

الاختيار الأمثل لعدد العمال وتقليل الزمن في خطوط الصيانة لمكائن الإنتاج باستخدام نظرية صفوف الانتظار

ضياء عبد القادر سلطان*

تاريخ التسلم: 2011/2/17

تاريخ القبول: 2011/10/6

الخلاصة

من اجل تقليل زمن الانتظار والحصول على نتائج أفضل لمصادر الطاقة والأيدي العاملة فلقد تم استخدام مبدأ خطوط الانتظار وتم تمثيل النماذج الرياضية ومناقشة تطبيقاتها . تم تطبيق مبدأ خطوط الانتظار على الشركة العامة لصناعة الألبسة الجاهزة في الموصل باستخدام مجموعة البيانات والفحوصات الإحصائية لاختيار النموذج الرياضي المناسب لورشة عمل معينة في الشركة . وقد أظهرت النتائج لمثل هذا النموذج بأن هناك نتائج عمليات أفضل مع زمن أقل وعمليات منظمة أكثر في حال تطبيق النموذج .
الكلمات المرشدة : نظرية صفوف الانتظار ,توصيف وإختبار النموذج الرياضي.

The Optimal Selection of The Workers Number and Reduction The Time In Maintenance Lines of Production Machine Using Waiting lines Theory

Abstract

Aiming to reduce waiting time and to get optimum investment for material and human resource .The queuing lines principle is introduced, the mathematical models required are given, and its applications are discussed.

The queuing lines procedure is applied in the general establishment for manufacturing of ready made clothes in Mousl , the data collection and statistical tests are used to choose the mathematical model suitable for a certain workshop . The results for such a model showed that there are better operation results with less time and more organized processing.

Keywords: specification and test of models.

المقدمة

إن أساليب الإنتاج من الأعمال الصناعية المهمة التي تعتمد عليها المنشآت الصناعية في بلدنا ولغرض المحافظة على رؤوس الأموال والاستثمار الأمثل لها والاستغلال الأمثل للوقت مما دفع هذه المنشآت إلى إتباع الطرق والأساليب العلمية في تخطيط عمليات الانتاج.

وبناء على ذلك تم اختيار موضوع صفوف الانتظار في خطوط الإنتاج بهدف الوصول إلى نظام أكثر فاعلية في عمليات الإنتاج. قام الباحث بتطبيق نظرية صفوف الانتظار في الشركة العامة لصناعة الألبسة الجاهزة في الموصل بهدف التقليل في زمن الانتظار والاستثمار الأمثل للموارد والطاقات البشرية في إحدى شركات القطاع العام.

إن أول من استخدم نظرية صفوف الانتظار هو A.K.Erlang في عام 1909 حيث قام بدراسة صفوف الانتظار على بدالة الهاتف. بهدف تقليل زمن انتظار طالبي المكالمات الهاتفية [1] [2]. قام مولينز Molins عام 1927م وثورنتون Thornton D.Fry عام 1928 بتطوير العمل في بدالات الهاتف [3] وفي عام 1979 نشر Sculli , D. , A.W. Suraweera بحثاً حول نشاطات التصليح في شركة ناقلات هونغ كونك [4]. وفي عام 1981 تحرى (Donald Grosi) مشكلة تصليح المحركات والنموذج الذي تبناه يشتمل مرحلتان تشكلان (عمل وتصليح) [5]. وفي عام 1984 نشرت (Linda green) عملها بخصوص منظومة خطوط الانتظار التي تحتوي على نوعين من الزبائن الواصلين ونوعين من قنوات الخدمة [6] .. وبعد ذلك الحين أصبح بالإمكان تطبيق هذه النظرية في مجالات متعددة وواسعة بهدف تقليل زمن الانتظار او الاستثمار الأمثل للموارد المالية والبشرية في

جميع المواقف التي تتميز الخدمة فيها بوقوف عدد من الوحدات طلباً للخدمة في نظام معين .

مثل ورشة تصليح المكائن أو عيادات الأطباء أو تقديم الخدمة في المصارف وغيرها . إن الشركة العامة لصناعة الألبسة الجاهزة هي احد المواقع التي يمكن تطبيق نظرية الانتظار فيها , حيث تقوم الشركة بتصنيع أنواع مختلفة من الألبسة والقطع المختلفة الأخرى وحسب الطلب , وذلك بالاعتماد على ورشة كبيرة تحتوي على حوالي أكثر من خمسمائة ماكينة خياطة حيث تتعرض هذه الماكينات للتوقف والعطل نتيجة للعمل المستمر مما يتسبب في توقف خطوط الإنتاج وهنا يقوم كادر الصيانة بعد تلقيه إشعار بالعطل بتصليح الماكينات وإعادتها إلى العمل.

وعلى هذا الأساس كان من الضروري دراسة استغلال وقت الماكينات وإعادتها بسرعة إلى العمل بالإضافة إلى دراسة عدد عمال التصليح بهدف الوصول إلى العدد الأمثل لهم , وعليه فقد تم تطبيق نظرية صفوف الانتظار في هذه الورشة عن طريق تسجيل بيانات عطل الماكينات وأوقات التصليح والصيانة.

مفهوم صفوف الانتظار

إن نظرية صفوف الانتظار هي دراسة للعمليات التي تتميز بالوصول العشوائي وهذا يعني أن وصول الوحدات طالبة الخدمة إلى محطة الخدمة يكون على فواصل زمنية عشوائية , وكذلك فإن الخدمة التي تقدم هي عملية عشوائية أيضاً [7].

ولغرض تطبيق نظرية صفوف الانتظار يجب تحديد الصفات الستة الآتية [8]:

- 1- توزيع معدلات الوصول
Arrival distribution rate
- 2- توزيع معدلات الخدمة أو أزمنا الخدمة
Departure Distribution
- 3- قنوات الخدمة
Service channels
- 4- قاعدة الخدمة
Service Discipline
- 5- طاقة النظام
System Capacity
- 6- مصدر طلب الخدمة
Calling Source

صيانة الماكينات) وكيفية جمع البيانات ثم اختيار نموذج صفوف الانتظار الملائم.

تقوم المنشأة العامة لصناعة الألبسة الجاهزة في الموصل بتصنيع أنواع مختلفة من الألبسة وحسب الموديلات المطلوبة , حيث إن هناك خمسمائة ماكينة خياطة في المعمل موزعة على شكل خطوط للإنتاج. وعند حصول عطل في إحدى المكائن تبلغ شعبة الصيانة بالعطل عن طريق مذكرة يذكر فيها وقت العطل ورقم الماكينة حيث يقوم احد عمال التصليح بالتوجه وصيانة الماكينة العاطلة.

يبدأ الدوام في الورشة الساعة السابعة صباحاً وينتهي الساعة الثانية ظهراً , أي سبع ساعات ما عدا يوم الخميس ينتهي الدوام الساعة الواحد ظهراً.

جمع البيانات(الجدول) بيانات الوصول والخدمة:

تم جمع البيانات في الورشة لمدة ثلاث أسابيع بواقع 15 يوم (الجمعة والسبت عطلة) أي بواقع 102 ساعة عمل فعلية.

وذلك باستمارات خاصة أعدت لهذا الغرض (جدول رقم 6) .

ولغرض تحديد معدلات وصول أوامر العطل الواصلة إلى الورشة في كل ساعة تم تقسيم الملاحظة اليومية إلى سبع ساعات , تبدأ من الساعة السابعة صباحاً وحتى الساعة الثانية ظهراً , ثم تم تسجيل عدد أوامر العطل التي تصل إلى الورشة في كل ساعة من هذه الساعات. وبناءً على ذلك أمكن تحديد عدد أوامر العطل (التكرار الفعلي) التي تصل إلى الورشة في كل ساعة وهذا ما يوضحه جدول رقم (1). أما بالنسبة إلى أمانة الخدمة فقد تم توزيع أمانة الخدمة إلى فئات تبدأ من صفر إلى خمسة دقائق حيث كان طول الفئة الواحدة خمسة دقائق. وقد أمكن تحديد عدد الماكينات التي أمكن تصليحها (التكرار الفعلي) في كل فئة , وهذا ما يوضحه جدول رقم (2).

النماذج الرياضية في صفوف الانتظار

إن من أهم النماذج الرياضية هي النماذج التي تتبع توزيع بواسون .

وتتنوع هذه النماذج اعتماداً على الصفات الستة المبينة سابقاً , فلو أخذنا النموذج التالي [9] [10] [11]:

$$(M/M/1):(FCFS/\infty/\infty)$$

حيث يعني أن توزيع معدلات الوصول (M) يتبع توزيع بواسون Poisson Distribution وان توزيع معدلات الخدمة يتبع توزيع بواسون أيضاً (M) أو أن أمانة الوصول وتوزيع أمانة الخدمة يتبع التوزيع الآسي السالب

(Negative exponential Distribution) وان عدد قنوات الخدمة هي قناة واحدة. وان قاعدة الخدمة (FCFS) هي من يأتي أولاً تقدم له الخدمة أولاً. وان طاقة النظام غير محدودة (∞) وان مصدر الطلب غير محدود أيضاً (∞). ومن هذه الصفات الستة يمكن تحديد النموذج الرياضي , ومن ثم يتم تطبيق المعادلات الرياضية الخاصة بالنموذج المحدد.

اما الرموز المستخدمة في معادلات النموذج الرياضي فهي محددة لجميع النماذج وكالاتي:

λ : معدل الوصول (عدد العملاء الذين يصلون في وحدة زمنية واحدة)

μ : معدل الخدمة (عدد العملاء الذين تتم خدمتهم في وحدة زمنية واحدة).

n : عدد العملاء (الوحدات) في نظام الخدمة.

p_n : احتمال وجود n من الوحدات في النظام.

p_0 : احتمال عدم وجود أي وحدة في النظام.

$\lambda/\mu=\rho$: معدل الانتفاع.

L_s : العدد المتوقع للوحدات في النظام.

L_q : العدد المتوقع للوحدات في الصف.

W_s : زمن الانتظار المتوقع لكل وحدة في النظام.

W_q : زمن الانتظار المتوقع لكل وحدة في الصف.

وصف لحالة العمل بالورشة

لكي نطبق نظرية صفوف الانتظار (Queue Lines) في معمل الألبسة الجاهزة في الموصل سيتم أولاً وصف حالة العمل في الورشة (ورشة

$$=0.04853$$

$$P(X=6)=e^{-2.2156}(2.2156)^6/6!$$

$$=0.01792$$

$$P(X=7)=e^{-2.2156}(2.2156)^7/7!$$

$$=0.00567$$

مع العلم بان 2 ---- $E_i=p(x) \cdot \sum o_i$

$$X^2=(o_i-E_i)^2/E_i \text{ -----3}$$

ب- التوزيع الاحتمالي لأزمنة الخدمة:

لتحديد مدى مطابقة توزيع أزمنة الخدمة

للتوزيع الآسي السالب , فقد تم تحديد التكرار

النظري باستخدام الدالة الاحتمالية التالية:

$$P(t)=e^{-\mu t_2} - e^{-\mu t_1} \quad t > 0 \text{ -----4}$$

حيث أن:

$p(t)$: الاحتمالية.

μ : مقلوب متوسط زمن الخدمة.

t_1, t_2 : الفترات الزمنية المحددة في الفئات.

ومن ثم تطبيق الاختبار الإحصائي السابق

(مربع كأي) جدول رقم (4) حيث نلاحظ من

الجدول أن مربع كأي المحسوبة يساوي

(15.167) وبالرجوع إلى جدول (مربع كأي)

النظرية لنسبة خطأ مقدارها 0.05 ودرجات

حرية (6) نجد أن مربع كأي يساوي

(12.5916) وهو اقل من مربع كأي

المحسوبة (لا تقبل) أما عند نسبة خطأ 0.01

وعدد درجات حرية (6) نجد أن مربع كأي

النظرية يساوي (16.8119) وهي اكبر من

مربع كأي المحسوبة إذن تقبل . وهذا يعني

إن توزيع أزمنة الخدمة مطابق للتوزيع الآسي

السالب .

وفيما يلي نموذج حسابات الاحتمال التراكمي

والاحتمالية والتكرار النظري لمعدلات الخدمة

ومربع كأي كما مبينة النتائج في جدول رقم

(4):

$$\mu=3175/226=14.0486 \text{ دقيقة}$$

$$\mu=(1/14.0486)*60=4.2708$$

ماكينة/ساعة

$$P(x)=e^{-\mu t_2} - e^{-\mu t_1} \text{ -----5}$$

$$P(x)=1-e^{-t/\mu}$$

$$P(x=1)=1-e^{-2.5/14.0486}=0.163015$$

الاختبارات الإحصائية

جداول الحسابات والنتائج (اختبار مربع كأي):

أ- التوزيع الاحتمالي لمعدلات الوصول:

لتحديد مدى مطابقة توزيع معدلات وصول

الماكينات العاطلة إلى ورشة التصليح لتوزيع

بواسون , فقد تم تحديد التكرار النظري

باستخدام الدالة الاحتمالية التالية:

$$P_x(t)=e^{-\lambda t}(\lambda t)^x/x! \quad x=0, 1, 2, 3... \text{ ---1}$$

حيث أن:

x : العدد المتوقع لوصول الماكينات في وحدة

زمنية معينة.

$P_x(t)$: احتمال وصول x من الماكينات خلال

الفترة الزمنية من صفر إلى t .

e : العدد النايبييري (2.71828).

ومن ثم تم تطبيق الاختبار الإحصائي (مربع

كأي) كما موضح في جدول رقم (3) حيث

نلاحظ أن مجموع مربع كأي يساوي 9.7156

وبالرجوع إلى جدول (مربع كأي) النظرية

لنسبة خطأ 0.05 وعدد درجات حرية (6)

نجد أن مربع كأي يساوي (12.56) اكبر من

(9.7156) وهذا يعني إن توزيع معدلات

الوصول مطابق لتوزيع بواسون. وفيما يلي

نموذج حسابات الاحتمالية والتكرار النظري

ومربع كأي لمعدلات الوصول كما مثبتة

النتائج في جدول رقم (3):

مجموع الساعات=102 ساعة

مجموع العطلات=226

ماكينة/ساعة $\lambda=226/102=2.21568$

مع العلم بان:

$$P(X=x)=e^{-\lambda} \lambda^x/x!$$

$$P(X=0)=e^{-2.2156}(2.2156)^0/0!$$

$$=0.10908$$

$$P(X=1)=e^{-2.2156}(2.2156)^1/1!$$

$$=0.2416$$

$$P(X=2)=e^{-2.2156}(2.2156)^2/2!$$

$$=0.2677$$

$$P(X=3)=e^{-2.2156}(2.2156)^3/3!$$

$$=0.1977$$

$$P(X=4)=e^{-2.2156}(2.2156)^4/4!$$

$$=0.10952$$

$$P(X=5)=e^{-2.2156}(2.2156)^5/5!$$

$$\begin{aligned} &=0.5593 \\ W_S=L_S/\lambda &=1.0766/2.21568 \\ &=0.4859 \\ W_q=L_q/\lambda &=0.5593/2.21568 \\ &=0.2524 \end{aligned}$$

نتائج تطبيق النموذج:

أولاً: لقد تبين من خلال هذا البحث ان معدل وصول الماكينات العاطلة λ يتبع توزيع بواسون ومن خلال الاختبار المبين في جدول (3). أما معدل الخدمة μ فهو يتبع التوزيع الآسي السالب وحسب الاختبار المبين في جدول (4) أي إن متوسط زمن الخدمة $1/\mu$.
معدل الوصول

$$\lambda=2.2156 \text{ ماكينة/ساعة}$$

أما معدل الخدمة

$$\mu=4.2708 \text{ ماكينة/ساعة}$$

أي إن معامل الانتفاع ρ اقل من واحد مما يسمح باستخدام نماذج صفوف الانتظار للقناة الواحدة.

ثانياً: إن عدد الماكينات المتوقع وجودها في النظام L_S هي 1.0766 ماكينة.

عدد الماكينات المتوقع وجودها في صف الانتظار L_q هو 0.5593 ماكينة.

زمن الانتظار لكل ماكينة في الورشة أو النظام W_S هو 0.4859 ساعة.

زمن الانتظار لكل ماكينة في الصف W_q هو 0.2524 ساعة.

حيث يتبين من خلال النتائج إن زمن انتظار الماكينة في الورشة أو في الصف هو وقت جيد ويمكن تقليله أو زيادته حسب حاجة المصنع وأهمية القطع المطلوبة وسرعة الانجاز , وبما إن عدد المصلحين في الورشة وعددهم الحالي 28 يمكن التحكم به من خلال الجدول رقم (5) حيث اقترح الباحث إمكانية تقليل عدد المصلحين في مقابل زيادة زمن الانتظار للماكينة العاطلة في الورشة أو الصف إذا كان ذلك التأخير لا يؤثر على الطلب مقابل تقليل عدد العمال واستخدامهم في مجالات أخرى حيث يمكن تقليل عدد العمال مقابل

$$\begin{aligned} P(x=2) &=1-e^{-7.5/14.0486}=0.41365 \\ P(x=3) &=1-e^{-12.5/14.0486}=0.58922 \\ P(x=4) &=1-e^{-17.5/14.0486}=0.71205 \\ P(x=5) &=1-e^{-22.5/14.0486}=0.7981 \\ P(x=6) &=1-e^{-27.5/14.0486}=0.8587 \\ P(x=7) &=1-e^{-32.5/14.0486}=0.901 \end{aligned}$$

مع العلم إن:

$$E_i=p(x)*\Sigma(f_i) \text{ ----- } 6$$

$$X^2=(f_i-E_i)^2/E_i \text{ ----- } 7$$

اختيار النموذج الرياضي:

يتبين مما تقدم لنا بان نموذج صفوف الانتظار الذي يمكن تطبيقه في هذه الحالة هو النموذج $(M/M/1):(FCFS/\infty/\infty)$ والخاص بالقناة الواحدة والذي يعني إن معدلات الوصول تتبع توزيع بواسون وان أزمدة الخدمة تتبع التوزيع الآسي السالب , وان عدد قنوات الخدمة هي قناة واحدة , وان قاعدة الخدمة هي من يأتي أولاً تقدم له الخدمة أولاً , وان العدد المسموح به في النظام غير محدود , وان مصدر الطلب غير محدود أيضاً.

حيث تستخدم المعادلات التالية في هذا النموذج على أساس إن:

$$\rho=\lambda/\mu < 1$$

$$P_0=(1-\rho)$$

$$P_n=(1-\rho)\rho^n$$

$$L_S=\rho/(1-\rho)=\lambda/(\mu-\lambda)$$

$$L_q=\rho^2/(1-\rho)=L_S-\rho=\lambda^2/(\mu(\mu-\lambda))$$

$$W_S=L_S/\lambda=1/(\mu(1-\rho))$$

$$W_q=L_q/\lambda=\rho/(\mu(1-\rho))$$

$$=1/(\mu(\mu-\lambda))$$

الحسابات والنتائج:

$$\rho=\lambda/\mu=2.21568/4.2708=0.518$$

$$p_0=(1-\rho)=0.4812$$

$$P_n=(1-\rho)\rho^n=0.4812*(0.5187)$$

$$=0.2495$$

$$L_S=\rho/(1-\rho)=2.21568/2.05512$$

$$=1.0766$$

$$L_q=\lambda^2/(\mu(\mu-\lambda))=4.9092/8.777$$

D- نسبة الانخفاض في زمن الانتظار. في الصف يساوي: 32,5 % .

التوصيات:

1- وجد الباحث بان هناك إمكانية لتقليل عدد العمال واستخدامهم في مجالات أخرى , حيث إن زمن الانتظار كان قليلاً ولا يؤثر على سير العمل.

2-أما زيادة عدد العمال فإنه يؤدي إلى انخفاض في زمن الانتظار وحسب النسب المذكورة أعلاه .

3- ضرورة تسجيل البيانات الخاصة بوقت العطل وبدء وانتهاء التصليح والاستمرار على ذلك في جميع الأوقات وتسجيل جميع البيانات مع استخدام الطرق والأساليب العلمية في حساب عدد العمال وفترات التأخير والانتظار بصورة مستمرة في هذه الدائرة وفي جميع الدوائر الإنتاجية الأخرى.

4-من أجل تقليل زمن الانتظار يجب رفع كفاءة العمال وذلك بفتح دورات لعمال الخياطة (العمال الاساسيين) للقيام بتصليح بعض العطلات البسيطة وكذلك عمال الصيانة

المصادر

[1] علي عبد السلام الأعزي , بحوث العمليات في مجال الإنتاج والتخزين والنقل , القاهرة , مكتبة النهضة العربية, 1974 .

[2] صادق ماجد محمد , دراسة نظام صيانة السيارات في جامعة البصرة باستخدام نظرية صفوف الانتظار , مجلة تنمية الراشدين العدد الرابع ايار 1985 .

[3] , p.k and D.s. Hira , "operations Research" , New. Delhi , Chand and company LTD , 1979.

[4] Sculli, D. & Suraweera, A. W. ; "Tram Car Maintenance", J. opl. Res. Soc. Vol. 30 , No. 9 , pp 809-814 , (1979)

[5] Donald Gross & John F. INCE; "The Machine Repair Problem With Heterogeneous Populations", Opns Res. , Vol. 29 , No.3 , pp 532-549, (1981).

نسبة مئوية لزيادة زمن الانتظار في الصف أو النظام. أو زيادة عدد العمال مقابل تخفيض زمن الانتظار. حيث وجد الباحث أن الزيادة المئوية في وقت الانتظار عند تقليل عدد العمال كالاتي:

1- عند تخفيض عدد العمال من 28 إلى 26 كانت النسبة المئوية للزيادة في زمن الانتظار هي:

A- نسبة الزيادة في عدد الماكينات في الورشة يساوي: 17,2 % .

B- نسبة الزيادة في عدد الماكينات في الصف يساوي: 25,8 % .

C- نسبة الزيادة في زمن الانتظار في الورشة يساوي: 17,2 % .

D- نسبة الزيادة في زمن الانتظار. في الصف يساوي: 25,8 % .

2- عند تخفيض عدد العمال إلى 24 عامل كانت الزيادة المئوية في زمن الانتظار هي:

A- نسبة الزيادة في عدد الماكينات في الورشة يساوي: 42,2 % .

B- نسبة الزيادة في عدد الماكينات في الصف يساوي: 65,5 % .

C- نسبة الزيادة في زمن الانتظار في الورشة يساوي: 42,2 % .

D- نسبة الزيادة في زمن الانتظار. في الصف يساوي: 65,5 % .

أما زيادة عدد العمال فإنه يؤدي إلى تخفيض زمن الانتظار كالاتي:

عند زيادة عدد العمال من 28 إلى 32 مثلاً فإن عدد الماكينات في الورشة وفي الصف سينخفض وكذلك زمن الانتظار في الورشة وفي الصف سينخفض حسب النسب المئوية التالية:

A- نسبة الانخفاض في عدد الماكينات في الورشة يساوي: 22,7 % .

B- نسبة الانخفاض في عدد الماكينات في الصف يساوي: 32,5 % .

C- نسبة الانخفاض في زمن الانتظار في الورشة يساوي: 22,7 % .

- [10] Moshe Haviv "Queues – A Course In Queuing Theory" , Department Of Statistics The Hebrew University , 2009 , p123 .
- [11] Adan and Jaques Resing " Queuing Theory" Department Of Mathematic And Computing Science , Eindhoven University of Technology , 2002 , p29 .
- [6] Linda Green; " A queuing Systems With General Use and Limited Use Servers"; Opns. Res. Vol. 30, No.1, pp 168-182. (1984).
- [7] محمد الحناوي (دكتور) , بحوث العمليات في مجال الإدارة (القاهرة: دار الجامعة المصرية , 1976) .
- [8] Taha-Hamdy A. operations Research an Introduction (New York Macmillan publishing Co. Inc. 1976).
- [9] Andreas. W "Ashort Introduction To Queuing Theory" Technical University Berline , Network Group , 1999 , P 9.

جدول (1): التوزيع التكراري الفعلي لعطل الماكينات في كل ساعة ولفترة 15 يوم

| عدد المكانن العاطلة (ماكينة) | التكرار الفعلي (ساعة) العدد المشاهد |
|------------------------------|-------------------------------------|
| XI | OI |
| 0 | 18 |
| 1 | 23 |
| 2 | 20 |
| 3 | 18 |
| 4 | 12 |
| 5 | 6 |
| 6 | 4 |
| 7 | 1 |
| المجموع | 102 |

جدول (2): التوزيع التكراري الفعلي لأزمنة خدمة وصيانة المكانن العاطلة في الدقائق لفترة 15 يوم

| الفئات الزمنية زمن الخدمة (دقيقة) | التكرار الفعلي (ماكينة) |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 0-5 | 19 |
| 5-10 | 44 |
| 10-15 | 67 |
| 15-20 | 26 |
| 20-25 | 22 |
| 25-30 | 29 |
| 30-35 | 19 |
| المجموع | 226 |

جدول (3): التوزيع الفعلي والنظري واختبار (مربع كأي) لمعدلات وصول الماكينات

| عدد وصول الماكينات XI | التكرار الفعلي OI | الاحتمال P(X) | التكرار النظري FI | مربع كأي المحسوبة X ² |
|-----------------------------|----------------------|------------------|----------------------|--|
| 0 | 18 | 0.10908 | 11.1269 | 4.245 |
| 1 | 23 | 0.2416 | 24.651 | 0.1105 |
| 2 | 20 | 0.2677 | 27.308 | 1.955 |
| 3 | 18 | 0.1977 | 20.168 | 0.233 |
| 4 | 12 | 0.10952 | 11.171 | 0.0615 |
| 5 | 6 | 0.04853 | 4.9501 | 0.2226 |
| 6 | 4 | 0.01792 | 1.8279 | 2.581 |
| 7 | 1 | 0.00567 | 0.5785 | 0.307 |
| المجموع | 102 | | | $\sum X^2=9.7156$ |

جدول (4): التوزيع الفعلي والنظري واختبار (مربع كأي) لمعدلات الخدمة

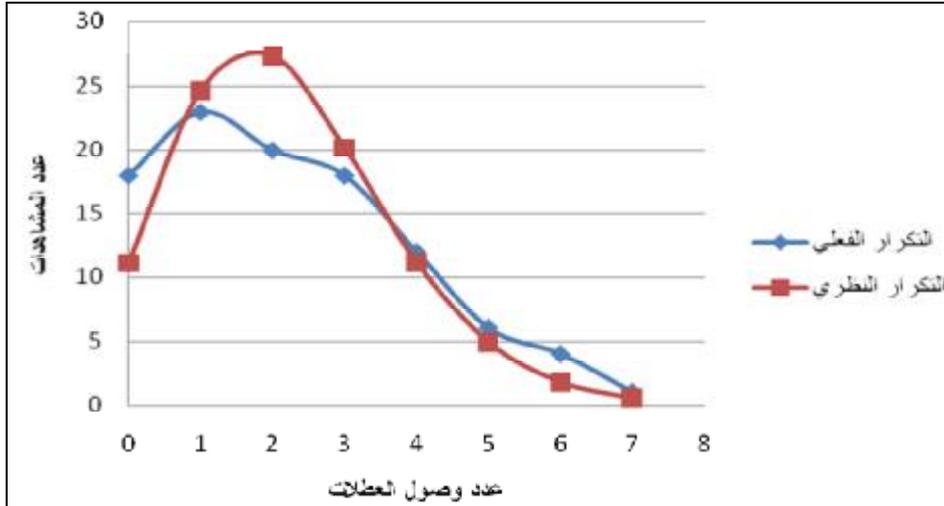
| زمن التصليح (دقيقة) | العدد المشاهد OI | الاحتمال التراكمي CUMULATIVE C.P | الاحتمالية P(X) | القيمة المتوقعة EI | مربع كأي X ² |
|---------------------------|------------------------|--|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0-5 | 32 | 0.163015 | 0.163015 | 36.841 | 0.6362 |
| 5-10 | 48 | 0.41365 | 0.2506 | 56.645 | 1.31938 |
| 10-15 | 55 | 0.58922 | 0.17557 | 39.678 | 5.916 |
| 15-20 | 40 | 0.71205 | 0.1228 | 27.761 | 5.395 |
| 20-25 | 22 | 0.7981 | 0.086 | 19.448 | 0.3348 |
| 25-30 | 18 | 0.8587 | 0.0606 | 13.6956 | 1.352 |
| 30-35 | 11 | 0.901 | 0.0423 | 9.567 | 0.2143 |
| المجموع | 226 | | | | 15.167 |

جدول رقم (5): بيان تأثير عدد المصلحين على زمن الانتظار
(مقارنة الحالة الحالية مع حالات أخرى)

| W _Q | W _s | L _Q | L _s | P ₀ | ρ | μ | Λ | عدد المصلحين |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|---------|-----------------|
| 0.1437 | 0.3362 | 0.3184 | 0.745 | 0.5726 | 0.427 | 5.185 | 2.2156 | 34 |
| 0.1703 | 0.375 | 0.3775 | 0.8315 | 0.546 | 0.454 | 4.88 | 2.2156 | 32 |
| 0.204 | 0.4229 | 0.4539 | 9.8315 | 0.516 | 0.484 | 4.575 | 2.2156 | 30 |
| 0.2524 | 0.4859 | 0.5593 | 1.0766 | 0.4812 | 0.5187 | 4.2708 | 2.21568 | 28 |
| 0.3177 | 0.5695 | 0.704 | 1.262 | 0.442 | 0.558 | 3.965 | 2.2156 | 26 |
| 0.4179 | 0.6910 | 0.926 | 1.531 | 0.395 | 0.605 | 3.66 | 2.2156 | 24 |
| 0.5781 | 0.8760 | 1.281 | 1.941 | 0.34 | 0.66 | 3.355 | 2.2156 | 22 |
| 0.8679 | 1.1956 | 1.923 | 2.649 | 0.274 | 0.726 | 3.05 | 2.2156 | 20 |
| 1.5228 | 1.887 | 3.374 | 4.181 | 0.193 | 0.807 | 2.745 | 2.2156 | 18 |
| 4.0445 | 4.454 | 8.961 | 9.869 | 0.092 | 0.908 | 2.44 | 2.2156 | 16 |

جدول رقم (6): استمارة جمع البيانات

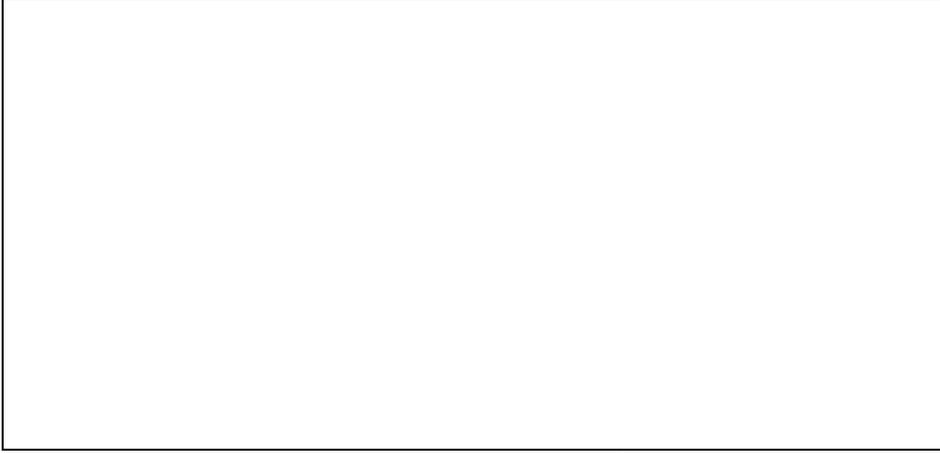
| اليوم والتاريخ | رقم الماكينة أو نوع الماكينة | وقت التبليغ بالعطل | وقت بدء التصليح | وقت انتهاء التصليح | الملاحظات |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| | | | | | |



الشكل (1) : التوزيع النظري والعملي لمعدلات وصول العطلات



الشكل (2) : التوزيع النظري والعملي لمعدلات الخدمة



الشكل (3) : تأثير عدد المصلحين على زمن الانتظار