

## احتساب معدل العطل الكلي للمكائن واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية لأخرى باستخدام سلاسل ماركوف

### Calculating The Overall Failure Rate And The Transition Operational Status Probabilities For machines Using Markov Chains

المدرس الدكتور حسن عبد الهادي حسن  
الكلية التقنية الإدارية/ البصرة

#### المستخلص

يشير مفهوم الصيانة إلى مجموعة الأنشطة التي تهدف إلى زيادة الاستخدام الفعال للمكائن والمعدات الصناعية. والعمل على استمرار تلك المكائن والمعدات في عملها، من أجل الإسهام في تحقيق مستويات إنتاجية عالية وتعزيز جودة المنتجات .  
وتهدف الصيانة إلى التأكد من أن جميع مكائن ومعدات الإنتاج يتم الاحتفاظ بها في حالة تشغيلية مثلى. والوقوف على الحالة التشغيلية الفعلية للمكائن. وهناك العديد من النماذج الكمية والرياضية التي تساعد المنشأة الصناعية لتحقيق ذلك .  
وعلى هذا يسعى البحث إلى تطبيق احد أساليب بحوث العمليات المتمثلة بسلاسل ماركوف لقياس معدل العطل الكلي لمكائن المنشأة الصناعية واحتمال انتقال المكائن من حالة تشغيلية إلى أخرى.

وقد اختيرت شركة ابن ماجد العامة ميدانا" للبحث. وجرى اختيار ماكنتين من مكائن ورشة إنتاج الخزانات هما (ماكينة الدرفلة و ماكينة dish-end )، لكونها احد المكائن الرئيسية في عملية التصنيع. بهدف احتساب معدل العطل الكلي لها. واحتمال الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى.  
توصل البحث إلى أن احتمال معدل العطل الكلي للماكنتين هو (٠.١٥٠١٨). واحتمال الحالة (٠) حالة كلا الماكنتين ( ماكينة الدرفلة و ماكينة dish-end ) صالحة للعمل هو (٠.٦٢٤٤٥). واحتمال الحالة (١) احتمال ماكينة الدرفلة عاطلة و ماكينة dish-end صالحة للعمل (٠.١٨٥٩٠). واحتمال الحالة (٢) وهو احتمال ان تكون ماكينة الدرفلة صالحة للعمل و ماكينة (dish-end) عاطلة عن العمل (٠.١٨٩٦٤).

#### Abstract

The concept of maintenance refers to several activities that aim to increase the efficient usage of the equipment and industrial machines, in order to achieve high productivity levels. And enhance the quality of products.

The maintenance aims to ensure that the machines and production equipment are kept in optimal operating condition. So it's a very important to stand on the actual operational status for that machines. There are many quantitative models can help the industrial facility to achieve this goal.

The research aims to apply one of operations research models, which is called Markov chains to measure the overall machines failure rate. And the probability transmission from one operational condition to another.

The Ibn Majid Grneral Company had been chosen as a research field, to apply the Markov chains model, on the rolling and the dish-end machine which were selected from the tanks workshop.

The research found that the overall failure rate is (0.15018). And the probability that the two machines are in operating (0.62445). And the probability that the rolling machine is fault and the dish-end machine is operating (0.18590). And the probability that the rolling machine is operating and the dish-end machine is fault (0.18964).

## المقدمة

بسبب المنافسة المتزايدة توجب على المصنعين الاحتفاظ بمكائن ومعدات الانتاج في حالة تشغيلية مثلى، لضمان تنفيذ دورات إنتاج تتصف باعتمادية عالية بمرور الوقت . ولهذا أصبحت الشركات الصناعية بحاجة إلى استراتيجيات جديدة لإدارة مكائن و معدات التصنيع . وإيجاد نظم صيانة متقدمة قادرة على خفض عدد العطلات لأدنى مستوى ممكن.

واستخدام النماذج الكمية والرياضية التي تدعم نظم الصيانة . بما يقود إلى خفض تكاليف الإنتاج كأحد مرتكزات تقوية الميزة التنافسية للمنشأة الصناعية.

وتعد النتائج التي تقدمها الأساليب الكمية والرياضية بمثابة خارطة طريق لتخطيط وتنفيذ عمليات الصيانة.

يوضح ( Norman, 2012, p.6 ) ان استخدام الاساليب الكمية والرياضية، يقدم تصورا عن الواقع الفعلي للحالة التشغيلية للمكائن والمعدات. إضافة إلى انها تعد أدوات قوية في التقويم النهائي للحالة التشغيلية للمكائن على المدى الطويل. وفي تخصيص الأولوية لمهام الصيانة والموارد اللازمة لتنفيذها، وتحسين مستوى موثوقية المكائن.

ويعد نموذج سلاسل ماركوف من التطبيقات الشائعة في تطبيقات الصيانة. حيث يتم استخدامه لقياس معدل العطل الكلي لخط الإنتاج. واحتمالات انتقال المكائن من حالة تشغيلية إلى أخرى.

تضمن البحث اربع فقرات. خصصت الأولى منها لمنهجية البحث. وكرست الثانية إلى الإطار النظري. فيما والثالثة إلى تحليل البيانات الفعلية وحسابات معدل العطل الكلي. واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى. واختصت الفقرة الرابعة بالاستنتاجات و التوصيات.

## المبحث الأول: منهجية البحث.

### 1.1 مشكلة البحث

كثيراً ما تواجه إدارة الصيانة مجموعة واسعة من الصعوبات، ذات الصلة بالجانب المعرفي المتخصص للعديد من النماذج الكمية والرياضية، التي تعنى بالعديد من مجالات الصيانة. ومن بينها تلك التي تقيس احتمالات معدل العطل.

وهو ما يؤثر في فهم الأبعاد الكامنة وراء تلك المقاييس. فضلاً عن عدم وجود منهجيات فعالة، وعدم وجود الوقت لاستكمال التحليل المطلوب (Wallace, 2003. p 456).

وتستحوذ هذه المشكلة على المنشأة الصناعية العراقية. ومن خلال الزيارة الميدانية لشركة ابن ماجد العامة. تبين عدم اعتماد إدارة الصيانة في الشركة، استخدام الأساليب الكمية والرياضية، في معرفة الواقع التشغيلي الفعلي لمكانس ومعدات الإنتاج. والاهتمام الكبير بالجانب الهندسي والفني البحث في تنفيذ عمليات الصيانة.

وعلى هذا صيغت مشكلة البحث بالتساؤلين البحثيين التاليين:

- أ- هل يمكن تطبيق نموذج كمي في شركة ابن ماجد العامة، لقياس معدل العطل الكلي. واحتمالات انتقال المكانس من حالة تشغيلية إلى أخرى، باستخدام نموذج سلاسل ماركوف.
- ب- هل يساهم نموذج سلاسل ماركوف، في معرفة الواقع الفعلي للحالة التشغيلية للمكانس.

### ٢.١. أهداف البحث

في ضوء مشكلة البحث. يسعى البحث الى تحقيق الأهداف التالية:

- أ- في إطاره النظري يهدف البحث إلى تسليط الضوء على احد النماذج التخصصية، وهو نموذج سلاسل ماركوف. والذي يمكن استخدامه في حساب معدلات واحتمالات العطل للمكانس.
- ب- في إطاره التطبيقي يهدف البحث الى حساب احتمال معدل العطل الكلي. واحتمالات انتقال النظام من حالة تشغيلية إلى أخرى. للوقوف على الحالة التشغيلية للمكانس والمعدات الإنتاجية.

### 3.1. أهمية البحث

تأتي أهمية البحث في كونه يقدم لإدارة الصيانة شرحاً للكيفية التي يتم بموجبها استخدام نموذج سلاسل ماركوف. لحساب احتمال معدل العطل الكلي واحتمالات الانتقال. مع الاشتقاق التفصيلي للمعادلات اللازمة لتطبيق النموذج. واعطاء مؤشر عن احتمالات العطل للمكانس، يمكن الركون اليه عند وضع خطط الصيانة المستقبلية.

**4.1. ميدان البحث**

تم اختيار شركة ابن ماجد العامة ميداناً للبحث. وهي من الشركات الصناعية التابعة لوزارة الصناعة و المعادن. تقوم هذه الشركة بتصنيع الزوارق والقطع البحرية والنهرية بمختلف أنواعها، بمواصفات عالمية معتمدة بإسناد ومشاركة شركات عالمية متخصصة. وكذلك تصنيع إلى الخزانات النفطية مع ملحقاتها بكافة الأحجام. فضلا عن تصميم وتصنيع محطات الوقود والمبادلات الحرارية التي تستخدم فيها. وعوامات الدلالة البحرية. وقد تم اختيار ماكينة الدرفلة و ماكينة ( dish\_end ) المتخصصة في صناعة الأوعية الطرفية للخزانات. كونها من المكين الرئيسية في خط انتاج الخزانات.

**5.1. أساليب جمع وتحليل البيانات**

اتبعت الأساليب الآتية للحصول على البيانات اللازمة لتنفيذ أهداف البحث:

أ- إجراء المقابلة مع الكوادر الفنية في قسم الصيانة. بهدف التعرف على عمليات الصيانة في الشركة. ومدى استخدام الأساليب الكمية والرياضية لدعم تنفيذ عمليات الصيانة. فضلاً عن الحصول على البيانات اللازمة لتنفيذ مجريات البحث. والتي تضمنت اعداد العطل لكل من الماكنتين.

ب- تطبيق نموذج سلاسل ماركوف ( سيتم توضيحه في الإطار النظري من البحث) لحساب احتمال معدل العطل الكلي، واحتمال انتقال المكين من حالة تشغيلية إلى اخرى، استنادا إلى معدلات العطل و التصليح للبيانات التي تم الحصول عليها.

## المبحث الثاني الإطار النظري

### 1.2. مفهوم الصيانة

يشير مفهوم الصيانة إلى مجموعة المهام المنظمة التي تشمل الأنشطة والاجراءات والموارد والنطاق الزمني اللازم لتنفيذ أعمال الصيانة. يعرف ( Bernd, 2008, p.338 ) الصيانة بأنها إعادة الماكنة إلى حالتها التشغيلية المرغوبة باتخاذ البعض من عمليات الإصلاح و الاستبدال. وكذلك يعرفها ( xioaun &Lifeng, p.294 ) بأنها إصلاح التلف الناتج عن الاستعمال والوقاية من هذا التلف وتجنب وقوعه. ولنجاح عمليات الصيانة يتطلب من المنشأة الصناعية إيجاد خطط وإجراءات فاعلة تدعم عمليات التنفيذ. ومن ذلك استخدام تقنيات الأساليب الرياضية والكمية، التي يمكن أن تقدم مؤشرا" يتصف بقدر عال من الدقة عن الحالة التشغيلية للمكانس. ومن هذه الأساليب استخدام سلسلة ماركوف لقياس معدل العطل الكلي لمكانس خط الإنتاج واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى.

### 2.2. مفهوم وأنواع وأسباب العطل

تخضع مكانس المنشأة الصناعية إلى العديد من العطلات مع مرور الزمن. وقد حضي موضوع العطل باهتمام العديد من الدراسات التخصصية في مجال الصيانة. وتم تناوله بالبحث والتحليل المعمقين .

يعرف ( Lotfi, 2011, p.5 ) العطل على انه انتهاء قدرة الماكنة على تنفيذ عملية أو مجموعة عمليات تعد ضرورية للماكنة لتوفير خدمة معينة. ويعرف ( David, 2005, p.5 ) العطل على انه عدم مطابقة الماكنة لمعايير الانجاز المرغوبة.

وتتعرض المعدات إلى العطل بدرجات متفاوتة من الخطورة. فبعضها يحدث بصورة فجائية وقد يؤدي إلى عطل خط الإنتاج بأكمله. ويشكل عنصر الوقت المستهلك في تشغيل المعدات، العامل الحاسم لحدوث العطلات، فكلما زادت عدد ساعات التشغيل زاد معها احتمال حدوث العطل. إضافة إلى التغيير في الخصائص المادية للمعدة.

ويوضح ( David, 2011, p.6 ) أسباب حدوث العطل وأنواع العطلات بالاتي:

أ- التدهور واستهلاك الأجزاء لمتحركة.

ب- القصور في تنفيذ التصميم من قبل الشركة المصنعة.

ج- مستويات التحميل العالية بمعنى تشغيل المعدات بطاقات تشغيلية اكبر من الطاقات المخططة للمعدة. وهو ما يقود إلى حدوث تدهور سريع للمعدات بسبب ذلك.

د- سوء عمليات الصيانة. والافتقار إلى المهارات والمؤهلات اللازمة لتنفيذ عمليات الصيانة. اما أنواع العطلات فهي:

أ- العطلات الدورية: وهي العطلات الطبيعية التي تحدث نتيجة لتشغيل المكائن والمعدات لفترة زمنية طويلة. ويمكن تلافي هذا النوع من العطلات من خلال عمليات الصيانة الوقائية.

ب- العطلات العشوائية: وتحدث نتيجة لتشغيل المكائن بطاقات تشغيلية هي أكثر من طاقتها التصميمية. وهذا النوع من العطلات لا يمكن توقع زمن حدوثه. والاجراء المتبع هنا تنفيذ الصيانة الفجائية.

ج- العطلات بسبب التقادم: يحدث هذا النوع من العطلات نتيجة قدم الماكنة والهبوط في كفاءتها التشغيلية. وتتصف العطلات بسبب التقادم بارتفاع معدلات حدوثها. مسببة الانخفاض في الطاقة الإنتاجية للماكنة. وغالبا ما تفكر الإدارة باتخاذ القرار باستبدال هذه الماكنة.

أن الطبيعة العشوائية لحدوث العطل، تجعل من الصعوبة تخمين وقت وقوع العطل. وعلى هذا تستخدم ادارة الصيانة الأساليب الرياضية والإحصائية، لمساعدتها في توقع الفترة الزمنية لحدوث العطل. ومما يزيد من قدرة ادارة الصيانة على تلافي العطلات قبل حدوثها. إضافة إلى امكانية استخدام النتائج التي تسفر عن استخدام الأساليب الرياضية في التخطيط المستقبلي لأعمال الصيانة. وفي اغراض المراقبة المبكرة للحالة التشغيلية للمكائن.

ويمكن وصف سلوك العطلات بعدد من الدوال الرياضية والأساليب الكمية، التي تختلف في تعقيدها حسب طبيعة نظام المكائن. يذكر (dhillo, 2002, p.191) أن الدالة الرياضية الشائعة الاستخدام لحساب معدل العطل في التوزيع الاسي هي:

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1) \quad \dots \dots \dots \text{(معدل العطل)}$$

حيث ان  $f(t)$  و  $R(t)$  هما دالة الكثافة الاحتمالية للعطل و دالة الموثوقية على التوالي. ويلاحظ في دالة العطل العلاقة العكسية بينها وبين دالة الموثوقية. بمعنى كلما زاد معدل العطل، كلما قلت موثوقية الماكنة.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2) \quad \dots \dots \dots \text{(دالة الكثافة لاحتمالية)}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3) \quad \dots \dots \dots \text{(دالة الموثوقية)}$$

### 3.2. تحليل معدلات العطل:

إن الحد تماما من احتمالات العطل أمر غير ممكن. إلا انه من المهم جداً الحد من الزيادة في احتمالات الحدوث. ويعد تحليل العطل من الأدوات الرئيسية لتحقيق ذلك. حيث يجرى تحليل بيانات معدلات العطل. والعمل على تشخيص أسباب الحدوث، ودراسة تأثيرات العطل للتأكد من مستويات الخطورة التي قد تسببها الماكنة العاطلة. وتجرى التحليلات على نحو منتظم. ومجالها يتضمن جميع المكائن و المعدات.

يوضح (Adolf, 2007, p.30) أهمية تحليل معدلات العطل بالاتي:

- أ- يوفر التحليل مؤشراً مبكراً على مدى إمكانية المكائن في تلبية متطلبات التصنيع.
  - ب- تمكن إدارة الصيانة من تحديد الماكنة التي تؤثر في انخفاض اعتمادية خط الإنتاج ككل.
  - ج- استخدام النتائج كمؤشر مفيد في تقدير تكاليف الصيانة عند وضع خطط عمليات الصيانة .
  - د- يوفر التحليل مؤشراً للمفاضلة بين عمليات الصيانة. وتصوراً إضافياً عن مجريات العمل.
- إضافة إلى أن تحليل معدلات العطل يعطي مؤشراً عن الزيادة أو الانخفاض في متاحة المكائن. واتخاذ إجراءات التحسين لتحقيق متاحة عالية على المدى الطويل (Wallace, 2008, p.458).

وللحصول على نتائج دقيقة لتحليلات العطل، يجب توخي الدقة في النموذج الرياضي المستخدم، والدقة في تسجيلات بيانات العطل التي ستعتمد في التحليل. حيث يوضح (Bernd, 2008, p.160) مايلي:

- أ- ان بعض البيانات تتضمن بيانات عن عطلات حدثت بسبب تنفيذ عمليات الصيانة، وليس بسبب التشغيل الفعلي للماكنة. فمن الناحية المثالية ينبغي استبعاد اعداد هذه العطلات عند حساب معدل العطل. إلا انه في الممارسة العملية ليس من السهولة دائما التعرف على هذه العطلات.
  - ب- بعض العطلات تحدث لأسباب تتعلق بالتصميم وليس بسبب مستويات التحميل. وهو ما يؤثر على حساب معدلات العطل الفعلية الناجمة عن تشغيل المكائن.
  - ج- محاولات الخطأ والصح في عمليات الإصلاح. وما تسببه من عطلات إضافية تؤثر على حساب معدل العطل الحقيقي عن تشغيل الماكنة.
- ويجب التأكيد على أن عمليات تحليل العطل هي أداة لإظهار المصدقية التشغيلية للمكائن. وان النتائج التي تقدمها الأساليب الرياضية، غالبا ما تدعم باختبارات عملية للمكائن والمعدات. ويطلق على هذه الاختبارات اختبار العمر التشغيلي.

وتهدف هذه الاختبارات الى اختبار موثوقية الماكنة . حيث يتم إخضاع ماكنة واحدة أو مجموعة محددة من الماكنت للاختبار. ويجري تشغيل تلك الماكنت لحين العطل أو لحين انقضاء فترة

محددة من الزمن. ومن ثم مقارنة نتائج اختبار الموثوقية هذا مع مستوى موثوقية الماكنت المطلوب المحدد سلفاً.

#### 4.2. نموذج سلاسل ماركوف في تطبيقات الصيانة

هناك العديد من النماذج الرياضية والكمية الممكن استخدامها في تطبيقات الصيانة. وهذه النماذج تعتمد الأساليب الكمية لبحوث العمليات وأساسيات نظرية الاحتمال في حساباتها . وهي تشكل تقويم نظامي للحالة التشغيلية للماكنت . ومن هذه النماذج نموذج سلاسل ماركوف . حيث يعد من النماذج الشائعة الاستخدام .

تحتل سلاسل ماركوف مكانة كبيرة وهامة جدا . وتعزز هذه الماكنة تعدد التطبيقات التي تتمتع بها في المجالات الإدارية والهندسية.

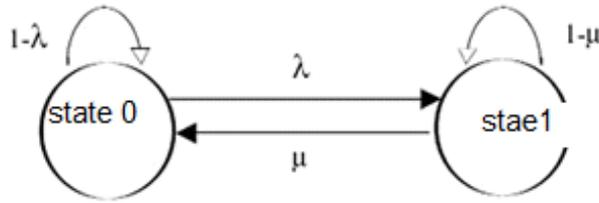
تختص سلاسل ماركوف بالعمليات العشوائية. ويوضح (Rykov, 2010, p.20) العملية العشوائية بأنها العملية التي تتمتع بأن حالتها في المستقبل لا تعتمد على حالاتها في الماضي. وإن معرفة حالتها في المستقبل تعتمد على معرفة حالتها في الحاضر. وتسمى العملية العشوائية هذه بسلسلة ماركوف Markov chain ويرمز لها:

$$P(x_1(n+1) = j | x_1(n) = i, x_1(n-1) = i_1(n-1), \dots, X_11 = i_11) = P(X_1(n) = j | X_1(n) = i)$$

أن قيمة المتغير العشوائي في المستقبل هي  $(X_{n+1})$ . وهي تعتمد على القيمة  $(X_n)$  في الوقت الحاضر. ولا تتأثر بقيم المتغير في الماضي  $(X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$

يوضح (Guangbin 2007, p.381) ان سلسلة ماركوف في تطبيقات الصيانة، تتألف من عدد من الحالات المحتملة للحالة التشغيلية لماكنت خط الإنتاج. واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى.

واحتمالات الانتقال تعني احتمال انتقال الماكنة من الحالة التي تكون فيها الماكنة صالحة للعمل، إلى الحالة التي تكون فيها الماكنة عاطلة عن العمل وبالعكس. الشكل (١) يعرض التمثيل البياني لسلسلة ماركوف واحتمال الانتقال من حالة إلى أخرى.



الشكل ( ١ ) يمثل نموذج سلسلة ماركوف ببيانها

في الشكل (١) تمثل  $(\lambda)$  معدل العطل. وان  $(\mu)$  تمثل معدل التصليح. وان الحالة ( 0 ) تمثل حالة الماكينة صالحة للعمل. والحالة (1) تمثل حالة الماكينة عاطلة عن العمل. ويظهر كذلك اذا كانت  $(\lambda)$  هي احتمال انتقال الماكينة من الحالة (٠) الى الحالة (1). فان  $(1 - \lambda)$  ستكون احتمال بقاء الماكينة في الحالة ( 0 ). وكذلك اذا كانت  $(\mu)$  تمثل احتمال انتقال الماكينة من الحالة (1) الى الحالة (0). فان  $(1 - \mu)$  ستكون احتمال بقاء الماكينة في الحالة ( 1 ).

وعادة ما يرمز إلى احتمال الحالة للماكينة بالرمز  $P_j(t)$ . وهو يمثل احتمال الماكينة في الحالة (j) عند الوقت (t). فإذا كانت الماكينة هي في حالة صالحة للعمل في الوقت الابتدائي ( $t=0$ ). فان احتمال الحالة (٠) عند الوقت ( t ) سيكون  $[P_0(0) = 1]$ . وان احتمال الحالة ( 1 ) عند الوقت (  $t=0$  ) سيكون  $[P_1(0) = 0]$ .

و يعني كذلك ان احتمال الحالة (٠) يقل بمعدل ثابت هو  $(\lambda)$ . بمعنى إذا كانت الماكينة هي في الحالة صالحة للعمل في فترة الوقت (t)، فان احتمال انتقال الماكينة الى الحالة عاطلة عن العمل خلال الفترة اللاحقة من الوقت سيكون  $(\lambda dt)$ .

وا احتمال الانتقال من الحالة صالحة للعمل للحالة (٠)، الى الحالة عاطلة عن العمل الحالة (١)، خلال الفترة المتزايدة من الوقت (dt)، يمكن الحصول عليه من خلال [احتمال الماكينة في الحالة (٠) عند بداية الفترة مضروباً باحتمال الانتقال  $(\lambda dt)$ ]. وعليه نحصل على العلاقة الأساسية التالية:

$$dp_1(0) = -(p_1(0))(\lambda dt) \dots\dots\dots (4)$$

وبقسمة كلا الطرفين على ( dt ) نحصل على العلاقات التالية. مع الإشارة إلى المعادلة ( ٧ ) تمثل معادلة الشرط الابتدائي ( مجموع حالات النظام = ١ ) .

$$(dp_1(0)/dt) = -(p_1(0)) \dots\dots\dots (5)$$

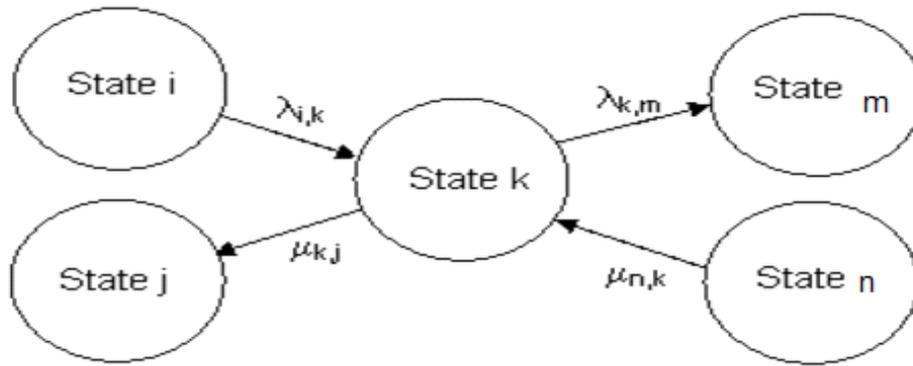
$$[dp_1(1)/dt = (p_1(0)) \dots\dots\dots (6)$$

$$p_0 + p_1 = 1 \dots\dots\dots (7)$$

وبطبيعة الحال فان سلاسل ماركوف هي أكثر تعقيدا. وهذا مرتبط بعدد الحالات الابتدائية للنظام وعدد الحالات التي يتوقع الانتقال إليها.

ولكن بصورة عامة يوضح (dhillon, 2002, p.49) أن الاحتمالية الكلية للانتقال إلى أي حالة معطاة يكون:

[مجموع احتمال الدخول (الانتقال) إلى الحالة المعطاة مضروبا باحتمال الحالة التي تم الانتقال منها = مجموع احتمالات الخروج (الانتقال) من الحالة المعطاة مضروبا باحتمال الحالة المعطاة] . الشكل ( ٢ ) يوضح ذلك.



الشكل ( ٢ ) احتمالات الانتقال من وإلى الحالة k

وستكون معادلة الدخول والخروج ( الانتقال من حالة إلى أخرى ) لأي حالة معطاة هي :

$$\frac{dp_k}{dt} = \sum \lambda_{i,k} p_i + \sum \mu_{n,k} p_n - \left( \sum \mu_{k,j} + \sum \lambda_{k,n} \right) p_k \quad \dots \dots (8)$$

### المبحث الثالث: الجانب التطبيقي

#### 1.3. ورشة إنتاج الخزانات النفطية

تضم ورشة إنتاج الخزانات النفطية في شركة ابن ماجد العامة، عدد من مكائن الخراطة ومكائن التفريز ومكائن القطع والتثقيب والقشط والتنعيم. اللازمة لصناعة الخزانات النفطية الكبيرة.

وتقوم الورشة بعمليات الفحص الفراغي لقاعدة الخزان بعد الانتهاء من صناعة الخزان.

وعمليات الفحص الهيدروستاتيكي بعد غلق البوابات الأرضية والجانبية للخزان. وتعد ماكينة الدرفة وماكينة ( dish\_end ) من المكائن المهمة والرئيسة في عملية التصنيع. ولتلك الأهمية فقد

تم اختيارهما لتطبيق نموذج سلاسل ماركوف لتحديد احتمال معدل العطل الكلي للنظام (كلا الماكنتين). واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية إلى أخرى ولكل ماكنة على حدة.

### 2.3. احتساب معدل العطل و معدل التصليح

استناداً إلى الأداء التشغيلي للماكنتين ( ماكنة الدرفلة وماكنة ( dish\_end )، تم الحصول على إعداد العطلات لكل منهما. لفترة ستة أشهر متتالية. حيث اعتمدت حالات العطل الميكانيكية والكهربائية.

ووفقاً لهذه البيانات وباستخدام الطريقة الجدولية في حساب دالة الكثافة الاحتمالية ودالة الموثوقية، المقدمة من قبل ( Adolfo, 2007, p.51 ) تم احتساب معدل العطل ومعدل التصليح لكل ماكنة وهي موضحة في الجدول (١) و (٢).

الجدول ( ١ ) معدل العطل والتصليح لماكنة الدرفلة

$\frac{f(t)}{R(t-1)}$ معدل العطل	R ( t ) دالة الموثوقية	f(t) دالة الكثافة الاحتمالية	Repair time وقت تصليح	failures no عدد عطلات	Month
0.24/1 = 0.24	25/ 33= 0.75	8/ 33= 0.24	4	8	1
0.12/0.75= 0.16	21 /33 = 0.63	4/33= 0.12	3	4	2
0.09/0.63 =0.14	8/33 = ١ 0.54	3/33 = 0.09	5	3	3
0.15/0.54 =0.27	3 /33 = ١ 0.39	4/33 = 0.12	4	4	4
0.53	6/33 = 0.18	5/33= 0.21	6	5	5
١	0/ 33 = 0	6/33= 0.18	8	6	6
			30	33	Σ

\*- R(t-1) for month 1 = 1 ( 100% الموثوقية عند بداية الفترة )

$$\lambda_1 = ( 0.24+0.16+0.14+0.27+0.53+1 ) / 6$$

= 0.39 (معدل العطل لماكنة الدرفلة)

$$\mu_1 = \text{repairing time} / \text{no of failures}$$

= (4+3+5+4+6+8) / 33 = 0.90 ( معدل لماكنة الدرفلة )

الجدول ( ٢ ) معدل العطل والتصليح لماكنة dish\_end

$f(t)$ $\lambda = R(t-1)$ معدل العطل	R ( t ) دالة الاعتمادية	f(t) دالة الكثافة الاحتمالية	Repair Time وقت تصليح	Failures no عدد عطلات	Month
0.24/1=0.24	19 /25 =0 .75	6/25= 0.24	3	6	1
0.15	16 /25 = 0.63	3/25= 0.12	4	3	2
0.43	9 / 25 =0.54	7/25= 0.28	5	7	3
0.22	7 /25 = 0.39	2/25= 0.08	3	2	4
0.42	4/25 =0.18	3/25= 0.12	4	3	5
1	0/ 25 = 0	4/25= 0.16	5	4	6
			24	25	$\Sigma$

\*- R(t-1) for month 1 = 1 ( 100% الموثوقية عند بداية الفترة )

\*-  $\lambda_2 = ( 0.24+0.15+0.43+0.22+0.42+1 ) / 6$   
= 0.41 ( dish- end معدل العطل )

$\mu_2 = \text{repairing time} / \text{no of failures} =$   
= (3+4+5+3+4+5) / 25 = 0.96 ( dish- end معدل التصليح لماكنة )

يظهر من الجدول (1) والجدول (2) ان عدد العطلات لماكنة الدرفلة بلغ (33) عطل. وبمعدل عطل يبلغ ( 0.39 ) ومعدل تصليح ( 0.90 ). وعدد العطلات لماكنة ( dish- end ) بلغ ( 25 ) عطل. و بمعدل عطل ( 0.41 ) ومعدل تصليح ( 0.96 ).

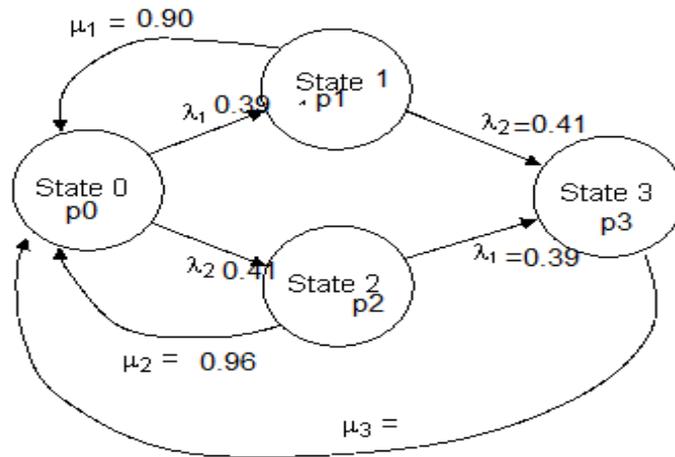
وعلى الرغم من كون عدد عطلات لماكنة ( dish- end ) هو اقل من عدد العطلات لماكنة الدرفلة، إلا أن معدل العطل لماكنة ( dish- end ) هو أعلى من معدل العطل لماكنة الدرفلة. وهو ما يفسر طول وقت التصليح لماكنة ( dish- end ) بالنسبة إلى وقت التصليح لماكنة الدرفلة.

### 3.3. تطبيق نموذج ماركوف

يتكون النظام قيد البحث من مآكتين هما (ماكنة الدرفلة و ماكنة dish- end). النظام يؤدي الوظيفة المطلوبة إذا كانت كلا المآكتين في حالة تشغيلية صالحة للعمل أو أن أحدهما هي صالحة للعمل . بسبب عطل أحدهما لا يؤثر على عطل الماكنة الثانية. ومن الممكن الاستمرار في العمل لحين انجاز تصليح الماكنة العاطلة

لذا فان احتمالات النظام ستكون احد الحالات الأربعة التالية:

- أ- الحالة ( 0 ) احتمال ان تكون كلا الماكنتين هي في حالة صالحة للعمل. ويرمز لهذه الحالة ( p0 ).  
 ب- الحالة ( 1 ) احتمال ان تكون ماكينة الدرفلة عاطلة عن العمل، وماكنة ( dish- end ) هي صالحة للعمل. ويرمز لهذه الحالة ( p1 ).  
 ج- الحالة ( 2 ) احتمال ان تكون ماكينة الدرفلة صالحة للعمل، وماكنة ( dish-end ) هي عاطلة عن العمل. ويرمز لهذه الحالة ( p2 ).  
 د- الحالة ( 3 ) احتمال ان تكون كلا الماكنتين عاطلتين عن العمل. ويرمز لهذه الحالة ( p3 ).  
 الشكل ( 3 ) /يمثل حالة النظام استنادا إلى معدل العطل ومعدل التصليح لكل ماكينة ، والتي تم احتسابها من الجدول ( 1 ) و ( 2 ) .



الشكل ( 3 ) حالة النظام استنادا إلى معدل العطل ومعدل التصليح لكل ماكينة .

يلاحظ من الشكل ( 3 ) أن احتمالات حالات النظام الأربعة هي ( p0 , p1 , p2 , p3 ) . وان حالة العطل الكلية للنظام هي انتقال النظام إلى الحالة ( 3 ) حالة كلا الماكنتين عاطلة. ولكون عمليات الصيانة يجري تنفيذها فورا حال حدوث العطل للمكانس. لذا فانه من المستبعد جدا حدوث ان تكون كلا الماكنتين عاطلتين في نفس الوقت . وعلى هذا فقد تم تقييد معدل التصليح ( μ3 ) وفي نفس الوقت فان احتمال الحالة ( 3 ) سيكون ( p3=0 ) .

وطبقا " لاحتمالات الدخول والخروج لأي حالة معطاة (العلاقة رقم 8 ) . فان احتمالات حالات

النظام ( p0 . p1 . p2 . p3 ) ستكون:

$$(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 = \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3 p_3 \dots \dots \dots (9)$$

$$(\lambda_2 + \mu_1)p_1 = \lambda_1 p_0 \dots\dots\dots (10)$$

$$(\lambda_1 + \mu_2)p_2 = \lambda_2 p_0 \dots\dots\dots (11)$$

$$(\mu_3 p_3) = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 \dots\dots\dots (12)$$

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1 \dots\dots\dots (13)$$

مع الإشارة إلى أن المعادلة (13) تمثل الشرط الابتدائي لاحتمالات النظام ( جميع احتمالات النظام مجموعها = 1). وبتعويض المعادلة (12) في المعادلة (9) نحصل على:

$$(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 = (\lambda_2 + \mu_1)p_1 + (\lambda_1 + \mu_2)p_2 \dots\dots\dots (14)$$

ومن المعادلتين (10) و (11) نحصل:

$$p_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1} p_0 \dots\dots\dots (15)$$

( احتمال الماكينة 1 عاطلة والماكينة 2 صالحة )

$$p_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \mu_2} p_0 \dots\dots\dots (16)$$

( احتمال الماكينة 2 عاطلة والماكينة 1 صالحة )

ومن المعادلة (13) الشرط الابتدائي. (وحيث ان  $P_3 = 0$  ) . لذا ستصبح معادلة الشرط الابتدائي:

$$p_0 + p_1 + p_2 = 1 \dots\dots\dots (17)$$

وبتعويض ( P2 ) و ( P1 ) من المعادلات ( 15 ) و ( 16 ) في المعادلة (17) نحصل:

$$p_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \mu_2}} \dots\dots\dots (18)$$

( احتمال كلا الماكنتين صالحة للعمل )

إما احتمال معدل العطل الكلي، فهو يتمثل بانتقال النظام إلى الحالة (3) حالة كلا الماكنتين عاطلتين عن العمل الشكل (3)

وطبقاً للاحتمالات الدخول والخروج إلى الحالة (3). فإن معدل العطل الكلي للنظام سيكون:

$$(\lambda_{sys} = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2)$$

وبالتعويض عن قيم (p2) و (p1) فإن احتمال معدل عطل النظام الكلي سيكون :

$$\lambda_{sys} = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \mu_2} \dots\dots\dots (19)$$

( العطل الكلي )

وبتعويض معدلات العطل والتصلح لمكانة الدرفلة ومكانة (dish-end) في العلاقات (15) و(16) و(18) و(19) وبالباقي (  $\lambda_1 = 0.39$  ،  $\mu_1 = 0.90$  ) (  $\lambda_2 = 0.41$  ،  $\mu_2 = 0.96$  ) على التوالي، نحصل على النتائج النهائية لاحتمالات معدل العطل الكلي. واحتمالات انتقال النظام من حالة تشغيلية إلى أخرى وكالتالي:

$$p_0 = \frac{1}{1 + \frac{0.39}{0.41 + 0.90} + \frac{0.41}{0.39 + 0.96}}$$

( احتمال كلا الماكنتين ( الدرفلة و مكانة dish-end ) صالحتين للعمل )

$$p_1 = \frac{0.39}{0.41 + 0.90} \times 0.62445$$

( احتمال مكانة الدرفلة عاطلة و مكانة dish-end صالحة )

$$p_2 = \frac{0.41}{0.39 + 0.96} \times 0.62445$$

( احتمال مكانة الدرفلة صالحة و مكانة dish-end عاطلة )

$$\lambda_{\text{نظام}} = \frac{0.41 \times \frac{0.39}{0.41 + 0.90} + 0.39 \times \frac{0.41}{0.39 + 0.96}}{1 + \frac{0.39}{0.41 + 0.90} + \frac{0.41}{0.39 + 0.96}}$$

( معدل العطل الكلي للنظام ) = 0.15018

تظهر النتائج اعلاه ما يلي :

- أ- أن احتمال كلا الماكنتين ( مكانة الدرفلة و مكانة dish-end ) صالحة للعمل، قد بلغ ( ٠.٦٢٤٤٥ ) .
- ب- احتمال ان تكون مكانة الدرفلة عاطلة عن العمل ومكانة dish-end صالحة للعمل هو ( 0.18590 ) .
- ج- احتمال ان تكون مكانة الدرفلة صالحة للعمل ومكانة dish-end عاطلة عن العمل هو ( ٠.١٨٩٦٤ ) .
- د- احتمال معدل العطل الكلي ( 0.15018 ) .

وتفسر النتائج أعلاه:

- أ- ان في ٦٢% من الوقت التشغيلي المتاح لعملية التصنيع، تكون كل من مكانة الدرفلة ومكانة dish-end هي في حالة تشغيلية صالحة للعمل.
- ب- ان احتمالات العطل لكل من الماكنتين كانت متقاربة. الا ان مكانة (dish-end) هي اكثر عرضة للعطل من مكانة الدرفلة.

وهذا يتطابق مع نتائج حساب معدلات العطل لكلا الماكنتين على حدة حيث تبين أن معدل العطل لمكانة (dish-end) بلغ ( ٠.٤١ ) . وهو اكبر من معدل العطل لمكانة الدرفلة البالغ ( ٠.٣٩ ) .

ج- بلغ احتمال معدل العطل الكلي للنظام ( ٠.١٥٠١٨ ) . وهو اقل الاحتمالات الممكنة للنظام . وهو مؤشر جيد . حيث من المستبعد أن تعطل كلا الماكنتين في وقت واحد . بسبب ان اعمال الصيانة، تتم فوراً للمكانة التي تتعرض للعطل .

## الاستنتاجات و التوصيات

### الاستنتاجات

- أ- يؤثر ارتفاع احتمال كلا الماكنتين صالحة للعمل . مساهمة عمليات الصيانة في الاحتفاظ بمكائن خط الإنتاج بحالة تشغيلية جيدة . بما يعزمن زيادة طاقات الإنتاج .
- ب- حقق نموذج سلسلة ماركوف المساعدة في تأشير الحالة الفنية للمكائن ومدى حاجتها للصيانة . فمن خلال النتائج تبين أن ماكنة ( dish-end) . هي الماكنة الأكثر احتمال لحدوث العطل فيها. مما يستوجب توجيه جهود عمليات الصيانة لها اكبر من ماكنة الدرفلة.
- ج- قدرة نموذج سلسلة ماركوف على تقديم فكرة كاملة عن الحالة التشغيلية لمكائن ومعدات المنشأة الصناعية يمكن اعتمادها عند وضع خطط الإنتاج المستقبلية .

### 2.4. التوصيات

- أ- تحسين الكفاءة التشغيلية للمكائن عن طريق الصيانة الكلية أو الجزئية . اعتماداً على النتائج التي تقدمها الأساليب الكمية والرياضية ومنها نموذج سلسلة ماركوف. فهي تقدم مقياساً أكثر دقة عن الحالة التشغيلية للمكائن .
- ب- الاهتمام العالي بالتسجيل الحقيقي للعطلات. حيث أن جميع الأساليب الكمية والرياضية التي تستخدم في مجال الصيانة، تعتمد بصفة خاصة على مدى الدقة في تسجيل تلك البيانات .
- ج- العمل على انشاء قاعدة بيانات تتضمن أسماء المكائن وإعداد العطلات التي حدثت لها. فضلاً عن اوقات التصليح الخاصة بها.
- د- بعض البيانات الخاصة بمعدلات العطل قد تشمل بيانات عن بعض الأعطال التي هي ليست بسبب الأداء التشغيلي. مما يؤثر على دقة نتائج حسابات معدلات العطل ومعدلات التصليح لذا من الضروري تأشير هذه العطلات في قاعدة البيانات .

### المصادر

- 1-Adolfo, C.M.(2007) The Maintenance Management Framework ,London : Springer -Verlag.
- 2-Bernd, B.(2008) Reliability in Automotive and Mechanical Engineering, Berlin,Heidelberg : Springer-Verlag.
- 3- David, J. Smith.(2011) Reliability, Maintainability and Risk, Boulevard, UK, Oxford : Langford Lane, Kidlington.
- 4-Dhillon, B.S.(2002) Engineering Maintenance A Modern Approach, NewYork : crc press.
- 5-Guangbin, Y.(2007) Life Cycle Reliability Engineering, NewYork : John Wiley & Sons.
- 6-Lotfi, T.(2011) Replacement Models with Minimal Repair, London: Springer-Verlag.
- 7-Norman, F. Schneidewind." Setting Maintenance Quality Objectives and Prioritizing Maintenance Work by Using Quality Metrics.  
( IRAQ VIRTUAL SCIENCE LIBRARY ) .<http://libhub.sempertool.dk.tiger.sempertool.dk>
- 8-Rykov, N. Balakrishnan.(2010) Mathematical and Statistical Models and Methods in Reliability, Birlin: Springer Science, LLC.
- 9-Wallace, R. Blischk. (2003 ) Case Studies in Reliability and Maintenance, NewYork: John Wiley & Sons.

---

**10-Xioaun, Z. &Lifeng, Xi.( 2012) A dynamic opportunistic maintenance policy for continuously monitored systems, Journal of Quality in Maintenance Engineering. 12(3). pp.294 – 305. ( IRAQ VIRTUAL SCIENCE LIBRARY. <http://libhub.sempertool.dk.tiger.sempertool.dk.page> 1)**