قياس كفاءة الآلات الإنتاجية ودرجة جاهزيتها
دراسة تطبيقية في المؤسسة الوطنية للمنسوجات الأردنية

د. حسن ياسين طعمة
أستاذ مشارك / جامعة الزرقاء - الأردن

المستخلص :

تواجه منظماتنا الإنتاجية في الوقت الحاضر حالة من التقادم في عملية تحديث الأساس الصناعي والتكنولوجي , وعليه لا بد من وضع الأسس العلمية الحديثة لقياس مدى إمكانية بقاء أو إنهاء أنواع معينة من الآلات الإنتاجية , من خلال تشكيل الأساس الصناعي والتكنولوجي عن طريق البدء بعملية حساب علمي لكفاءة الآلات الإنتاجية لكل نوع منها من خلال استخدام أسلوب رياضي لهذا الغرض يطلق عليه مفهوم الاعتمادية (Reliability)، وقياس درجة جاهزيتها(Availability) للعمل، ولكل منظمة من منظماتنا الإنتاجية .

وفي ضوء ما تقدم , تعرف الاعتمادية (Reliability) بشكل عام بأنها " إمكانية أن يعمل النظام أو المنتوج أو الخدمة خلال العمر الإنتاجي دون أي عطل في ظل ظروف الاستخدام العادية "، والاعتمادية (Reliability) كأسلوب رياضي تعرف بأنها " مصطلح احتمالي وإحصائي يستخدم في تحليل المتغيرات العشوائية ذات القيم الموجبة والمتمثلة بالوقت (T) حتى حدوث العطل (Time-to-Failure) لأي جهاز أو آلة "، في حين تعرف الجاهزية (Availability) بأنها " درجة جاهزية الجهاز أو الآلة الإنتاجية للشروع بالعمل " .

إن اغلب البحوث والدراسات التي تناولت أسلوب الاعتمادية والجاهزية تعد نادرة جداً على مستوى المؤسسات ومراكز البحث العلمي في الدول العربية, مما دفع بالباحث تطبيق هذين المفهومين بعد توضيح الأطر المفاهيمية والفلسفية والنظرية لكل منهما.

الكلمات المفتاحية: المعولية(الاعتمادية)، التوزيع الأسي، طريقة الامكان الأعظم، الآلات الإنتاجية.

تقديم:

إن قيام العملية الإنتاجية في أي منظمة يتوقف على مجموعة معينة من مستلزمات الإنتاج (كالآلات الإنتاجية، والأيدي العاملة، والمواد الأولية،....) ، وتعد الآلات الإنتاجية من أهمها ، فمما لا شك فيه إن الآلات أو أي جزء منها معرض للعطل أو (التوقف) ، مما يؤدي إلى خسائر مادية وهدر في الوقت ، إضافة إلى أضرار أخرى ، لذا فان قياس كفاءة أي آلة وقياس درجة جاهزيتها من شأنه أن يكون أساسا مهما لتطوير هذه الآلات ، لان المعرفة بكفاءة أي منها ودرجة جاهزيتها يقودنا في نهاية الأمر إلى التخطيط السليم لتحسين وزيادة (النوعية، والإنتاجية، وفعالية برامج الصيانة ، والعمر الإنتاجي) ، تحقيقاً لمنتجات وخدمات ذات كفاءة عالية ، تناغماً مع توقعات المستهلك واحتياجاته مما يحقق الميزة التنافسية للمنظمة . ومن أجل

أبراز دور كفاءة الآلات الإنتاجية وأهميتها في قسم النسيج لإحدى أهم منظماتنا الإنتاجية المتمثلة بالمؤسسة الوطنية للمنسوجات الأردنية بمدينة الملك عبد الله الثاني الصناعية ، فقد تناولت الدراسة استخدام طريقة الإمكان الأعظم في تقدير كفاءة الآلات الإنتاجية بقسم النسيج في المؤسسة المذكورة، لما لصناعة المنسوجات من أهمية بارزة على المستويين المدني والعسكري ، تمهيداً لبناء أسس علمية صحيحة لصناعة المنسوجات في المملكة التي دخلت في الاتفاقيات الدولية المختلفة كاتفاقية التجارة الحرة مع الدول العربية والبروتوكولات العربية.

وقد قسمت الدراسة إلى أربعة مباحث، تضمن المبحث الأول منها على (منهجية الدراسة) والتي تحتوي على (مشكلة الدراسة، وهدف الدراسة، وفرضيات الدراسة)، أما المبحث الثاني فقد تناول (الجانب النظري) الذي تم بموجبه توضيح مفهوم الاعتمادية (المعولية) وبعض النظريات الخاصة بهذا المفهوم، أما المبحث الثالث فقد تضمن (الجانب التطبيقي) الذي ينطوي على تبويب وتحليل بيانات اشتغال الآلات قيد الدراسة بين العطلات، فيما تناول المبحث الرابع والأخير أهم (الاستنتاجات) التي توصلت لها الدراسة، وأهم (التوصيات) التي يرى الباحث ضرورة الأخذ بها من قبل إدارة المؤسسة المذكورة.

منهجية الدراسة

1- أهمية الدراسة :

يعد مفهوم كفاءة الإنتاج من المفاهيم التي تستخدم بشكل كبير في المنظمات الإنتاجية وعلى وجه التحديد في إدارة الإنتاج والعمليات. وتتلخص أهمية هذه الدراسة بالآتي:

أ- تعد هذه الدراسة إثراء معرفي لمفهوم الاعتمادية (المعولية) من خلال التطرق إلى الأسس الفلسفية المرتبطة بهذا المفهوم وأسلوب تطبيقه في قياس كفاءة الآلات الإنتاجية.

ب- إن المعرفة بكفاءة الآلات الإنتاجية ودرجة جاهزيتها ستكون منطلقاً للتخطيط السليم لتحسين (النوعية والإنتاجية، والعمر الإنتاجي، وفعالية برامج الصيانة).

2- مشكلة الدراسة:

إن دخول المملكة الأردنية الهاشمية في الاتفاقيات الدولية المختلفة، كاتفاقية التجارة الحرة مع الدول الأوروبية والبروتوكولات العربية، قد انعكست على أداء مؤسساتنا الوطنية، مما أدى ذلك إلى أن ما ينتج لا يجد سبيلاً نحو التسويق، وبالتالي أدى إلى انخفاض مبيعات المؤسسة المدروسة على سبيل المثال لا الحصر، بنسبة (80%) عن سنة (1998)، بسبب تفعيل البروتوكولات العربية ومنافسة المنتج العربي للمنتج الأردني من جهة، وإن منظماتنا الإنتاجية في الوقت الحاضر تواجه حالة من التقادم في عملية تحديث الأساس الصناعي والتكنولوجي من جهة ثانية. عليه لا بد من وضع الأسس العلمية الحديثة لقياس مدى إمكانية بقاء أو إنهاء أنواع معينة من الآلات، أي تشكيل الأساس الصناعي والتكنولوجي عن طريق البدء بعملية حساب علمي لنسب المعولية لكل نوع من الآلات ولكل منظمة من منظماتنا الإنتاجية، وتأسيساً على ما تقدم، يمكن إيجاز مشكلة الدراسة بالآتي:

أ. وجود حالة من التقادم في عملية تحديث وتطوير الأساس الصناعي والتكنولوجي في المؤسسة الوطنية للمنسوجات الأردنية بمدينة الملك عبد الله الثاني الصناعية، إذ تواجه العديد من الآلات الإنتاجية في قسم النسيج حالة الاندثار الاقتصادي الناجم عن التطور التكنولوجي عالمياً.

ب. انعدام عملية استخدام الأسلوب العلمي في تقدير نسب معولية الآلات الإنتاجية في قسم النسيج بالمؤسسة المذكورة.

3- أهداف الدراسة:

إن من أهم أهداف هذه الدراسة تتلخص بما يأتي:

أ- توضيح مفهوم الاعتمادية (المعولية) وأسلوب تطبيقه في قياس كفاءة الآلات الإنتاجية.

ب- توظيف بعض الطرق الإحصائية والرياضية في قياس كفاءة الآلات الإنتاجية ودرجة جاهزيتها.

ج- التعرف على أهمية كفاءة الآلات الإنتاجية ودورها في عملية اتخاذ القرار حول تحديث الأساس الصناعي والتكنولوجي في المنظمات الإنتاجية.

4- فرضيات الدراسة:

تنطلق الدراسة من الفرضيتين الآتيتين:

أ. إن أوقات اشتغال الآلات بين العطلات، ولكل آلة من آلات قسم النسيج تتبع التوزيع الأسي (Exponential Distribution) بمعلمة (θ)، أي أن:

$$H_0 : t \sim \exp(\theta)$$
$$H_1 : t \not\sim \exp(\theta)$$

ولاختبار الفرضية (H_0) أعلاه، استخدم الباحث لهذا الغرض اختبار مربع كاي (χ^2) لحسن المطابقة (Goodness of Fit).

حيث سيتم قبول الفرضية (H_0) عندما تكون قيمة (χ^2)[1] المحسوبة أقل من قيمتها الجدولية (χ^2_{k-2}) عند مستوى معنوية (α)، وهذا يعني أن بيانات زمن العطل سيكون لها توزيع أسي بمعلمة (θ)، وبعكسه سترفض فرضية العدم (H_0)، أي إن البيانات قيد الدراسة لا تخضع للتوزيع الألأسي بمعلمة (θ) (Milton & Tsokos, 1983).

ب. عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين القيم التقديرية لدوال معولية $\hat{R}_i(t)$ آلات قسم النسيج قيد الدراسة، أي أن:

$$H_0 : F_1(t), F_2(t), \ldots\ldots \text{and } F_i(t) \text{ are identical.}$$
$$H_1 : \text{At least two of the distribution functions are different.}$$

---

(1) تستخرج قيمة مربع كاي (χ^2) وفقا للصيغة الآتية:

$$\chi^2 = \sum_i^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

ولاختبار الفرضية (H_0) أعلاه، تم استخدام اختبار (Birnbaum-Hall Test).
وإن إحصاءة الاختبار تأخذ الشكل الآتي:

$$T = \sup_{(i,j)} \left| Si(t) - Sj(t) \right| \qquad ,i \neq j \qquad \ldots (1)$$

حيث إن[2]:
$F_i(t)$: تمثل دالة التوزيع التجميعية (Cumulative Distribution Function).
$S_i(t)$: تمثل دالة التوزيع التجميعية التجريبية (Empirical Distribution Function).
حيث سيتم رفض الفرضية (H_0) عندما تكون قيمة إحصاءة الاختبار (T) المحسوبة أكبر من قيمتها الجدولية عند مستوى معنوية (α)، وبعكسه سيتم قبول الفرضية (H_0)، وهذا يعني أن دوال التوزيع التجميعية متشابهة (انظر بذلك الجداول الخاصة باختبار-Birnbaum) (Hall)(Conover, 1971).

5- الدراسات السابقة:

1- دراسة (هديل، 2005):
بعنوان :" حول مقارنة طرق التقدير لمعلمة ودالة البقاء للتوزيع ألأسي باستخدام المحاكاة "
هدفت هذه الدراسة إلى المقارنة بين طرق التقدير الشائعة (كطريقة الإمكان الأعظم، و طريقة بييز)، بالإضافة إلى طرق التقدير المقترحة، والتعرف على آلية تقدير معلمات (Parameters) ودوال البقاء للتوزيع الآسي باستخدام المحاكاة وبحجوم عينات مختلفة. وتوصلت الدراسة إلى بعض النتائج منها :
أ- الحصول على تقديرات ذات كفاءة عالية بخصوص معلمات ودوال البقاء.
ب- إن طرق التقدير المقترحة باستخدام المحاكاة تفوقت على طرق التقدير الكلاسيكية.

2- دراسة (البلعزي والجدي ، 2007):
بعنوان :" إتاحية محطة تحليه مياه البحر بتاجوراء "
هدفت هذه الدراسة إلى وضع خطة شاملة لزيادة جاهزية محطة تاجوراء لتحلية مياه البحر، أي (زيادة الفترة الزمنية التي تكون فيها المحطة متاحة للتشغيل)، وذلك بفحص وتحليل كل مصادر الهدر الزمني في المحطة المذكورة لفترة زمنية محددة للحصول على صورة واضحة عن التوقفات والأعطال أثناء التشغيل ومقارنتها بالمستهدف لتحديد مقدار الانحراف بين

---

(2) تستخرج قيم كل من $\{S_i(t), F_i(t)\}$ على النحو الآتي:

$$F_i(t) = 1 - R_i(t) \ , \qquad S_i(t) = F^* / n_i$$

حيث إن:
n_i : مجموع المشاهدات للآلة (i). F* : التكرار المتجمع الصاعد (Ascending Cumulative Frequency)

الهدر الزمني الحقيقي والمستهدف لغرض معرفة الأداء في هذه المحطة. وتوصلت الدراسة إلى أن نسبة الجاهزية الحقيقية في المحطة بلغت (37%) والمستهدفة (77%)، أي إن نسبة الهدر الزمني الحقيقي للمحطة لسنة تشغيلية كاملة هي (63%)، والمستهدفة بلغت (23%)، منها (50%) نتيجة توقفات مخطط لها مسبقاً (صيانة سنوية)، و(50%) نتيجة توقفات غير مخطط لها مسبقاً (صيانة طارئة).

3- دراسة (عبد علي، فندي ومطلك ،2009):

بعنوان :" قياس معوليه الفرن الدوار في معمل سمنت كبيسة "

. هدفت هذه الدراسة إلى قياس وتقييم معوليه أحد أجزاء الأقسام الإنتاجية في معمل سمنت كبيسة كأساس لدراسة كفاءة الأنظمة وطرق احتسابها ، ولتحقيق هذا الغرض فقد تم تجميع بيانات التوقفات المطلوبة لعطل أجزاء الفرن الدوار لاعتمادها في حساب الوقت بين الأعطال (TBF) والوقت لحين التصليح (TTR)، وكذلك لتقدير معلمات (Parameters) توزيع ويبل (Weibull) لأجزاء نظام الفرن الدوار. وتوصلت الدراسة إلى ما يأتي:

أ- إن كفاءة النظام في تحسن، وإن جزء المنفاخ هو الجزء الأكثر استجابة للتحسن باعتماد (الصيانة الوقائية)، حيث بلغت كفاءة هذا الجزء قبل الصيانة (R(t) = 0.76) وأصبحت الكفاءة لهذا الجزء (R(t) = 0.91) بعد إجراء الصيانة.

ب- إن الفرن بشكل عام ذو متوسط عطل متزايد ،ويعاني من حالة التقادم والسوفان ، وكذلك بعض أجزائه ومنها (المروحتين من نوع (MP و EP)، والمحرك الرئيسي).

ج- أتضح بأن المروحة نوع (EP) والمنفاخ، هما الأعلى قيمة حرجة للخطورة (CA) على حياة الفرن وذلك من خلال تحليلات أسلوب العطل وتحليل تأثيراته الحرجة (FMECA).

الجانب النظري

1- دالة المعولية R(t): Reliability Function

تُعرّف دالة المعولية من الناحيتين الإحصائية والاحتمالية على الوجه الآتي:

إذا كان المتغير العشوائي $(T \geq 0)$ يمثل الوقت حتى حدوث العطل، وله دالة كثافة احتمالية $f(t)$، ودالة توزيع تجميعية $F(t)$، فإن المعولية للجهاز في الوقت (t) هي $R(t)$ التي تأخذ الصيغة الآتية (Smith, 1976):

$$R(t) = p(T > t)$$

$$= \int_{t}^{\infty} f(u)du$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^{t} f(u)du$$

وبما $(t > 0)$ عليه فإن دالة المعولية تكتب على النحو الآتي:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(u)du$$
$$= 1 - p(T < t)$$
$$= 1 - F(t) \qquad \ldots(2)$$

حيث إن:

$$F(t) = p(T < t) \qquad , t > 0$$
$$= \int_0^t f(u)du$$

إن من أهم الخصائص التي تتصف بها دالة المعولية $R(t)$ الواردة في العلاقة (2) أنها دالة متناقصة بمرور الوقت، أي أن (Hitomi, 1996):

(1) $R(0) = 1$

(2) $R(\infty) = 0$

وبصورة عامة تكون دالة المعولية $R(t)$ دالة متناقصة مستمرة من اليسار ضمن الفترة $[0, \infty)$، وهذا يعني بأن كل جهاز لا بد أن يندثر بعد مرور فترة زمنية معينة (Johnson & Christencen, 1988):

2- دالة العطل $r(t)$: Failure Rate Function

وهي عبارة عن نسبة الوحدات العاطلة خلال فترة زمنية معينة إلى تلك التي بقيت حتى الوقت (t)، وتأخذ دالة معدل العطل $r(t)$ الشكل الآتي (Kapur & Laberson, 1977):

$$r(t) = \frac{-1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$$
$$= \frac{f(t)}{1 - F(t)} \qquad \ldots(3)$$

3- توزيعات العطل المعلمية:

يتناول هذا الجزء بعض التوزيعات الاحتمالية المعلمية المستمرة (Continuous Probability Distributions) الخاصة بوقت إشغال الآلات حتى حدوث العطل، والتي يمكن استنباطها من خلال دالة الكثافة الاحتمالية لتوزيع (كاما العام ذو الثلاث معلمات) التي تأخذ الشكل الآتي (Gross & Clark, 1975):

$$f(t) = \frac{\alpha . t^{\alpha\beta - 1}}{\Gamma_\beta \theta^{\alpha\beta}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\alpha} \qquad , t > 0, \qquad \alpha, \beta, \theta > 0 \qquad \ldots(4)$$

وباعتماد بعض القيود على معلمات التوزيع أعلاه، يمكن الحصول على توزيعات العطل الاحتمالية الأكثر شيوعاً وتداولاً والتي هي (Heizer & Render, 1996):

أ. عندما $(\alpha = 1)$ نحصل على توزيع كاما (Gamma Distribution).

ب. عندما $(\beta = 1)$ نحصل على توزيع وايبل (Weibull Distribtion).

ج. عندما $(\alpha = \beta = 1)$ نحصل على التوزيع الأسي (Exponential Distribution).

وستقتصر دراستنا على التوزيع الأسي (Exponential Distribution) فقط، وذلك لأن بيانات زمن العطل التي اعتُمدت في التطبيق العملي كانت تتوزع توزيعاً أسياً بمعلمة (θ)، بعد إجراء اختبار مربع كاي (χ^2) عليها، وظهرت بأنها تتوزع أسياً ولكافة أنواع الآلات قيد الدراسة.

4- تقدير معلمة ودالة المعولية للتوزيع الأسي:

إن دالة الكثافة الاحتمالية $f(t)$ لوقت اشتغال آلات قسم النسيج حتى حدوث العطل ، تخضع للتوزيع الأسي، وتأخذ الشكل الآتي (Michael, 1991):

$$f(t) = \frac{1}{\theta} \cdot e^{-\frac{t}{\theta}} \qquad , t > 0 \qquad \ldots(5)$$

حيث إن:

θ : تمثل معلمة المقياس(Scale Parameter)، وتعرّف معلمة المقياس على أنها متوسط الزمن بين العطل (Mean Time Between Failure – MTBF).

ويتناول هذا الجزء استخدام طريقة الإمكان الأعظم (MLE) في تقدير المعلمة (θ)، ودالة المعولية $R(t)$ الخاصة بالتوزيع الأسي، وعلى النحو الآتي:

أ. تقدير معلمة التوزيع الأسي:

من خلال تطبيق طريقة الإمكان الأعظم (MLE) يمكن الحصول على صيغة صريحة لمقدر معلمة التوزيع الأسي (θ)، وعلى افتراض أن المتغير العشوائي $(T \geq 0)$ له دالة كثافة احتمالية $f(t)$ كما في العلاقة (5)، فإن دالة الإمكان الأعظم للمتغيرات العشوائية $(t_1, t_2, \ldots, t_n)$ تكتب على النحو الآتي (Pollock & Conroy, 1989):

$$L(\underline{t};\theta) = \frac{1}{\theta^n} \cdot e^{-\frac{1}{\theta}\sum_i^n t_i}$$

عليه فإن مقدر الإمكان الأعظم للمعلمة (θ) هو:

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_i^n t_i}{n} = \bar{t} \qquad \ldots(6)$$

يُعد المقدر $(\hat{\theta})$ أعلاه تقديراً غير متحيزاً (Unbiased Estimator) للمعلمة (θ)، أي أن:

$$E(\hat{\theta}) = \theta$$

إن المتغير $(Y = \sum_{i}^{n} ti)$ يُعد مؤشراً إحصائياً كافياً (Sufficient Statistic) للمعلمة (θ)، وله صفة الكمال (Complete Sufficient Statistic).

وبما أن $(\hat{\theta})$ تُعد دالة في المؤشر الإحصائي الكافي $(Y = \sum_{i}^{n} ti)$، عليه فإن $(\hat{\theta})$ لها خاصية المقدر غير المتحيز بأصغر تباين (MVUE) للمعلمة (θ) (Pugh, 1963).

أ. تقدير دالة المعولية $R(t)$ ودالة معدل العطل $r(t)$:

إن دالة المعولية $R(t)$ لأوقات اشتغال الآلات والتي تتوزع توزيعاً أسياً، تأخذ الصيغة الآتية:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\theta}} \qquad ,t > 0 \qquad \ldots(7)$$

عليه فإن مقدر الإمكان الأعظم لدالة المعولية $R(t)$ يمكن الحصول عليه بعد التعويض عن قيمة $(\hat{\theta})$ في دالة المعولية $R(t)$ الواردة في العلاقة (7)، وكالآتي (Sinha & Kale, 1980):

$$\hat{R}(t) = e^{-\frac{t}{\hat{\theta}}} \qquad ,t > 0$$

إن مقدر دالة المعولية $\hat{R}(t)$ أعلاه يُعد مقدراً متحيزاً، وعلى اعتبار أن المتغير $(Y = \sum_{i}^{n} t_i)$ هو مؤشر إحصائي كافي المعلمة (θ) وله صفة الكمال، وباعتماد نظرية (Lehmann & Sheffe) يمكن الحصول على التقدير غير المتحيز لدالة المعولية $\hat{R}(t)$ كالآتي (Mook, Graybill & Boes, 1974):

$$\hat{R}(t) = \left\{1 - \frac{1}{\sum_{i}^{n} ti}\right\}^{n-1} \qquad ,t > 0 \qquad \ldots(8)$$

إن المقدر $\hat{R}(t)$ أعلاه، له خاصية (MVUE) للدالة $R(t)$ (Pugh, 1963).

أما بالنسبة لدالة معدل العطل r(t)، والتي تُعد مقداراً ثابتاً في حالة التوزيع الأسي تأخذ الشكل الآتي (Shooman, 1968):

$$r(t) = \frac{1}{\theta}$$

عليه فإن مقدر الإمكان الأعظم للدالة r(t) تكتب كالآتي:

$$\hat{r}(t) = \frac{1}{\hat{\theta}} = \frac{n}{\sum_{i}^{n} t_i} \quad \ldots(9)$$

إن المقدر $\hat{r}(t)$ الوارد في العلاقة (9) يُعد تقديراً متحيزاً، أما التقدير غير المتحيز لدالة معدل العطل $\hat{r}(t)$ يوضح بالشكل الآتي:

$$\hat{r}(t) = \frac{n-1}{\sum_{i}^{n} t_i} \quad \ldots(10)$$

إن مقدّر دالة معدل العطل $\hat{r}(t)$ أعلاه، له خاصية المقدر غير المتحيز بأقل تباين (MVUE) للدالة r(t) (Pugh, 1963).

الجانب التطبيقي

1- أسلوب جمع البيانات:

لأغراض الدراسة تم حصر عدد كبير من آلات قسم النسيج في المؤسسة الوطنية للمنسوجات الأردنية والمستخدمة في تنفيذ الموديلات المقترحة للإنتاج من قبل قسم التصميم في المؤسسة المذكورة وهي (منشفة حمام بقياسات مختلفة، بشكير بقياسات مختلفة، تجهيزات مطبخ، أرضيات حمام بقياسات وألوان مختلفة).

وقد انصب اهتمام الباحث بدراسة ثلاثة أنواع من الآلات الإنتاجية في قسم النسيج هي (Winder، Sewing، Twisting)، لكونها تشترك في سنة الصنع (1985) وهي من مناشئ مختلفة، وقد استُبعدت الآلات الأخرى من الدراسة بسبب اختلاف سنة صنعها.

وبعد تحديد أنواع الآلات المطلوبة للدراسة، تم سحب عينة عشوائية بنسبة (50%) لكل نوع، كما هو موضح بالجدول (1) الآتي:

الجدول (1): عينة الآلات المختارة للدراسة

ت	اسم الآلة	العدد	عينة الآلات (50%)
1	Winder	20	10
2	Sewing	16	8
3	Twisting	12	6

بعدها تم تسجيل الأوقات الفعلية لاشتغال الآلات الثلاث قيد الدراسة، حتى حدوث العطل، للفترة من (2010/4/1 -- 2010/10/1)، بحيث يتم إصلاح عطل الآلة وإعادتها للعمل، وقد تم استبعاد العطلات الإدارية والتوقفات الناتجة عن أعمال الصيانة في المؤسسة، كما هو موضح بالجدول (2) الآتي:

الجدول (2):أوقات اشتغال الآلات الثلاث بين العطلات/ ساعة
للفترة من (2010/4/1 -- 2010/10/1)

1 . الآلات (Winder)

رقم الآلة المختارة	أوقات الاشتغال بين العطلات
W2	45، 4، 3، 30
W5	100، 3، 30، 34
W8	89، 42، 1، 105
W9	69، 6، 31، 53، 12، 4، 79
W11	93، 67، 8، 32
W14	69، 32، 54، 4، 90، 10، 135
W15	58، 2، 30
W17	59، 31، 5، 5، 77، 9، 79
W18	35، 10، 51، 91، 4
W20	2، 36، 48، 3، 2

2 . الآلات (Sewing)

رقم الآلة المختارة	أوقات الاشتغال بين العطلات
S 1	15، 28، 104، 23، 51، 16، 30، 92
S5	36، 50، 17، 47، 50، 15، 87
S6	60، 18، 28، 86، 19، 22، 16
S8	18، 29، 21، 75، 108، 38
S9	58، 15، 31، 78، 150، 37، 16
S11	15، 19، 42، 17، 18، 45
S13	98، 31، 47، 16
S14	55، 23، 61، 17، 69

3 . الآلات (Twisting)

رقم الآلة المختارة	أوقات الاشتغال بين العطلات
T2	39، 19، 33، 18، 47، 19، 18
T3	18، 82، 56، 38، 65، 19
T5	28، 108، 27، 18، 19، 19، 59، 95، 42
T9	37، 19، 88، 53، 34، 67، 31، 105، 80
T10	17، 63، 18، 48، 37، 78، 18، 39
T11	45، 18، 61، 83، 70، 19، 54، 150، 120

بعد ذلك تم تفريغ البيانات في جداول خاصة تمثل فئات أوقات الاشتغال (T_i)، والتكرارات المشاهدة (O_i) لعدد حالات عطل آلة من الآلات عينة الدراسة، كما هو موضح بالجدول (3) الآتي:

الجدول (3): التكرارات المشاهدة لعدد حالات عطل الآلات الثلاث ووقت اشتغالها بين العطلات

1- أ : الآلة (Winder)

الوقت (T_i)/ساعة	التكرار المشاهد (O_i)
20-0	20
40-20	10
60-40	8
80-60	6
100-80	4
120-100	2
120 فأكثر	1

1- ب : الآلة (Sewing)

الوقت (T_i)/ساعة	التكرار المشاهد (O_i)
20-0	16
40-20	13
60-40	9
80-60	5
100-80	4
120-100	2
120 فأكثر	1

1- ج : الآلة (Twisting)

الوقت (T_i)/ساعة	التكرار المشاهد (O_i)
20-0	15
40-20	10
60-40	8
80-60	6
100-80	5
120-100	2

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات أوقات اشتغال الآلات الثلاث الواردة بالجدول (2).

2- تحليل البيانات ومناقشة النتائج:

أ. اختبار حُسن المطابقة لأوقات اشتغال الآلات:

تم إجراء اختبار حُسن المطابقة لبيانات أوقات اشتغال كل آلة حتى حدوث العطل لاختبار الفرضية القائلة (بأن بيانات أوقات اشتغال الآلات بين العطلات، ولكل آلة من آلات قسم النسيج قيد الدراسة تخضع للتوزيع الأسي بمعلمة(θ))، حيث تم استخراج متوسط الزمن بين العطل (MTBF) لكل آلة بالاعتماد على العلاقة رقم (6)، التي تمثل تقديراً غير متحيزاً بأصغر تباين (MVUE) للمعلمة(θ)، كما هو موضح بالجدول (4) الآتي:

الجدول (4): يمثل متوسط الزمن بين العطل/ ساعة (MTBF) للآلات الثلاث

ت	اسم الآلة	$MTBF = \hat{\theta}i$
1	Winder	38.75
2	Sewing	43.14
3	Twisting	48.71

وقد استُخدم اختبار مربع كاي (χ^2)، لاختبار حُسن المطابقة لأوقات اشتغال الآلات الثلاث، والجدول (5) التالي يوضح قيم مربع كاي المحسوبة ($\chi^2_{cal.}$) للآلات الثلاث والتي هي خلاصة نتائج الملحق رقم (1) وعلى النحو الآتي:

الجدول (5): قيم مربع كاي المحسوبة ($\chi^2_{cal.}$) للآلات الثلاث

ت	اسم الآلة	$\chi^2_{cal.}$	df	$\chi^2_{(5,0.01)}$
1	Winder	1.23803	5	15.09
2	Sewing	1.09312	5	
3	Twisting	0.59504	5	

وبمقارنة قيم ($\chi^2_{cal.}$) المحسوبة للآلات الثلاث قيد الدراسة الواردة بالجدول (5)، مع القيمة الجدولية عند مستوى المعنوية (α=0.01)، يتضح بأن جميع قيم ($\chi^2_{cal.}$) المحسوبة هي أقل من القيمة الجدولية البالغة (15.09)، عليه سيتم قبول الفرضية (H_0)، معنى ذلك أن بيانات أوقات اشتغال الآلات تخضع للتوزيع الأسي بالمعلمات ($\hat{\theta}_3 = 48.71, \hat{\theta}_2 = 43.14, \hat{\theta}_1 = 38.75$) على التوالي.

ب- نتائج التحليل الإحصائي لتقدير دالتي معدل العطل و المعولية:

ب-1: تقدير دالة العطل $\hat{r}(t)$:

تم الحصول على التقدير غير المتحيز بأقل تباين (MVUE) لدالة معدل العطل $\hat{r}(t)$ للآلات الثلاث، باستخدام العلاقة رقم (10) كما هو موضح بالجدول (6) الآتي:

الجدول (6): دالة معدل العطل $\hat{r}(t)$ التقديرية للآلات الثلاث

ت	اسم الآلة	$\hat{r}(t)$
1	Winder	0.025
2	Sewing	0.023
3	Twisting	0.020

ب-2: تقدير دالة المعولية $\hat{R}(t)$:

من خلال العلاقة رقم (8) تم الحصول على التقدير غير المتحيز بأقل تباين (MVUE) لدالة معولية $\hat{R}_i(t)$ الآلات الثلاث(*)، والجدول (7) يوضح ذلك:

الجدول (7): دالة المعولية $\hat{R}(t)$ التقديرية للآلات الثلاث

t	$\hat{R}_1(t)$	$\hat{R}_2(t)$	$\hat{R}_3(t)$
0	1	1	1
10	0.7759	0.7978	0.8167
20	0.6013	0.6327	0.6663
30	0.4654	0.5036	0.5458
40	0.3597	0.4005	0.4446
50	0.2776	0.3166	0.3618
60	0.2140	0.2521	0.2941
70	0.1647	0.1981	0.2401
80	0.1265	0.1568	0.1948
90	0.0975	0.1240	0.1580
100	0.0746	0.0975	0.1280
110	0.0570	0.0769	0.1041
120	0.0437	0.0606	0.0842
130	0.0331	0.0475	0.0680
140	0.0253	0.0373	0.0549
150	0.0193	0.0293	0.0442

يتضح من خلال الجدول (7) بأن معولية $\hat{R}_3(t)$ الآلات نوع (Twisting) تُعد هي الأعلى مقارنة بمعولية الآلات نوع (Sewing)، ونوع (Winder) واقترنت معولية الآلات نوع (Twisting) بأقل نسبة عطل $(\hat{r}(t) = 0.02)$.

(*) تم الإشارة إلى تسلسل الآلة دون ذكر الاسم عند احتساب معوليتها.

وأن دالة المعولية $\hat{R}_3(t)$ تتناقص بشكل تدريجي كلما ازداد زمن اشتغالها، حيث تشير النتائج إلى إن احتمال اشتغال هذا النوع من الآلات لمدة (10) ساعات دون عطل يساوي (0.8167) ولمدة (20) ساعة أصبح (0.6663) ولمدة (30) ساعة أصبح (0.5458)، وهكذا إلى أن أصبحت المعولية مساوية إلى (0.0442) عند اشتغال الآلة لمدة (150) ساعة بدون عطل.

وتأتي بالمرتبة الثانية الآلات من نوع (Sewing) من حيث معوليتها، وتليها الآلات من نوع (Winder) بالمرتبة الثالثة.

جـ- اختبار فرضية عدم وجود فروق بين القيم التقديرية لدوال معولية الآلات الثلاث:

لاختبار الفرضية الخاصة بعدم وجود فروق جوهرية بين القيم التقديرية لدوال معولية $\hat{R}_i(t)$ آلات قسم النسيج قيد الدراسة، استُخدم لذلك اختبار (Birnbaum -- Hall). حيث تم إيجاد قيم دالة التوزيع التجميعية $F_i(t)$ للآلات الثلاث، والموضحة بالملحق (2).

بعدها تم تبويب قيم دالة التوزيع التجميعية $F_i(t)$ في جداول تكرارية، ومن ثم إيجاد قيم دالة التوزيع التجميعية التجريبية $S_i(t)$ للآلات الثلاث، كما هو موضح بالملحق رقم (3). والجدول (8) التالي، يوضح نتائج المرحلة النهائية للاختبار.

الجدول (8): نتائج اختبار (Birnbaum-Hall)

$\lvert S_2(t) - S_3(t) \rvert$	$\lvert S_1(t) - S_3(t) \rvert$	$\lvert S_1(t) - S_2(t) \rvert$	الفئات
1/32	1/32	0	0.2-0.0
1/32	1/32	0	0.4-0.2
1/32	2/32	1/32	0.6-0.4
1/32	3/32	1/32	0.8-0.6
0	0	0	1.0-0.8
1/32	3/32	1/32	قيمة T:

عليه فإن قيمة إحصاءة اختبار (Birnbaum – Hall) تكون كالآتي:

$$T = \sup_{t,i,j} \left| S_i(t) - Sj(t) \right| \qquad ,i \neq j$$

$$= 3/32$$

وبمقارنة قيمة (T) المحسوبة والبالغة (3/32) مع القيمة الجدولية البالغة (14/32) عند مستوى المعنوية (α = 0.01)، وبحجم (32)، تبين بأن القيمة المحسوبة أقل من القيمة

الجدولية، لذلك سيتم قبول فرضية العدم (H_0)، التي تنص على: " عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين القيم التقديرية لدوال معولية $\hat{R}_i(t)$ آلات قسم النسيج قيد الدراسة ".

الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: الاستنتاجات:

1- أسفرت نتائج تقدير المعلمات $(\hat{\theta}_i)$ التي تمثل متوسط أوقات اشتغال الآلات حتى حدوث العطل الواردة في الجدول (4) والخاصة بالآلات الثلاث قيد الدراسة، على أن الآلات من نوع (Twisting) هي الأفضل من ناحية متوسط زمن اشتغالها بين العطلات، وجاءت بالمرتبة الأولى، تليها الآلات نوع (Sewing) بالمرتبة الثانية، ثم الآلات من نوع (Winder) بالمرتبة الثالثة.

2- تشير النتائج بأن معولية $\hat{R}_3(t)$ الآلات نوع (Twisting) أعلى من معولية الآلات من نوع (Sewing)، ونوع (Wineder)، والتي اقترنت بأقل نسبة عطل $[\hat{r}(t) = 0.02]$ مقارنة ببقية نسب العطل أو المخاطرة للآلات الأخرى من نوع (Sewing)، و(Wineder).

3- أظهرت نتائج التحليل بأن الآلات الثلاث قيد الدراسة متقاربة في احتمالات حدوث العطل، ولم تسجل أية فروق جوهرية بين توزيعات القيم التقديرية لدوال معولية الآلات الثلاث، بالاعتماد على اختبار (Birnbaum – Hall)، بالرغم من الاختلاف النسبي في معوليتها.

4- أكدت النتائج بان الآلات من نوع (Twisting) هي ذات جاهزية عالية مقارنة بالآلات الأخرى قيد الدراسة، وذلك اعتماداً على متوسط زمن اشتغالها بين العطلات $(\hat{\theta}_i)$، ومعوليتها $\hat{R}_3(t)$.

ثانيا: التوصيات:

1- توصي الدراسة بضرورة قيام منظماتنا الإنتاجية باستحداث إدارة خاصة بالمعولية تدعى بـ(إدارة المعولية) كنتيجة طبيعية للتطور الحاصل في مجال المعولية، تأخذ هذه الإدارة على عاتقها القيام بالمهام الآتية:

أ. اعتماد نظام معلومات لحالات الفشل الخاصة بالآلات الإنتاجية، يُحتفظ بملف عن كل آلة ويُغذى عن طريق تقارير يومية أو أسبوعية لسهولة مراجعة المعلومات عن حالات عطل أي آلة بغية اعتمادها في عملية التحليل الكمي لحالات العطل العشوائية، بما يؤمن إطالة العمر الإنتاجي للآلات.

ب. تحديد مواصفات الآلات والمعدات التي يجب شراؤها أو استيرادها من مناشئ عالمية تتميز بتصاميمها وتقنياتها العالية بما يؤدي إلى خفض تكاليف الإنتاج وزيادة الإنتاجية من جهة، وتقليل فترة اندثار الآلات من جهة ثانية.

ج. تحسين ظروف العمل للآلات الإنتاجية من خلال تأهيل كوادر فنية على كفاءة عالية وتوفير كافة المواد الاحتياطية اللازمة لإدامة العملية الإنتاجية.

2- تقترح الدراسة بضرورة قيام قسم الصيانة باعتماد سياسة الصيانة العلاجية للآلات التي تنص على: (أن تتم عملية التصليح عند حدوث العطل)، لكونها تنسجم مع توزيع بيانات أوقات اشتغال الآلات الذي توصلت إليه الدراسة بأنه يتوزع توزيعاً أسياً.

3- بالنظر لعدم استطاعة الباحث من الحصول على البيانات الخاصة بنسبة استغلال الآلات نتيجة العطلات الميكانيكية، وكذلك بيانات إنتاجية الآلة لأسباب تخص المؤسسة، عليه توصي الدراسة بضرورة إعداد دراسة مستقبلية منفصلة من قبل قسم الصيانة في المؤسسة عن علاقة مفهومي المعولية (Reliability)، والإنتاجية (Productivity).

References

Barlow, R. E. & Proschan, F. (1975). Statistical Theory of Reliability and Life Testing Probability Models. Holt, Rinenart and Winston, New York.

Conover, W. J. (1971). Practical Non Parametric Statistics. John -1 Wiley & Sons, New York.

Gross, A. J. & Clark, V. A. (1975). Survival Distributions: -2 Reliability Applications in the Biomedical Sciences. John Wiley & Sons, New York.

Heizer, J. & Render, B. (1996). Production, Operations -3 Management Strategic and Tactical Decisions. Prentice -- Hall, Inc.

Hitomi, K. (1996). Manufacturing Systems Engineering. -4 Katsundo Hitom.

Johnson, W. & Christensen, R. (1988). Modeling Accelerated -5 Failure Time with a Dirichlet Process. Biometrika, 75(4).

Kapur, K. C. & Lamberson, L. R. (1977). Reliability in -6 Engineering Design. John Wiley, New York.

Michael. (1991). Reliability for Engineers: An Introduction. -7 Macmilian Education LTD.

Milton, J. S. & Tsokos, J. O. (1983). Statistical Methods in the -8 Biological and Health Sciences. McGraw -- Hill International Book Company, London.

Mood, A. M., Graybill, F. A. & Boes, D. C. (1974). Introduction to -9 Theory of Statistics. McGraw -- Hill International Book Company, London.

10- Pollock & Conroy. (1989). Estimation and Analysis of Survival Distributions. Biometrics, 45(1).

11- Pugh, E. L. (1963). The Best Estimate of Reliability in the Exponential Case. Operations Research, vol. 11.

12- Shooman, M. L. (1968). Probabilistic Reliability: An Engineering Approach. McGraw – Hill International Book Company, New York.

13- Sinha, S. K. & Kale, B. K. (1980). Life Testing and Reliability Estimation. John Wiley Eastern, LTD.

14- Smith, C. O. (1976). Introduction to Reliability of Design. McGraw – Hill, Book Company, New York.

16- البلعزي ، خالد محمد والجدي ، إبراهيم محمد ، (2007) ، دراسة اتاحية محطة تحلية مياه البحر بتاجوراء ، مجلة النواة ، المجلد 7 ،العدد 11 ، الجماهيرية الليبية.

17- هديل ، سليم حسن ، (2005)، حول مقارنة طرق التقدير لمعلمة ودالة البقاء للتوزيع ألأسي باستخدام المحاكاة ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية التربية/ ابن الهيثم – جامعة بغداد.

18- طعمة ، حسن ياسين، (2009)، نظرية إتخاذ القرارات: أسلوب كمي تحليلي ، دار صفاء للطباعة والنشر والتوزيع، عمان.

19- طعمة ، حسن ياسين والنسور، مروان محمد ، (2010)، تقدير معولية "Reliability" المكائن الإنتاجية لقسم النسيج ، مجلة المدرسة الوطنية العليا للإحصاء والاقتصاد التطبيقي، العدد (13).

20- عبد علي ، سوسن صبيح وفندي ، صالح جعفر ومطلك ، ستار علي ، (2009) ، قياس معولية الفرن الدوار في معمل سمنت كبيسة ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 27، العدد11 ، الجامعة التكنولوجية – بغداد.

الملحق (1) - اختبار حُسن المطابقة لأوقات اشتغال الآلات

1: اختبار حُسن المطابقة لأوقات اشتغال الآلة (Winder):

T_i	O_i	$p(t_1 \le T \le t_2)$	E_i	$\chi^2_{cal.}$
0-20	20	(*) 0.4032	(**) 20.5632	0.01543
20-40	10	0.2406	12.2706	0.42016
40-60	8	0.1436	7.3236	0.06247
60-80	6	0.0857	4.3707	0.60737
80-100	4	0.0782	3.9882	0.00003
100-120	2	0.0305	1.5555	0.12702
120 >	1	0.0182	0.9282	0.00555
				1.23803

2: اختبار حُسن المطابقة لأوقات اشتغال الآلة (Sewing):

T_i	O_i	$p(t_1 \le T \le t_2)$	E_i	$\chi^2_{cal.}$
0-20	16	0.3710	18.550	0.35054
20-40	13	0.2333	11.665	0.15278
40-60	9	0.1468	7.340	0.37542
60-80	5	0.0924	4.620	0.03126
80-100	4	0.0970	4.850	0.14897
100-120	2	0.0366	1.830	0.01579
120 >	1	0.0229	1.145	0.01836
				1.09312

3: اختبار حُسن المطابقة لأوقات اشتغال الآلة (Twisting):

T_i	O_i	$p(t_1 \le T \le t_2)$	E_i	$\chi^2_{cal.}$
0-20	15	0.3367	16.1616	0.08349
20-40	10	0.2234	10.7232	0.04877
40-60	8	0.1689	8.1072	0.00142
60-80	6	0.0983	4.7184	0.34810
80-100	5	0.0903	4.3344	0.10221
100-120	2	0.0433	2.0784	0.00296
120 >	2	0.0391	1.8768	0.00809
				0.59504

(*) $$p(0 \le T \le 20) = \int_0^{20} f(t)dt = \int_0^{20} \frac{t}{38.75} \cdot e^{-\frac{t}{38.75}} dt = \left[-e^{-\frac{t}{38.75}} \right]_0^{20} = 0.4032$$

(**) $$Ei = N \cdot p(0 \le T \le 20)$$
$$= 51(0.4032)$$
$$= 20.5632$$

الملحق (2)

قيم دالة التوزيع التجميعية $F_i(t)$ للآلات الثلاث

t	$F_1(t)$	$F_2(t)$	$F_3(t)$
0	0	0	0
5	0.1176	0.1067	0.1833
10	0.2241	0.2022	0.1833
15	0.3171	0.2912	0.2605
20	0.3987	0.3673	0.3337
25	0.4722	0.4354	0.3969
30	0.5346	0.4964	0.4542
35	0.5905	0.5508	0.5085
40	0.6403	0.5995	0.5554
45	0.6844	0.6448	0.5979
50	0.7224	0.6834	0.6382
55	0.7558	0.7180	0.6730
60	0.7860	0.7488	0.7059
65	0.8123	0.7763	0.7342
70	0.8353	0.8019	0.7599
75	0.8559	0.8237	0.7842
80	0.8735	0.8432	0.8052
85	0.8889	0.8605	0.8250
90	0.9025	0.8760	0.8420
95	0.9150	0.8897	0.8574
100	0.9254	0.9025	0.8720
105	0.9347	0.9134	0.8846
110	0.9430	0.9231	0.8959
115	0.9501	0.9317	0.9066
120	0.9563	0.9394	0.9158
125	0.9620	0.9465	0.9245
130	0.9669	0.9525	0.9320
135	0.9709	0.9579	0.9388
140	0.9747	0.9627	0.9451
145	0.9779	0.9669	0.9506
150	0.9807	0.9707	0.9558
155	0.9831	0.9742	0.9602

الملحق (3)

قيم دالة التوزيع التجميعية التجريبية $S_i(t)$ للآلات الثلاث

1- الآلة (Winder):

$S_1(t)$	F*	التكرار	الفئات
2/32	2	2	- 0.0
5/32	5	3	- 0.2
8/32	8	3	- 0.4
13/32	13	5	- 0.6
1	32	19	1.0 – 0.8

2- الآلة (Sewing):

$S_2(t)$	F*	التكرار	الفئات
2/32	2	2	- 0.0
5/32	5	3	- 0.2
9/32	9	4	- 0.4
14/32	14	5	- 0.6
1	32	18	1.0 – 0.8

3- الآلة (Twisting):

$S_3(t)$	F*	التكرار	الفئات
3/32	3	3	- 0.0
6/32	6	3	- 0.2
10/32	10	4	- 0.4
16/32	16	6	- 0.6
1	32	16	1.0 – 0.8