Measuring the reliability of Dar Al - Warith machines for printing and publishing in Holy Karbala

قياس مُعَوَّلية مكائن دار الوارث للطباعة والنشر في كربلاء المقدسة

أ.د عبد الحسين حسن حبيب الطائي   زينب محمد باقر صادق الباقر
كلية الإدارة والاقتصاد – قسم الإحصاء
بحث مستل من رسالة ماجستير   zainabalbaqer@yahoo.com

المستخلص

تم في هذا البحث قياس دالة المُعَوَّلية عن طريق قياس متوسط الوقت بين فشل وآخر. كما تم إجراء دراسة تطبيقية لإثبات كفاءة هذه الطريقة من خلال الإعتماد على بيانات أُخذت عن مكائن دار الوارث للطباعة والنشر في كربلاء المقدسة.

ويتضمن التطبيق العملي دراسة فترات عمل المكائن بين العطلات والتي تتوزع توزيعاً أُسياً ومن ثم إيجاد قيمة المعلمة المقدّرة وبالتالي تقدير مُعَوَّلية هذه المكائن لمدة (40) شهراً. كذلك المقارنة بينها وبين احدى الطرائق الإحصائية المشهورة وهي طريقة الإمكان الأعظم.

Abstract

In this study, the reliability function was measured by measuring the mean time between the failures. In addition, an applied study was conducted to prove the efficiency of this method by relying on data obtained from the machines of Dar Al-Warith for printing and publishing in Holy Karbala.

The practical application includes the study of the periods of operation of machines between failures, which are distributed exponentially and then find the value of the parameter estimated and thus estimated the reliability of these machines for a period of (40) months. As well as comparison between them and one of the famous statistical methods is the Maximum Likelihood method.

هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة وتحليل معدلات الفشل للمكائن في المنشآت الصناعية في محاولة لتقليل هذه المعدلات وإعتماد التوقعات لتوزيعات وقت الإشتغال لحين الفشل لتلافي حدوثها، كما يهدف الى قياس دالة المُعَوَّلية من خلال قياس متوسط الوقت بين فشل وآخر والمقارنة بينها وبين احدى طرائق التقدير الإحصائية المعروفة وهي طريقة الإمكان الاعظم.

المقدمة

إن التطور الكبير في مجال العلم والتكنولوجيا الحديثة وبالتالي التحول من المكننة إلى التحكم بالأجهزة والآلات عن طريق الحواسيب وكمحاولة لحل مشكلة الفشل في المعدات أدى إلى ظهور الحاجة إلى المُعَوَّلية، فللمُعَوَّلية إستخدامات كثيرة في الحياة العملية وأهميتها تأتي من خلال توفير الأمان للفرد ومن ثم للمجتمع، فمعرفة المُعَوَّلية لكل ماكنة في أي منشأة يجعل بالإمكان التنبؤ بالعدد الأمثل الكلي للمكائن العاملة والعاطلة في أي وقت، وبالتالي إجراء الصيانة الدورية. وبالنظر للتكلفة الرأسمالية العالية للأصول الإنتاجية فمن الطبيعي أن يتم المحافظة على تلك الأصول العالية القيمة من خلال صيانتها وتشغيلها بالطريقة السليمة لئلا تتعرض للتلف السريع وإنتهاء عمرها الإفتراضي مبكراً.

وبحلول الحرب العالمية الثانية وإزدياد المعدات الحربية المعقدة أصبح للمُعَوَّلية وزناً ودوراً كبيراً وفعالاً في الدراسة والتطبيق وبعد الحرب العالمية الثانية استمر التطور على نحو متزايد متزامناً مع زيادة وتعقيد وصعوبة الإنتاج وتنوع مكائنه وآلاته. فكانت الحاجة للسيطرة على الصعوبات وإيجاد أنظمة أمان، ولأن الحياة أصبحت أكثر عصرية ركزت البحوث والدراسات في المُعَوَّلية على مدة حياة الأنظمة أو على فشل أو عدم فشل هذه الأنظمة في فترة زمنية محددة. فخلال السنوات الماضية كان هناك العديد من البحوث حول تقدير دالة المُعَوَّلية للعديد من التوزيعات وذلك بإستخدام طرائق التقدير المختلفة وفي الآونة الأخيرة كان هناك تقنيات أخرى في تقدير هذه الدالة عبر مقاييس تعتمد على متوسط الوقت بين فشل وآخر.

الإستعراض المرجعي Literature Review

في عام 2009 قامت الباحثة (عبد علي) [1] وآخرون بقياس مُعَوَّلية الفرن الدوار في معمل الإسمنت في كبيسة التابع لوزارة الصناعة والمعادن، بالإعتماد على مقاييس المُعَوَّلية والمتمثلة بمتوسط الوقت بين فشل وآخر ومتوسط الوقت للإصلاح والإتاحة وإستخدام توزيع ويبل ذي المعلمتين لتحليل البيانات.

وفي بداية عام 2016 قام الباحث (Kumar) [2] وآخرون بتقدير دالة المُعَوَّلية ودالة الخطورة لبيانات تتوزع توزيعاً بواسوني – أُسي PED (Poisson-Exponential Data) إذ كانت:

$$R(x)=\left[\frac{1-e^{-\theta e^{-\lambda x}}}{1-e^{-\theta}}\right] \qquad x>0\ ,\lambda>0\ ,\theta>0$$

$$h(x)=\frac{\theta e^{-\lambda x-\theta e^{-\lambda x}}}{1-e^{-\theta e^{-\lambda x}}} \qquad x>0\ ,\lambda>0\ ,\theta>0$$

إذ أن $R(x)$ تمثل دالة المُعَوَّلية و$h(x)$ تمثل دالة الخطورة.

وكان وسيط الوقت لفشل النظام (MdTSF) (Median time to system failure) كالاتي:

$$MdTSF=\frac{\log(\theta-\log(-\log(0.5+0.5e^{-\theta})))}{\lambda}$$

وكان التقدير بإستخدام مقدّر الإمكان الأعظم وتقدير بيز لدوال خسارة متماثلة وطريقة المربعات الصغرى بإستخدام إسلوب المحاكاة وطريقة مونت كارلو بالتحديد بالإعتماد على المقياس الاحصائي (MSE).

الجانب النظري

المُعَوَّلية [3]

تعرف دالة المُعَوَّلية بانها إحتمال عدم فشل النظام خلال فترة زمنية معينة (*0,t*] ويرمز لها بالرمز *R(t)* ، وتعرف رياضياً بالشكل الآتي :

$$R\ (\ t\ )=\Pr\ \left(\ T>t\ \right) \qquad \dots \qquad (1)$$

حيث أن *R(t)* تمثل دالة المُعَوَّلية، T متغير عشوائي يرمز إلى الفترة الزمنية اللازمة لحدوث الفشل، أو هو ذلك المتغير العشوائي الذي يشير إلى وقت الإشتغال حتى حدوث الفشل. أما t فيمثل زمن الإشتغال الذي يكون أكبر أو يساوي صفر ($t\geq 0$) .

قياس المُعَوَّلية *Measuring reliability* [4][5]

يمكن قياس المُعَوَّلية من خلال إستخدام بعض المقاييس أو المؤشرات وعليها تترتب إمكانية إتخاذ القرار المناسب بصيانة الماكنة او إستبدالها، ومن هذه المقاييس أو المؤشرات:

أولاً: متوسط الوقت بين فشل واخر Mean *time between failures (MTBF)*

وهو من المقاييس ذات الأهمية في إتخاذ القرار بالنسبة للمستخدم في تحديد سعر المنتج *Request For Quote (RFQ)* بدون الحاجة إلى بيانات سابقة أو بيانات دقيقة. ويمكن التعبير عنه بالصيغة التالية

$$MTBF=\frac{Total\ time\ of\ all\ units}{Total\ failures} \qquad \dots \qquad (2)$$

والتي تمثل حاصل قسمة مجموع الوقت لكل الوحدات (المكائن) على مجموع العطلات.

كما يمكن التعبير عن القيمة التقديرية ل*MTBF* والذي يمثل مجموع وقت العمل للنظام مقسوم على مجموع عدد مرات الفشل بالصيغة التالية:

$$\widehat{MTBF}=\frac{Total\ system(s)operation\ time}{Total\ number\ of\ failures} \qquad \dots \qquad (3)$$

إن متوسط الوقت بين فشل واخر يعرف على أنه معكوس معدل الفشل أي عندما تخضع العطلات إلى توزيع بواسون فإن أوقات العمل بين العطلات تخضع للتوزيع الأُسي وإن معلمة التوزيع λ يمكن التعبير عنها بأنها معكوس متوسط الوقت بين فشل وآخر أي أن $\lambda=\frac{1}{MTBF}$ ومنها نستطيع أن نتوصل إلى تقدير المعلمة λ حيث أن:

$$\hat{\lambda}=\frac{1}{\widehat{MTBF}}=\frac{Total\ number\ of\ failures}{Total\ system(s)operation\ time} \qquad \dots \qquad (4)$$

ثانياً: متوسط الوقت للإصلاح *Mean time to repair (MTTR)*

وهو من المقاييس المهمة التي تُستخدم في دراسة صيانة الأنظمة وهو متوسط الوقت اللآزم لإصلاح المركبة، وهو يعني بصورة عامة إصلاح او إستبدال الجزء العاطل، لذلك يعتبر مقياس لكفاءة العاملين في الصيانة فكلما إرتفع بقيمته كان ذلك دليلاً على إنخفاض الكفاءة وتحسب قيمته من قيمة متوسط الحياة للتوزيع لأوقات الإصلاح، أي أنه يمثل متوسط الوقت من لحظة حدوث الفشل إلى اللحظة التي تصبح فيها الماكنة صالحة للعمل. فلو كان T متغير عشوائي يمثل وقت الإصلاح او مجموع وقت التعطل *(Total downtime)* وكانت $g(t)$ دالة الكثافة لوقت الإصلاح *(Repair time density function)* فان *MTTR* يمثل القيمة المتوقعة للمتغير العشوائي لوقت الإصلاح وليس لوقت الفشل ويمكن التعبير عنه بالصيغة التالية:

$$MTTR = \int_0^\infty t\, g(t) dt \quad \ldots \quad (5)$$

فلو كان للتوزيع كثافة وقت إصلاح $g(t) = Me^{-Mt}$ فإن متوسط الوقت للإصلاح يكون بالصيغة التالية:

$$MTTR = \frac{1}{M} \quad \ldots \quad (6)$$

ثالثاً: متوسط الوقت للفشل (*MTTF*) *Mean time to failure* [6]

ويعتبر من أهم المقاييس وهو عبارة عن القيمة المتوقعة لزمن الإشتغال حتى حدوث الفشل الأول فهو يمثل متوسط الوقت بين إكمال التصليح الأخير وبداية الفشل القادم وهو قيمة إحصائية يُستفاد منه للفترات الزمنية الطويلة وللأعداد الكبيرة من الوحدات الصناعية، وبشكل تقني فان *MTBF* يُستخدم فقط للأنظمة القابلة للإصلاح في حين أن *MTTF* يُستخدم للأنظمة الغير قابلة للإصلاح، ومع ذلك يُستخدم *MTBF* عموماً لكلا النظامين القابلة والغير قابلة للإصلاح.

ويمكن التعبير عن متوسط الوقت للفشل بالشكل التالي:

$$MTTF = \frac{\sum Total\ time\ of\ all\ units}{Number\ of\ failures} \quad \ldots \quad (7)$$

ومن المعلوم أن متوسط الوقت للفشل يعبر عنه ب $E(t)$ فان:

$$MTTF = E\,(t) = \int_0^\infty t\, f\,(t)\, dt \quad \ldots \quad (8)$$

وبما أن

$$f\,(t) = -\acute{R}(t)$$

فإن

$$MTTF = -\int_0^\infty t\, \acute{R}\,(t) dt$$

وبإستخدام التكامل بالتجزئة

$$MTTF = -[\, t\, R\,(t)\, |_0^\infty] + \int_0^\infty R\,(t) dt$$

وإذا كان $MTTF < \infty$ نستطيع أن نرى أن:

$$[\, t\, R\,(t)] = 0$$

في هذه الحالة

$$MTTF = \int_0^\infty R(t) dt \quad \ldots \quad (9)$$

وعليه تكون مُعَوَّلية الماكنة j^{th} التي تمثل احتمالية قيام تلك الماكنة بالعمل خلال فترة زمنية محددة t ممثلة بالصيغة التالية:

$$R_j(t) = e^{\frac{-t}{MTTF}} \quad \ldots \quad (10)$$

من الممكن إيجاد قيمة ال *(MTTF)* من المعادلة رقم (9)، وكذلك يمكن إيجاد ال *(MTTF)* بإستخدام تحويل لابلاس *(Laplace transforms)** .

إن تحويل لابلاس لدالة المُعَوَّلية *R(t)* سيكون كما يلي:

$$R^*(s) = \int_o^\infty R(t)e^{-st}dt$$

وعندما تكون S=0

$$R^*(0) = \int_0^\infty R(t)dt = MTTF \qquad \ldots \qquad (11)$$

كما ويعتبر *MTTF* من أحد القياسات المستخدمة لمركز توزيع الحياة (وسيط الحياة) ويمكن التعبير عنه بما يلي:

$R\ (tm) = 0.\ 50$

أي أن الوسيط يقسم أي توزيع من توزيعات الحياة إلى قسمين هما:

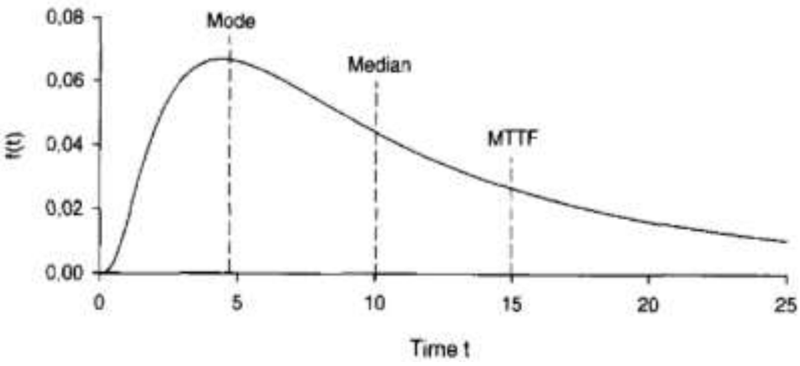
الأول: النظام يفشل قبل الوقت *tm* بإحتمال % 50.

والثاني: النظام يفشل بعد الوقت *tm* بإحتمال % 50.

أما المنوال لتوزيع الحياة هو الأكثر ترجيحاً لأن يكون وقت للفشل، فالوقت t_{mode} يحرز على أعلى مكانة له عندما تكون دالة الكثافة الإحتمالية f(t) بالشكل التالي:

$$f(t_{mode}) = \max_{0\le t\le\infty} f(t)$$

والشكل التالي يمثل موضع متوسط الوقت للفشل *(MTTF)* والوسيط *(Median)* والمنوال *(Mode)* للتوزيع حيث نلاحظ أن موقعها جميعاً ينحرف إلى اليمين .



شكل (1) موقع ال*Median , Mode , MTTF* [2]

أما تباين الزمن حتى حدوث الفشل *(VTTF) (Variance Time To Failure)* يمكن التعبير عنه بالصيغة التالية :

$$Var\ (T\ ) = E\ (T^2) - \ [\ E\ (\ T\ )]^2$$

$$= \int_0^\infty t^2\ f\ (\ t\ )dt - \ [\int_0^\infty \ t\ f\ (\ t\ )dt\ ]^2$$

رابعاً: الإتاحة **Availability** [7]

وهي قدرة المركبة أو الماكنة (*item*) القابلة للإصلاح أو الصيانة لتنفيذ العمل المطلوب منها خلال فترة زمنية محددة ، فهي إحتمال أن النظام في حالة عمل في الفترة المحددة ، وهي تمثل النسبة بين متوسط الوقت بين فشل وآخر إلى مجموع متوسط الوقت بين فشل وآخر مضافاً إليه متوسط وقت الإصلاح ويمكن التعبير عنه بالصيغة التالية :

$$Availability = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \qquad \ldots \qquad (12)$$

$$A = \frac{1}{1 + \frac{MTTR}{MTBF}}$$

حيث ان $\frac{MTTR}{MTBF}$ يمثل نسبة متوسط الزمن اللازم للإصلاح إلى متوسط الزمن بين فشل وآخر. فكلما إنخفضت هذه النسبة (أي إنخفضت التوقفات أو أوقات الفشل) كلما إرتفع معدل الإتاحة وفي حالة عدم وجود فشل وبالتالي عدم وجود أوقات بين فشل وآخر فإن الإتاحة ستكون كاملة اي 100% حسب العلاقة أعلاه. كما أن الإتاحة يمكن التعبير عنها بالشكل التالي:

$$A = \frac{Uptime\ of\ system}{Uptime\ of\ system + Downtime\ of\ system}$$

حيث تعتمد جهوزية النظام ($Uptime\ of\ system$) على المُعَوَّلية في حين يعتمد توقف عمل النظام ($Downtime\ of\ system$) على إمكانية صيانة الماكنة، وعليه يمكن تعظيم الإتاحة بتقليل وقت الصيانة *(TTR)* وزيادة وقت العمل بين فشل وآخر *(TBF)*.

إن الإتاحة *A(t)* للزمن *t* هي:

A (t) = Pr (item is functioning at time t)

حيث أن مصطلح (*functioning*) يعني هنا أن المركبة أو الماكنة في حالة عمل متى ماطُلِبَ منها ذلك.

إن الإتاحة تشابه وتساوي المُعَوَّلية في الأنظمة الغير قابلة للإصلاح، أما في حالة الأنظمة القابلة للإصلاح فإن المُعَوَّلية لا تتغير أما الإتاحة فإنها تكون قد تغيرت.

إن معدل الإتاحة (*Average Availability*) يسجل معنى إنتساب زمن المركبة في حالة إستمرارها بالعمل فلو كان لدينا مركبة مُصانة (جيدة كالجديدة) يكون معدل الإتاحة لها بالصيغة التالية :

$$Aav = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{1}{1 + \frac{MTTR}{MTTF}}$$

حيث إن *(MTTF)* يدل على متوسط وقت إستمرار المركبة على العمل

وإن *(MTTR)* يدل على متوسط الوقت لإصلاح الماكنة

وأحياناً يُستخدم *MDT* (*Mean downtime*) والذي نعني به متوسط وقت التوقف عن العمل بدلاً من *MTTR* أي نستخدم متوسطات زمن التوقف عن العمل بدلاً عن متوسط الزمن للإصلاح لإيجاد معدل الإتاحة

ومن الجدير الإشارة إلى أن:

$$MTBF = MTTF + MTTR \qquad \ldots \qquad (13)$$

الجانب التطبيقي

إن تحليل المُعَوَّلية وتطبيقها من الموضوعات المهمة التي نالت إهتمام الكثيرين من متخذي القرارات في كثير من المجالات العلمية، وأكثر المجالات التي ركَّز الباحثون عليها هو المجال الطبي والمجال الصناعي. ولحساب وتحليل مُعَوَّلية المكائن والآلات والتنبؤ بالعطلات أو التوقفات الإضطرارية لهذه المكائن أثرها الواضح والمهم في العملية الإنتاجية. حيث تبني المنشأة الصناعية (سواء أكانت كبيرة أم متوسطة) قراراتها في صيانة او إستبدال الماكنة من خلال معرفة عمر الماكنة الإنتاجي للحصول على أسرع وقت وأفضل أداء.

لقد وقع إختيار الباحثة على **دار الوارث للطباعة والنشر** التابعة للأمانة العامة للعتبة الحسينية المقدسة في محافظة كربلاء المقدسة، وسيتم تحليل البيانات قيد الدراسة وإختبارها مع فرضية العدم، وبعد ذلك سيتم حساب المُعَوَّلية لهذه المكائن عن طريق حساب متوسط الوقت بين فشل واخر.

وبعد الإطلاع على مكائن هذه المنشأة والتي تبلغ تسع (9) مكائن فقد تم إختيارعينة بحجم خمس (5) مكائن لدراسة معوليتها ولفترة زمنية محددة وهي (40) شهراً وبالتحديد من (2013-9-1) ولغاية (2016-12-31) كفترة عمل فعلية تم الحصول فيها على عدد مرات العطل أو الفشل والتوقفات خلال الشهر الواحد بعد إستبعاد الصيانة ولكل ماكنة من هذه المكائن، بالإضافة إلى أيام العمل لهذه المكائن بين العطلات.

والجدول (1) يمثل عدد العطلات في الشهر الواحد ولكل ماكنة من هذه المكائن خلال (40) شهراً. ولقد رمزنا لكل ماكنة برمز معين ليكون من السهل التعامل معها وهي كالآتي:

(A_1) ماكنة التجليد والتجميع.

(A_2) ماكنة مقص الورق *WOHLENBERG*.

(A_3) ماكنة ربع بطّال *GTO (SM 52)*.

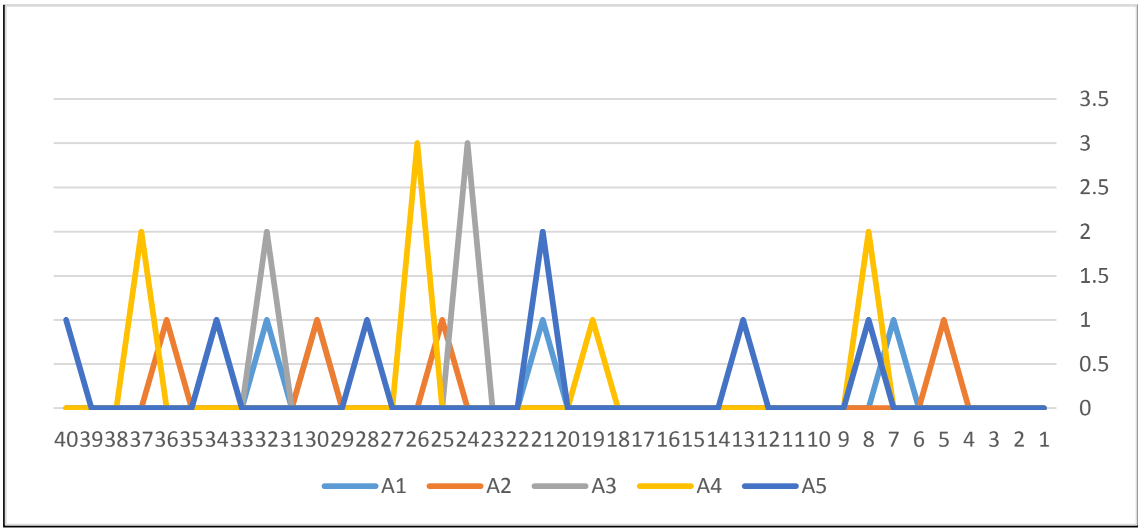
(A_4) ماكنة الطلاء *(U V)* .

(A_5) ماكنة التكسير *MBO* .

جدول (1) عدد العطلات خلال (40) شهر

TIME	A1	A2	A3	A4	A5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0
8	0	0	1	2	1
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	1	0
20	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	2
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	3	0	0
25	0	1	0	0	0
26	0	0	0	3	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	1
29	0	0	0	0	0
30	1	1	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	2	0	0
33	0	0	0	0	0
34	2	0	0	0	1
35	0	0	0	0	0
36	0	1	0	0	0
37	0	0	0	2	0
38	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	1

والشكل (2) يبين العطلات خلال (40) شهر حيث يظهر بوضوح عدم تجاوزها لثلاث عطلات في الشهر الواحد ويعود هذا إلى حداثة هذه المكائن بالإضافة إلى الصيانة الدائمة لها.



شكل (2) عدد العطلات خلال (40) شهر

وبإستخدام البرنامج الاحصائي *Easy Fit 5.2 Professional* والذي يتكون من إختبارين وهما:

1- *Kolmogorov Smirnov Test* إختبار كولموكروف – سمير نوف

2- *Chi – Squared Test* إختبار مربع كاي

ووفقاً للإختبارين تبين أن هذه البيانات (العطلات) تتوزع توزيع بواسون وكما هو موضح في الملحق.
وبما أن المعدل الزمني لفشل المكائن والمتمثل بمعلمة التوزيع λ مقترن بالزمن ويتأثر بتغيره فان إجراء الإختبار فيما إذا كانت العملية البواسونية متجانسة أم لا (أي عدم تغير معدل الفشل مع تغير الزمن) يعتمد على إختبار فرضية العدم التي تنص على أن العملية البواسونية متجانسة أي أن:

H_0 : λ *Constant HPP*

H_1 : λ *Not Constant NHPP*

إن فرضية العدم التي سيتم اختبارها تنص على أن جميع العطلات قيد الدراسة تعود إلى العملية البواسونية المتجانسة، أما الفرضية البديلة فقبولها يعني أن العطلات تعود إلى عمليات بواسون غير المتجانسة.
والجدول في الملحق يبين قيم مربع كاي المحسوبة (*Chi Square*) ولجميع المكائن حيث تم إحتسابه إعتماداً على التكرار المشاهد والتكرار المتوقع وبالتالي فإن:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

حيث أن:

O التكرار المشاهد.

E التكرار المتوقع.

وبمقارنة قيمة χ^2 المحسوبة مع قيمة χ^2 الجدولية للماكنة الأولى والثانية بدرجة حرية (1) وبدرجة حرية (2) للماكنة الثالثة والرابعة وبدرجة حرية (3) للماكنة الخامسة وبمستوى معنوية $\alpha = 0.05$ ، نجد أن هناك دلالة واضحة بأن قيمة إحصاءة الإختبار χ^2 المحسوبة بالنسبة لجميع المكائن أكبر من القيمة الجدولية مما يدل على أن عطل المكائن يتبع عمليات بواسون غير المتجانسة. وهذا يتماثل مع ما ذكرناه بأن الظواهر التي يكون فيها المعدل الزمني لحدوث الحوادث يتغير بتغير الزمن تعود إلى عمليات بواسون غير المتجانسة.

وعند مراجعة البيانات لفترة (40) شهراً تبين أن معدل الفشل للمكائن خلال هذه الفترة يتراوح بين 0.1 و0.2 والجدول (2) يبين معدل الفشل (λ) للمكائن خلال هذه الفترة. وكذلك نتائج تقدير دالة المُعَوَّلية حسب طريقة الإمكان الأعظم وللمكائن الخمسة.

الجدول (2) تقدير دالة المُعَوَّلية حسب طريقة الإمكان الأعظم لمكائن دار الوارث للطباعة والنشر لمدة أربعين شهراً

Machine	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
λ	0.125	0.1	0.15	0.2	0.175
$\hat{R}_{ML}$	0.970364	0.996981	0.848796	0.56653	0.875348

ولحساب المُعَوَّلية عن طريق متوسط الفشل للمكائن، لابد من وجود أوقات للفشل. والجدول (5) يبين عمر الماكنة عند حدوث الفشل (العطل).

جدول (5) يبين عمر الماكنة عند حدوث الفشل

Failure Number	Age of system				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
1	223	158	249	245	248
2	642	765	725	260	395
3	916	921	732	578	634
4	964	1086	745	787	652
5	1025		963	795	850
6			978	800	1026
7				1118	1212
8				1129	

وعليه تكون قيمة متوسط العمل بين العطلات (قيمة متوسط الوقت بين الفشل للمكائن) كما في الجدول (6):

جدول (6) متوسط الوقت التراكمي بين فشل وآخر

Failure Number	Cumulative MTBF				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
1	223	158	249	245	248
2	321	382.5	362.5	130	197.5
3	305.33	307	244	192.66	211.33
4	241	271.5	186.25	196.75	163
5	205		192.6	159	170
6			163	133.33	171
7				159.71	173.14
8				141.125	

كذلك تكون قيمة متوسط الوقت بين فشل وآخر والتي يمكن من خلالها الحصول على معدل الفشل كما في المعادلة (4) ومنها ايضاً يمكن الحصول على دالة المُعَوَّلية وكما هو مبين في الجدول (7):

جدول (7) متوسط الوقت بين فشل وآخر وقيمة المُقَدَّر ودالة المُعَوَّلية للمكائن

Machine	MTBF	λ	$\hat{R}(t)$
A_1	200.5	0.0049	0.995043
A_2	309.33	0.0032	0.999200
A_3	145.8	0.0069	0.964969
A_4	126.29	0.0079	0.534664
A_5	160.67	0.0062	0.932458

أما بالنسبة لمتوسط الوقت لحدوث الفشل فهو وحسب المعادلة (7):

$MTTF = 224.6\ day$

أي ان متوسط الفشل للمكائن يبلغ 225 يوم أي ما يقارب السبعة أشهر ونصف الشهر.

وللمقارنة بين هذه الطريقة واي طريقة أخرى من طرائق التقدير الإحصائية المشهورة كطريقة الإمكان الأعظم *(Maximum) Likelihood method* ومن الجدول (1) تبين أن معدل الفشل للمكائن خلال هذه الفترة يتراوح بين 0.1 و0.2 والجدول (8) يبين معدل الفشل (λ) للمكائن خلال هذه الفترة. وكذلك نتائج تقدير دالة المُعَوَّلية حسب طريقة الإمكان الأعظم وللمكائن الخمسة.

الجدول (8) تقدير دالة المُعَوَّلية حسب طريقة الإمكان الأعظم لمكائن دار الوارث للطباعة والنشر لمدة أربعين شهراً

Machine	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
λ	0.125	0.1	0.15	0.2	0.175
$\hat{R}_{ML}$	0.970364	0.996981	0.848796	0.56653	0.875348

ومن الجدولين (7) و(8) نلاحظ التقارب بين تقدير دالة المعولية بالطريقتين.

ومن خلال ما تم بحثه في الجانبيين النظري والعملي (التطبيقي) فقد توصلت الباحثة الى مجموعة من الإستنتاجات والتوصيات

الإستنتاجات

من الجدول (7) نلاحظ ما يلي:

1- إرتفاع مُعَوَّلية المكائن مما يدل على حداثتها والاهتمام المستمر بصيانتها.

2- إنخفاض مُعَوَّلية الماكنة A_4 والتي نلاحظ من البيانات انها الأكثر عطلاً.

3- إرتفاع مُعَوَّلية الماكنة A_2 عن باقي المكائن لأنها الأقل عطلاً.

4- التقارب الكبير بين طريقة قياس المعولية عن طريق متوسط الوقت بين فشل وآخر وإحدى أشهر الطرائق المعروفة احصائياً وهي طريقة الإمكان الأعظم.

5- أظهرت النتائج أن الفترة الزمنية المتوقعة لحدوث أول فشل تزيد على السبعة أشهر وهذا مؤشر على أن المكائن جيدة وهذا ما أثبتته مُعَوَّليتها العالية.

التوصيات

إعتماداً على الإستنتاجات أعلاه يمكن وضع بعض المقترحات أو التوصيات من قبل الباحثة وكما يلي:

1- ضرورة الإستمرار بصيانة المكائن من خلال وضع جدول زمني للصيانة المبرمجة وذلك لزيادة مُعَوَّلية المكائن.

2- ضرورة أن تكون المنشأة مهيئة لكل صيانة مفاجأة (غير محسوبة) وذلك لتقليل مدة توقف الماكنة (المكائن) عن العمل وبالتالي إنخفاض مُعَوَّلية هذه المكائن.

3- ينبغي عدم تحميل المكائن أكثر من الطاقة التصميمية أو المتاحة للإنتاج لتبقى مُعَوَّليتها عالية.

4- قياس دالة المعولية بطرائق القياس الإحصائية المعروفة كطريقة العزوم وطريقة التقلص والمقارنة بين هذه الطرائق للوصول الى أفضل طريقة.

5- ضرورة أن تكون المواد الداخلة في عملية التصنيع والإنتاج جيدة ومن مناشيء رصينة وذلك حفاظاً على عمر الماكنة الإفتراضي.

المصادر references

1- عبد علي، سوسن صبيح، وآخرون" قياس معولية الفرن الدوار في معمل سمنت كبيسة "، مجلة الهندسة والتكنلوجيا، الجامعة التكنلوجيا – بغداد، المجلد 27 العدد 11،2009.

2-Kumar Manoj, "Reliability Estimation for Poisson – Exponential Model Under Progressive Type Censoring Data with Binomial Removal Data ", India,2016

3-Jayant V. Deshpande, Sudha G. Purohit (2009). "Life Time Data: Statistical Models and Methods"- India World Scientific Publishing Co. University of Pune, India.

4- Marvin Rausand (2004). "System Reliability Theory, Models, Statistical Methods, and Applications". Second edition, Walter, Shewuhart & Samuel S. Wilks, Norwegian University of science and Technology, Norwege.

5-"MTBF, MTTR, MTTF & FIT Explanation of Term", http:*ll* WWW.imcnetworks.com.

6- Harry G. Kwatny. (2012)"Engineering Reliability Failure models". Drexel university-USA.

7-Hoang Pham (2016). "Reliability and Safety Engineering". 2nd ed. Springer Series in Reliability Engineering, Piscataway-USA.

الملحق

*لتكن $f(t)$ دالة موجودة في الفترة$(0,\infty)$. فإن تحويل لابلاس للدالة $f(t)$ هو$f^*(s)$ ويعرف بالصيغة الآتية: [2]

$$f^*(s) = \int_0^\infty e^{-st} f(t)dt$$

حيث أن s عدد حقيقي.

Chi-Square Test (إختبار مربع كاي)

A1

	Observed N	Expected N	Residual
.00	35	20.0	15.0
1.00	5	20.0	-15.0
Total	40		

A2

	Observed N	Expected N	Residual
.00	36	20.0	16.0
1.00	4	20.0	-16.0
Total	40		

A3

	Observed N	Expected N	Residual
.00	37	10.0	27.0
1.00	1	10.0	-9.0
2.00	1	10.0	-9.0
3.00	1	10.0	-9.0
Total	40		

A4

	Observed N	Expected N	Residual
.00	36	10.0	26.0
1.00	1	10.0	-9.0
2.00	2	10.0	-8.0
3.00	1	10.0	-9.0
Total	40		

A5

	Observed N	Expected N	Residual
.00	34	13.3	20.7
1.00	5	13.3	-8.3
2.00	1	13.3	-12.3
Total	40		

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		A1	A2	A3	A4	A5
N		40	40	40	40	40
Poisson Parameter[a,b]	Mean	.1250	.1000	.1500	.2000	.1750
Most Extreme Differences	Absolute	.007	.005	.064	.081	.011
	Positive	.007	.005	.064	.081	.011
	Negative	-.007	-.005	-.040	-.057	-.011
Kolmogorov-Smirnov Z		.047	.031	.407	.514	.072
Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	1.000	.996	.954	1.000

a. Test distribution is Poisson.
b. Calculated from data.

Test Statistics

	A1	A2	A3	A4	A5
Chi-Square	22.500[a]	25.600[a]	97.200[b]	90.200[b]	48.650[c]
df	1	1	3	3	2
Asymp. Sig.	.000	.000	.000	.000	.000

a. 0 cells (0.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 20.0.
b. 0 cells (0.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 10.0.
c. 0 cells (0.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 13.3.