

توظيف نماذج الصندوق الاسود للتنبؤ بمبيعات البنك المركزي للعملة الاجنبية

د. نجلاء سعد ابراهيم**

najlaa.s.a@uomosul.edu.iq

افراح امين حسن عبو*

afrahaminehasan@gmail.com

الملخص:

يهدف البحث إلى التنبؤ بالسلاسل الزمنية المتعددة المتغيرات باستخدام نماذج الصندوق الاسود التي تعمل على ربط سلسلة المدخلات مع سلسلة المخرجات بنموذج رياضي حيث تشمل نوعين من النماذج وهما نماذج خطأ المعادلة ونماذج خطأ المخرجات، حيث تم تحديد رتبة النموذج باستخدام عدد من المعايير الاحصائية والهندسية وهما (AIC, AIC_C, BIC, LOSS, FPE, FIT) واختيار النموذج المقابل لأقل قيم للمعايير كأفضل نموذج للتنبؤ بالقيم المستقبلية لمبيعات البنك المركزي للعملة الاجنبية كسلسلة مخرجات وفجوة الطلب كسلسلة مدخلات، واطهرت نتائج التحليل بأن النموذج الملائم للبيانات هو نموذج $ARMAX(1,2,3,1)$ ومن خلال الاعتماد على نموذج $ARMAX$ تم التنبؤ بمبيعات البنك المركزي لأربعة اشهر قادمة وكانت نتائج التنبؤ متناسقة مع قيم السلسلة الزمنية الاصلية مما يدل على كفاءة نموذج $ARMAX$.

الكلمات المفتاحية: سلاسل زمنية، الصندوق الاسود، خطأ التنبؤ، زمن التأخير

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

Employment the black box models to forecast the central bank's foreign currency sales

Abstract:

The research is aims to forecasting multi-variable time series using black box models that link the input series with the output series with a mathematical model as it includes two types of models, which are equation error models and output error models, where the model rank was determined using a number of statistical and engineering criteria, namely (AIC, AICC, BIC, LOSS, FPE, FIT) and choosing the model corresponding to the lowest values of the criteria as the best model for forecasting the future values of the Central Bank's sales of foreign currency as a series of outputs and the demand gap as an input series, The results of the analysis showed that the appropriate model for the data is the model $ARMAX(1,2,3,1)$ By relying on the $ARMAX$ model, the central bank's sales were predicted for the next four months, and the forecast results were consistent with the original time series values, indicating the $ARMAX$ model's efficiency.

Keywords: time series, black box, prediction error, delay time.

*طالبة دبلوم/ قسم الإحصاء والمعلوماتية / كلية علوم الحاسوب والرياضيات/ جامعة الموصل .
** مدرس / قسم الإحصاء والمعلوماتية / كلية علوم الحاسوب والرياضيات / جامعة الموصل .

1- المقدمة : Introduction

يعد الدينار العراقي العملة العراقية التي يعتمد عليها الاقتصاد الوطني في تعاملاته المحلية. ويؤدي الدولار دوراً مهماً في الاقتصاد العراقي سواء أكان على المستوى المحلي أم على مستوى العلاقات الدولية للعراق لارتباطه بسعر صرف الدينار العراقي. وتشير الأدبيات الاقتصادية الى أن دراسة سعر الصرف تهدف الى البحث عن الوسائل والإجراءات التي من شأنها تحقيق الاستقرار لسعر صرف العملة الوطنية تجاه العملات الأجنبية المختلفة قدر الإمكان، ذلك لأن الاستقرار التام لسعر الصرف ولمختلف العملات تجاه بعضها البعض شيء مرغوب فيه، الا أن تحقيقه مسألة صعبة المنال بسبب خضوع سعر الصرف للعديد من المحددات الخارجية والداخلية، إضافة الى أن سعر الصرف ذاته شأنه شأن أية سلعة أخرى. فضلاً عن ذلك، فإن سياسات التأثير في سعر الصرف تنحصر في الوقت الحاضر في التدخل لزيادة أو إنقاص عرض العملة الأجنبية أو الطلب عليها.

تعد عملية التخطيط من أهم المسببات الرئيسية في تطور الأمم وتقدمها، وأن التخطيط الجيد هو الذي يعتمد في بناء البرامج التنموية على الأساليب العلمية المتطورة وبالأخص الأساليب الإحصائية الحديثة، ومنها استخدام نماذج السلاسل الزمنية في تحليل الظواهر بشكل عام، الأمر الذي فتح المجال الواسع للباحثين في دراسة موضوع السلاسل الزمنية وتحليلها لكونها من المواضيع المهمة في تحليل وتفسير سلوك الظواهر من خلال دراسة تطورها التاريخي عبر فترات زمنية قد تكون يومية أو فصلية أو شهرية.... الخ ، وذلك لأغراض التنبؤ بما سيحدث في مستقبل هذه الظواهر بأقل خطأ ممكن. وأن هذه العملية تتطلب دراسة تحليلية وافية للنماذج الإحصائية باعتماد أساليب رياضية وعلمية التي يمكن معاملتها مع متغيرات الحاضر وتوقعات المستقبل.

2- هدف البحث : Objective Research

يهدف البحث إلى تشخيص نماذج الصندوق الاسود المتمثلة بنماذج خطأ المعادلة (ARX & ARMAX) ونماذج خطأ المخرجات (OE & BJ) لسلسلتي المدخلات المتمثلة بفجوة الطلب للعملة الاجنبية والمخرجات المتمثلة بمبيعات البنك المركزي للعملة الاجنبية واختيار النموذج الافضل وفق عدد من المعايير الاحصائية والهندسية وهما (AIC, AIC_C, BIC, LOSS, FPE, FIT) للتنبؤ بالقيم المستقبلية.

3- مفهوم السلسلة الزمنية : The Concept of Time Series

تعرف السلسلة الزمنية بأنها مجموعة من المشاهدات لظاهرة معينة خلال فترة زمنية غالباً ما تكون متساوية ومتتالية، وتعرف رياضياً بأنها متتابعة من المتغيرات العشوائية معرفة ضمن فضاء الاحتمالية متعددة المتغيرات وتتكون من متغيرين احدهما توضيحي وهو متغير الزمن (المتغير المستقل) والآخر متغير الاستجابة وهو قيمة الظاهرة المدروسة (المتغير التابع) ويمكن التعبير عنها رياضياً $y = f(t)$ أما إذا كان

هناك عوامل أخرى (متغيرات توضيحية) إلى جانب الزمن تؤثر على الظاهرة y نستخدم العلاقة $y = f(t, u_1, u_2, \dots, u_n)$. هناك نوعان من نماذج بوكس جنكنز وهما النماذج الموسمية وغير الموسمية وفيما يلي شرح لنماذج السلسلة الزمنية غير الموسمية:

أولاً: نموذج الانحدار الذاتي : Autoregressive Model (AR)

يعد نموذج الانحدار الذاتي الأداة القوية لتحليل السلاسل الزمنية وهو شائع جداً، يرمز له بالرمز $AR(p)$ حيث تشير (p) إلى رتبة النموذج وأن الصيغة العامة لهذا النموذج تأخذ الشكل الآتي: (Box et al., 2016)

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad \dots (1)$$

إذ أن:

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$: تمثل معاملات نموذج الانحدار الذاتي.

ثانياً: نموذج المتوسطات المتحركة: Moving Average Model (MA)

يعد نموذج المتوسطات المتحركة من النماذج غير الخطية إذ لا يمكن إيجاد خطأ التنبؤ لهذا النموذج لأن التشويش الأبيض يؤثر بصورة مباشرة على السلسلة y_t . ويرمز له بالرمز $MA(q)$ حيث تشير (q) إلى رتبة النموذج ويمكن تعريف نموذج المتوسطات المتحركة بالصيغة الآتية: (Box et al., 2016)

$$y_t = \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} - \vartheta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \vartheta_q \varepsilon_{t-q} \quad \dots (2)$$

إذ أن:

$\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_q$: تمثل معاملات نموذج المتوسطات المتحركة .

ثالثاً: النماذج المختلطة (الانحدار الذاتي-المتوسطات المتحركة):

Mixed Models (Autoregressive–Moving Average) (ARMA)

نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات والمتحركة هو مزيج من الانحدار الذاتي AR والمتوسطات المتحركة MA ويعد النموذج المحسن لنموذج الانحدار الذاتي، ويرمز له بالرمز $ARMA(p,q)$ ويأخذ الصيغة الآتية: (Box et al., 2016)

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \vartheta_q \varepsilon_{t-q} \quad \dots (3)$$

رابعاً: نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة التكاملية:

Integrated Autoregressive Moving Average Processes

يسمى هذا النوع من النماذج بالنماذج المتجانسة غير المستقرة او المختلطة المركبة من الدرجة d ويُرمز له بالرمز $ARIMA(p,d,q)$ وتختلف عن نماذج ARMA بكونها غير مستقرة ، ولإزالة عدم استقرارية

السلسلة تطبق طريقة الفروق من الدرجة الاولى مرة او مرتين إذا كان سبب عدم الاستقرار هو الاتجاه العام أما إذا كان السبب موسمي تطبق الفروق من الدرجة الفصلية. ويتم التعبير عن نموذج ARIMA بالمعادلة التالية: (حشمان ، 1998 ، Box & Jenkins , 1976)

$$\varphi(q)(1 - q^{-1})^d y_t = \vartheta(q)\varepsilon_t \quad \dots (4)$$

إذ أن :

$$\begin{aligned} \varphi(q) &= 1 - \varphi_1 q^{-1} - \varphi_2 q^{-2} - \dots - \varphi_p q^{-p} \\ \vartheta(q) &= 1 - \vartheta_1 q^{-1} - \vartheta_2 q^{-2} - \dots - \vartheta_q q^{-q} \end{aligned}$$

4- الإستقرارية : Stationary

إن مفهوم الإستقرارية في السلاسل الزمنية يمكن تصوره على أنه شكل من حالة التوازن الاحتمالية، فالخصائص الاحتمالية مثل الوسط الحسابي والتباين من أجل عملية مستقرة يجب ان لا تعتمد على الزمن فهي ثابتة مع تغير الزمن. وهناك نوعين من الإستقرارية وهما: (فاندل, 1992)

Strictly stationary

اولاً: الإستقرارية التامة أو القوية:

يقال للسلسلة الزمنية $(y_t ; t=1,2,\dots,n)$ بانها مستقرة استقراريه تامة إذا كان التوزيع المشترك لأي مجموعة من المشاهدات لا يتأثر بإزاحة كل الفترة الزمنية للمشاهدات إلى الأمام أو إلى الخلف بأي كمية صحيحة أي أن: إذ t_h تمثل أي فئة زمنية و h مقداراً ثابتاً. وبمعنى آخر أن تغير الزمن بمقدار (h) ليس له تأثير في التوزيع الاحتمالي المشترك للسلسلة، بل يعتمد التوزيع المشترك على الزمن (t_1, t_2, \dots, t_h) فقط .

ثانياً: الإستقرارية الضعيفة أو من الدرجة الثانية:

Weakly or Second Order Stationary

يقال أن السلسلة الزمنية $(y_t ; t=1,2,\dots,n)$ أنّها ذات استقراريه من الدرجة الثانية إذا تحققت

الشروط الآتية:-

$$E(y_t) = \mu = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t \quad \text{1- ثبات الوسط الحسابي}$$

$$Var(y_t) = E[(y_t - \mu)^2] = \sigma^2 \quad \text{2- ثبات التباين}$$

$$\rho_{t+h} = E[(y_t - \mu)(y_{t+h} - \mu)] / \sigma^2 \quad \text{3- اعتماد الارتباط الذاتي على (t+h) فقط}$$

أي أن السلسلة الزمنية تكون مستقرة إذا كان الوسط الحسابي والتباين ثابتين خلال الزمن (ولكل منهما قيمة محددة) وكان الارتباط الذاتي بين قيم العملية عند نقطتين زمنيتين t و $t+h$ يعتمد فقط على الفجوة الزمنية بينهما وليس على t و $t+h$.

ومن طرق إزالة المشاكل المرتبطة بعدم استقراريه السلسلة إذا كان التباين غير ثابت فيجب تحويل البيانات وتوجد العديد من طرق تحويل البيانات بهدف تثبيت التباين وتعتبر التحويلة اللوغاريتمية وتحويلة الجذر التربيعي من أكثر التحويلات استخداماً. أما إذا كانت السلسلة الزمنية لها اتجاه عام فمن الضروري

إزالة هذا الإتجاه للحصول على سلسلة زمنية مستقرة، وحسب نماذج بوكس - جنكنز تستخدم طريقة الفروق لإزالة الإتجاه والحصول على سلسلة زمنية مستقرة وغالباً ما يكون الفرق الأول والثاني للسلسلة الزمنية كافياً لتحقيق الإستقرارية (البكري، 2000). لتجريد السلسلة الزمنية من العنصر الموسمي تستخدم طريقة الفرق الموسمي Seasonal differencing وذلك بأخذ الفروق الموسمية الربع سنوية أو شهرية، وقد تكون من الرتبة الأولى أو الثانية. إلى أن يتحقق الاستقرار .

5- نماذج الصندوق الاسود : Black Box Models

يعد تطور النماذج الرياضية خطوة مهمة في عملية تصميم النظام، وان الاهتمام بنماذج دالة التحويل يعني الاهتمام بنماذج الصندوق الاسود فيتم التعرف على هذه النماذج باستخدام مجموعة بيانات تم الحصول عليها من خلال اختبار الديناميكية. ولكن بنية النموذج المختار تنتمي لعائلة معرفة بان لديها مرونة جيدة اي انها تتيح المفهوم الفيزيائي، يتكون تركيب النموذج الخطي العام General Linear Model Structure الذي تشتمل منه كل النماذج الخطية Linear Models والذي عادةً ما لا يطبق عملياً لأنه يمثل الهيكلية الموحدة للأنظمة الخطية كما لا يستخدم في الواقع، وإنما يخدم كإطار عمل موحد حيث يمكن حساب مخرجات النظام الخطي المحدد y_t عند الزمن t من خلال ترشيح المدخلات u_t بمرشح خطي يرمز له $G(q)$ والذي يسمى بالجزء المحدد ويسمى أيضاً بدالة تحويل المدخلات Input Transfer Function الذي يربط المدخلات مع المخرجات، فضلاً عن ترشيح التشويش الأبيض الذي يُرمز له ε_t بمرشح خطي آخر يرمز له بـ $H(q)$ ويسمى بدالة تحويل التشويش Noise Transfer Function ويسمى بالجزء التصادفي، عليه يمكن تمثيل النموذج الخطي العام بالجزئيين المحدد والتصادفي بالشكل الآتي: (مطر وحياوي ، 2009)

$$y_t = G(q)u_t + H(q)\varepsilon_t \quad \dots (5)$$

إذ أن:

$$G(q) = \frac{B(q)}{F(q)A(q)}$$

$$H(q) = \frac{C(q)}{D(q)A(q)}$$

ويمكن كتابة النموذج الخطي العام بالشكل الآتي:

$$y_t = \frac{B(q)}{F(q)A(q)}u_t + \frac{C(q)}{D(q)A(q)}\varepsilon_t \quad \dots (6)$$

إذ أن :

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2} + \dots + a_{na}q^{-na}$$

$$B(q) = b_1q^{-1} + b_2q^{-2} + \dots + b_{nb}q^{-nb}$$

$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + c_2q^{-2} + \dots + c_{nc}q^{-nc}$$

$$D(q) = 1 + d_1q^{-1} + d_2q^{-2} + \dots + d_{nd}q^{-nd}$$

$$F(q) = 1 + f_1q^{-1} + f_2q^{-2} + \dots + f_{nf}q^{-nf}$$

وكل من na , nb , nc , nd , nf تمثل رتب متعددة الحدود وعلى التوالي $A(q)$, $B(q)$, $C(q)$, $D(q)$, $F(q)$.

وتقسم نماذج الصندوق الاسود إلى مجموعتين: (Nelles, 2001)

1- نماذج خطأ المعادلة The Equation Error Models

2- نماذج خطأ المخرجات The output error Models

فيما يلي شرح مفصل عن هذه النماذج.

5.1 نماذج خطأ المعادلة The Equation Error Models

تشمل هذه النماذج كل من نموذج الانحدار الذاتي مع مدخلات خارجية Autoregressive With Exogenous Input Model ويُرمز له ARX، ونموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة مع مدخلات خارجية Autoregressive Moving Average With Exogenous Input Model ويُرمز له ARMAX وتتميز هذه النماذج عن نماذج خطأ الاخراج بأنها تحتوي على المرشح الخطي $(1/A(q))$ في نموذج العمليات المحددة ونموذج العمليات التصادفية، أي أن كلا من نموذج ARX و ARMAX تشترك بالمرشح الخطي $A(q)$. (Mahmoud & Xia , 2012)

1- نموذج الانحدار الذاتي مع مدخلات خارجية

Autoregressive with exogenous input model (ARX)

يعدُّ نموذج ARX من النماذج ذات التطبيقات الواسعة للنموذج الحركي الخطي والذي يكون واقعياً وملائماً لعدد كبير من العمليات الحقيقية وذلك لسهولة تطبيقه في حساب المعلمات التي تقدر بأسلوب المربعات الصغرى، ويمكن توضيحه من خلال المعادلة الآتية: (Box et al., 2016)

$$y_t = \frac{B(q)}{A(q)}u_t + \frac{1}{A(q)}\varepsilon_t \quad \dots (7)$$

في هذا النموذج تعبير الانحدار الذاتي مرتبط بدالة التحويل من المدخلات u_t الى المخرجات y_t وكذلك لدالة تحويل التشويش من ε_t الى y_t ، حيث يشترك الجزء التصادفي والمحدد بمقام ديناميكي متماثل.

وإن التطبيق الأكثر شيوعاً للنموذج هو التكهّن بالسلوك المستقبلي للعملية، حيث أن المتنبأ الامثل Optimal Predictor يجب أن يجمع المدخلات مع مخرجات العملية السابقة بطريقة ما، لذلك يمكن تعريف المتنبأ الخطي الأمثل بتوفيق خطي للمدخلات والمرشحة والمخرجات المرشحة، وقد أشار (Ljung , 1999) إلى المتنبأ الامثل يأخذ الصيغة الآتية :

$$\hat{y}_{(t|t-1)} = B(q)u_t + (1 - A(q))y_t \quad \dots (8)$$

2- نموذج الانحدار الذاتي والأوساط المتحركة مع متغيرات خارجية:

Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables(ARMAX)

يعتبر نموذج ARMAX من نماذج خطأ المعادلة، ويعد نموذجاً موسعاً لنموذج ARX لاحتوائه على المرشح الخطي $C(q)$ ، فعندما تكون $C(q)=1$ أي بمعنى أن $nc=0$ فسيتحول نموذج ARMAX إلى نموذج ARX، وفضلاً عن ذلك فإن $A(q)$ يمثل المقام لمتعددة الحدود الخاص بمركبة التشويش ε_t ويمكن تمثيل النموذج كالاتي: (Box et al., 2016)

$$y_t = \frac{B(q)}{A(q)} u_t + \frac{C(q)}{A(q)} \varepsilon_t \quad \dots (9)$$

أما التنبؤ باستخدام نموذج ARMAX يمكن أن يكتب بالشكل الآتي:

$$\hat{y}_{(t|t-1)} = \frac{B(q)}{C(q)} u_t + \left(1 - \frac{A(q)}{C(q)}\right) y_t \quad \dots (10)$$

5.2 نماذج خطأ المخرجات The output error Models

وتتضمن هذه النماذج نموذجين وهما نموذج بوكس - جنكنز الذي يُرمز له بـ BJ ونموذج خطأ المخرجات الذي يُرمز له بـ OE ويمكن تمييز نماذج خطأ المخرجات من خلال نماذج التشويش التي لا تضم عملية حركية (ديناميكية) بمعنى أن دالة تحويل المدخلات مستقلة تماماً عن دالة تحويل التشويش. (ابو لبدة، 2017)

1- نموذج خطأ المخرجات (OE) The Output Error Model

يعدّ هذا النموذج ذو تركيب واسع الاستخدام، ويمكن تمثيله بسهولة ضمن نماذج خطأ المخرجات حيث تكون أكثر واقعية واوسع استخداماً من نماذج خطأ المعادلة، وذلك لان نماذج التشويش لا يحتوي المرشح $\left(\frac{1}{A(q)}\right)$ ويمكن تمثيله من خلال المعادلة التالية: (Box et al., 2016)

$$y_t = \frac{B(q)}{F(q)} u_t + \varepsilon_t \quad \dots (11)$$

أما نموذج التنبؤ فيكون كالاتي :

$$\hat{y}_{(t|t-1)} = \frac{B(q)}{F(q)} u_t \quad \dots (12)$$

2- نموذج بوكس - جنكنز Box-Jenkins Model

ينتمي هذا النموذج أيضاً لنماذج خطأ المخرجات ويُعد تطوراً طبيعياً لها ويُرمز لنماذج بوكس - جنكنز بالرمز BJ ويتم تمييزه عن نموذج OE من خلال ترشيح التشويش الابيض بالمرشح ARMA ويمكن تمثيله بالمعادلة الآتية: (Nelles, 2001)

$$y_t = \frac{B(q)}{F(q)} u_t + \frac{C(q)}{D(q)} \varepsilon_t \quad \dots (13)$$

أما المتنبأ لهذا النموذج هو:

$$\hat{y}_{(t|t-1)} = \frac{B(q)D(q)}{F(q)C(q)} u_t + \frac{C(q) - D(q)}{C(q)} y_t \quad \dots (14)$$

إن نموذج BJ يُعد نموذج مرن ومعمم أكثر من النماذج الخطية الأخرى، وذلك لأنه يسمح بتقدير دوال التحويل مع بسط ومقام عشوائى للمدخلات والمخرجات بالإضافة إلى التشويش الابيض وكذلك فإن هذا النموذج يتطلب تقدير عدد كبير من المعلمات للتطبيقات كلها.

6- زمن التأخير: Delay Time

إن تقدير زمن التأخير لأي نظام بشكل صحيح له تأثير مباشر في عملية تحديد النموذج الذي يمثل ديناميكية النظام بصورة دقيقة ويقدم في الوقت نفسه تصوراً واضحاً عن آلية عمل النظام، ويعد زمن التأخير صفة عامة في النماذج الرياضية للعمليات الصناعية، (Astrom & Wittenmark, 1997) إذ تتطلب عملية تشخيص النظم تقدير الفترة الزمنية التي تتقضي قبل أن تؤثر المدخلات في المخرجات وهو ما يعرف بزمن التأخير الذي يعد مطلباً أساسياً يجب تقديره قبل البدء بتحديد النموذج المناسب الذي يمثل العملية أو النظام، إن العديد من التطبيقات يكون لها أزمنة تأخير ولا يمكن إهمالها ومن المفيد تقديرها بصورة صحيحة، وقد أوضح (Tong, 1996) إن فكرة زمن التأخير أساسية لفهم الدورية وأعطى شرحاً وافياً للعديد من التطبيقات لمفهوم زمن التأخير في عدة مجالات كالفيزياء والهندسة الكيميائية والاقتصاد وغيرها. وهناك العديد من الطرائق والأساليب الإحصائية والهندسية لتقدير زمن التأخير في النظم الحركية والتي أشار إليها واستخدمها العديد من الباحثين وفي بحثنا هذا تم استخدام إحدى الطرق وهي استخدام نماذج فضاء الحالة State Space Models حيث استخدم (البدراني، 2002) هذا الأسلوب لتقدير زمن التأخير من خلال ملاءمة العديد من نماذج فضاء الحالة برتب متصاعدة ابتداءً من الرتبة الأولى وحتى الرتبة العاشرة، وملاحظة خصائص نموذج فضاء الحالة الملائم لكل رتبة من الرتب العشرة كلاً على حده، وأخذ أول رتبة يصل فيها الأنموذج إلى حالة الاستقرار من خلال ملاحظة مواقع الأصفار والأقطاب في دائرة الوحدة، على سبيل المثال لو افترضنا بان أول رتبة يبدأ عندها تحقق الاستقرار هي عند الرتبة الرابعة عند ذلك نوجد قيم معيار اكاكي للمعلومات (AIC) للرتب من (1-10) فإذا كانت الرتبة التي تقابل اقل قيمة لمعيار (AIC) عند الرتبة الرابعة وبالشكل نفسه يتم ايجاد دالة الاستجابة النبضية لكل أنموذج من نماذج فضاء الحالة الملائمة فإذا كان شكل هذه الدالة يبدأ الاستقرار من الرتبة الرابعة من خلال أول قيمة معنوية تقع خارج فترة الثقة، دل ذلك على $k = 4$ ، إذ أن \hat{k} تمثل زمن التأخير.

7- معايير اختيار أفضل أنموذج: Criteria Choose Best Model

اقترح بعض الباحثين عدداً من المعايير لتحديد النموذج الافضل للتنبؤ الذي يكون تباينه أقل بزيادة عدد معالمه المقدره حيث يُعتبر من أهم مراحل التحليل، وإن اختيار النموذج المناسب ليست عملية سهلة فهي تتطلب القيام ببعض الجهد من قبل الباحث واختيار المعيار المناسب الذي يوصلنا إلى أفضل نتيجة.

ومن المعايير الإحصائية والهندسية التي يمكن اعتمادها للوصول إلى الرتبة المناسبة للنموذج في عملية التشخيص هي:

1- دالة الخسارة Loss Function

تعرف في بعض الأحيان بدالة الكلفة (Cost Function) حيث تعد المتطلب الأساس الأفضل في اختيار رتبة النموذج من خلال ملاحظة سلوك هذه الدالة مع زيادة رتبة النموذج حيث تقل قيمتها بزيادة رتبة النموذج وإن التناقص في قيمة هذه الدالة يتوقف عند نقطة معينة أي إن زيادة رتبة النموذج تصبح عديمة الفائدة وهو ما يميز هذه (Chiras , 2002). وان الصيغة الرياضية لهذا المعيار تأخذ الشكل الآتي:

$$\text{Loss} = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2 \quad \dots (15)$$

2- معيار أكاي للمعلومات Akai's Information Criteria

إن معيار أكاي للمعلومات قدم لأول مرة عام (1973) من قبل العالم الرياضي الياباني هيروتكو أكاي ويعرف بأنه مقياس لنظرية المعلومات لـ (كولبك-ليبيلر) بين النموذج المعطى والنموذج الحقيقي ويُرمز له بـ (AIC). إن معيار أكاي للمعلومات (AIC) ومعيار أكاي للمعلومات المصحح (AICc) للانحدار الخطي المتعدد يعطيان بالصيغتين التاليتين: (فتحي ، 2012)

$$\text{AIC} = n \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2K \quad \dots (16)$$

$$\text{AIC}_c = n \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2K + \frac{2K(K+1)}{(n-K-1)} \quad \dots (17)$$

إذ أن:

σ_ε^2 : تمثل تباين الخطأ لنموذج المقدر. K : تمثل عدد المعلمات في النموذج.

3- معيار أكاي لخطأ التنبؤ النهائي Akai's Final Prediction Error Criteria

يعد من المعايير المهمة في تحديد رتبة النموذج حيث عرفه أكاي عام 1969 ويُرمز له بـ FPE ويُمثل مقياس خطأ التنبؤ النهائي ويُعرف على أنه تباين خطأ التنبؤ للفترة القادمة ويحسب بالشكل الآتي: (Ljung , 1999)

$$\text{FPE} = \frac{1+n+K}{1-n-K} \sigma_\varepsilon^2 \quad \dots (18)$$

4- معيار معلومات بيز Bayesian Information Criteria (BIC)

اقترح هذا المعيار من قبل (Schwarz) عام 1978 إذ تناول كيفية اختيار نموذج واحد من عدة نماذج غير متساوية بعدد المتغيرات المستقلة وذلك عن طريق إيجاد الحل البيزي لها (Bayes Solution) وتم توسعة الحل البيزي باستعمال نظرية بيز حسب الصيغة التالية: (حسين و جواد ، 2018)

$$\text{BIC} = n \ln(\sigma_\varepsilon^2) + K \log(n) \quad \dots (19)$$

5- معيار المطابقة Fitting Criteria

هي عبارة عن مقياس لمعرفة دقة النموذج (كنسبة مئوية) الذي تم تكوينه من مجموعة معينة من المشاهدات وبعد تكوين النموذج برتبة معينة حيث تتم عملية محاكاة لهذا النموذج ومقارنة المخرجات المولدة \hat{y}_i مع المخرجات المخزونة (الحقيقية) y_i ومن ثم حساب النسبة المئوية للتوافق بينها من خلال القانون التالي: (البدراي، 2002) و (Ljung, 2004)

$$\text{Fit} = \left(1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right) \times 100 \quad \dots (20)$$

إذ أن y : قيم المخرجات الحقيقية . \hat{y}_i : القيم التقديرية المكونة من النموذج.

\bar{y} : الوسط الحسابي لمشاهدات سلسلة المخرجات y المستخدمة في تكوين النموذج .

8- اختبار دقة ملائمة النموذج

بعد تشخيص النموذج وتقدير معلماته يتم اجراء عدة اختبارات لمعرفة مدى ملائمة النموذج المقدر وذلك من خلال تحديد سلسلة البواقي النهائية ϵ_t . وتتضمن هذه المرحلة اختبارين وهما :

1- التحقق من عشوائية سلسلة البواقي من خلال احتساب معاملات دالة الارتباط الذاتي لتلك السلسلة $r_{\epsilon\epsilon}(h)$ ورسم قيم معاملات الارتباط الذاتي اذا يتم الحكم على عشوائية البواقي من خلال ملاحظة قيم معاملات الارتباط الذاتي حيث يجب أن تكون جميع الارتباطات غير معنوية اي تقع ضمن حدي الثقة.

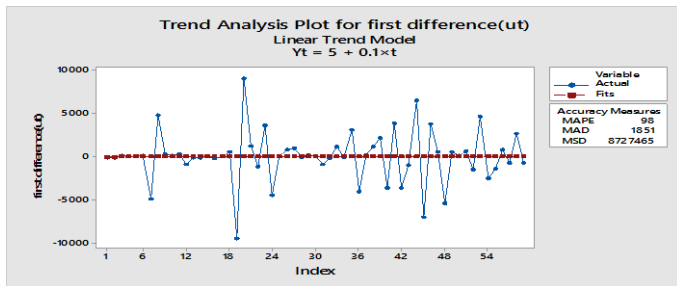
2- التحقق من إستقلالية بواقي المخرجات مع سلسلة المدخلات من خلال احتساب معاملات الارتباطات التقاطعية بين سلسلة المدخلات وسلسلة بواقي المخرجات اي ايجاد $r_{\epsilon u}(h)$ ورسم قيم معاملات الارتباط التقاطعي اذا يتم الحكم على استقلالية السلسلتين من خلال ملاحظة قيم معاملات الارتباط التقاطعي حيث يجب تكون جميع الارتباطات غير معنوية اي تقع ضمن حدي الثقة.

9- التنبؤ Forecasting

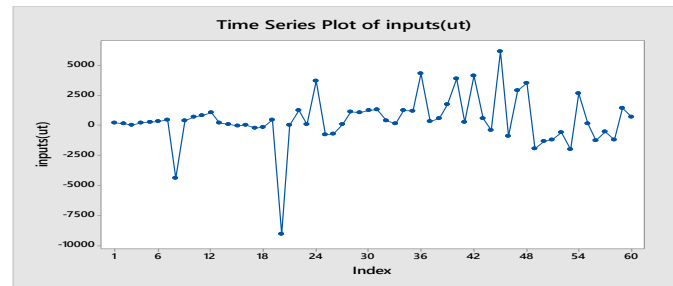
إن التنبؤ هو المرحلة الاخيرة من مراحل التحليل للسلاسل الزمنية ولا يمكن الانتقال إلى هذه المرحلة إلا بعد الانتهاء من اجراء جميع الفحوصات والاختبارات الإحصائية الضرورية لتشخيص النموذج الذي أختير في المراحل السابقة والتأكد من أن هذا النموذج قد اجتاز كافة الاختبارات السابقة. ويمكن تعريف التنبؤ بأنه توقع الاحداث كأن تتنبأ بكمية الانتاج الصناعي للأعوام القادمة مثلاً، وكذلك دراسة الاتجاهات في المستقبل وعلى اساس هذه الدراسات نتوصل الى وضع افتراضات للفترة المستقبلية. إذ هو عملية عرض حالي لمعلومات مستقبلية باستخدام معلومات تاريخية بعد دراسة سلوكها في الماضي. (الشيخلي، 2003)

10- الجانب العملي :

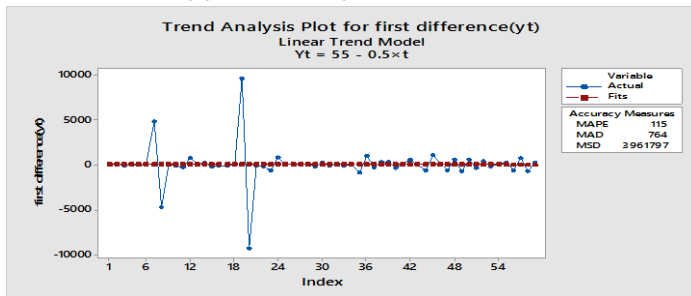
إن البيانات التي تم اعتمادها في هذا البحث تمثل مشاهدات لسلسلتين زمنيتين حجم كل منها يساوي 60 مشاهدة للفترة من 2005 لغاية 2009. وهذه البيانات تخص فجوة الطلب للعملة الاجنبية والتي مثلت كسلسلة مدخلات وتمثلت سلسلة المخرجات بمبيعات البنك المركزي العراقي للعملة الاجنبية. ان الخطوة الأساسية الأولى هي معرفة ما إذا كانت البيانات مستقرة أم لا لسلسلتي الإدخال والإخراج لقد تم رسم بيانات السلسلتين الإدخال (u_t) والإخراج (y_t) كما في الشكلين (1) و (2)، لوحظ بأن السلسلتين مستقرتين بالتباين إلى حد ما ومن جهة أخرى تبين بأن السلسلتين غير مستقرتين في المتوسط وبذلك تم أخذ الفرق الأول للملاحظات .



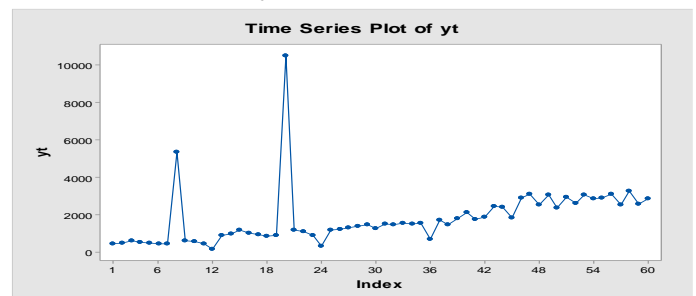
سلسلة الإدخال فجوة الطلب بعد استقراريتها



سلسلة الإدخال فجوة الطلب



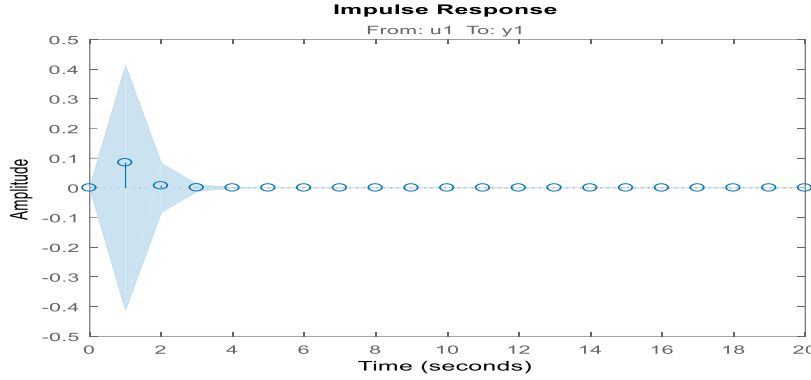
سلسلة الإخراج المبيعات بعد استقراريتها



سلسلة الإخراج المبيعات

الشكل (2): رسم الاتجاه العام لسلسلة المخرج (y_t) قبل وبعد ثبوت استقراريتها.

لقد تم تقدير زمن التأخير وفق نموذج فضاء الحالة الملائم لمشاهدات الإدخال والإخراج وبعد ملاحظة خصائص نموذج فضاء الحالة للرتبة من (1-10) تبين بأن الإستقرارية تحققت عند الرتبتين الأولى والثانية، وعند ايجاد قيمة معيار أكاكي للمعلومات للرتب من (1-10) فكانت الرتبة التي تقابل اقل قيمة لمعيار (AIC) عند الرتبة الاولى، وبذلك تم ايجاد دالة الاستجابة النبضية لكل نموذج ويتضح من الشكل (3) أن هذه الدالة تأخذ وضعها المستقر عندما يكون النموذج من الرتبة الاولى وأن أول قيمة معنوية ظهرت عند زمن التخلف الاول وهذا يوحي بأن زمن تأخير هو ($\hat{k} = 1$).

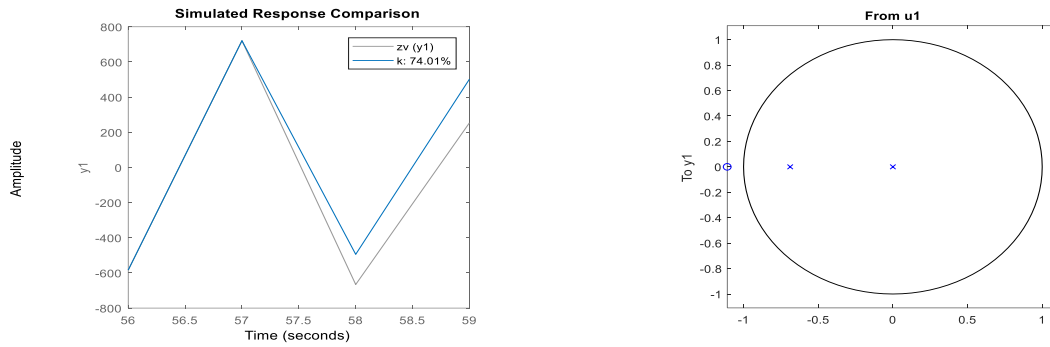


الشكل (3) : رسم الاستجابة النبضية لنموذج فضاء الحالة من الرتبة الاولى.

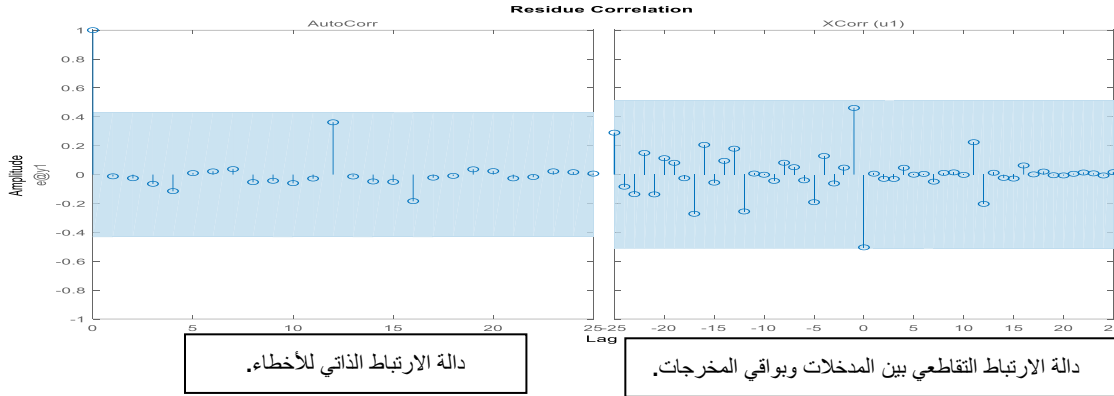
إن الخطوة التالية بعد تهيئة البيانات وتقدير زمن التأخير هي تشخيص الأنظمة الحركية الخطية يتم بتوفيق العديد من النماذج بمعلمات مختلفة ومتعددة لكل نموذج من النماذج الحركية وهي: نموذج الانحدار الذاتي مع مدخلات خارجية ARX ونموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة مع مدخلات خارجية ARMAX ونموذج خطأ المخرجات OE ونموذج بوكس- جنكنز BJ ، ويتم اختيار الأفضل من بين هذه النماذج حسب حزمة المعايير المقترحة لاختيار أفضل نموذج. الجدول الاتي يضم نتائج النماذج النهائية التي تم اختيارها من تشخيص نماذج النظم الحركية الاربعة للبيانات نلاحظ من خلال الجدول الاتي ان قيم المعايير للنموذجين $ARMAX(1,2,3,1)$ و $BJ(1,1,3,1,1)$ متقاربين جدا ولكن تم اختيار نموذج $ARMAX(1,2,3,1)$ افضل النماذج لان قيمه التنبؤية كانت اقرب الى القيم الحقيقية على الرغم من وجود بعض القيم بعيدة نوعا ما والاشكال (4) و (5) و (6) توضح بعض المعايير للنموذج المختار.

الجدول (1): نماذج النظم الحركية النهائية المختارة

النماذج	Aic	Aic _c	Fit	Bic	Loss	Fpe	Resid	cross	Unit Circle
ARX(3,4,1)	991.3673	997.5068	100	1013.4480	2641833.5359	3962750.3039	عشوائية	غير مرتبطة	مستقر
ARMAX(1,2,3,1)	974.571	976.321	74.01	986.615	2334763.884	2906542.795	عشوائية	غير مرتبطة	مستقر
OE(1,1,1)	981.6329	981.8637	9.157	985.6476	3070245.692	3301962.348	عشوائية	غير مرتبطة	مستقر
BJ(1,1,3,1,1)	974.5638	976.3138	100	986.6078	2334442.684	2906142.933	عشوائية	غير مرتبطة	مستقر



الشكل (4) رسم دائرة الوحدة لنموذج $ARMAX(1,2,3,1)$. الشكل (5) نسبة المطابقة لنموذج $ARMAX(1,2,3,1)$



الشكل (6): الأخطاء العشوائية لنموذج $ARMAX(1,2,3,1)$.

بعد الحصول على أفضل نموذج من نماذج النظم الحركية الأربعة (ARX, ARMAX, OE, BJ) الا وهو نموذج $ARMAX(1,2,3,1)$ سيتم التنبؤ بالقيم المستقبلية وباستخدام المعادلة (10) تم الحصول على القيم التنبؤية الموضحة في الجدول الآتي.

الجدول (2) : القيم الأصلية والقيم التنبؤية لأفضل نماذج النظم الحركية.

ت	القيم الأصلية	القيم التنبؤية ARMAX
56	-584	-551.504
57	721	198.316
58	-666	-540.281
59	254	317.907

11- الاستنتاجات

بعد التحليل الإحصائي للبيانات المستخدمة في الدراسة تم التوصل الى الاستنتاجات الآتية
1. السلسلتين الزمئيتين لبيانات المدخلات والمخرجات كانت غير مستقرة في الوسط ومستقرة في التباين وتم جعلها مستقرة من خلال أخذ الفرق الاول لها لسلسلتي المدخلات والمخرجات.

2. من ملاحظة النتائج في الجدول (1) تبين ان نموذج (ARMAX) الذي يصف العلاقة بين متغير الأخراج (y) الذي يمثل مبيعات البنك المركزي للعملة الاجنبية ومتغير الأذخال (u) الذي يمثل فجوة الطلب يمتلك اقل القيم للمعايير الإحصائية والهندسية.

المصادر:

1. ابو لبدة ، محمد عبدالرحمن جادالله ، (2017) . " استخدام نماذج ARIMAX في التنبؤ بالسلاسل الزمنية " ، رسالة ماجستير ، كلية الاقتصاد والعلوم الإدارية ، جامعة الأزهر-غزة .
2. البدراني ، ظافر رمضان مطر ، (2002) . " دراسة في تشخيص النظم التصادفية مع إشارة خاصة إلى أسلوب فضاء الحالة والإستقرارية " ، أطروحة دكتوراه ، كلية علوم الحاسبات والرياضيات ، جامعة الموصل .
3. البكري ، نورية عبد محمد ، (2000) . " بناء نماذج محاكاة متكاملة لإستخدامه كأداة مختبرة في تدريس مادة بناء النماذج في بحوث العمليات " ، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد .
4. الشخيلي ، ايفان علاء ناظم (2003) . " تصميم نظام رياضي ديناميكي لاختي باستخدام الشبكات العصبية (NARMAX) لأغراض تحليلية وتنبؤية لنشاط المبيعات في شركة كهرباء بغداد " ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الإدارة والاقتصاد ، جامعة بغداد .
5. حسين ، جاسم ناصر وجواد ، علي محمد (2018) . " المقارنة بين عدة طرائق لاختيار افضل انموذج انحدار لوجستي مع التطبيق العملي على مرضى القلب " ، بحث مستل من رسالة ماجستير في الاحصاء ، جامعة كربلاء - كلية الادارة والاقتصاد - قسم الاحصاء ، مجلة جامعة كربلاء العلمية ، المجلد (16) ، العدد (2) .
6. حشمان ، مولود، (1998) . " نماذج وتقنيات التنبؤ القصير المدى " ، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر.
7. فاندل، والتر ، (1992). " السلاسل الزمنية من الوجة التطبيقية ونماذج بوكع جنكنز "، تعريب عبد المرضي حامد عزام ، دار المريخ للنشر، الرياض، المملكة العربية السعودية .
8. فتحي ، ايمان طارق ، (2012) . " استخدام طرق معاير المعلومات وطرق تشخيص النموذج لاختيار أفضل نموذج انحدار خطي متعدد مع تطبيق على أطفال مرضى الثلاسيميا بالموصل " ، مجلة التربية والعلم - مجلد (25) ، العدد (2) .
9. مطر ، ظافر رمضان و حياوي ، هيام عبدالمجيد ، (2009) . " آلية مقترحة لتشخيص النظم الحركية الخطية التصادفية عند عدم تغيرها مع الزمن " ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، مجلد (25) ، العدد الاول .

10. Astrom, K.j., & Wittenmark, B. (1997). "Computer Controlled Systems Theory and Design " , 3rd ed. Prentice Hall Inc. London.
11. Box, G., Jenkins, G., Reinsel ,G. and Ljung G., (2016)," Time Series Analysis Forecasting and control", John wiley & Sons , Inc . Hoboken, New Jersey.
12. Box,G.E.P., & Jenkinse,G.M.,(1976):"Time Series Analysis Fore-casting and Control ",Holden Day Inc. 500 Sansome Street San Francisco California U.S.A.
13. Chiras, N., (2002). " Linear and Nonlinear Modeling of Gas Turbine Engines " , Ph.D.Thesis University of Glamorgan Limassol Gyprus .
14. Ljung, L., (1999). " System Identification Theory for user ", 2nd ed. Prentice Hall Upper Saddle River N.J. London UK .
15. Ljung, L., (2004) . " System Identification Toolbox for use with MATLAB " , 6.0 Math works Inc .
16. Mahmoud, Magdi & Xia, Yuanqing , (2012) . " Applied Control Systems Design " , Springer-Verlag London Limited .
17. Nelles, O.,(2001)." Nonlinear System Identification from Classical Approach to Neural Network and Fuzzy Models " , Springer Verlag Belin Heidelberg Germany .
18. Tong, Howell, (1996). "Non-Linear Time Series a Dynamical System Approach" , Oxford University Press Inc.New York, USA .