالية التي تُبنى على مراقبة أداء الآلية خلال مدة كافية، الأمر الذي يعزز دور التوثيق والأرشفة في عمل المعدات والذي يجب أن يأخذه مدير المشروع بالحسبان، إذْ نلحظ –بالغالب- عدم الاهتمام بعملية التوثيق والتركيز فقط على العملية الإنتاجية.

المراجع

1- Buffa Elwools, "Modern Production Management", joh weley and sons in N.Y.1977.
2- Monks J.G., "Operation Management Theory And Problems", Mc Graw-Hill 1982.
3- Clifton R.H., "Principles Of Planned Maintenance", London Eward Arnold publishers , 1974.
4- Corder A.S, "Maintenance Management Techniques''. London Mc Graw Hill Company, Inc.1976.
5- A. Sturm, *el al.*, "Knowledge-Based Selection of Maintenance Strategies in a Plant Management System", Siemens Energy Market Solutions.
6- Hao, Q. et al., "A decision support system for integrating corrective maintenance, preventive maintenance, and condition-based maintenance", Construction Research Congress 2010, Banff, Alberta, May 8-10, 2010, pp. 1-10.
7- Wai-Ki Ching, Michael K. Ng., "Markov Chains: Models, Algorithms and Applications", Ed. Springer Science+Business Media, Inc. 2006, 211p.
8- D. j. Edwards, *et al*., "Management of off-highway Plant and equipment", Spon Press, London and New York, 2003.
9- Anna Maria Gil-Lafuente, "Fuzzy Logic in Financial Analysis", Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K , 2010, 250 P.
10- مركز الدكتور سامر مظهر قنطقجي لتطوير الأعمال www.kantakji.org.
11- محمد عبدالله وسو محمد، "استخدام ألأساليب العلمية في تخطيط خدمات الصيانة"، بحث ماجستير جامعة صلاح الدين، العراق 2007، 110 ص.
12- حنفي محمود سليمان، "إدارة الإنتاج"، الإسكندرية، دار الجامعات المصرية ،ص 262.
13- لطفي تاج، عمار سرحان، "مقدمة في العمليات العشوائية"، جامعة الملك سعود، 2005 ،ص365.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/1/25.