مجلة البحوث الأكاديمية

Journal homepage: www.lam.edu.ly

تطبيق نموذج سلاسل ماركوف وأثره على فعالية إدارة الصيانة (حالة دراسية بالشركة الليبية للحديد والصلب – مصنع الدرفلة الطولية)

محمود امحمد مفتاح أبوشعالة
جامعة مصراتة- كلية الهندسة، الهندسة الصناعية والتصنيع،
مصراتة - ليبيا

استلمت الورقة بتاريخ 2022/10/01، وقبلت بتاريخ 2022/10/23، ونشرت بتاريخ 2022/11/01
الكلمات المفتاحية: نموذج سلاسل ماركوف، المعولية، الاتاحية، قابلية الصيانة، معدل الفشل.

الملخص

تهدف الصيانة إلى التأكد من إن جميع آلات ومعدات الإنتاج يتم الاحتفاظ بها في حالة تشغيلية مثلى، والوقوف على الحالة التشغيلية الفعلية لآلات وهناك العديد من الأساليب الكمية والنماذج الرياضية التي تساعد المنشأة في تحقيق أفضل النتائج.وعلى هذا الأساس تسعى هذه الورقة إلى تطبيق أحد أساليب بحوث العمليات المتمثلة في سلاسل ماركوف لقياس معدل العطل الكلي لخطوط المنشأة الصناعية واحتمالية الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى.واختير مصنع الدرفلة الطولية بالشركة الليبية للحديد والصلب كحالة دراسية لاحتوائه على خطي إنتاج متوازيان. بهدف معرفة الواقع الفعلي للخطين ومحاولة التنبؤ بالأعطال لتجنبها في المستقبل مما يحسن ويزيد من فعالية إدارة الصيانة، وقد استخدم برنامج التحليل الإحصائي للبيانات (Minitab) لإيجاد علاقة الارتباط بين مؤشرات الأداء.ومن خلال الدراسة وجد أن احتمالية بأن يكون كلا الخطين في حالة تشغيلية صالحة للعمل (0.7257)، احتمالية بأن يكون الخط الأول عاطل والخط الثاني صالح للعمل (0.1809)، احتمالية بأن يكون الخط الثاني عاطل والخط الأول صالح للعمل (0.0933) واحتمالية معدل العطل الكلي للنظام (0.1082).

1. المقدمة

إن اتساع حجم المؤسسات وتعدد وتنوع نشاطاتها نتج عنه ظهور مشاكل على درجة عالية من التعقيد مما زاد من صعوبة اتخاذ القرار الصحيحة، حيث أن إدارة الصيانة تأثرت أيضاً بهذا التطور ولم تعد تطبق سياسة الإصلاح بعد العطل كما في السابق، بل أصبحت تضع خططاً وإجراءات تشغيلية وتنفيذية للتخطيط المستقبلي لأعمالها مع المراقبة المبكرة للحالة التشغيلية للمعدات والآلات، وذلك بالاعتماد على أساليب كمية متطورة تزيد من قدرتها على الاحتفاظ على الآلات في حالة تشغيلية مثلى، وعلى توقع الفترة الزمنية لحدوث الأعطال أو خفضها إلى أدنى مستوى ممكن، مما يساهم في خفض تكاليف الإنتاج وتحسين الأداء.

لهذا السبب كان لابد من اللجوء إلى تطبيق منهج علمي واضح وقائم على أسس علمية يمكن متخذي القرارات من التحكم بشكل أفضل في الظروف الجديدة والتنبؤ بتطورها المستقبلي ويجعلهم قادرين على تحليل المشاكل الإدارية وحلها، وتستخدم الأساليب الكمية والنماذج الرياضية والإحصائية والقياسية قاعدة مناسبة لعملية اتخاذ القرار، وما زاد من أهمية هذه الأساليب الكمية والإقبال الكبير على تطبيقها هو دعمها بتطبيقات الحاسب الالكتروني مما يزيد فرص نجاحها.
تهتم الأساليب الكمية بتمكين مستخدميها من التعامل مع أحداث وظروف القرار والتحكم في متغيراته وتحديد بدائله بطريقة كمية من خلال الاعتماد على الأرقام والعلاقات الرياضية والإحصائية للوصول إلى أمثل حل ممكن.[1].

واقترح أ. د. سالم عبدالله الدليمي – تكريت – العراق المنهجية المناسبة لربط كل من المعولية (Reliability)، الاتاحية (Availability) والنماذج الماركوفية (Markov Models) مع بعضها البعض لأجل استخدامها مجتمعة (RAMM) في تحليلات لتقييم أنظمة الإنتاج واحتساب إنتاجيتها. وقدمت التحليلات (RAMM) بصورة منفردة ومدمجة في نظام إنتاجي متوازي الشكل لأجل تخمين إنتاجيته.أظهرت تلك التحليلات إن الاتاحية ونماذج ماركوف مناسبة للاستخدام في تقدير الإنتاجية للفترات المستقبلية حيث أدت إلى زيادة الإنتاجية بنسبة 78%.

وتم تطبيق نموذج سلاسل ماركوف من قبل الباحثة نسيبة بنشوري بعنوان "أثر تطبيق الأساليب الكمية على فعالية إدارة الصيانة " ـــ رسالة ماجستير – 2016/2015 – بسكرة – الجزائر.على مؤسسة صناعة الكوابل فرع جنرال كابل بسكرة التي تضم عدد كبير من الآلات والمعدات الإنتاجية موزعة على خطوط الإنتاج. وقد تم اختيار الآلة (CR44) والآلة (UW25) لتطبيق نموذج سلاسل ماركوف لتحديد احتمال معدل العطل الكلي لكلا الآلتين واحتمال الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى لكل آلة على حدى ولإثبات مدى أثره على فعالية إدارة الصيانة.

ومن خلال تطبيق هذا النموذج على الآلتين والذي ارتكز في حساباته على عدد الأعطال وأوقات التصليح لهما. توصل الباحث إلى معرفة الواقع التشغيلي الفعلي لهذه الآلات. وتبين مدى أهميته وأثره لكونه يقدم مجموعة من المؤشرات الكمية التي تساهم في زيادة وتحسين فعالية إدارة صيانة آلات ومعدات المؤسسة، التي يمكن اعتمادها عند وضع خطط الإنتاج المستقبلية مما يحسن من سير العملية الإنتاجية والمساهمة في تحقيق الأهداف المسطرة.

2. الصيانة وأنواعها

الصيانة هي مجموعة من الأعمال التقنية والإدارية التي تهدف إلى تفادي الأعطال وإصلاحها إن وجدت، بغية استرجاع الأصل إلى حالته الأولية التي كان عليها، مما يضمن قيام الأصل بوظيفته الإنتاجية وذلك بتكلفة اقتصادية للقيام بهذه الأعمال.[2]

وقد تغيرت النظرة لصيانة من المفهوم التقليدي الذي كان سائدا وهو الصيانة بعد حدوث الأعطال وتم تصنيف الصيانة إلى:

أ. *الصيانة الوقائية:*

وهي الصيانة التي يتم القيام بها قبل حدوث الأعطال في الموجودات الإنتاجية وذلك وفق برنامج زمني محدد مسبقا لأجل تقليل الأعطال التي يمكن أن تحدث مستقبلا والتي تؤدي إلى توقف المعدات عن العمل ويتضمن برنامج الصيانة الوقائية.

ب. *الصيانة الدورية:*

تعرف بأنها أعمال الصيانة التي يتم القيام بها من أجل إعداد المنتجات حسب المواصفات المحددة لها أي المعايير المقبولة وتتم جدولة الأعمال والأنشطة وفقا لحجم الصيانة المطلوبة بصورة دورية.

ج. الصيانة الاضطرارية (الفجائية):

تعرف على أنها أعمال الصيانة التي يتم القيام بها بعد حدوث الأعطال في الآلات وغيرها من الموجودات الإنتاجية، فقد يتوقف المحرك الكهربائي في الآلة عن العمل او يحدث عطل في الحزام الناقل في خط الإنتاج وغيرها من الأعطال، الأمر الذي يتطلب من فرق الصيانة القيام بالتصليح اللازم لها، ولهذا السبب يطلق عليها بعض الباحثين مصطلح الصيانة عند حدوث العطل.

إن هذا النوع من الصيانة لا يمكن التنبؤ بها، ولقد كان هذا النوع من الصيانة الشائع الحدوث في المنشآت الصناعية حتى وقت قريب بسبب عدم إدراك تلك المنشآت لأهمية الصيانة الوقائية والفوائد الكبيرة التي تحققها وكذلك للمزايا التي تتمتع بها الصيانة الاضطرارية.[2]

3. الأعطال

تتعرض معدات الإنتاج والخدمة إلى العطل وبدرجات متباينة الخطورة فبعض الأعطال تحدث بصورة عرضية لا يمكن ملاحظات وبالعكس، قد يؤذي عطل أجزاء الآلة إلى تعرض الخط الإنتاجي بأكمله إلى الخطر أو التوقف.

فالمشكلة التي يواجها مدراء العمليات والإنتاج تتعلق بكيفية تحديد أساليب الصيانة الوقائية التي تسهم في تخفيض تكاليف الإنتاج الكلية إلى أدنى حد ممكن وتخفيض نسبة التالف في الإنتاج نتيجة لحدوث توقفات غير متوقعة وارتفاع تكاليف الصيانة.

وهذا الأمر يتطلب تحليل الأعطال وتشخيص أسبابها ومعدل تكرارها والتوزيع الزمني لحدوثها من خلال مراقبة أداء الآلة وتحليل بيانات الأعطال التي تتعرض لها لتتمكن من تشخيص نقاط القوة والضعف وتحديد العوامل المؤثرة في حدوث العطل والنتائج المترتبة عليه بتصميم برنامج صيانة فعال للآلات والمعدات.[3]

ومن عوامل القضاء أو التخفيض من حدة الأعطال يجب إتباع الآتي:[4]

1. التخطيط المناسب لجدول أعمال الإصلاح والصيانة.
2. التخطيط المناسب لوضع المواصفات الملائمة لقطع الغيار.
3. وضع المواصفات والخطوات المناسبة لتنفيذ الأعمال.
4. إيجاد أزمنة التشغيل للأجزاء.
5. موثوقية التشغيل للأجزاء بدون عطل.
6. الفحص.

4. مؤشرات الأداء

عرفت مؤشرات الأداء مجموعة من التدابير التي تركز على الأداء التنظيمي الأكثر أهمية لنجاح المؤسسة. ومن أهم المؤشرات هي:

أ. *مؤشر المعولية (الموثوقية) Reliability:*

المعولية هي احتمالية أن يستمر جهاز في أداء عمله بصورة جيدة لفترة معينة من التشغيل ضمن شروط استخدام محددة.

$$\lambda = 1/\text{MTBF}$$

$$R = e^{-\lambda t}$$

R: المعولية

λ : معدل الفشل

ب. *متوسط الوقت بين عطلين*

MTBF(Mean Time Between Failures):

يعد (MTBF) مؤشرا هاما لقياس جودة أداء الصيانة حيث يقيس متوسط الوقت بين العطلات التي تحدث في الآلات أو أحد أجزائها القابلة للتصليح، ويحسب وفق الصيغة الآتية:

$$\text{متوسط الوقت بين عطلين متتاليين} = \frac{\text{مدة التشغيل (الوقت الكلي - وقت عدم التشغيل)}}{\text{عدد الاعطال}}$$

حيث:

مدة التشغيل = الوقت الكلي – وقت عدم التشغيل

ج. *متوسط وقت التصليح*

Mean Time to Repair (MTTR):

وهو متوسط الوقت اللازم لتصليح الآلة أو أجزائها بعد حدوث العطل كما بالشكل (3.2.2)، ويقاس وفق المعادلة الآتية:

$$\text{متوسط وقت التصليح}(\textbf{MTTR}) = \frac{\text{مجموع أوقات التصليح}}{\text{عدد حالات الاصلاح}}$$

ويعد (MTTR) مقياسا للقدرة على الصيانة (Maintainability) وعامل مهم لأداء المسار الإنتاجي.

د. *معدل الفشل(λ) Failure Rate:*

ويعرف بأنه مقلوب معدل الوقت المحصور بين الأعطال.

$$\text{معدل الفشل}(\lambda) = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

هـ. *مؤشر قابلية الصيانة Maintainability:*

هي عملية استخدام أعمال وطرق الصيانة ومواردها على الجهاز بغية إعادة استخدامه أو الاحتفاظ به لأداء المهمة المطلوبة تحت ظروف تشغيل معينة.

"وعرفت بأنها الاحتمالية في إرجاع المكون العاطل للخدمة وبالحالة المطلوبة وخلال فترة زمنية معينة باستخدام الموارد والإمكانيات المتوفرة، والفترة الزمنية تمثل متوسط زمن التصليح (MTTR)أما الموارد والإمكانيات المستخدمة للتصليح يقصد بها العمالة الماهرة والأدوات الاحتياطية ومواد التصليح المطلوبة ومعدات الفحص والاختبار إضافة إلى الكلفة وكل ما من شأنه أن يعظم الإتاحة.

وتعطى قابلية الصيانة بالعلاقة التالية:

قابلية الصيانة (MAINT) = 1 - exp(-(t/MTTR))

MAINT = 1- exp(-(t/MTTR))

و. إتاحية الآلات والمعدات Availability:

هي كفاءة الجهاز – تحت عوامل مترابطة من المعولية وقابلية الصيانة – في إنجاز الوظيفة المطلوبة ضمن شروط الاستخدام المحددة وخلال فترة زمنية معينة يكون للجهاز إتاحية جيدة إذا كان معدل التوقفات أقل ما يمكن، بالإضافة إلى إمكانية إعادة الحالة التشغيلية للجهاز في أقل وقت ممكن.

ويعبر عن الإتاحية بنسبة متوسط الوقت بين العطلات (MTBF) إلى مجموع (MTBF) مضاف إليه متوسط وقت التصليح (MTTR) أي أن:

$$\text{الإتاحية (Availability)} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

5. الأساليب الكمية

تعتبر الأساليب الكمية من العوامل التطبيقية الحديثة أد أن صناعة القرار في أي مجال من المجالات يتطلب اللجوء إلى الأساليب العلمية التي تمكن صانع القرار والقائمين على تنفيذها من الوصول إلى الغاية المرجوة.

وتعرف الأساليب الكمية بأنها هي عبارة عن مجموعة من النماذج الرياضية والإحصائية وتقنيات الحاسوب التي يتم استخدامها في حل المشاكل بعد معرفة جميع المتغيرات المحيطة بها من أجل اتخاذ القرار المناسب.[5]

ومن خصائص الأساليب الكمية:[6]

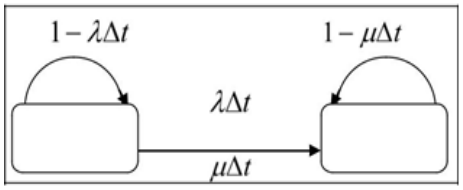
1. إتباع الأسلوب العلمي في التحليل من حيث الملاحظة وتعريف المشكلة وتطوير حلول بديلة واختيار وإثبات الحل الأمثل من خلال التجارب والتنفيذ والمراجعة ومراقبة النموذج.
2. إمكانية الكشف عن مشاكل جديدة قد تظهر أثناء معالجة المشكلة الأساسية حين تكون ذات علاقة متبادلة معها.
3. اعتماد مبدأ فريق العمل يتكون من اختصاصي فروع المعرفة المختلفة، ودلك للوصول إلى حلول ذات احتمالية نجاح عالية.

6. سلاسل ماركوف

يرجع اسم هذا النموذج إلى العالم الروسي " اندريه ماركوف" الذي طور هذه السلاسل عام 1905م. وأساس هذا الأسلوب هو التنبؤ بقيمة مستقبلية من خلال قيمة حالية، والذي يساعد على تحليل رياضي بالأحداث التي تظهر متتابعة زمنياً والذي يخضع لتحليل باستخدام الاحتمالات وعليه فإن عمليات ماركوف هي نوع خاص من العمليات الاحتمالية.

ولقد طور تحليل ماركوف ليستخدم على نطاق أعم من التحليل والتنبؤ بالسلوك فقد استخدمت نماذج سلاسل ماركوف لوصف احتمال استمرار الآلة والتي تعمل في فترة ما في العمل أو تعطلها في الفترة التالية، وقد استخدمت تلك النماذج أيضاً لوصف احتمال شراء عميل لعلامة A في فترة ما وأنه سوف يشتري علامة B في الفترة التالية وتستخدم كوسيلة لاتخاذ السلع في السوق ومشاكل التخزين... الخ.[6]

ويوضح "Smith" أن سلسلة ماركوف في تطبيقات إدارة الصيانة تعتمد على حساب معدل العطل والإصلاح في النظام التشغيلي (P+)، وتتألف من الحالات المحتملة للحالة التشغيلية لآلات الإنتاج، واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى (احتمالات الانتقال تعني احتمال انتقال من الحالة التي تكون فيها صالحة للعمل إلى الحالة التي تكون فيها عاطلة عن العمل وبالعكس)، والشكل (1) يعرض التمثيل البياني لسلسلة ماركوف واحتمال الانتقال من حالة إلى أخرى:[6]



شكل (1) تمثيل بياني لسلسلة ماركوف

حيث:

λ: يمثل معدل العطل

μ: يمثل معدل التصليح

والدوال الرياضية التي تصف سلوك الأعطال تختلف في تعقيدها حسب طبيعة نظام الآلات ويقول "Marquez"أن الدوال الأساسية لنماذج العطل هي:

f(t): دالة الكثافة الاحتمالية للعطل.

F(t): دالة التوزيع الاحتمالي للعطل (وتسمى أيضاً بدالة توزيع العطل التراكمي).

R(t): دالة الموثوقية (الموثوقية تعني احتمالية أداء الآلة للعمل لغرضها الإنتاجي أو الخدمي في ظل الظروف التشغيلية وخلال فترة زمنية محددة(t)).

λ(t):دالة العطل (معدل العطل).

حيث:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t-1)} \dots\dots\dots (1)$$

ويلاحظ في العطل أن هناك علاقة عكسية بينها وبين دالة الموثوقية، أي كلما زاد معدل العطل كلما قلت موثوقية الآلة (سيتم توضيحها أكثر بالحسابات في الجزء التطبيقي).

والنظام التشغيلي (P) يمكن أن يأخذ أحد هذه الحالات:

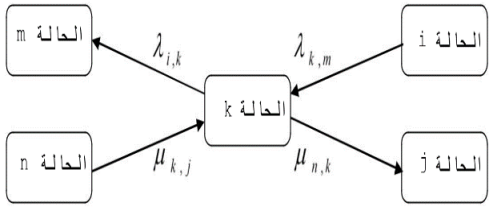
- الحالة (0): تمثل حالة الآلة صالحة للعمل (الآلة تعمل).
- الحالة (1): تمثل حالة الآلة عاطلة عن العمل (الآلة لا تعمل).
- إذا كان (λ) هو احتمال انتقال الآلة من الحالة (0) إلى الحالة (1) فإن ($1-\lambda$) هو احتمال بقاء الآلة في الحالة (0).
- وإذا كان (μ) هو احتمال انتقال الآلة من الحالة (1) إلى الحالة (0) فإن ($1-\mu$) هو احتمال بقاء الآلة في الحالة (1).

ويرمز إلى احتمال الحالة للآلة بالرمز $P_j(t)$ وهو يمثل احتمال كون الآلة في الحالة (j) عند الوقت ((t) دراسة احتمالية تغير الحالة المعروفة فقط في الحالة الحالية تحت الاحتمالية للعطل أو الإصلاح ليست معروفة في التاريخ الماضي في النظام التشغيلي)، فإذا كانت الآلة في حالة صالحة للعمل في الوقت الابتدائي (t=0) فإن احتمال الحالة (0) عند الوقت (t=0) سيكون $[P_0(0) = 1]$، وإن احتمال الحالة (1) عند الوقت (t=0) سيكون $[P_1(0) = 0]$.

ويعني أيضاً إن احتمال الحالة (0) يقل بمعدل ثابت هو (λ) بمعنى أنه إذا كانت الآلة في الحالة (0) صالحة للعمل في فترة الوقت (t) فإن احتمال انتقال الآلة في الحالة العاطلة (1) عن العمل خلال الفترة اللاحقة من الوقت سيكون (λdt).

واحتمال الانتقال من الحالة الصالحة للعمل الحالة (0) إلى الحالة العاطلة عن العمل الحالة (1) خلال الفترة المتزايدة من الوقت (dt (يمكن الحصول عليه من خلال (احتمال الآلة في الحالة (0) عند بداية الفترة مضروباً باحتمال الانتقال (λ dt)، ومن هنا نتأكد ان سلاسل ماركوف هي الأكثر تعقيدا من بين العديد من بين النماذج وذلك لارتباطها بعدد الحالات الابتدائية للنظام وعدد الحالات التي يتوقع

الانتقال إليها والتي غالبا ما تكون كثيرة ومجهولة العدد، ولكن يمكننا وبصورة عامة حسب ما وضح "Dhillon" القول أن الاحتمالية الكلية للانتقال إلى أي حالة معطاة بالشكل التالي:



شكل (2) احتمالية الانتقال من حالة إلى أخرى

أي أن الاحتمالية الكلية للانتقال تساوي مجاميع[معدل العطل والانتقال من حالة إلى أخرى مضروباً في احتمال الحالة التي تم الانتقال منها] مع مجاميع [معدل التصليح والانتقال من حالة إلى أخرى مضروباً في احتمال الحالة التي تم الانتقال منها] وكل ذلك مطروحاً منها [مجاميع معدلات العطل والتصليح].

وبعبارة أخرى فإن الاحتمالية الكلية للانتقال من وإلى الحالة المعطاة تكون مجموع احتمال الانتقال للحالة المعطاة مضروباً باحتمال الحالة التي تم الانتقال منها مطروحاً منها مجموعة احتمالات الخروج والانتقال من الحالة المعطاة مضروباً في احتمال الحالة المعطاة، ويمكن توضيح معادلة الانتقال من حالة إلى أخرى لأي حالة معطاة بالمعادلة التالية:

$$\frac{dP_k}{dt} = \sum \lambda_{i,k} P_i + \sum \mu_{n,k} P_n - (\sum \mu_{k,j} + \sum \lambda_{k,n}) P_k$$

تحت شرط مفاده أن جميع احتمالات النظام التشغيلي مجموعها يساوي الواحد أي: $\sum P_i = 1$

7. جميع البيانات وتحليلها

بناءً على البيانات التي تم الحصول عليها من قسم إدارة التخطيط والمراقبة بمصنع الدرفلة الطولية للشركة الليبية للحديد والصلب. واستناداً للأداء التشغيلي لكل خط تم الحصول على أعداد الأعطال وأوقات التصليح من الفترة 2021/7/1 إلى 2020/12/31م.

جدول (1) توقفات خط الدرفلة الطولية المزدوج الأول والثاني

S.N	AREA	DOWNTIME (h) LINE1				DOWNTIME (h) LINE2				DOWNTIME (h) LINE1				DOWNTIME (h) LINE2			
A	BILLET RECIVING GRID	ELECTRICAL				MECHANICAL				OPERATION				ROLL SHOP			
		T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
A1	APP. ROLLER TABLE	2	3	1	1	10	4	12	6	1	1	2	2	0	0	0	0
A2	BILLET SEPERATOR	0	0	2	2	5	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	REJECT	5	6	4	3	11	6	5	2	12	10	11	10	0	0	0	0
B	FURNACE	ELECTRICAL				MECHANICAL				OPERATION				ROLL SHOP			
		T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
B1	BILLET CHARGER	10	9	12	12	22	10	20	14	5	6	2	1	0	0	0	0
B2	CROSS PUSHER	0	0	0	0	1	1	2	1	2	2	6	6	0	0	0	0
B3	SKID PIPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	645	1	0	0	0	0
C	MILL STANDS (ST.#1 TO ST.#18)	ELECTRICAL				MECHANICAL				OPERATION				ROLL SHOP			
		T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
C1	STANDS	3	12	5	20	52	4	84	12	188	100	200	150	10	20	60	100
C2	MOTORS	28	6	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	ROLLS	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	10	17	34	90	53	111
D	COOLING BED	ELECTRICAL				MECHANICAL				OPERATION				ROLL SHOP			
		T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
D1	SPEED BRAKER 1,2,3	15	22	10	12	70	60	95	14	56	50	60	80	0	0	0	0
D2	CB. RAKE	12	10	1	1	6	5	2	1	14	20	2	6	0	0	0	0
D3	CB. RUN OUT	10	2	12	12	15	11	22	5	2	5	4	12	0	0	0	0
E	TRANSFER TABLE	ELECTRICAL				MECHANICAL				OPERATION				ROLL SHOP			
		T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
E1	COLD SHEAR	2	2	2	2	4	10	5	4	5	2	14	10	0	0	0	0
E2	TRANSFER T/T	10	12	1	1	11	22	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	BUNDLLING MACHINE (1,2)	4	2	2	1	5	10	2	1	22	4	15	10	0	0	0	0

- ***تحديد معدل العطل ومعدل التصليح:***

ووفقاً لهذه البيانات وباستخدام طريقة الجدولة تم حساب الإتاحية ومتوسط الزمن بين الأعطال (MTBF) لكل خط كما هو موضح بالجدولين رقم (2) ورقم (3).

$$\text{الإتاحية (Availability)} = \frac{\mathbf{MTBF}}{\mathbf{MTBF + MTTR}}$$

$$\text{متوسط الزمن بين الأعطال} = \frac{\text{مدة التشغيل (الوقت الكلي – وقت عدم التشغيل)}}{\text{عدد العطلات}}$$

$$\text{متوسط زمن التصليح} = \frac{\text{مجموع أوقات التصليح}}{\text{عدد حالات الاصلاح}}$$

$$\mathbf{R = e^{-\lambda t}}$$

حيث:

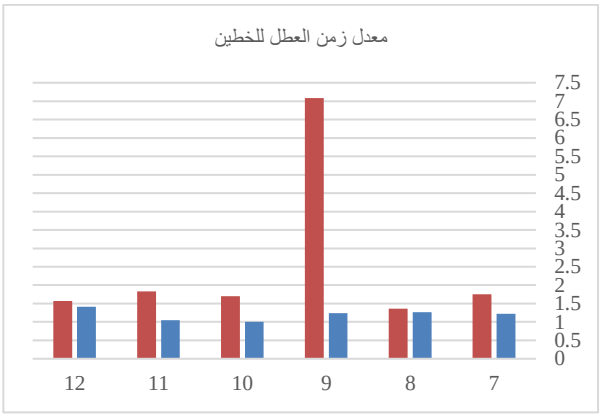
MTBF = متوسط الزمن بين الأعطال.
MTTR = متوسط زمن الإصلاح
R = الموثوقية.
λ = معدل الفشل.
t = الزمن.

جدول (2): حساب الموثوقية ومعدل زمن العطل للخط الأول

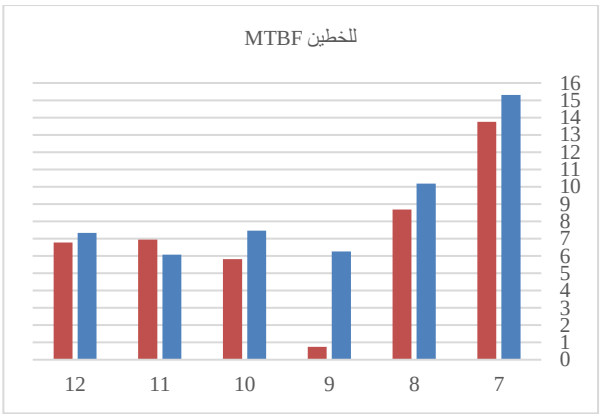
الشهر	عدد الأعطال	وقت التصليح	الموثوقية %	معدل زمن العطل	MTBF	الاتاحية
7	45	55	93.8	1.222	15.311	0.9260
8	65	82	90.77	1.261	10.184	0.8897
9	96	119	85.36	1.239	6.260	0.8347
10	88	88	87.57	1	7.454	0.8817
11	101	106	84.95	1.049	6.079	0.8527
12	85	120	87.39	1.411	7.341	0.8387
المجموع	480	570				

جدول (3):حساب الموثوقية ومعدل زمن العطل للخط الثاني

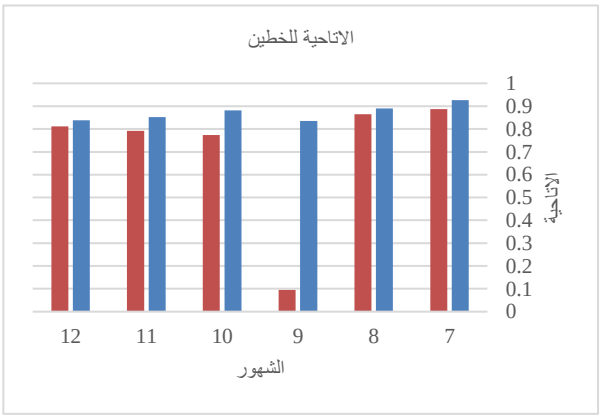
الشهر	عدد الأعطال	وقت التصليح	الموثوقية %	معدل زمن العطل	MTBF	الاتاحية
7	48	84	93.12	1.75	13.75	0.8870
8	74	101	89.25	1.364	8.689	0.8642
9	92	652	25.97	7.086	0.739	0.0944
10	99	168	84.34	1.696	5.818	0.7741
11	82	150	86.74	1.829	6.951	0.7916
12	89	140	86.43	1.573	6.786	0.8118
المجموع	484	1295				



شكل (3) معدل زمن العطل للخطين



شكل (4) معدل زمن العطل بين الأعطال



شكل رقم (5) الإتاحية للخطين

- ***تطبيق نموذج سلاسل ماركوف:***

يتكون النظام التشغيلي قيد البحث من الخطين (A) ، (B) وهذا النظام يؤدي الوظيفة المطلوبة إذا كان كلا الخطين في حالة تشغيلية صالحة للعمل أو إن أحداهما صالح للعمل والأخر عاطل عن العمل، وأن عطل الخط الواحد لا يؤثر على الخط الآخر، ومن الممكن الاستمرار في العمل لحين تصليح الخط العاطل.

لذا فإن احتمالات النظام ستأخذ أحد الحالات الأربعة التالية:

- الحالة (0): هي احتمال أن يكون كلا الخطين في حالة صالحة للعمل، ويرمز لهذه الحالة بالرمز P0.
- الحالة (1): هي احتمال أن يكون الخط A عاطل والخط B صالح للعمل، ويرمز لهذه الحالة بالرمز P1.
- الحالة (2): هي احتمال أن يكون الخط B عاطل والخط A صالح للعمل، ويرمز لهذه الحالة بالرمز P2.
- الحالة (3): هي احتمال أن يكون كلا الخطين عاطلان عن العمل، ويرمز لهذه الحالة بالرمز P3.

ووفقاً لهذه البيانات وباستخدام طريقة الجدولة في حساب الكثافة الاحتمالية ودالة الموثوقية تم حساب معدل العطل ومعدل التصليح لكل خط وهذا موضح في الجدولين (2) و(3):

- معدل التصليح (μ) (متوسط وقت الإصلاح) = مجموع أوقات التصليح ÷ مجموع عدد الأعطال
- معدل العطل (λ) = دالة الكثافة الاحتمالية ÷ دالة الموثوقية
- دالة الكثافة الاحتمالية (f_t) = عدد الأعطال في الشهر÷ مجموع عدد الأعطال.
- دالة الموثوقية (R_t) = التكرار المتجمع النازل للعطل ÷ مجموع الأعطال

جدول (4): معدل العطل والتصليح للخط الأول

الشهر	عدد الأعطال	وقت التصليح	دالة الكثافة	دالة الموثوقية	معدل العطل
7	45	55	0.0937	0.9062	0.0937
8	65	82	0.1354	0.7708	0.1494
9	96	119	0.2	0.5708	0.2594
10	88	88	0.1833	0.3875	0.3211
11	101	106	0.2104	0.1770	0.5430
12	85	120	0.1770	0	1
المجموع	480	570			

$$\lambda_1 = \frac{0.094 + 0.15 + 0.26 + 0.321 + 0.543 + 1}{6}$$

$$\lambda_1 = 0.3944$$

$$\mu_1 = \frac{55 + 82 + 119 + 88 + 106 + 120}{480}$$

$$\mu_1 = 1.1875$$

الجدول (5): معدل العطل والتصليح للخط الثاني

الشهر	عدد الأعطال	وقت التصليح	دالة الكثافة	دالة الموثوقية	معدل العطل
7	48	84	0.0991	0.9008	0.0991
8	74	101	0.1528	0.7479	0.1697
9	92	652	0.1900	0.5578	0.2541
10	99	168	0.2045	0.3533	0.3666
11	82	150	0.1694	0.1838	0.4795
12	89	140	0.1838	0	1
المجموع	484	1295			

ثم احتساب الموثوقية عند بداية الفترة 100%

$$\lambda_2 = \frac{0.099 + 0.17 + 0.254 + 0.366 + 0.48}{6}$$

$$\lambda_2 = 0.3948$$

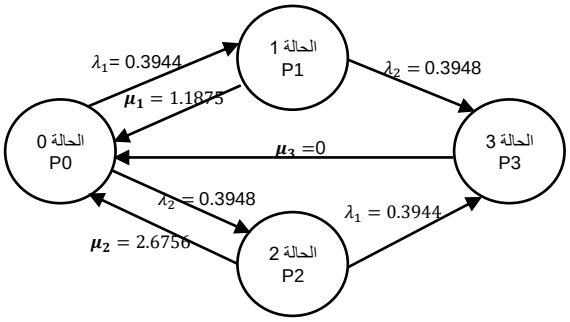
$$\mu_2 = \frac{84 + 101 + 652 + 168 + 150 + 140}{484}$$

$$\mu_2 = 2.6756$$

والشكل التالي يمثل حالة النظام استنادا إلى معدل العطل ومعدل التصليح لكل خط واللذان تم حسابهما من الجدول (3) والجدول (4).

يلاحظ من الشكل إن احتمالات حالات النظام الأربعة هي (P_0, P_1, P_2, P_3)، وأن حالة العطل الكلية للنظام هي انتقال النظام إلى الحالة (3) وهي حالة كلا الخطين عاطلين.

ولكون عمليات الصيانة يجرى تنفيذها في حالة حدوث العطل فإنه من غير الممكن حدوث الحالة (3)، وبالتالي تم تقييد معدل التصليح، وأيضاً احتمال الحالة (3) سيكون ($P_3 = 0$).



الشكل (5) حالة النظام استنادا إلى معدل العطل ومعدل التصليح لكل خط

من خلال الشكل السابق نلاحظ أن الاحتمالات الممكن حدوثها هي:

1. احتمال الانتقال من الحالة (0) إلى الحالة (1) عند الحالة (0):

$$P_0 = \lambda_1 P_0 = \mu_1 P_1$$

2. احتمال الانتقال من الحالة (0) إلى الحالة (1) عند الحالة (1):

$$P_1 = \lambda_1 P_0 = \mu_2 P_0$$

3. احتمال الانتقال من الحالة (0) إلى الحالة (2) عند الحالة (0):

$$P_0 = \lambda_2 P_0 = \mu_2 P_2$$

4. احتمال الانتقال من الحالة (0) إلى الحالة (2) عند الحالة (2):

$$P_2 = \lambda_2 P_0 = \mu_1 P_0$$

5. احتمال أن يكون كلا الخطين عاطلين عند الحالة (0):

$$(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 = \lambda_1 P_0 + \lambda_2 P_0 + \lambda_3 P_0$$

وحيث أن ($\lambda_3 = 0$)

$$P_3 = (\lambda_1 + \lambda_2)P_0 = \lambda_1 P_0 + \lambda_2 P_0$$

وطبقاً لاحتمالات الدخول والخروج لأي حالة معطاة فإن احتمالات حالات النظام ستكون هي:

$$(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 = \mu_1 P_1 + \mu_2 P_2 + \mu_3 P_3 \ \ldots\ldots (1)$$

$$(\lambda_2 + \mu_1)P_1 = \lambda_1 P_0 \ \ldots\ldots (2)$$

$$(\lambda_1 + \mu_2)P_2 = \lambda_2 P_0 \ \ldots\ldots (3)$$

$$(\mu_3 P_3) = \lambda_2 P_1 + \lambda_1 P_2 \ \ldots\ldots (4)$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \ \ldots\ldots (5)$$

وبجمع المعادلتين (2) و(3) نحصل على:

$$(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 = (\lambda_2 + \mu_1)P_1 + (\lambda_1 + \mu_2)P_2 \ldots . (6)$$

ومن المعادلة (2) نجد:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1} P_0 \ \ldots\ldots (7)$$

ومن المعادلة (3) نجد أيضاً:

$$P_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \mu_2} P_0 \ \ldots\ldots (8)$$

وستصبح المعادلة (5) (حيث أن $P_3 = 0$) كما يلي:

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1 \ \ldots\ldots (9)$$

وبتعويض قيمة (P_1) و (P_2) في المعادلة (9) نحصل على:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2+\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1+\mu_2}} \ \ldots\ldots (10)$$

أما احتمال معدل العطل الكلي فهو يتمثل بانتقال النظام إلى الحالة (3) التي هي حالة كلا الخطين عاطلين عن العمل.

واحتمال معدل العطل الكلي يحسب بالمعادلة التالية:

$$\lambda_{sys} = \lambda_2 P_1 + \lambda_1 P_2 \ \ldots\ldots (11)$$

وأيضاً بتعويض قيمة (P_1) و(P_2) في المعادلة (11) نجد:

$$\lambda_{sys} = \frac{\lambda_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2+\mu_1} + \lambda_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_1+\mu_2}}{1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2+\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1+\mu_2}} \ \ldots\ldots (12)$$

وبتعويض معدلات العطل والتصليح للخطين في العلاقات الرياضية السابقة نحصل على النتائج النهائية لاحتمالات معدل العطل الكلي، واحتمال انتقال النظام من حالة تشغيلية إلى أخرى:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{0.39447}{0.39487+1.1875} + \frac{0.39487}{0.39447+2.67562}} = 0.72574$$

$$P_1 = \frac{0.39447}{0.39487+1.1875}(0.72573) = 0.1809$$

$$P_2 = \frac{0.39487}{0.39447+2.675698}(0.72573) = 0.09334$$

$$\lambda_{sys}=\frac{(0.39487)\frac{0.39447}{0.39487+1.1875}+(0.39447)\frac{0.39487}{0.39447+2.6756}}{1+\frac{0.39447}{0.39487+1.1875}+\frac{0.39487}{0.39447+2.6756}}$$

$$\lambda_{sys} = 0.10825$$

ومن خلال النتائج السابقة نلاحظ أن:

- احتمال أن يكون كلا الخطين صالحان للعمل هو (0.7257).
- احتمال أن يكون الخط الأول عاطل والخط الثاني صالح للعمل هو (0.1809).
- احتمال أن يكون الخط الثاني عاطل والخط الأول صالح للعمل هو (0.0933).
- احتمال معدل العطل الكلي هو (0.1082).

- تحديد علاقة الارتباط بين مؤشرات الأداء:

وباستخدام برنامج المني تاب (Minitab) تم قياس معامل ارتباط بيرسون لإيجاد العلاقة الخطية (درجة الارتباط الخطي) بين المتغيرين واتجاه هذه العلاقة. والجدول التالي يبين النتائج المتحصل عليها:

جدول (6) علاقة الارتباط بين الإتاحية ومؤشرات الأداء للخطين

رقم الخط	معامل الارتباط	
	مؤشرات الأداء	الإتاحية
الخط الأول	MTBF	0.777
	MTTR	0.203 -
	λ	0.873 -
الخط الثاني	MTBF	0.873
	MTTR	0.991 -
	λ	0.426 -

من الجدول السابق يتضح أن:

- توجد علاقة ارتباط طردية قوية بين الإتاحية ومتوسط الزمن بين الأعطال (MTBF) حيث بلغت في الخط الأول (0.777) والخط الثاني (0.835) وهذا يعني أنه كلما زاد متوسط الزمن بين الأعطال زادت الإتاحية والعكس صحيح.
- توجد علاقة ارتباط عكسية ضعيفة بين الإتاحية ومتوسط زمن الإصلاح (MTTR) حيث بلغت في الخط الأول (0.203 -) بينما في الخط الثاني توجد علاقة ارتباط عكسية قوية بلغت (0.991 -) وهذا يعني أنه كلما زاد متوسط زمن الإصلاح كلما قلت الإتاحية والعكس صحيح.
- توجد علاقة ارتباط عكسية قوية بين الإتاحية ومتوسط عدد الأعطال (الفشل)حيث بلغت في الخط الأول (0.873 -) بينما في الخط الثاني توجد علاقة ارتباط عكسية متوسطة بلغت (0.426 -) وهذا يعني أنه كلما زاد متوسط عدد الأعطال كلما قلت الإتاحية والعكس صحيح.
- نتائج علاقة الارتباط بين الإتاحية ومؤشرات الأداء تؤكد صحة نتائج نماذج سلاسل ماركوف.

8. الاستنتاجات

1. احتمال أن يكون فيها كلا الخطين في حالة تشغيلية (72 %). وهذا واحتمال أن يكون فيها كلا الخطين متوقفين عن العمل (10.82%). وهذا يعني أن الخطين في حالة جيدة للتشغيل في نفس الوقت.
2. زمن التوقف الطويل في شهر (9) للخط الثاني أثر بشكل كبير على مؤشرات الأداء لهذا الخط.
3. مؤشرات الأداء بالخط الأول توضح أن الإتاحية تتناسب تناسب طردي قوي مع متوسط الزمن بين الأعطال وتتناسب تناسب عكسي قوي مع متوسط عدد الأعطال. وهذا يعني أن متوسط عدد الأعطال كان قليلاً مما أدى إلى زيادة متوسط الزمن بين الأعطال وهذا يزيد من إتاحية الخط للتشغيل.
4. مؤشرات الأداء بالخط الثاني توضح أن الإتاحية تتناسب تناسب طردي قوي مع متوسط الزمن بين الأعطال وتتناسب تناسب عكسي قوي مع متوسط زمن الإصلاح وتناسب عكسي متوسط مع متوسط عدد الأعطال. وهذا يعني أنه رغم وجود عدد من الأعطال إلا أن كان هناك سرعة في عملية الإصلاح مما أدى إلى نقص متوسط زمن الإصلاح (MTTR) وزيادة متوسط الزمن بين الأعطال وهذا يزيد من إتاحية الخط.
5. علاقات الارتباط توضح وتدعم صحة حسابات نظرية نماذج سلاسل ماركوف.

9. التوصيات

1. استخدام الأساليب الكمية والرياضية مثل نموذج سلسلة ماركوف لمعرفة الحالة التشغيلية للخطوط.
2. إتباع الصيانة التنبؤية في برامج الصيانة.
3. العمل على إحلال الآلات المتهالكة بأخرى حديثة لتقليل الأعطال وخاصةً للخط الثاني.
4. يوصي الباحثون بالبحث في مجال الصيانة وحساب الكفاءة الكلية للمعدات Overall Equipment Effectiveness (OEE) لخطي الإنتاج بمصانع الدرفلة الطولية.

10. المراجع

1. أ.د. رجب حكومة، إدارة الصيانة، دار الوليد للنشر والتوزيع والإعلان، طرابلس، 2012م.
2. غسان اللامي، دور جودة أداء الصيانة في إتاحية المكائن الإنتاجية، "دراسة حالة في شركة الصناعات الجلدية في بغداد"، كلية التقنية الإدارية, جامعة بغداد، 2005.
3. فتحي حمدان، بحوث عمليات مع تطبيقات باستخدام الحاسوب، دار وائل للنشر، 2009م.
4. منعم الموسوي، الأساليب الكمية في الإدارة، دار زهران للنشر والتوزيع، 2009م.
5. د. حسن ياسين، د. مروان النسور، إيمان حنوش، بحوث العمليات نماذج وتطبيقات، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، 2009.
6. د. حسن عبدالهادي، احتساب معدل العطل الكلي للمكائن، كلية التقنية الإدارية، البصرة.