

تشخيص نماذج فضاء الحالة وبعض نماذج السلاسل الزمنية

د. هيام عبدالمجيد حياوي **

heyamhayawi@gmail.com

زينة عاصم *

المستخلص

في هذا البحث تم دراسة مقارنة لعملية التشخيص لنماذج السلاسل الزمنية المتمثلة بنماذج ARIMA من خلال تشخيص عدة نماذج واختيار افضل نموذج بالاعتماد على بعض المعايير الإحصائية واحد النماذج الحركية المتمثلة بنماذج فضاء الحالة من خلال تشخيص عدة نماذج برتب مختلفة واختيار افضل نموذج بالاعتماد على المعايير الإحصائية وذلك بالتطبيق على بيانات عولجت من قبل الباحثين Box & Jenkins وهي X_t متغير المدخلات ويمثل المؤشرا القيادي leading indicator ، و Y_t يمثل متغير المخرجات والذي يشير الى المبيعات sales وتتضمن 150 زوج من المدخلات والمخرجات، وبعد المقارنة تبين ان نماذج فضاء الحالة تعطي تشخيص افضل للبيانات من نماذج السلاسل الزمنية بالاعتماد على المعايير الإحصائية.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Identification State Space models and some Time Series models

Abstract

In this research, a comparison of the identification process for time series models represented by ARIMA models was studied by identification several models and choosing the best model based on some statistical criteria and one of the dynamic models represented by state space models was through identification several models with different ranks and choosing the best model based on statistical criteria. On data handled by Box & Jenkins researchers, namely, X_t is the input variable and represents the leading indicator, and Y_t represents the output variable, which refers to sales, and includes 150 pairs of inputs and outputs. Time frame, depending on statistical criteria.

*طالبة دراسات عليا/قسم الإحصاء والمعلوماتية / كلية علوم الحاسوب والرياضيات/ جامعة الموصل

** استاذ مساعد / قسم الإحصاء والمعلوماتية / كلية علوم الحاسوب والرياضيات / جامعة الموصل .

تاريخ النشر: 2021/6/1

تاريخ القبول: 2021 /2/2

تاريخ استلام البحث: 2020/12/1

1. المقدمة

من أهم المشاكل التي تواجه الدراسة هي تحديد النموذج الملائم، وهذه تعد محاولة صعبة لأن هناك العشرات من النماذج التي تلائم نوع السلسلة وإمكانية الاستفادة منها لغرض تحليل السلسلة الزمنية واختيار النموذج الأكثر دقة من غيره. لهذا يحتاج هذا النوع من الدراسة إلى العديد من الدراسات لغرض التجريب والتحديد.

ان اختراع الحواسيب الالكترونية في القرن الماضي ساعد كثيرا في تطور مجالات وطرائق علمية كثيرة ومن هذه المجالات تحليل السلاسل الزمنية في علم الإحصاء ضمن منهجية (Box and Jenkins) إذ تم اقتراح نماذج يمكن عن طريقها التعامل مع السلاسل الزمنية وهي نماذج الأوساط المتحركة ونماذج الانحدار الذاتي ونماذج الأوساط المتحركة والانحدار الذاتي التكاملية المختلطة يتم اختيار نموذج رياضي معين اعتمادا على بعض المقاييس الإحصائية التي تميز نموذج عن آخر وعلى الخبرة المستمدة من الدراسات والأبحاث.

بعد ترشيح نموذج مناسب أو أكثر لوصف السلسلة الزمنية المشاهدة نقوم بتقدير معالم هذا النموذج من البيانات المشاهدة باستخدام طرق التقدير الإحصائي الخاصة بالسلاسل الزمنية إذ يتم إجراء اختبارات تفحصه على البواقي لمعرفة مدى تطابق المشاهدات مع القيم المحسوبة من النموذج المرشح ومدى صحة فرضيات النموذج

2. تحليل السلاسل الزمنية Time Series Analysis

يعد تحليل السلاسل الزمنية من أهم العمليات الإحصائية وأكثرها استخداما في جميع مفاصل الحياة والتي نحتاج إلى تحليلها والتنبؤ بكيفية سيرها في المستقبل (السقا، 2012) ان العمليات الإحصائية باستخدام النماذج الرياضية والقياسية من أولويات اهتمام الإحصائيين والمختصين، ويكون ذلك بالبحث عن النموذج المناسب لكل عملية؛ وذلك بحسب خصوصية تطور العملية المراد تحليلها (نقار ، العواد، 2013) .

ان تحليل السلاسل الزمنية من المواضيع الإحصائية لتفسير الظواهر التي تحدث خلال فترة زمنية محددة وتهدف إلى الحصول على وصف دقيق للسلسلة وبناء نموذج مناسب لتفسير سلوكها واستخدام النتائج للتنبؤ بسلوك السلسلة الزمنية في المستقبل (الطيب، 2014) .

(أ) السلسلة الزمنية Time Series

السلسلة الزمنية هي متتالية من المشاهدات المتسلسلة مع الزمن ويأتي تسلسلها حسب وحدات زمنية كالسنين الأشهر الأيام والساعات الخ وهي عبارة عن سجل تأريخي متتالي من المشاهدات المتتالية عادة ماتكون غير مستقلة وتعتمد على بعضها البعض وتوظف هذه الاعتمادية لتفسير ظاهرة ما او للحصول على تنبؤات مستقبلية (فاندل ، 1992) .

(ب) اهداف السلاسل الزمنية

- 1- لتحديد طبيعة الظاهرة من خلال المشاهدات المتتابعة.
- 2- إنشاء نموذج لتفسير وشرح سلوك السلسلة بدلالة متغيرات أخرى بربط القيم المشاهدة ببعض قواعد السلسلة.
- 3- التنبؤ بسلوك السلسلة في المستقبل وذلك اعتماداً على معلومات الماضي.
- 4- التحكم في العملية التي تتولد منها السلسلة الزمنية (الطيب ، 2014) .

(ج) انواع السلاسل الزمنية

ذكر (Ibraheem, 2011) ان السلسلة الزمنية تتأثر بشكل عام بأربعة مكونات رئيسية يمكن فصلها عن البيانات المرصودة. هذه المكونات هي: التغيرات الاتجاهية ، التغيرات الدورية ، التغيرات الموسمية ، التغيرات الغير منتظمة او العشوائية.

3. التشويش الابيض White Noise

يعرف التشويش الابيض بانه سلسلة من المتغيرات العشوائية المستقلة غير المرتبطة مع بعضها البعض (موزعة بشكل متماثل) أي انها تتوزع توزيع طبيعي بمتوسط صفر وتباين σ_a^2 ويرمز لها عادة (a_t) ، ومن خصائص هذه المتتابعة : لها نفس التوزيع ، وسطها يساوي صفر $(E(a_t) = 0)$ ، التباين يساوي قيمة ثابتة $(Var(a_t) = \sigma_a^2)$ ، التباين المشترك يساوي صفر $(Cov(a_t, a_{t+k}) = 0 \forall k \neq 0)$ (السقا ، 2012) .

4. الاستقرارية في السلاسل الزمنية Stationarity in Time Series

تعني عدم وجود نمو أو اضمحلال في بيانات السلسلة الزمنية بمعنى آخر إن البيانات تكون: منتشرة حول وسط ثابت $(E(Z_t)=\mu)$ ، تباين ثابت $(\text{Var}(Z_t)=\sigma^2)$ (سالم ، خلف ، 2008) .

5. الارتباطات في السلاسل الزمنية

(1) دالة الارتباط الذاتي (ACF) The Autocorrelation Function

تعتبر دالة الارتباط الذاتي (ACF) مقياس لدرجة العلاقة بين قيم المتغير نفسة عند فترات الزمنية مختلفة حيث ان الارتباط الذاتي ويعطى بالشكل التالي: (Wei , 1990)

$$\rho_k = E(Z_t - \mu)(Z_{t+k} - \mu) / E(Z_t - \mu)^2 \quad \dots(1)$$

(2) دالة الارتباط الذاتي الجزئي (PACF) Partial Autocorrelation Function

على فرض ثبوت باقي المشاهدات فاذا اردنا قياس درجة العلاقة بين X_t و X_{t+k} فان هذا يعني ايجاد ارتباط بينهم وبالشكل التالي: (شعراوي ، 2005)

$$\widehat{\phi}_{kk} = (r_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} * r_{k-j}) / (1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} * r_j) \quad \dots(2)$$

$$\widehat{\phi}_{kj} = r_{k-1,j} - r_{kk} * r_{k-1,k-j} \quad \text{اذ ان:}$$

6. مفهوم نماذج ARIMA

يقصد بنماذج ARIMA تلك المنهجية التي طبقها بوكس-جنكنز على السلاسل الزمنية عام 1970 والتي تعتمد على النماذج الآتية:

Autoregressive Models AR(P)**(1) نماذج الانحدار الذاتي**

يقال ان بيانات سلسلة زمنية ما تتولد بناء على عملية انحدار ذاتي من الرتبة (P) لعدد من المشاهدات هذا النموذج AR(P) تعتمد قيمة متغير ما في الفترة الحالية Z_t عن قيمة نفس المتغير في الفترات السابقة ($Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-n}$) ويمكن التعبير عنه بالصيغة الآتية: (فاندل، 1992)

$$Z_t = \alpha_1 Z_{t-1} + \alpha_2 Z_{t-2} + \dots + \alpha_n Z_{t-n} + a_t \quad \dots(3)$$

اذ ان $\alpha_1 =$ معلمة الانحدار الذاتي

Moving Average Models MA(q)**(2) نماذج المتوسطات المتحركة**

ان نماذج المتوسطات المتحركة MA(q) عبارة عن ارتباط مشاهدة السلسلة الزمنية الحالية مع خطأ السلسلة نفسها للفترة الحالية ولفترات سابقة والصيغة العامة له هي: (Sivo, 2001).

$$Z_t = \beta_1 e_{t-1} + \beta_2 e_{t-2} + \dots + \beta_n e_{t-n} + e_t \quad \dots(4)$$

اذ ان: β : معلمة المتوسطات المتحركة

7. نماذج فضاء الحالة State Space Models

هو نموذج ديناميكي مرتبط بالزمن يربط بين متغير المشاهدة ومتغير الحالة ويستخدم في تحليل نموذج الانحدار الذاتي و الاوساط المتحركة ARMA.

يعتبر نموذج فضاء الحالة اسلوب رياضي يبين كمية الحالات ممكنة الحصول لسلوك مدخلات معينة بهدف الوصول الى التنبؤ المستقبلي لظاهرة معينة، أي ان التوزيع الاحتمالي الشرطي لمتغير الحالة عند الزمن t يعتمد على حالته عند الزمن $t-1$ (مجيد، 2018)، ولقد وصف معادلتني نموذج فضاء الحالة بأن المعادلة الاولى تصف متجه المدخلات عند الزمن $t+1$ ويرمز لها X_{t+1} بدلالة X_t وكذلك المدخلات U_t وتسمى هذه المعادلة بمعادلة الحالة (Stat Equation) في حين ان المعادلة الثانية تصف المخرجات Y_t بدلالة كل المدخلات X_t والمدخلات U_t وتسمى هذه المعادلة (Observation Equation)

، وتمثل هاتين المعادلتين في حال وجود مدخل واحد ومخرج واحد (Single Input Single Output) SISO كما يلي (حياوي ، 2008):

$$X_{t+1} = AX_t + BU_t \quad \dots (4a)$$

$$Y_t = CX_t + DU_t \quad \dots(4b)$$

اذ ان :

A : يمثل الديناميكية المستقلة للنظام ببعد (n*n) . B : يمثل تأثير افعال السيطرة ، ببعد (n*n) .

C : يمثل الاسقاط على المتغيرات المشاهدة ، ببعد (n*1) . D : يمثل قيمة حقيقية .

وتؤدي هاتان المعادلتان دوراً مهماً في دراسة النظم الديناميكية حيث يعبر عن المدخلات والمخرجات من خلال معادلة فرقية عند وجود نظام محدد في الزمن المتقطع وتكون هناك عادةً اضطرابات غير مسيطر عليها تعامل كمتغيرات عشوائية أو تشويش يؤثر في المخرجات (Neles,2001) .

8. بناء نموذج فضاء الحالة State Space model

إن بناء النموذج (SSM) State Space model يتطلب ما يأتي : (نقار ، العواد ، 2013)

1. أن تكون السلاسل الزمنية المستخدمة مستقرة . 2. تحديد أبعاد شعاع الحالات.

3. تقدير معاملات النموذج باستخدام طريقة الإمكانية القصوى .

9. حزمة المعايير لاختيار أفضل نموذج

ان من اهم المشاكل التي لازالت تواجه الباحثين الدارسين في مجال تشخيص النظم خارج الخط هو وضع آلية يمكن الاعتماد عليها بحيث تقود الباحثين الى تحديد النموذج الملائم للتشخيص عليه تم الاعتماد على بعض المعايير الإحصائية وكالاتي:

1. معيار اكاكي للمعلومات Akaike's Information Criteria

عُرِفَ هذا المعيار أيضاً من قبل العالم Akaike عام (1973-1974) ويرمز له اختصاراً AIC حيث قدم من خلاله معلومات لاختيار الرتبة الملائمة لنموذج ARIMA من بين عدة نماذج بحيث تقابل الرتبة

المناسبة اقل قيمة لمعيار AIC وتمثل الرتبة الأكثر ملائمة ويعبر عنه رياضياً كآلاتي: (Wei, 1990) و (Nelles, 2001)

$$AIC = n \cdot \log(\sigma_a^2) + 2 \cdot m \quad \dots(5)$$

اذ أن: σ_a^2 : هو تباين الخطأ ، n : تمثل حجم السلسلة الزمنية ، M : تمثل عدد معاملات النموذج

2. معيار خطأ التنبؤ النهائي لأكاي Akaik's Final Prediction Error Criteria

ويعد من المعايير المهمة في تحديد الرتبة المناسبة للنموذج، حيث عُرِفَ من قبل العالم Akaike عام 1969 ويرمز له اختصاراً FBE ويمثل مقياس خطأ التنبؤ النهائي ويعرف على انه تباين خطأ التنبؤ لفترة قادمة ويحسب بالشكل الآتي : (Ljung, 1999)

$$FPE = \frac{\left(1 + \frac{m}{N}\right)}{1 - \frac{m}{N}} V \quad \dots(6)$$

إذ إن : FBE : خطأ التنبؤ النهائي ، m : عدد المعلمات في النموذج ، N : حجم السلسلة الزمنية

V : دالة الخسارة وتحسب بالشكل الآتي:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad \dots(7)$$

3. متوسط مجموع المربعات Mean Square Error

ويعرف بالصيغة الآتية (حياوي ، عبد المجيد ، 2009):

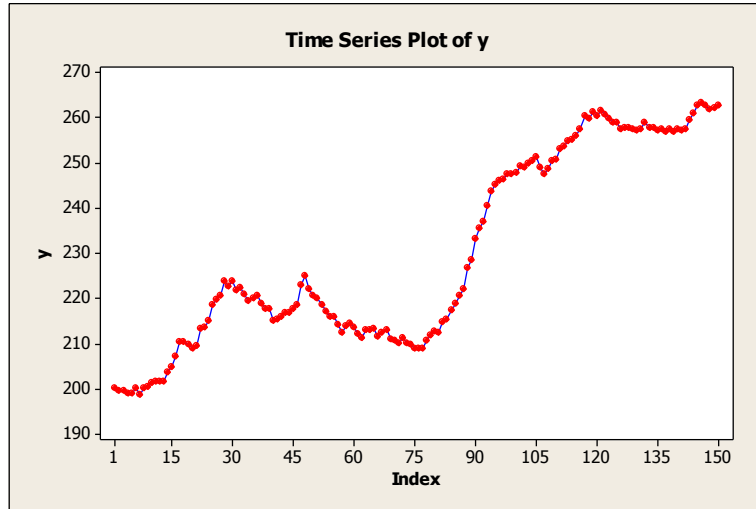
$$\begin{aligned} s_e^2 &= \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n e_i^2 \\ &= \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \end{aligned} \quad \dots(8)$$

اذ ان : n : حجم السلسلة الزمنية ، m : تمثل عدد معاملات النموذج

10. الجانب التطبيقي

1) تشخيص نماذج السلاسل الزمنية

لدراسة السلسلة الزمنية يجب أولاً رسم السلسلة الزمنية (Time series plot) إذ إن الرسم يعطي وصفاً للبيانات ويساعد في إعطاء فكرة لتشكيل النموذج، لهذا فإن الخطوة الأولى لتحليل أي سلسلة زمنية هي رسم البيانات حتى نستطيع وصف هذه السلسلة ومعرفة سلوكها، فعند رسم البيانات المعطاة المتمثلة بسلسلة المبيعات أي المبيعات نلاحظ هناك تشتت واضح حول المسار العام أي أنها تحتوي على اتجاه عام، ويمكن مشاهدة السلسلة من خلال الشكل (1) الآتي:



الشكل (1) الرسم الزمني للمبيعات (المخرجات y)

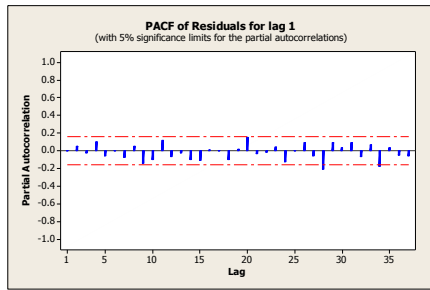
من ملاحظة الرسم البياني لسلسلة المبيعات والمتمثلة بالمخرجات والموضحة في الشكل السابق يتبين عدم استقرار السلسلة الزمنية حول الوسط، عليه تم اعتماد الفرق الأول لتصبح السلسلة مستقرة. بعد معالجة عدم الاستقرار للسلسلة الزمنية سنقوم بتوفيق أفضل نموذج لها ويتم تحديد النموذج الملائم ورتبته.

نلاحظ من الأشكال السابقة أن السلسلة تتبع أحد نماذج ARIMA ولايجاد النموذج الملائم سيتم الاعتماد على المعايير الإحصائية إذ سيتم ملائمة مجموعة من نماذج ARIMA(p,d,q) لاختيار النموذج الأفضل الذي يعطي أقل قيمة ممكنة للمعايير الإحصائية وكما مبينة النتائج في الجدول الآتي:

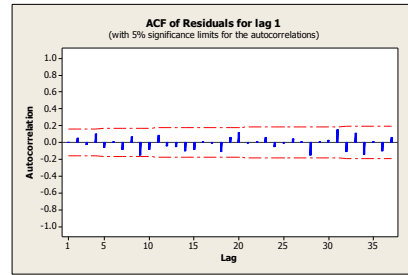
جدول (1) المعايير الاحصائية لنماذج ARIMA(p,d,q)

NO.	MODEL	AIC	MSe	NO.	MODEL	AIC	MSe
1	ARIMA(1,1,0)	43.331	1.886	14	ARIMA(3,1,3)	47.594	1.727
2	ARIMA(1,1,1)	41.5996	1.781	15	ARIMA(3,1,4)	52.652	1.81
3	ARIMA(1,1,2)	43.964	1.791	16	ARIMA(3,1,5)	52.044	1.739
4	ARIMA(1,1,3)	49.641	1.895	17	ARIMA(4,1,0)	45.526	1.779
5	ARIMA(2,1,0)	42.867	1.816	18	ARIMA(4,1,1)	47.928	1.79
6	ARIMA(2,1,1)	43.964	1.791	19	ARIMA(4,1,2)	50.146	1.796
7	ARIMA(2,1,2)	45.928	1.790	20	ARIMA(4,1,3)	52.616	1.809
8	ARIMA(2,1,3)	48.291	1.8	21	ARIMA(4,1,4)	51.291	1.719
9	ARIMA(2,1,4)	50.001	1.792	22	ARIMA(4,1,5)	56.327	1.801
10	ARIMA(2,1,5)	52.435	1.804	23	ARIMA(5,1,0)	47.964	1.791
11	ARIMA(3,1,0)	44.796	1.814	24	ARIMA(5,1,1)	50.182	1.797
12	ARIMA(3,1,1)	46.435	1.804	25	ARIMA(5,1,3)	49.443	1.723
13	ARIMA(3,1,2)	48.616	1.809	26	ARIMA(5,1,4)	53.857	1.734

يتبين من الجدول (1) ان النموذج ARIMA(1,1,1) هو افضل نموذج لامتلاكه اقل قيمة لمعيار AIC ومعيار MSE ولغرض فحص مدى ملائمة النموذج ، فقد تم فحص البواقي Residuals من خلال رسم ACF, PACF والموضحة في الشكلين الآتيين ، اذ ظهر ان جميع الأخطاء تقع ضمن حدود الثقة مما يشير الى ان بواقي هذا النموذج غير مترابطة مع بعضها البعض أي ان الأخطاء الناتجة من النموذج كانت عشوائية تماما.



دالة الارتباط الذاتي الجزئي للاخطاء الشكل (6-3)



دالة الارتباط الذاتي للاخطاء الشكل (5-3)

ويمكن كتابة النموذج النهائي للمبيعات التي تم استخدامها في هذه الرسالة بالشكل الآتي:

$$Z_t = \alpha_1 Z_{t-1} - \beta_1 a_{t-1} + a_t \quad \dots(9)$$

ان تقديرات معاملات النموذج في المعادلة السابقة لأفضل نموذج تم الحصول عليه من البيانات كما موضحة في الجدول (2) الآتي:

جدول (2): يوضح معاملات افضل نموذج سلسلة زمنية تم الحصول عليه

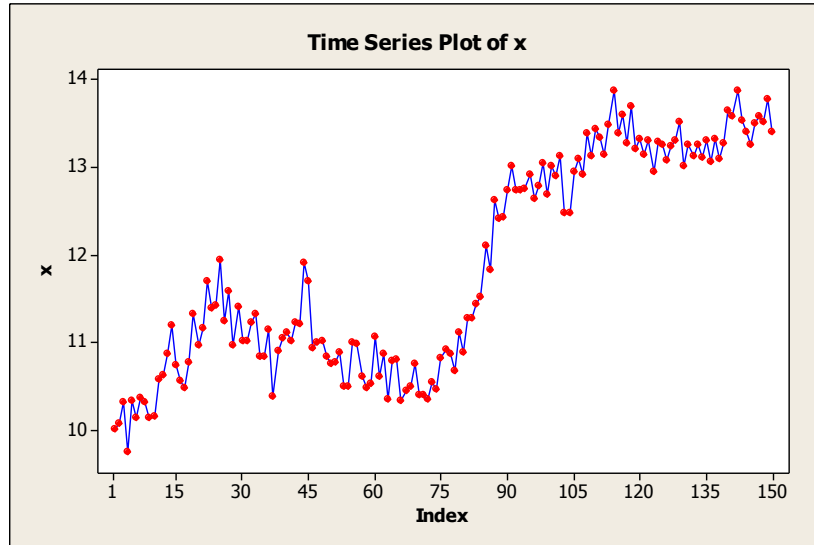
Type	Coef.	SE Coef.	T	P
AR(1)	0.8414	0.0945	8.91	0.000
MA(1)	0.6087	0.1384	4.40	0.000
Constant	0.0634	0.0428	1.48	0.141

أي ان النموذج هو:

$$Z_t = 0.8414Z_{t-1} - 0.6087a_{t-1} + a_t \quad \dots(10)$$

(2) تشخيص نماذج فضاء الحالة

وينفس الأسلوب السابق الذي تم استخدامه على المتغير y والذي يمثل المخرجات نتبع نفس الخطوات على المتغير القيادي x والذي يمثل مدخلات النموذج وكالاتي رسم البيانات المتمثلة بسلسلة المدخلات والتي تعني المؤشر القيادي ، نلاحظ ان هناك تشتت واضح في المسار أي ان هناك اتجاه عام ويمكن مشاهدة السلسلة في الشكل (4) ادناه.



الشكل (4) الرسم الزمني للمخرجات x

يبين الرسم الزمني Time series plot للبيانات في الشكل (4) اعلاه ان سلسلة المدخلات غير مستقرة في الوسط الحسابي وعليه تم اخذ الفرق الاول لكل من المدخلات والمخرجات لأيجاد الاستقرار. ولإيجاد افضل نموذج لفضاء الحالة سيتم اعتماد المعايير الإحصائية الذي يعطي اقل قيمة لهذه المعايير وكما موضحة النتائج في الجدول (3) الآتي:

جدول (3) نماذج فضاء الحالة مع المعايير الاحصائية

NO.	AIC	MSE	FBE
1	0.463	1.525	1.59
2	-0.058	0.868	0.943
3	-1.031	0.314	0.356
4	-1.004	0.310	0.366
5	-1.184	0.232	0.306
6	-1.063	0.269	0.345
7	-1.019	0.270	0.361
8	-0.899	0.292	0.408
9	-1.107	0.201	0.334
10	-0.858	0.244	0.43

يتبن من النتائج الموضحة في الجدول أعلاه ان نموذج فضاء الحالة من الرتبة الخامسة يقابل اقل قيم للمعايير معيار (AIC) ومعيار (FBE) .

وبمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها لافضل نموذج للسلسلة الزمنية وفضل نموذج لفضاء الحالة اللذان يقابلان اقل قيم للمعايير الاحصائية وكما موضح في الجدول ادناه :

جدول (4) نتائج المقارنة بين السلاسل الزمنية ونموذج فضاء الحالة

Models	AIC	MSE	FPE
ARIMA(1,1,1)	41.5996	1.781	1.829
State space(5)	-1.184	0.232	0.306

بعد المقارنة بين النماذج من الجدول (4) وقيم المعايير الاحصائية لكل نموذج تبين ان نموذج فضاء الحالة ذي الرتبة الخامسة (5) state space افضل من نموذج السلاسل الزمنية (1,1,1) ARIMA ذلك لان قيم المعايير الاحصائية لنموذج فضاء الحالة اقل من قيم المعايير الاحصائية لنموذج السلاسل الزمنية .

11. الاستنتاجات

1. اتضح من خلال العمل في بيانات هذا البحث ان السلسلة الزمنية المستخدمة غير مستقرة وقد وصلت الى الاستقرار بعد اخذ الفرق الاعتيادي الاول لها .
2. يعد النموذج (1,1,1) ARIMA هو افضل نموذج من نماذج السلاسل الزمنية لتمثيل للبيانات اذ اعطى اقل قيمة للمعايير الاحصائية .
3. يعد نموذج فضاء الحالة من الرتبة الخامسة هو افضل نموذج تم الحصول عليه من البيانات المتمثلة بالموشر القيادي والمبيعات التي استخدمها العالمان Box-Jenkinz اذ اعطى اقل قيم لبعض المعايير الإحصائية.
4. من خلال المقارنة بين قيم المعايير للسلاسل الزمنية وقيم المعايير لنماذج فضاء الحالة تبين ان تحليل فضاء الحالة للبيانات افضل من تحليل السلاسل الزمنية للبيانات ذاتها .

12. المصادر

- 1- الطيب ، رقية عبدالله ، (2014) ، " تحليل السلاسل الزمنية واستخدامه لبناء نماذج حوادث المرور في ولاية الخرطوم م2013 -م2006" ، رسالة ماجستير ، كلية الدراسات العليا ، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا ، السودان .
- 2- السقا ، يحيى عبد الجبار يحيى ،(2012) " التنبؤ بالمعدلات الشهرية لدرجات الحرارة في مدينة الموصل " ، رسالة دبلوم عالي ، كلية علوم الحاسوب والرياضيات ، جامعة الموصل ، العراق .
- 3- سالم ، خلف ، عبد الغفور جاسم ،نهاد شريف ،(2008) ، " دراسة استقرارية بعض نماذج السلاسل الزمنية غير الخطية مع تطبيق " ، مجلة الرافدين لعلوم الحاسبات والرياضيات ، المجلد (5) ، العدد(2) ، العراق .
- 4- شعراوي ، سمير مصطفى ، 2005 ، "مقدمة في التحليل الحديث للسلاسل الزمنية " ، كتاب منشور ، مركز النشر العلمي جامعة الملك عبد العزيز جدة ، السعودية .
- 5- فاندل ، والتر ، (1992) ،السلاسل الزمنية من الوجهة التطبيقية ونماذج بوكس جنكنز" ، تعريب عبد المرضي عزام ، دار المريخ للنشر ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .
- 6- حياوي ، عبد المجيد ، هيام عبد المجيد ، هيلاء انس ، (2009) ، "مقارنة التنبؤ باستخدام النماذج الديناميكية ونماذج فضاء الحالة مع التطبيق" ، المجلة العراقية للعلوم الإحصائية ، العدد (15) ، ص (77-92) ، العراق .
- 7- نقار ، العواد ، عثمان نقار ، منذر العواد ،(2013) ، "استخدام نموذج فضاء الحالة *State Space* في التنبؤ بإنتاج القمح في سورية" ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الاقتصادية والقانونية - المجلد -29 العدد الثاني ، سوريا .
- 8- حياوي ،هيام عبد المجيد ، (2008) ، "توظيف نماذج فضاء الحالة و أسلوب المكونات الرئيسية في تقدير زمن التأخير " ، المجلة العراقية للعلوم الإحصائية ، العدد(13) ، ص (104-112) ، العراق .
- 9-مجيد ، رجاء كامل ، (2018) ، "استخدام نموذج فضاء الحالة *SSM* في التنبؤ بأسعار المنازل في بغداد" ، مجلة العلوم الاقتصادية والادارية العدد 108 المجلد 24 الصفحات 498-508 ، العراق .

- 10- Wadhah S. Ibraheem , 2011 , "Adaptive Filtering Method using of Non-Gaussian Moving Average model from First order (simulation study), 2011 , Al-Rafidain University College For Sciences Volume , Issue 28, Pages 79-93.
- 11- Wei , W.W.S ,(1990) ,"Time Series Analysis Univariate And Multivariate Methods " , Adeson-Weseley Publishing Company , Inc. , the Advanced Book Program , California , U.S.A. .
- 12- Nelles, O. (2001):"Nonlinear System Identification from Classical Approach to Neural Network and Fuzzy Models", Springer Verlag Belin Heidelberg Germany.
- 13- Sivo , Stephen A. ,(2001) ," Multiple Indicator Stationary Time Series Models" , STRUCTURAL EQUATION MODELING, 8(4), 599–612 , Lawrence Erlbaum Associates, Inc., U.S.A. .
- 14- Ljung, L., (1999):"System Identification Theory for user",2nd ed. Prentice Hall Upper Saddle River N.J. London UK.