استخدام المعولية والاتاحية كنماذج ماركوفية في تخطيط الإنتاج للنظم المتوازية

أستاذ مساعد د. سالم عبدالله الدليمي
جامعة تكريت – كلية الهندسة

الخلاصة

تعد المعولية (Reliability) و الاتاحية (Availability) من معالم الحياة والفاعلية للمعدات والمكائن. تتكون أنظمة الإنتاج المتوازية وغير المتوازية من العديد من المعدات الإنتاجية، لذا فكل من المعولية والاتاحية تشير إلى كون النظام فعال أم غير فعال. من الجانب الآخر فالنماذج الماركوفية (Markov Models) تستخدم لتقييم الدوال التي تتغير حالتها من مستوى إلى آخر مع تغير الزمن. يحتاج مدراء الإنتاج إلى معرفة إنتاجية الأنظمة ذات الطبيعة المتغيرة والتي تدخل ضمن خططهم الإنتاجية.

يقترح هذا البحث المنهجية المناسبة لربط كل من المعولية (Reliability)، الاتاحية (Availability) والنماذج الماركوفية (Markov Models) مع بعضها البعض لأجل استخدامها مجتمعة في تحليلات (RAMM) لتقييم أنظمة الإنتاج واحتساب إنتاجيتها. قدمت التحليلات (RAMM) بصورة منفردة ومدمجة في نظام إنتاجي متوازي الشكل لأجل تخمين إنتاجيته. أظهرت تلك التحليلات إن الاتاحية والنماذج الماركوفية مناسبة للاستخدام في تقدير الإنتاجية للفترات المستقبلية حيث أدت إلى زيادة الإنتاجية بنسبة 78%.

الكلمات الدالة: تخطيط الإنتاج، المعولية والاتاحية، النماذج المار كوفية، أنظمة الإنتاج المتوازية.

Employing Reliability, Availability and Markov Models in production planning of parallel systems

Assis. Prof. Dr. Salim A. Saleh
University of Tikrit, College of engineering

ABSTRACT:

Reliability and Availability are considered to be type of equipments life parameters. Parallel look like other production systems are consists of many equipments, therefore, each of reliability and availability indicates that whether the system is effective or not. In other hand markov models were used to evaluates the functions whose state had been changed in its levels within time changing.

Hence each of Reliability, Availability and Markov Models (RAMM) can be joined together and employed in evaluation of production systems.

Production managers needing to know the productivity of the system which involved in their production plan. This paper introduces an analysis of RAMM with parallel production system in order to estimates its productivity, where such techniques are used individually. It was concluded that Availability and Markov Models are suitable to be used in estimation of productivity, which was depended in production planning.

الرموز المستخدمة

A_i : الاتاحية للمجموعة i،

MTTF (Mean Time To Failure):

متوسط وقت الفشل (يوم / ماكنة)،

MTTR (Mean Time To Repair): متوسط

وقت التصليح (يوم / ماكنة)،

$P_{si}(t+\Delta t)$: احتمالية كون النظـام سـ يكون

بالحالة si عند الزمن ($t+\Delta t$)،

$\bar{P}_{si}(t) = \partial P_{si}(t) / \partial t$: مشتقة احتمالية النظـام

عند الزمن t،

$R_i(t)$: معولية المجموعة i عند الزمن t،

$\bar{X}_i$: معدل الإنتاج (متر طول / يوم)،

λ_i: معدل الفشل (ماكنة / يوم) للمجموعة i

،

μ_i: معدل التصليح (ماكنة / يوم) للمجموعة

i.

المقدمة

يمكن أن يأخذ ترتيب المكائن ضمن نظام التصنيع العديد من الترتيبات المختلفة، مثل الترتيب المتسلسل، المتوازي، أو ألهجيني، بمستوى نَتائِج الأداء المختلفة للنظام . قدم (Koren, etal, 1998) مراجعة لحالة الترتيب المتسلسل في الصناعة والمكونة من خَطّ بثمان عشْرة ماكنة قُورنتْ مع ترتيب بثلاثة خطوط أقصرها يتألف من ستّة مكائن . في الخَط المتسلسل، إذا ما تعطلت إحدى المكائن، يصبح كامل النظام غير منتج. لذلك، فالترتيب الأخير يكون الأفضل من ناحية الإنتاجية. على أية حال، عدد ترتيبات النظام المحتملة تزداد بسرعة كلما زاد عدد المكائن في النظام. من المهم التَقييم المبكر لأداء العديد من البدائل للترتيبات في عملية التصميم، متبوعة بالنظام المعاد الترتيب. قياس الأداء الحرج في هذا التحليل يتضمن المعولية، النوعية، الإنتاجية، قابلية التحول ، السعة، والكلفة.

إحدى طرائق تَقييم النوعية تتم بمحاكاة تدفق القطع المنتجة خلال الترتيبات المختلفة وقياس متوسط الانحراف و الانحراف المعياري لخصائص المنتَج الرئيسة (Zhong, etal, 2000). تتعلق إنتاجية النظام بمعوليته وقابليته للصيانة، تقاس هاتان الصفتان (المعولية وقابلية الصيانة) بمتوسط وقت الفشل (MTTF) ومتوسط وقت التصليح (MTTR) للنظام. تستند اتاحية مكونات النظام على خصائص المكائن المكونة له. قام (Yang, etal, 2000) باحتساب الإنتاجية المتوقعة للنظام بترتيبٍ معين من خلال تَطبيق الصيغ المخصصة للحالات المختلفة والمحتملة الحدوث للنظام. تعرف حالات النظام من خلال اشتغال مكوناته أو عدم اشتغالها.

يمكن تطبيق قابلية التحويل على الأنواع المختلفة للأنظمة، وتركز هذه القابلية على استجابة النظام للتغير في طبيعة المنتَج أو مزج أجزاءه. بنفس الطريقة، تتمثل السعة بقابلية النظام على التَعديل بدقّة لسعة الإنتاج، أو الحجم. قام (Zhong, etal, 2000) بتحليل زيادات الوقت لتَحويل الترتيبات المخْتَلفة للنظام. فالترتيبات ذات الزيادات الأصغر بوقت التحويل فضلتْ على الأنظمة مثل خطوط النقل التي يتوقف فيها النظام بصورة كاملة(100%) أثناء التحويل. تتطلّب أنظمةُ السعات العالية أقل وقت انتظار عندما يتطلب إجراء تغيير في سعتها. تتضمن قياسات السعة متوسط أو الزيادة الدنيا في السعة، الكلّفَةُ لكل زيادة أو نقصانٍ في السعة، والوقت أو الجهد المطلوب للقيأس. لذا تعد الكلفة، بشكل دائم تقريباً، هي المقياس النهائي لذلك.

على أية حال، ليس هناك نموذج متوفر لوصف هذه العلاقة المعقّدة بين نوعية المنتَج، ومعولية مكونات النظام. اخذ (Yong, etal, 2005) بالاعتبار الخصائص المعقّدة الفريدة لعمليات الإنتاج ذو المحطات المتعددة، فاقترحوا مفهوماً جديداً لتأثير سلسلة المعولية والنوعية في وصف العلاقة المعقّدة والمتنامية للتفاعل بين معولية مكونات النظام، ونوعية المنتَج عبر كُلُ المحطات. استناداً على هذا ، اقتَرحوا نموذجاً عاماً لسلسلة المعولية والنوعية في عمليات الإنتاج ذات المحطات المتعددة لمكاملة معلومات نوعية المنتَج بمعولية مكونات النظام في تحليل المعولية للنظام. لتقييم معولية النظام، جهزوا كلا من الحلّ التحليلي المضبوط، و حلّ الحد الأعلى الأسهل. وقد اثبتوا إن الحد الأعلى يكُون نظيراً إلى الحل المضبوط إذا ما بقيت نوعية

المنتَج بلا تحسين ذاتي، الأمر الذي يكون حقيقياً في الكثيرِ من نظم عمليات الإنتاج ذات المحطات المتعددة. لذا، فنموذجهم المتطورِ يمكن أن يطبقُ على الكثيرِ من نظمِ عملياتُ الإنتاج ذات المحطات المتعددة.

إن المعلومات حول الزيادات المفاجئة في تآكل العدة، إذا ما قدمت كتغير في الاهتزاز السمعي، يمكن أن تكُون ذات قيمة لمشغل الماكنة. إن مشكلة المراقبة لها ذات طبيعة تشبه التمييز الآلي للصوت. على سبيل المثال، هناك أهمية في اختلاف تفاصيل الاهتزاز و العمر من عدة لأخرى. أيضاً، التكيف السهل لأنظمة المراقبة عبر عمليات التصنيع مهم. في هذا المجال اقترح (Atlas, etal, 2000) نموذجاً لتشكيل تطور إشارات الاهتزاز بنفس التقنية التي نجحت في تمييز الصوت (نماذج ماركوف المخفية Hidden Markov Models). قاموا بتطبيق نموذجهم المقترح على مراقبة عمليات التفريز في ثلاثة فترات زمنية مختلفة واظهروا دقة التنبؤ بتآكل العدة من خلال استخدام نماذج ماركوف المخفية.

الإنتاجية ($Prod_i(t)$) Productivity

بشكل عام، فان إنتاجية النظام محددةٌ بالعديد من العوامل مثل نسبِ المعالجة ومعولية المكائنِ الفردية، ومواقع الخزن في النظام. مواقع الخزن كثيرة الاستعمال بين المكائنِ وتُخفّض أوقات عطل النظامِ من خلال فك الارتباط بين المكائن المتجاورةَ. إن تأثير المخازن ليس متضمنا هنا لأن هذا البحث يركز على تأثير الترتيبات المختلفة على أداء النظامِ. لقد درس (Gershwin, 1994, and Yang, etal, 1999) تأثير المخازن على أداء النظامِ. فضلا عن اعتبارهم أن تدفق الأجزاء المنفصلة في تصنيع الأنظمة مستمراً. في هذا النموذج، اعتبرت الماكنة الشغّالة تنقل المادة من فوق إلى أسفل بشكل مستمر في معدل ثابت. إنتاجية النظامِ المتوقّعة للترتيبِ k , P_{sk} ، هي متوسط مخرجات الأجزاء المنتجة من النظامِ. لكون المكائنِ الفردية في النظامِ غير معول عليها، يمكن أن يكون النظام في حالات عديدة. تعرف الحالة بشرط كون كُلّ المكائن في النظامِ (قادرة على العمل ام لا). فربما يكون للحالة *i* نظام ذو معدل إنتاج مختلف، $\bar{X}_i$ ، الذي سيحدثُ بالاحتمال Prob [state *i*]. لذا فإنتاجية النظام المتوقّعة للنظام ذو الترتيب k , P_{sk} ، يمكن أن يحسب وفق(Zhong, etal, 2000):

$$P_{sk} = \sum_{all\_states\{i\}} \overline{X}_i \Pr ob[state\_i] \qquad (1)$$

النوعان الرئيسان من حالات فشل الماكنة، احدهما يدعى بحالات الفشل المعتمدة على العملية (Operation Dependent Failure ODF) والآخر يدعى بحالات الفشل المعتمدة على الوقت (Time Dependent Failure TDF)، هذان النوعان أخذا بالاعتبار في الوثائق العلمية المتخصصة(Dallery, etal, 1992). حالات الفشل التابعة للعملية يمكن أن تحدثَ فقط خلال عمل الماكنة. من الناحية الأخرى، حالات الفشل المعتمدة على الوقت يمكن أن تحدثَ حتى عندما تكون الماكنة عاطلةُ. في أنظمة التصنيع،

حالات الفشل التابعة للعملية تحدث بشكل رئيسي نتيجة أسبابِ ميكانيكية، مثل كسرِ جزء أو توقف المحرك، بينما حالات الفشل المعتمدة على الوقت تحدث بشكل رئيسي بسبب حالات انتهاء عمر أجزاء الأنظمة. لقد استنتج كل من (Buzacott, etal, 1978)، إن " أغلب حالات فشل خطوط النقل تعتمد على العمليةَ بدلاً من اعتمادها على الوقت. هكذا فالنموذج المعتمد على العملية أكثر ملائمة من النموذج المعتمد على الوقت في تمثيل أنظمة التصنيع المؤتمتة". إن حالاتَ الفشل في هذا البحث مفتَرضة بان تَكُون معتمدة على العمليةً.

لكون المكائنِ عرضة لحالات الفشل، سنعتمد اثنين من القياسات الإحصائية لقياْس معولية الماكنة وقابليتها للصيانة، متوسط وقت الفشل (MTTF) ومتوسط وقت التَصليح (MTTR). فمتوسط وقت الفشل هو متوسط الوقتُ العاملُ بين إكمال التصليحِ الأخيرِ وبِداية الفشل القادم، ومتوسط وقت التصليح هو متوسط الوقتُ من لحظة حدوث الفشلُ إلى اللحظة التي تصبح فيها الماكنة صالحة للعمل. هكذا، يمثل MTTF وقت الاشتغال المتوقع للماكنة بينما يمثل MTTR وقت تصليحها المتوقع.

عليه تكون معولية الماكنة j^{th} التي يمكن تعريفها " بأنها احتمالية قيام تلك الماكنة من العمل خلال فترة زمنية محددة (t) وتحت ظروف معروفة" (Foster, etal, 1981)، بمعنى آخر فمعولية الماكنة (R_j) يمكن تعريفها بالعلاقة الآتية:

$$R_j(t) = e^{-\frac{t}{MTTF}} \qquad (2)$$

حيث يمكن تعريف متغير جديد ($\lambda = 1/MTTF$) بمعدل الفشل للماكنة (المحطة).

إن تمثيل المعولية لحالة الماكنة بعد حدوث الفشل بنماذج ماركوف يستوجب تمثيلها **بالشكل رقم (1)**. إعتماداً على **الشكل رقم (1)** يمكن التوصل إلى اشتقاق معولية الماكنة ($R_j(t)$)، عند لحظة الزمن (t)، من خلال المعادلات التفاضلية التالية:

$$\begin{aligned} &\bar{P}_{S0} + \lambda P_{S0} = 0 \\ &\bar{P}_{S1} = \lambda P_{S0} \\ &P_{S0}(0) = 1 \\ &P_{S1}(0) = 0 \end{aligned} \qquad (3)$$

ولكون المعولية تمثل الحالة (S0) للماكنة عند الزمن (t)، لذلك تكون

$$R(t)=P_{S0}(t)=1-P_{S1}(t)=e^{-\lambda t} \qquad (4)$$

وان معولية النظام المتوازي المتكون من (n) من المحطات يمكن حسابها بالمعادلة أدناه:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} [1 - R_i(t)] \quad (5)$$

الإجراء الشامل، هو بقاء الماكنة j^{th} متاحة للعمل في النظام، بمعنى آخر فالأتاحية (Aj) تعرفُ كنسبة متوسطُ وقت الاشتغال (MTTF) إلى مجموع متوسطُ وقت الاشتغال (MTTF) ومتوسط وقت التَصليح (MTTR) أو معدل التصليح (μ=1/MTTR) ، هذا ما يمكن احتسابه بالصيغة:

$$A_j = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (6)$$

ولأجل تمثيل الاتاحية لحالة الماكنة بعد تصليح الفشل بنموذج ماركوف ليسمح بعودة الحالة من ($\hat{y}_1$) إلى الحالة (y_1) كما موضحة **بالشكل رقم (2)**. من **الشكل رقم (2)** يمكن صياغة المعادلات التفاضلية الآتية:

$$\begin{aligned} &\bar{P}_{S0} + \lambda P_{S0} = \mu P_{S1} \\ &\bar{P}_{S1} + \mu P_{S1} = \lambda P_{S0} \\ &P_{S0}(0) = 1 \\ &P_{S1}(0) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

والتي سيكون حلها ممثلا بالاحتمالات الآتية:

$$P_{S0}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (8)$$

$$P_{S1}(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (9)$$

من تعريف الاتاحية ($A_j(t)$) يمكن الاستنتاج بأنها تمثل الاحتمالية الواردة في المعادلة (8) للماكنة j^{th} عند الزمن (t) لتصبح:

$$A_j(t) = P_{S0}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (10)$$

ولكون الجزء الثاني من المعادلة (10) يمثل كميات صغيرة جداً، فيمكن اعتماد الجزء الأول منها في احتساب الاتاحية، حيث في حالة الاستقرار وكلما زاد الزمن (t) كلما اقتربت المعولية من الصفر بينما تستقر الاتاحية عند قيمة ثابتة ألا وهي (Billinton, etal,1985, and Zhong, etal, 2000):

$$A_j(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \qquad (11)$$

هذا الفرق بينهما يمكن ملاحظته في **الشكل رقم (3)**.

تزداد نماذج ماركوف تعقيداً كلما ازداد عدد عناصر النظام المتوازي (n)، حيث سيكون عدد الحالات التي يمكن أن يكون بها النظام مساويا للعدد (2^n كل عنصر إما أن يكون في حالة اشتغال أو عطل)، لذلك فان النظام المتكون من ثلاث عناصر متوازية سيكون بثمانية حالات ، $2^3=8$ (Billinton, etal,1985)، يمكن تمثيلها **بالشكل رقم (4)**.

لو اعتبرنا أن احتمال حدوث أية حالة (P_j) وان (j=1,2,….,8) معتمدا على (μ_i, λ_i) وان (i=1, 2, 3 = عدد محطات النظام) ويمكن تحديد احتمال حدوث الحالة من خلال مصفوفة الاحتمالية الانتقالية والتي يمكن حسابها باستخدام المعادلة التالية (Billinton, etal,1985):

$$\alpha P = \alpha \qquad (12)$$

حيث إن (α هو متجه الاحتمالية المحدد، P هي مصفوفة الاحتمالية الانتقالية)، وان متجه الاحتمالية المحدد للنظام المكون من ثلاث محطات سيكون:

$$\alpha = [\, P_1 \quad P_2 \quad P_3 \quad P_4 \quad P_5 \quad P_6 \quad P_7 \quad P_8 \,]$$

أما مصفوفة الاحتمالية الانتقالية، للنظام المتوازي بثلاث محطات والتي تتمثل بمعدلات الفشل والتصليح (μ_i, λ_i)، فهي تتكون من المصفوفة [P] المبينة **بالجدول رقم (1)**. وباستخدام المعادلة (12) أعلاه يظهر لنا نظام المعادلات الرقم (13) أدناه:

$$\begin{aligned}
(1-\lambda_1-\lambda_2-\lambda_3)\,P_1 + \mu_1 P_2 + \mu_2 P_3 + \mu_3 P_4 &= P_1 \\
\lambda_1 P_1 + (1-\mu_1-\lambda_2-\lambda_3)\,P_2 + \mu_2 P_5 + \mu_3 P_7 &= P_2 \\
\lambda_2 P_1 + (1-\lambda_1-\mu_2-\lambda_3)\,P_3 + \mu_1 P_5 + \mu_3 P_6 &= P_3 \\
\lambda_3 P_1 + (1-\lambda_1-\lambda_2-\mu_3)\,P_4 + \mu_2 P_6 + \mu_1 P_7 &= P_4 \\
\lambda_2 P_2 + \lambda_1 P_3 + (1-\mu_1-\mu_2-\lambda_3)\,P_5 + \mu_3 P_8 &= P_5 \\
\lambda_3 P_3 + \lambda_2 P_4 + (1-\lambda_1-\mu_2-\mu_3)\,P_6 + \mu_1 P_8 &= P_6 \\
\lambda_3 P_2 + \lambda_1 P_4 + (1-\mu_1-\lambda_2-\mu_3)\,P_7 + \mu_2 P_8 &= P_7 \\
\lambda_3 P_5 + \lambda_1 P_6 + \lambda_2 P_7 + (1-\mu_1-\mu_2-\mu_3)\,P_8 &= P_8
\end{aligned} \qquad (13)$$

ولأجل حل نظام المعادلات (13) لا بد من إدخال المعادلة المنطقية (14) ، التي تمثل مجموع احتمالات جميع الحالات، لأجل أن تحل محل أي من معادلات النظام (13) وذلك لتجاوز مشكلة الاضمحلال خلال عملية الحل، بأية طريقة مثل طريقة الحذف الغاوسي أو غيرها، والوصول إلى قيم احتمال كل حالة من الحالات الثمانية للنظام بعد فترة زمنية (Δt).

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 = 1 \quad (14)$$

الحالة الدراسية

تعتمد معامل النسيج على عدد محدد من مكائن النسيج المستقلة عن بعضها مما يسهل تطبيق النظام المتوازي فيها. ولغرض اعتماد نماذج ماركوف للمعولية والاتاحية كوسيلة من الوسائل التحليلية التي تحدد واقع المكائن، لا سيما بعد مرور فترة زمنية طويلة (أكثر من عشرة سنوات) على وضعها قيد الإنتاج، مما يستوجب إعادة تقييم أدائها واعتماده كأساس للتخطيط في وضع وتصميم الخطة الإنتاجية للعمل وتحديد طاقته المتاحة ليتسنى للإدارة اتخاذ القرار السليم عند برمجة خطتها الإنتاجية. لذلك، تم اختيار احد أقسام النسيج في معمل نسيج الموصل لأجل استخدام تلك الوسائل التحليلية فيه وبيان مدى كفاءة التخطيط في اعتمادها.

البيانات التاريخية

يتكون القسم من (32) اثنان وثلاثون ماكنة نسيج تعمل لثلاث وجبات عمل متواصلة في اليوم ولمدة ستة أيام عمل في الأسبوع (خلال سنة 1995)، حيث تم اعتماد البيانات التاريخية المتعلقة بمكائن ذلك القسم. تتألف تلك البيانات من:

- تاريخ ووقت توقف الماكنة،
- فترة التوقف بالساعات،
- تاريخ ووقت إعادة الماكنة للعمل،
- الطاقة التخطيطية المعتمدة للإنتاج اليومي 6000 متر (م ط).

يستوجب بناء نماذج ماركوف للمكائن بوضعها المتوازي $2^{32}= 4.294967\ E^9$ حالة محتملة مما يبين مدى التعقيد عند تمثيلها بنماذج ماركوف (حيث أن 2 تمثل حالتي الاشتغال أو العطل للماكنة). من خلال تحليل البيانات التاريخية ظهرت امكانية تقسيم تلك المكائن إلى ثلاث مجموعات كل منها يتصف بالمعايير الموضحة **بالجدول رقم (2)**، مما يسهل تطبيق نماذج ماركوف وتحليلاتها عليها وكما موضح **بالشكل رقم (4).**

اختبار حدود الثقة للإنتاج باستخدام التوزيع الإحصائي (t)

يمكن إجمال المعايير الإحصائية للإنتاج الفعلي اليومي لذلك القسم خلال تلك الفترة في **الجدول رقم (3).** ولأجل تحديد معدل إنتاج الماكنة اليومي لا بد من تحديد الحدود العليا والدنيا له وبدرجة من الثقة (0.995) التي تمثل النسبة المئوية للبيانات التي تغطى في الاختبار الإحصائي المعروف بتوزيع (t) ووفق المعادلة رقم (15) لاختبار الثقة للمتوسطات (Alexander, et. al., 1974):

$$\bar{X} - t_{(\alpha,v)}\, S/\sqrt{n} \le \mu \le \bar{X} + t_{(\alpha/2),v}\, S/\sqrt{n} \qquad (15)$$

حيث إن **α** تمثل نسبة البيانات الموثوقة وبذلك تكون (α -1) تمثل البيانات غير الموثوقة، **v** تمثل درجة الحرية = 32 - 1=31 (بافتراض أن احد البيانات يمثل متوسطها الحسابي (Alexander, etal, 1974)) ، و **n** يمثل عدد المكائن في القسم (32).

وباستخدام المعادلة (15) ودرجة الثقة (0.995) مع درجة الحرية (31) مع الجدول الإحصائي لتوزيع **t** (Alexander, etal, 1974) نجد إن القيمة الجدولية ($t_{(0.995,\,31)}= 2.75$) عليه يكون متوسط مجتمع البيانات واقعاً بين الحدين (326 ≤ μ ≤ 365)، بذلك يمكن اخذ أية قيمة لمعدل الإنتاج اليومي للماكنة وليكن (350 م ط).

لأجل تخطيط الإنتاج باستخدام مقاييس كفاءة الأداء للنظام المتوازي لابد من الأخذ بعين الاعتبار الطاقة المتاحة لكل المكائن من دراسة وتحليل كل من مقاييس المعولية، الاتاحية ونماذج ماركوف على انفراد وكما سيرد تفصيله في الفقرات الآتية.

المعولية Reliability ($R_i(t)$)

يتألف النظام من ثلاث مجموعات من المكائن كما أشير إليه سابقا في **الجدول رقم (2)**، لذلك فباستخدام المعادلتين رقم (4 ، 5) وبعد تحويرهما لتتلاءمان مع كون المجموعة تمثل نظام مصغر من المكائن المتوازية لتحسب معولية كل مجموعة وفقا للمعادلة الآتية:

$$R_i(t)=e^{-\lambda i\, t} \qquad (16)$$

ومن خلال استخدام المعادلة (16) تم حساب المعولية كدالة للزمن لكل من المجموعات الثلاث وجمعها في الجدول رقم (4) وتمثيلها بالمخطط في **الشكل رقم (5)**. ومن التعريف الخاص بالمعولية الذي يمثل احتمالية كون النظام (المجموعة) مهيأة للعمل خلال فترة زمنية محددة (t)، لذلك يمكن استخدامها في حساب إنتاج كل مجموعة من المجموعات الثلاث بالاعتماد على المعولية وفقا للمعادلة الآتية:

$$Prod_i(t) = n_i * 350 * R_i(t) \qquad (17)$$

حيث إن n_i يمثل عدد المكائن المؤلفة للمجموعة i، و350 يمثل معدل الإنتاج اليومي لكل ماكنة ، وباستخدام تلك المعادلة تم حساب الإنتاج اليومي لكل مجموعة وإجمالها في **الجدول رقم (4)**.

الاتاحية Availability ($A_i(t)$)

تتناقص الاتاحية مع الزمن لتستقر عند حالة الاستقرار لتأخذ القيمة الثابتة ($\mu_i / (\lambda_i + \mu_i)$) التي لا يؤثر فيها عامل الزمن، بل يصبح التأثير الرئيس فيها للمعلمين الرئيسين معدل العطل λ ومعدل التصليح μ وكما لاحظنا ذلك في المعادلة رقم (11). باستخدام تلك المعادلة مع البيانات الواردة في **الجدول رقم (2)**، وباستخدام المعادلة رقم (18) يمكن إجمال خطة الإنتاج الشهرية المعتمدة على الاتاحية في **الجدول رقم (5)**.

$$Prod_i(t) = n_i * 350 * A_i(t) \qquad (18)$$

نماذج ماركوف للاتاحية

لأجل أن تكون الخطة الإنتاجية المعتمدة على اتاحية كل مجموعة من المجموعات الثلاث لابد من الأخذ بنظر الاعتبار احتمالية بقاء النظام شغالاً بنجاح وفق مخطط حالات النجاح لنماذج ماركوف الموضحة **بالشكل رقم (4)**، حيث إن كل مجموعة تعمل بنجاح وفقاً للحالات الخاصة بها وكما يأتي:

المجموعة الأولى تعمل بنجاح في الحالات $\{Ps_i = (1, 3, 4, 6)\}$؛

المجموعة الثانية تعمل بنجاح في الحالات $\{Ps_i = (1, 2, 4, 7)\}$؛

المجموعة الثالثة تعمل بنجاح في الحالات $\{Ps_i = (1, 2, 3, 5)\}$؛

أما النظام فإذا ما اخذ بصورة متكاملة وتم تحليله وفقاً لنماذج ماركوف فأنه يعمل بنجاح في الحالات $\{Ps_i = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)\}$ ، لذلك ومن خلال حل نظام المعادلات (13، 14) فان احتمالات حالات نجاح النظام بالعمل أو توقفه يمكن إجمالها **بالجدول رقم (6)**. لذلك سيكون إنتاج المجموعات الثلاثة المكونة للنظام وفقا للاتي:

المجموعة الأولى والمؤلفة من (17) ماكنة فان إنتاجها؛

$$Prod_1 = (P_1 + P_3 + P_4 + P_6) * A_1 * 350 * n_1$$

المجموعة الثانية والمؤلفة من (8) ماكنات فان إنتاجها؛

$$Prod_2 = (P_1 + P_2 + P_4 + P_7) * A_2 * 350 * n_2$$

المجموعة الثانية والمؤلفة من (7) ماكنات فان إنتاجها؛

$$Prod_3 = (P_1 + P_2 + P_3 + P_5) * A_3 * 350 * n_3$$

تم احتساب إنتاج المجموعات الثلاثة وإجمالها في **الجدول رقم (7)** حيث إن قيمها هي:

($Prod_1 = 5860$, $Prod_2 = 2649$, & $Prod_3 = 2171$ م ط)

بذلك يكون الإنتاج اليومي للنظام مساويا لإنتاج المجموعات الثلاث ($\sum_{i=1}^{i=3} Prod_i$)؛

$$Prod_s = Prod_1 + Prod_2 + Prod_3 = 5860 + 2649 + 2171 = 10680 \text{ م ط}$$

أما الإنتاج الشهري للنظام يكون (10680 x 30 =320400 م ط).

بذلك ستزداد الانتاجية بنسبة (%100x(320400-30x6000)/180000))=%78).

الاستنتاجات

من خلال التحليلات التي أجريت في هذا البحث تبين إمكانية استخدام تحليلات نماذج ماركوف مع الاتاحية في تخطيط الإنتاج للنظم المتوازية، حيث تبين:

أ) تتأثر المعولية بالزمن حيث أنها تتناقص معه كما موضح **بالشكلين (3، 5)**، في حين يكون تأثيره على الاتاحية في بداية الدورة الزمنية للإنتاج وينتهي ذلك التأثير عند الوصول إلى حالة الاستقرار مهما طالت الدورة الزمنية كما موضح في **الشكل رقم (3)**.

ب) لا يمكن استخدام نماذج ماركوف مع المعولية، في تخطيط الإنتاج للأنظمة المتوازية، ما لم تدخل في مجال الاتاحية، كونها دالة دائمة النقصان ولا يدخل ضمنها تصليح الماكنة لإعادة حالتها إلى المرحلة التي تسبق العطل (لاحظ **الشكلين رقمي 1 و 5**)، ذلك لأنه من صفات نماذج ماركوف أنها تتلاءم مع الأنظمة الحلقية التي يمكن إعادتها إلى حالاتها السابقة (لاحظ **الشكلين رقمي 2 و 4**).

ج) إمكانية استخدام نماذج ماركوف مع الاتاحية في تخطيط الإنتاج للأنظمة المتوازية أو الهجينة كونها تأخذ العطلات الحاصلة في المكائن المكونة للنظام ومعدلات تصليحها بالاعتبار(لاحظ **الشكل رقم4**).

د) إن تخطيط الإنتاج الفعلي يعتمد على الحدود الدنيا لحالة المكائن دون أن يأخذ بالاعتبار حالات تصليح العطلات وإعادة المكائن للعمل، وهذا يظهر واضحاً في قراءة الإنتاج الشهري، الفعلي والمعتمد على المعولية، في **الجدول رقم (4)**.

هـ) إن النتائج التي تم التوصل إليها في تخطيط الإنتاج باستخدام كل من الاتاحية المجردة ونماذج ماركوف للاتاحية كانت متقاربة كونهما قريبان من الواقع حيث أخذا عطل المكائن وتصليحها وإعادتها للعمل بنظر الاعتبار (لاحظ **الشكل رقم 4** و **الجدولين رقمي 6 و 7**)، فضلا عن زيادتهما للإنتاجية بنسبة 78% مما يعكس ضياع في الطاقة التخطيطية للمكائن بالخطة المعتمدة من قبل إدارة المصنع .

المصادر

[1] Alexander M. M., Franklin A . G., and Duane C. B., " Introduction to the theory of Statistics", McGraw- Hill Int., 3rd ed. , 1974.

[2]Atlas, L., etal., "Hidden Markov Models for monitoring machining tool- wear". Submitted to IEEE Symposium, 2000.

[3]Billinton, R. and Allan, R. N., " Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques", Pitman Publishing Inc. , 1985.

[4]Buzacott, J. A. and Hanifin, L. E., "Models of automatic transfer lines with inventory banks – a review and comparison", IIE Transactions, Vol. 10, pp. 197-207, 1978.

[5]Dallery, Y., and Gershwin, S., "Manufacturing Flow Line Systems: a Review of Models and Analytical Results", Queuing Systems Theory and Applications: Special issue on queuing models of manufacturing systems, Vol. 12, No. 1-2, pp. 3-94, 1992.

[6]Foster, J. W., Phillips, D. T., and Rogers, T. R., " Reliability, Availability and Maintainability", M/A Press, 1981.

[7]Gershwin, S., "Manufacturing Systems Engineering", PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.

[8]Koren, Y., Hu, S. J., Weber, T., " Impact of Manufacturing System Configuration on Performance", Annals of the CIRP, Vol. 47, pp. 369-372, 1998.

[9] Yang, S. and Hu, S. J., "Productivity Analysis of a Six CNC Machine Manufacturing System with Different Configurations", Proceedings of the Japan USA Flexible Automation Conference, Ann Arbor, MI, 2000.

[10] Yang, S., Hu, S. J., and Koren, Y., "Approximate Analysis of Production Lines with Loop, Scrapping and Serial/Parallel Blocks", Second Aegean International Conference on Analysis and Modeling of Manufacturing Systems, in Aegean, Greece, May 16-20, 1999.

[11] Yong C., and Jionghua J., "Quality-Reliability Chain Modeling for System-Reliability Analysis of Complex Manufacturing Processes", IEEE Transactions on reliability, Vol. 54, No. 3, pp 475-488, 2005.

[12] Zhong, W., Maier-Speredelozzi, V., Bratzel, A., Yang, S., Chick, S. E., and Hu, S. J., "Performance Analysis of Machining Systems with Different Configurations", Proceedings of the Japan-USA Symposium on Flexible Manufacturing, Copyright by ASME, 2000.

الجدول 1 مصفوفة الاحتمالية الانتقالية

[P]=

From State To	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$(1-\lambda_1-\lambda_2-\lambda_3)$	λ_1	λ_2	λ_3	–	–	–	–
2	μ_1	$(1-\mu_1-\lambda_2-\lambda_3)$	–	–	λ_2	–	λ_3	–
3	μ_2	–	$(1-\lambda_1-\mu_2-\lambda_3)$	–	λ_1	λ_3	–	–
4	μ_3	–	–	$(1-\lambda_1-\lambda_2-\mu_3)$	–	λ_2	λ_1	–
5	–	μ_2	μ_1	–	$(1-\mu_1-\mu_2-\lambda_3)$	–	–	λ_3
						$(1-\lambda_1-$		

الجدول 2 عدد مكائن المجموعات ومعالمها

المجموعة i	عدد المكائن	معدل العطل λ ماكنة/ يوم	معدل التصليح μ ماكنة / يوم
الاولى 1	17	0.02	3
الثانية 2	8	0.07	2.5
الثالثة 3	7	0.113	1.8

الجدول 3 المعايير الإحصائية للإنتاج اليومي للقسم

معدل الإنتاج الفعلي للقسم م ط/يوم	معدل الإنتاج اليومي للماكنة $\bar{X}$ م ط/يوم	الانحراف القياسي لإنتاج الماكنة S م ط/يوم
6000	345.5	40

الجدول 4 المعولية والإنتاج اليومي للمجموعات الثلاث

معدل الانتاج الفعلي للقسم م/يوم	اليوم t	المجموعة ١		المجموعة ٢		المجموعة ٣		انتاج القسم
		R(t)=Exp(-.02*t)	الانتاج= 350*17*R(t)	R(t)=Exp(-.07*t)	الانتاج= 350*8*R(t)	R(t)=Exp(-.113*t)	الانتاج= 350*17*R(t)	م ط / يوم
6000	1	0.980	5832	0.932	2611	0.893	2188	10631
6000	2	0.961	5717	0.869	2434	0.798	1954	10105
6000	3	0.942	5603	0.811	2270	0.712	1746	9619
6000	4	0.923	5493	0.756	2116	0.636	1559	9168
6000	5	0.905	5384	0.705	1973	0.568	1392	8749
6000	6	0.887	5277	0.657	1840	0.508	1244	8361
6000	7	0.869	5173	0.613	1715	0.453	1111	7999
6000	8	0.852	5070	0.571	1599	0.405	992	7662
6000	9	0.835	4970	0.533	1491	0.362	886	7347
6000	10	0.819	4871	0.497	1390	0.323	791	7053
6000	11	0.803	4775	0.463	1296	0.289	707	6778
6000	12	0.787	4680	0.432	1209	0.258	631	6521
6000	13	0.771	4588	0.403	1127	0.230	564	6279
6000	14	0.756	4497	0.375	1051	0.206	504	6051
6000	15	0.741	4408	0.350	980	0.184	450	5838
6000	16	0.726	4321	0.326	914	0.164	402	5636
6000	17	0.712	4235	0.304	852	0.146	359	5446
6000	18	0.698	4151	0.284	794	0.131	320	5266
6000	19	0.684	4069	0.264	741	0.117	286	5096
6000	20	0.670	3988	0.247	690	0.104	256	4935
6000	21	0.657	3909	0.230	644	0.093	228	4782
6000	22	0.644	3832	0.214	600	0.083	204	4636
6000	23	0.631	3756	0.200	560	0.074	182	4498
6000	24	0.619	3682	0.186	522	0.066	163	4366
6000	25	0.607	3609	0.174	487	0.059	145	4241
6000	26	0.595	3537	0.162	454	0.053	130	4121
6000	27	0.583	3467	0.151	423	0.047	116	4006
6000	28	0.571	3399	0.141	394	0.042	104	3897
6000	29	0.560	3331	0.131	368	0.038	92	3792
6000	30	0.549	3265	0.122	343	0.034	83	3691
180000	مجموع الانتاج الشهري م ط		132891		33888		19789	186567

الجدول 5 الاتاحية وإنتاجية المجموعات

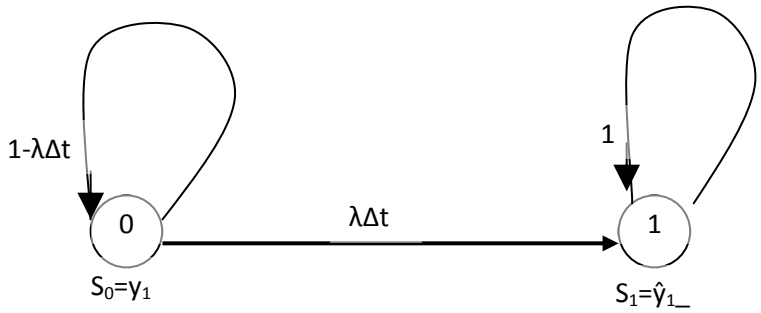
المجموعة i	عدد المكائن ni	معدل العطل λi	معدل التصليح μi	الاتاحية Ai=μi/(μi+λi)	الانتاج اليومي م Prod= ni* 350*Ai	الانتاج الشهري م
1	17	0.02	3	0.993	5911	177318
2	8	0.07	2.5	0.973	2724	81712
3	7	0.113	1.8	0.941	2305	69158
			الانتاج الكلي للقسم		10940	328188

الجدول 6 حالات النظام واحتمالاته

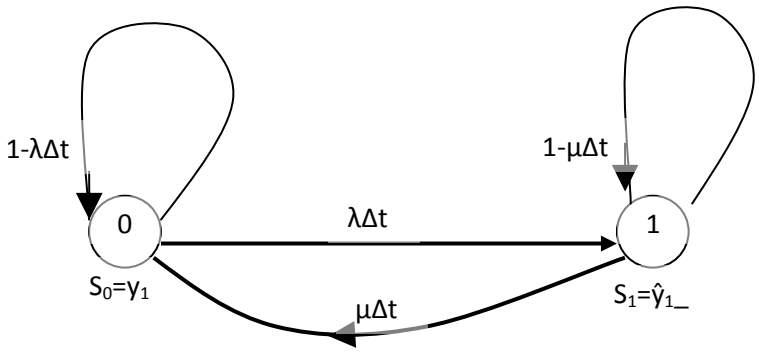
الحالة i	1	2	3	4	5	6	7	8
احتمالها P_i	0.9100	0.0060	0.0250	0.0550	0.0007	0.0014	0.0014	0.0005

الجدول 7 نماذج ماركوف لانتاجية النظام وانتاجية المجموعات

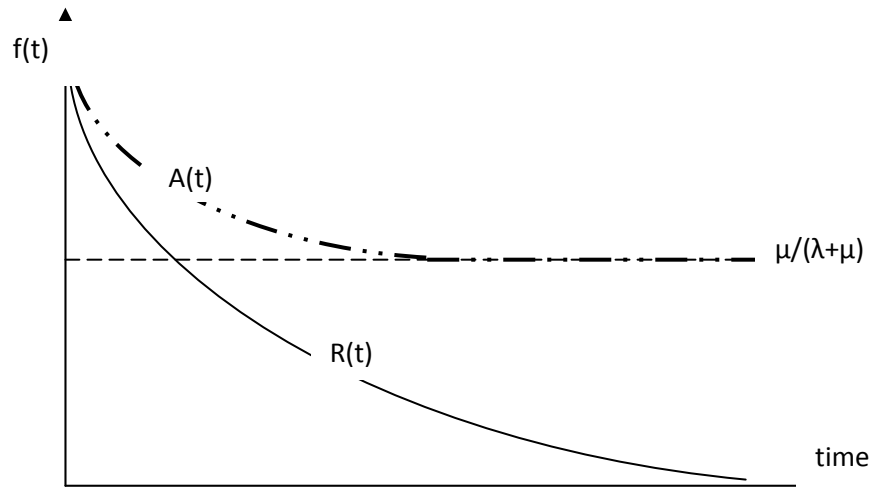
المجموعة	عدد المكائن	معدل العطل	معدل التصليح	حالات النجاح	الانتاجية المجردة	الانتاجية الماركوفية	الانتاج السنوي	الانتاج الشهري
i	ni	λi	μi	Psi	Ai=μi/(μi+λi)	AM=∑Psi*Ai	AM*ni*350	
الاولى ١	17	0.02	3	1، 3، 4، 6	0.993	0.985	5860	175800
الثانية ٢	8	0.07	2.5	1، 2، 4، 7	0.973	0.946	2649	79470
الثالثة ٣	7	0.113	1.8	1، 2، 3، 5	0.941	0.886	2171	65130
						الانتاج الكلي للنظام	10680	320400



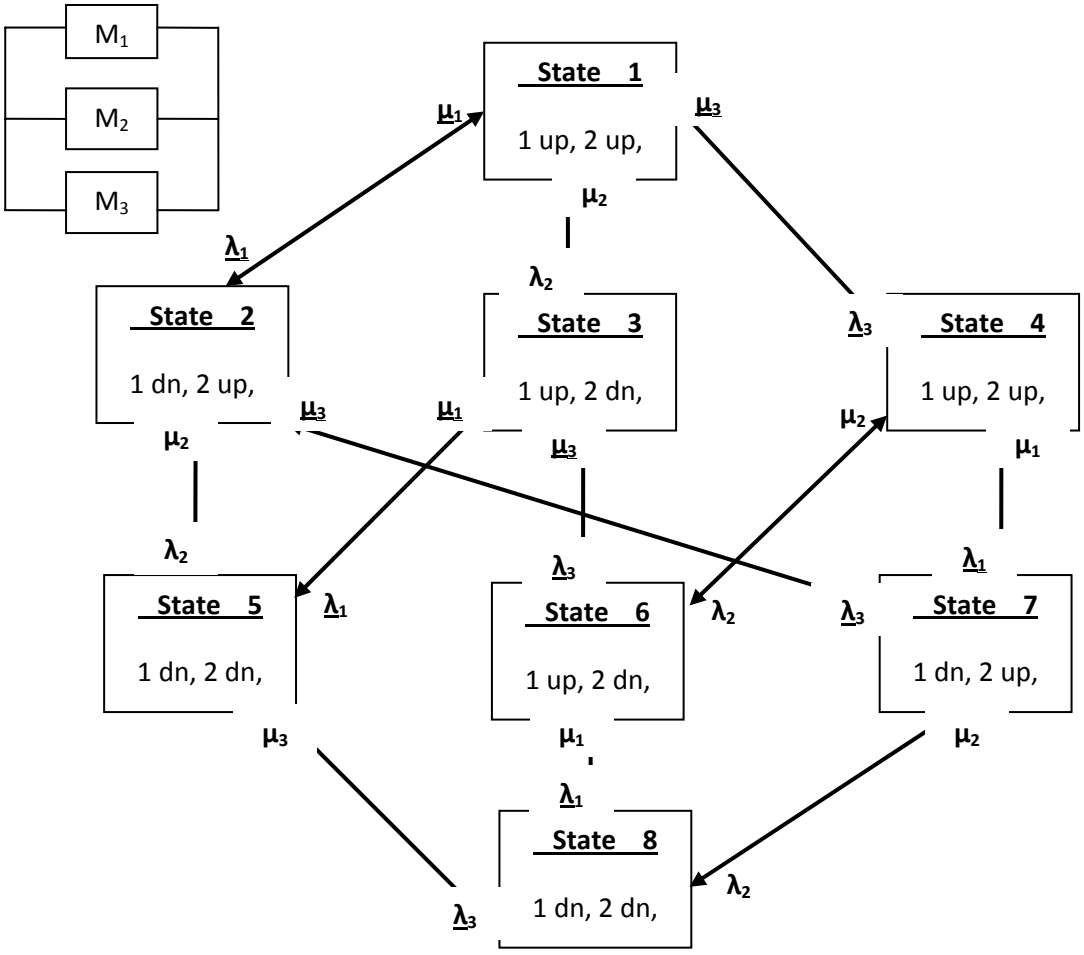
الشكل 1 نموذج ماركوف يمثل حالة الماكنة بعد الفشل



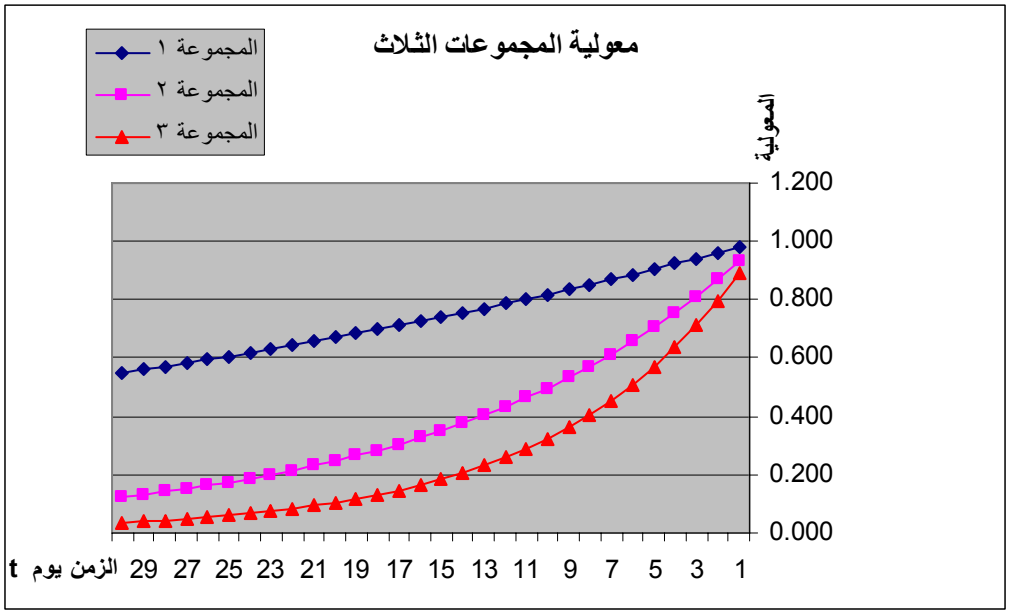
الشكل 2 نموذج ماركوف يمثل حالة الماكنة بعد الفشل والتصليح



الشكل 3 المعولية والاتاحية عند حالة الاستقرار



الشكل 4 حالات ماركوف الممكنة لنظام متوازي بثلاث محطات



الشكل 5 معولية المجموعات الثلاث كدالة للزمن