Reconcile an Appropriate Model for the Occurrence of Periods of Infection with Hepatitis C in the Province of Nineveh - A comparative Study with the Geometric Process Model -

Muthanna Subhi Sulaiman
muthanna.sulaiman@uomosul.edu.iq

Shaimaa Waleed Mahmood
shaimaa.waleed@uomosul.edu.iq

College of Computer Science and Mathematics
University of Mosul, Mosul, Iraq

Received on: 17/09/2012

Accepted on: 30/01/2013

ABSTRACT

In this study we are build a model for the intervals of occurrence of viral hepatitis type C in Nineveh province by using of time-series analysis, and compared with the Geometric process model, and reconcile an adequate model from Box - Jenkins models for that data.

Resulted from the research that the intervals between HIV cases are decreasing Geometric process leading to unpredictability of these cases or configuration predictive function, while the ARIMA models proposed appropriate for the intervals of occurrence of viral hepatitis type C cases, and through comparison of these models show that ARIMA (1, 1, 5) model is the best model proposed for these data.

Keywords: time series, ARIMA models, geometric process model, viral hepatitis.

توفيق نموذج ملائم لفترات حدوث حالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي C في محافظة نينوى
- دراسة مقارنة مع نموذج العملية الهندسية -

شيماء وليد محمود

مثنى صبحي سليمان

كلية علوم الحاسوب والرياضيات
جامعة الموصل، الموصل، العراق

تاريخ قبول البحث: 2013/01/30

تاريخ استلام البحث: 2012/09/17

المخلص

تم في هذه الدراسة بناء أنموذج لفترات حدوث حالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي نوع C في محافظة نينوى من خلال استخدام أسلوب تحليل السلاسل الزمنية، ومقارنته مع أنموذج العملية الهندسية، إذ تم توفيق أنموذج ملائم لنماذج بوكس - جنكنز لتلك البيانات.

وقد بين البحث أن فترات حدوث حالات الإصابة بهذا الفيروس عملية هندسية متناقصة مما يؤدي إلى عدم القدرة على التنبؤ لهذه الحالات أو تكوين دالة تنبؤية، في حين إن نماذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة التكاملية ARIMA المقترحة ملائمة لفترات حدوث حالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي C، ومن خلال المقارنة بين هذه النماذج تبين أن أنموذج ARIMA (1, 1, 5) هو أفضل النماذج المقترحة لتلك البيانات.

الكلمات المفتاحية: السلسلة الزمنية، نماذج ARIMA، أنموذج العملية الهندسية، التهاب الكبد الفيروسي.

(1) مقدمة: Introduction

تُعد السلاسل الزمنية من المواضيع أو الأساليب الإحصائية التي تلاقي اهتماماً كبيراً وواسعاً لدى العديد من متخذي القرارات في مختلف الاختصاصات، وذلك لاستخدامها لأغراض التنبؤ بالظواهر التي تتغير أو تتأثر بمرور الزمن. وتعرف بأنها مجموعة من المشاهدات التي تتولد على التوالي خلال الزمن، وتتميز أية سلسلة زمنية بأن بياناتها مرتبة بالنسبة للزمن، وأن المشاهدات المتتالية عادةً ما تكون غير مستقلة (أي إنها مرتبطة زمنياً)، وتعتمد كل مشاهدة فيها على سابقتها مما يولد قوة دافعة كافية تؤكد أن سلوك السلسلة في الماضي هو سلوكها في المستقبل نفسه وبذلك يكون لدينا تبصر أكبر بالقوة المؤثرة في عملية السلسلة الزمنية واستغلال ذلك للحصول على تنبؤات دقيقة [5].

وتعرف السلسلة الزمنية رياضياً بأنها متتابعة من المتغيرات العشوائية معرفة ضمن فضاء الاحتمالية متعددة المتغيرات ومؤشرة بالدليل t والذي يعود إلى مجموعة دليليه T [3]. والسلاسل الزمنية تكون على نوعين فإذا كانت قيم الظاهرة مقاسة بفترات زمنية متقطعة تسمى عندئذٍ بالسلسلة الزمنية المتقطعة، وإذا كانت مقاسة بفترات زمنية مستمرة تسمى عندئذٍ بالسلسلة الزمنية المستمرة [4]. تعد السلاسل الزمنية المتقطعة هي الأكثر شيوعاً في المجال التطبيقي والتي يكون فيها الفترات الزمنية عادة بين مشاهدة وأخرى متساوية وهذه يمكن الحصول عليها إما عن طريق تسجيل قيم الظاهرة في أزمنة ثابتة أو عن طريق تجميع قيم الظاهرة لفترات زمنية ثابتة [1].

(2) تحليل السلسلة الزمنية: Time Series Analysis

تحليل السلسلة الزمنية هو عملية فصل مكونات السلسلة بعضها عن البعض الآخر، بهدف تحديد تأثير كل مكون من مكونات السلسلة الزمنية التي تتكون من (الاتجاه العام، التغيرات الموسمية، التغيرات الدورية والتغيرات العشوائية) على قيم الظاهرة المدروسة [2]. إن الخطوة الأولى في تحليل أي سلسلة زمنية هي الرسم البياني لمشاهدات السلسلة مع الزمن، إذ تظهر الملامح الوصفية للبيانات مثل الاتجاه العام والتغيرات الموسمية وعدم الاستقرار والبيانات الشاذة، فلابد من إجراء بعض المعالجات على السلسلة الزمنية لغرض تحقيق استقراريتها، فالتباين يجب أن يكون ثابتاً خلال الزمن وإذا لم يكن كذلك فهناك العديد من طرائق تحويل البيانات بهدف تثبيت التباين [3]. إن البيانات المحولة تكون عبارة عن دوال حسابية للبيانات الأصلية ومن المهم اختيار التحويل الملائم الذي يفى بالغرض إذ أن أحد أكثر التحويلات الشائعة هو التحويل اللوغارتمي (Logarithmic Transformation) ويعبر عنه بالشكل الآتي [12]:

$$Z_t = \log y_t \quad \dots(1)$$

إذ أن Z_t تمثل السلسلة المحولة و y_t تمثل السلسلة الأصلية. كما إن هناك تحويلاً آخر هو تحويل الجذر التربيعي (Root Square Transformation) ويعبر عنه بالشكل الآتي:

$$Z_t = \sqrt{y_t} \quad \dots(2)$$

وان هذا النوع من التحويلات يكون غير معروف للقيم السالبة. ويمكن استخدام تحويلات أخرى للتوصل إلى الاستقرار كما يمكن تحديد مجموعة من هذه التحويلات والتي تسمى بتحويلات القوى [5]، وهذا النوع من تحويلات Box-Cox يعبر عنه بالشكل الآتي [11]:

$$Z_t = \begin{cases} \frac{(y_t + c)^\lambda - 1}{\lambda} & ; \lambda \neq 0 \\ \ln y_t & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad \dots(3)$$

إذ أن λ تمثل قيمة القوة في التحويل، و c عبارة عن ثابت. أما الشكل الثاني لعدم استقرارية السلاسل الزمنية فهو الاتجاه العام ولذلك استخدم كل من Box و Jenkins [5] طريقة الفروق المتتالية (Consecutive Differencing Method) لإزالة الاتجاه العام، وتتكون طريقة الفروق المتتالية من طرح قيم مشاهدات السلسلة من بعضها البعض في ترتيب زمني محدد، فمثلاً تعرف تحويله الفروق الأولى بأنها الفرق بين قيمتي مشاهدين متتاليين $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$.

(3) الارتباط في السلسلة الزمنية: *Correlation in Time Series*

عند دراسة السلاسل الزمنية غالباً ما نلجأ إلى حساب عدة دوال منها دالة الارتباط الذاتي ACF ودالة الارتباط الذاتي الجزئي PACF، وهذه الدوال مهمة جداً في مرحلة التعرف على أنموذج (Autoregressive Integrated Moving Average Model) الملائم للسلسلة وهي تقيس العلاقة الإحصائية بين مشاهدات السلسلة الزمنية الواحدة [13].

(4) منهجية بوكس - جنكنز في السلاسل الزمنية: *Box- Jenkins Methodology in Time Series*

يتضمن أسلوب بوكس جنكنز المتكرر في بناء النماذج الخطية للسلاسل الزمنية أربع خطوات مميزة تم اقتراحها من قبل (Box and Jenkins)، على الرغم من أن منهاج عمل العديد من هذه الخطوات كان معروفاً قبل 1970، إلا أن Box and Jenkins أول من وحد هذه الخطوات في الأسلوب المعروف باسميهما وهي كالاتي [5]:

- 1- مرحلة التشخيص.
- 2- تقدير معالم الأنموذج.
- 3- التحقق من صحة الأنموذج.
- 4- التكهن.

1- مرحلة التشخيص: *The Identification Stage*

تعد مرحلة التشخيص مرحلة أساسية وهامة في بناء أنموذج السلسلة الزمنية وتتكون من عدة خطوات فيجب أولاً الرسم الزمني للبيانات الأصلية للسلسلة الزمنية، فالرسم الزمني يوضح لنا فيما إذا كانت السلسلة الزمنية مستقرة أو غير مستقرة كما يبين عدم الاستقرارية التي يسببها إما التباين غير الثابت أو أن للسلسلة اتجاهاً عاماً [3]. وتتم معالجة السلسلة غير المستقرة باستخدام تحويلات القوى للحصول على سلسلة مستقرة في التباين. كما يمكن حل مشكلة الاتجاه العام بأخذ الفروق المتتالية للسلسلة الزمنية، ثانياً يجب تحديد أنموذج السلسلة ويتم ذلك باستخدام أداتين أساسيتين هما دالة الارتباط الذاتي (Autocorrelation Function) ودالة الارتباط الذاتي الجزئي (Partial Autocorrelation Function) [11]، وكذلك من خلال استخدام بعض المعايير الإحصائية.

المعايير الإحصائية: *Statistical Criterions*

ظهرت في بداية السبعينات بعض المعايير لتشخيص الأنموذج الملائم للبيانات دون الاعتماد على دوال الارتباط فقط، فقد اقترح العالم الياباني Akaike معياراً يساعد في تحديد رتبة أنموذج السلسلة الزمنية الملائم

للبيانات كما يمكن استخدامه في مجالات إحصائية أخرى وتحسب قيمة Akaike Information Criterion كما يأتي [7]:

$$AIC(k) = n \log(\hat{\sigma}_a^2) + 2k \quad \dots(4)$$

إذ إن n تمثل عدد المشاهدات و k تمثل عدد المعلمات و $\hat{\sigma}_a^2$ تمثل مقدار البواقي. وهناك معايير أخرى منها معيار معلومات بيز BIC ويحسب كما يأتي:

$$BIC(k) = n \log(\hat{\sigma}_a^2) + k \log(n) \quad \dots(5)$$

ومعيار متوسط مربعات الخطأ MSE الذي يكون وفق الصيغة الآتية:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad \dots(6)$$

ذ إن y_t تمثل قيمة المشاهدة و $\hat{y}_t$ تمثل قيمة التوقع. والأنموذج الذي يعطي اقل قيمة للمعايير السابقة هو الأنموذج الأفضل.

2- تقدير معالم الأنموذج: *Estimating Parameters of the Model*

بعد التعرف على أنموذج ARIMA من بين مجموعة يجب تقدير معالم الأنموذج وتستخدم إحدى الطرائق التالية لهذا الغرض [3] وهي:

- 1- معادلات يوبول - ولكر.
- 2- طريقة المربعات الصغرى.
- 3- طريقة الإمكان الأعظم.

3- التحقق من صحة الأنموذج: *Diagnostic Check Model*

بعد تقدير معالم الأنموذج نحتاج أولاً لفحص صحة الأنموذج وثانياً هل كل المعلمات المقدرة معنوية ويمكن تطبيق هذا بواسطة البواقي للأنموذج المقدر.

4- التكهّن: *Forecasting*

بعد تحديد الأنموذج المستخدم ودرجته وتقدير معالمه واختبار صحته يصبح الأنموذج جاهزاً للتكهّن لقيم الظاهرة عما ستكون عليه في المستقبل، وهذه هي المرحلة الأخيرة من مراحل بناء نماذج بوكس- جنكيز.

(5) أنموذج العملية الهندسية: *Geometric Process Model (GPM)*

إن فكرة العملية الهندسية GP تعود إلى الباحث [Lam] في عام 1988، إذ يعد أول من قدم العملية الهندسية ودرسها بشيء من التفصيل، وعدّها تعميماً لعملية التجديد [8]. وهي عملية رتيبة بسيطة، ولها قيمة حقيقية a تكون أكبر من الصفر وتمثل نسبة العملية الهندسية التي تقيس قوة واتجاه العملية الهندسية. تكون العملية الهندسية متزايدة عشوائياً إذا كانت النسبة محصورة بين $(0,1)$ ، أما إذا كانت النسبة أكبر من الواحد فتكون بذلك متناقصة عشوائياً [10]. ولأنموذج العملية الهندسية معالم مهمة متمثلة بـ (a, μ, σ^2) ، ويمكن تقدير هذه المعالم وفق الصيغ الآتية [9]:

$$\hat{a} = \exp \left\{ \frac{6}{(n-1)n(n+1)} \sum_{i=1}^n (n-2i+1) \ln X_i \right\} \quad \dots(7)$$

$$\hat{\mu} = \begin{cases} \bar{X}_1 & , a \neq 1 \\ \bar{X} & , a = 1 \end{cases} \quad \dots(8)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \begin{cases} \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{X}_1 - \bar{\hat{X}}_1)^2 & , \quad a \neq 1 \\ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 & , \quad a = 1 \end{cases} \quad \dots(9)$$

إذ أن:

$$\hat{X}_1 = \hat{a}^{i-1} X_i$$

وللعلمية الهندسية دالة تسمى الدالة الهندسية التي تمثل العدد المتوقع للحوادث التي تحدث في الفترة t . وتعود فكرتها كذلك للباحث [Lam] في عام 1988. فالدالة الهندسية $M(t, a)$ تكون منتهية إذا كانت النسبة $0 < a \leq 1$ ، وتكون غير منتهية إذا كانت النسبة $a \geq 1$ [8].

(6) تحليل العملية الهندسية: Geometric Process Analysis

في عام 1992 اقترح العالم [Lam] تطبيق أربع متتاليات من المتغيرات العشوائية لكي يتمكن من استخدام جميع المعلومات المعنية في مجموعة البيانات، والتي تكون كالآتي [9]:

$$U_i = X_{2i} / X_{2i-1} \quad , \quad U'_i = X_{2i+1} / X_{2i} \quad \dots(10)$$

$$V_i = X_i X_{2m+1-i} \quad , \quad V'_i = X_{i+1} X_{2m+2-i} \quad \dots(11)$$

وبالاعتماد على قيمة n يتم اختيار اثنين من المتتاليات الأربعة [9]، واختبار فيما إذا كانت المتغيرات في المتتاليات الأربعة مستقلة أم لا، قام بتطبيق اختبار اختلاف الإشارة واختبار نقطة التحول على المتتاليات ويكونان وفق الصيغ الآتية [8]:

$$D(W) = \left[D_w - \frac{m-1}{2} \right] / \left[\frac{m+1}{12} \right]^{1/2} \quad \dots(12)$$

$$T(W) = \left[T_w - \frac{2(m-2)}{3} \right] / \left[\frac{16m-29}{90} \right]^{1/2} \quad \dots(13)$$

ويتم بعد ذلك إيجاد قيم P المحسوبة كما يأتي:

$$P_T^U = \begin{cases} P(Z \geq T(U)) \\ P(Z \geq T(U')) \end{cases} \quad , \quad P_D^U = \begin{cases} P(Z \geq D(U)) \\ P(Z \geq D(U')) \end{cases} \quad \dots(14)$$

$$P_T^V = \begin{cases} P(Z \geq T(V)) \\ P(Z \geq T(V')) \end{cases} \quad , \quad P_D^V = \begin{cases} P(Z \geq D(V)) \\ P(Z \geq D(V')) \end{cases} \quad \dots(15)$$

فإذا كانت أكبر من 0.05، فإن البيانات في هذه الحالة تتبع العملية الهندسية وملائمة لها.

(7) الجانب التطبيقي: Application

يعد وباء التهاب الكبد الفيروسي نوع C من الأوبئة التي لاقت اهتماماً كبيراً في دول العالم، وهو مرض حاد أو مزمن يصيب الكبد بسببه فيروس C الذي يكون موجوداً في دم الأشخاص المصابين بهذا الفيروس، إذ إنه لم يكتشف قبل عام 1992. وهو خطر لمعظم المصابين به وليس للجميع. ومن خلال بعض الإحصائيات في عام 2009 تبين أن هنالك تقريباً (793) مصاباً عراقياً بهذا الفيروس من المتبرعين بالدم على وفق الإحصائية المعدة من قبل وزارة الصحة العراقية / دائرة الصحة العامة.

وتضمن الجانب التطبيقي للبحث دراسة فترات حدوث حالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي C في محافظة نينوى، وعددها 76 فترة وتم أخذها من [6]. فقد تم اختبار هذه البيانات هل تتبع العملية الهندسية أم لا، وعند إجراء الخطوات المبينة في الفقرة (6) وإيجاد قيم P الموضحة في الجدول الآتي:

الجدول (1). قيم P لبيانات التهاب الكبد الفيروسي C

P_T^U	P_D^U	P_T^V	P_D^V
0.2380	0.1676	0.4354	0.1676

تبين أن قيم P اكبر من 0.05، مما يدل على أن البيانات تتبع العملية الهندسية. والجدول التالي يمثل تقديرات لمعاملات نموذج العملية الهندسية:

الجدول (2). تقديرات معاملات نموذج العملية الهندسية

Hepatitis	Parameters Estimation			MSE
	$\hat{a}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	
C	1.0031	2.1986	1.4814	1.1730

من الجدول أعلاه نلاحظ أن قيمة $\hat{a}$ اكبر من الواحد مما يدل على أنها عملية متناقصة [10]، وعليه لا يمكن التنبؤ بحالات الإصابة بهذا الفيروس أو تكوين دالة لهم، ولهذا تم المعالجة بتوفيق أنموذج ملائم للفترة باستخدام تحليل السلاسل الزمنية ثم المقارنة بين أنموذج العملية الهندسية وتحليل السلاسل الزمنية وبيان أي الأنموذج الملائم لهذه البيانات.

ولدراسة البيانات بتحليل السلسلة الزمنية يجب أولاً رسم السلسلة الزمنية إذ إن الرسم يعطي وصفاً للبيانات ويساعد على إعطاء فكرة لتشكيل الأنموذج لهذا فان الخطوة الأولى لتحليل أي سلسلة زمنية هي رسم البيانات حتى نستطيع وصف هذه السلسلة ومعرفة سلوكها، فعند رسم بيانات السلسلة كما مبين في الشكل الآتي:

الشكل (1). رسم الاتجاه العام للسلسلة

إذ تبين وجود تذبذبات مختلفة فيها وهذا يعني أنها غير مستقرة في التباين، كما نلاحظ إن البيانات لا تتوزع حول الوسط مما يدل على عدم استقرار السلسلة الزمنية بالوسط. وللتخلص من عدم الاستقرار في التباين تم اخذ التحويل الجذري للبيانات وبذلك أصبحت السلسلة مستقرة في التباين، وتم اخذ الفرق الأول للتخلص من الاتجاه العام للسلسلة مما أدى إلى استقرار السلسلة في التباين والوسط كما مبين في الشكل الآتي:

الشكل (2). رسم الاتجاه العام للسلسلة بعد تحويلها إلى مستقرة

ولتوفيق أفضل نموذج للسلسلة تم العمل على تحديد الأنموذج الملائم ورتبته من خلال قيم المعايير الإحصائية MSE و AIC و BIC، تم ملائمة مجموعة من نماذج ARIMA (p, d, q) لاختيار الأنموذج الأفضل والذي يعطي اقل قيمة للمعايير أعلاه يعد أفضل أنموذج وكما مبين في الجدول الآتي:

الجدول (3). قيم المعايير الإحصائية لنماذج ARIMA (p, d, q) للبيانات

النماذج	MSE	AIC	BIC
ARIMA (2,1,5)	0.11512*	-56.41	-57.2843
ARIMA (4,1,4)	0.11549	-54.3125	-55.3117
ARIMA (1,1,5)	0.11724	-57.8175*	-58.5669*
ARIMA (5,1,1)	0.11995	-57.075	-57.8244
ARIMA (4,1,3)	0.12068	-54.88	-55.7543

نلاحظ من الجدول أعلاه أن الأنموذج الأفضل هو أنموذج ARIMA (1, 1, 5) وذلك لامتلاكه اقل قيمة لمعايير AIC و BIC، ولغرض فحص مدى ملائمة الأنموذج فقد تم فحص الأخطاء (Residual) من خلال رسم ACF و PACF المبينة في الشكلين الآتيين:

الشكل (3). سلوك دالة الارتباط الذاتي لبواقى أنموذج (1,1,5) ARIMA

الشكل (4). سلوك دالة الارتباط الذاتي الجزئي لبواقى أنموذج (1,1,5) ARIMA

من الشكلين أعلاه نلاحظ أن جميع الأخطاء تقع ضمن حدود الثقة، مما يشير إلى أن بواقى هذا الأنموذج غير مترابطة مع بعضها البعض أي أن الأخطاء الناتجة من الأنموذج كانت عشوائية تامة. وبذلك فإن الأنموذج النهائي للبيانات سيكون بالصيغة الآتية:

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \theta_3 e_{t-3} - \theta_4 e_{t-4} - \theta_5 e_{t-5} + e_t \quad \dots (16)$$

وإن تقديرات معاملات الأنموذج أعلاه مبينة في الجدول الآتي:

الجدول (4). تقديرات معاملات أنموذج ARIMA (1, 1, 5)

Type	Coef	St Dev	T
AR(1)	-0.8488	0.0996	-8.52
MA(1)	0.4493	0.1399	3.21
MA(2)	.14521	0.0246	46.62
MA(3)	-0.1964	0.1815	-1.08
MA(4)	-0.3476	0.1142	-3.04
MA(5)	-0.0692	0.1272	-0.54
Constant	-0.004444	0.001097	-4.05

وعليه فإن الأنموذج في المعادلة (16) سيكون وفق الشكل الآتي:

$$y_t = -0.004444 - 0.8488y_{t-1} - 0.4493e_{t-1} - 1.1452e_{t-2} + 0.3476e_{t-4} + e_t \quad \dots(17)$$

إذ إن الصيغة (17) تمثل الأنموذج الملائم لفترات حدوث حالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي C في محافظة نينوى.

وقد تم التنبؤ بأربع قيم مستقبلية لفترات حدوث حالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي C في محافظة نينوى وكما موضح في الجدول أدناه:

الجدول (5). القيم التنبؤية لحالات الإصابة بالتهاب الكبد الفيروسي C

Forecasts from period 76			
95 Percent Limits			
Period	Forecast	Lower	Upper
77	1.47395	0.80270	2.14520
78	1.34378	0.64335	2.04422
79	1.26515	0.52817	2.00213
80	1.25972	0.51917	2.00027

(8) الاستنتاجات: Conclusions

توصل البحث إلى مجموعة من الاستنتاجات يمكن إجمالها بالنقاط الآتية:

- 1- من خلال تطبيق أنموذج العملية الهندسية تمت ملاحظة أن البيانات ملائمة للأنموذج، إلا أن قيمة a أكبر من الواحد وعليه تمثل عملية هندسية متناقصة، وبذلك لا يمكن إيجاد العدد المتوقع لحالات الإصابة بهذا الفيروس كونها دالة هندسية غير منتهية.
- 2- من خلال تطبيق منهجية بوكس- جنكز على البيانات تبين أن الأنموذج الملائم لها هو أنموذج ARIMA (1,1,5).
- 3- من خلال الأنموذج الملائم يمكن التنبؤ بفترات حدوث حالات الإصابة بهذا الفيروس في محافظة نينوى عما ستكون عليه في المستقبل.
- 4- من خلال معيار متوسط مربعات الخطأ MSE تبين أن أنموذج ARIMA (1,1,5) أفضل من أنموذج العملية الهندسية للبيانات لأن قيمته تكون أقل، وبذلك فإن البيانات تكون ملائمة لنماذج السلسلة الزمنية أكثر من أنموذج العملية الهندسية.

المصادر

- [1] المعماري، نوال محمود، (2004)، "التكهن بواسطة نماذج الانحدار الحركي مع التطبيق". رسالة ماجستير، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل، العراق.
- [2] النعيمي، محمد عبد العال وطعمه، حسن ياسين، (2008)، "الإحصاء التطبيقي". طبعة أولى، دار وائل للنشر، عمان - الأردن.
- [3] النعيمي، مروة نبيل، (2010)، "دراسة السلسلة الزمنية باستخدام تحويلات القوى للمعدلات اليومية لاستهلاك الطاقة الكهربائية في محافظة نينوى". رسالة ماجستير، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل، العراق.
- [4] سليمان، انتصار إبراهيم اليأس، (2008)، "التكهن بواسطة نماذج السلاسل الزمنية والشبكات العصبية الاصطناعية ذات التغذية الأمامية مع التطبيق - دراسة مقارنة". رسالة ماجستير، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل، العراق.
- [5] فاندل، والتر، (1992)، "السلاسل الزمنية من الوجهة التطبيقية ونماذج بوكس - جنكنز". تعريب عبد المرضي حامد عزام، دار المريخ للنشر، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- [6] محمود، شيماء وليد، (2012)، "العملية التصادفية الهندسية وتطبيقاتها في وباء التهاب الكبد الفيروسي". رسالة ماجستير، كلية علوم الحاسوب والرياضيات، جامعة الموصل، العراق.
- [7] Chatfield C., and Faraway, J. (1998), *"Time Series Forecasting with Neural Networks: a Comparative Study Using the Airline Data"*. Applied Statistics. Vol. 47. Part 2, 231-250.
- [8] Lam, Y. (2007), *"The Geometric Process and its Applications"*. World Scientific, Singapore.
- [9] Lam, Y. (2008), *"Geometric Process"*. Encyclopedia of Statistical Sciences, John Wiley & Sons, Inc.
- [10] Lam, Y. (2010), *"A Geometric Process Maintenance Model"*. Department of Statistics and Actuarial Science, The University of Hong Kong.
- [11] Liu, L.M., (2006), *"Time Series Analysis and Forecasting"*. 2nd ed., Scientific Computing Associates Crop., Illinois, U.S.A.
- [12] Liu, L.M. and Lattyak, W.J. (2007), *"New and Enhanced Capabilities in Release 8 of the SCA Statistical System"*. Illinois: Scientific Computing Associates Crop.
- [13] Yaffee, R.A. and McGee, Monnie, (1999), *"Introduction to Time Series Analysis and Forecasting with Application of SAS and SPSS"*. Brooklyn, New York.