

التنبؤ بسرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس باستخدام منهجية بوكس - جنكنز

د. آمال حيدر*

(تاريخ الإيداع 11 / 3 / 2018. قُبِلَ للنشر في 6 / 6 / 2018)

□ ملخص □

تؤثر سرعة الرياح واتجاهها بشكل كبير على الملاحة البحرية وحركة السفن التجارية في المرافئ، كما تؤثر على سرعة انتقال الملوثات في الهواء من المدن الصناعية إلى المناطق الزراعية والسكنية. تأتي أهمية البحث من إمكانية التنبؤ بسرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس، ولتحقيق هذا الهدف فقد استخدمت بيانات السلسلة الزمنية لمعدل سرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس للفترة بين عامي 1998-2003، وقد استخدمت في الدراسة منهجية بوكس - جنكنز التي تعتمد على إيجاد التنبؤات المستقبلية لسلسلة البيانات الأصلية. كما تم استخدام البرامج Minitab و Excel للحصول على نتائج الدراسة. توصلت الدراسة إلى أن سرعة الرياح في محطة طرطوس متناقصة وقد بلغ هذا التناقص 0.002 كم/سا في الشهر خلال فترة الرصد، كما توصلت إلى بناء نموذج (SARIMA) المناسب للسلسلة بعد أن اجتاز مختلف الاختبارات الإحصائية المطلوبة، وكان النموذج $SARIMA(1,0,0)(1,1,1)_{12}$ هو النموذج المناسب لتمثيل البيانات والنموذج $SARIMA(1,0,1)(1,1,0)_{12}$ هو النموذج المناسب للتنبؤ بسرعة الرياح الشهرية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: سرعة الرياح، محطة طرطوس، منهجية بوكس - جنكنز، نموذج (SARIMA).

*مدرس - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Forecasting Monthly Wind Velocity in Tartous station using Box-Jenkins Methodology

Dr. Amaal Haidar¹

(Received 11 / 3 / 2018. Accepted 6 / 6 / 2018)

□ ABSTRACT □

The velocity and direction of the wind greatly affect marine navigation and the movement of merchant ships in harbors, It also affects the rapid movement of pollutants into the air from industrial cities to agricultural and residential areas.

The importance of the research comes from forecasting monthly wind velocity in the Tartous station and to achieve this goal the data of time series for the monthly wind velocity at Tartous station in Tartous governorate The methodology of "Box – Jenkins" been used in the study, this methodology relies on finding future forecasts from original data series.

Also, the applications “MINITAB, EXCEL” have been used to obtain the results of the study.

As a result, the study found that wind velocity value in the ' Tartous station' decreasing, this decline amounted to 0.002 km/h per month during the monitoring period.

Also, the appropriate (SARIMA) model for the series was build after it passed the various statistical tests are required, and founded that SARIMA(1,0,0)(1,1,1)₁₂ model is a good representation of the data and the SARIMA(1,0,1)(1,1,0)₁₂ model is the right model to forecast future monthly wind.

Keywords: Wind Velocity, Tartous station, Box – Jenkins Methodology, (SARIMA) Model.

¹Assistant Professor, Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

غالباً ما نواجه في الحياة العملية معطيات إحصائية تتغير بمرور الزمن، لذلك لا بدّ لنا من دراسة هذه التغيرات ومعرفة أسبابها ونتائجها. ويعزى الاهتمام الكبير بموضوع المتسلسلات الزمنية إلى الحاجة الماسّة لنظام تنبؤ موثوق به بحيث يمكن الاعتماد عليه في تفسير كثير من الظواهر في مختلف مجالات الحياة، وهذا النظام التنبؤي يتطلب بناء نماذج دقيقة تسمى بنماذج المتسلسلات الزمنية [1].

يُعرف تحليل السلسلة الزمنية كفرع من الإحصاء الذي يتعامل عادةً مع الارتباطات الهيكلية بين البيانات المشاهدة للظاهرة العشوائية و البارامترات ذات الصلة. إن الهدف الأساسي لنمذجة السلسلة الزمنية هو دراسة التقنيات والإجراءات لرسم الاستنتاجات من البيانات السابقة، وهي تمثل حقيقة أن نقاط البيانات المأخوذة عبر الزمن تملك بنية أساسية (مثل الارتباط الذاتي، الاتجاه، أو التغيرات الموسمية) و هذه البنية ستستمر مع مرور الزمن. يتألف هذا النهج من إنشاء النماذج الرياضية لتمثل مجموعة البيانات، ثم يمكن استخدام النماذج لوصف وتحليل عينة البيانات وإنشاء التنبؤات للمستقبل [2].

سنبحث في هذه الدراسة مسألة بناء نموذج تنبؤ إحصائي بسرعة الرياح الشهرية لمحطة طرطوس الواقعة في محافظة طرطوس في الساحل السوري. يوجد العديد من الأساليب الممكنة لوصف السلاسل الزمنية وتحليلها ويعد أسلوب بوكس - جنكز من أفضل الطرائق التي تعطي نتائج جيدة حيث يزودنا بمنهجية نمذجة إحصائية شاملة ويغطي تنوعاً واسعاً من الأنماط تمتد من الاستقرار إلى عدم الاستقرار والموسمية للسلاسل الزمنية. ويهدف إلى تقديم أسلوب إحصائي يعمل على توظيف نتائج معايير التنبؤ MAPE (Mean Absolute Error)، MAE (Mean Absolute Error)، RMSE (Root Mean Squared Error) كوسط موزون لكل نموذج من نماذج ARIMA التي يتم ترشيحها ومن ثم اختيار النموذج الذي يمتلك أقل وسط موزون بوصفه يقدم أفضل أداء للتنبؤ [2].

قدّم (عدنان ماجد برّي، 2002) من جامعة الملك سعود طرق التنبؤ الإحصائي (الجزء الأول) حيث شرح طرق التنبؤ باستخدام أسلوب بوكس - جنكز وبناء نماذج ARIMA المناسبة للسلسلة الزمنية، والتي كانت أول معالجة رياضية جادة ومحكمة للتنبؤ الإحصائي للسلسلة الزمنية [3].

قام العالمان (Rajesh G. Kavasseri and Krithika Seetharaman، 2009) بدراسة التنبؤ بسرعة الرياح قبل يوم أو يومين من حدوثها باستخدام نماذج f-ARIMA، حيث تم جمع سجلات سرعة الرياح من أربع مواقع محتملة لتوليد الرياح في داكوتا الشمالية، واستخدمت السرعات المتوقعة بالافتراض مع منحني القدرة للتوربينات التشغيلية للحصول على التنبؤات المقابلة لإنتاج طاقة الرياح. وقد تم تحليل أخطاء التنبؤ في سرعة الرياح ومقارنتها مع نموذج الاستمرار، كما تم الحصول على تحسينات كبيرة في دقة التنبؤ للنماذج المقترحة مقارنةً بطريقة الثبات [4].

وضع العالم (Han Wang، 2017) وآخرون) طريقة متعددة الخطوات للتنبؤ بسرعة الرياح استناداً إلى تنبؤ الطقس العددي والبيانات التاريخية المُقاسة، حيث اعتمدوا على نماذج ARIMA الموسمية لمجموعة بيانات الرطوبة الشهرية التي تم جمعها من أربع محطات ما بين كانون الثاني لعام 2001 وحتى تشرين الأول لعام 2017، وتم التنبؤ بالرطوبة الشهرية للعامين المقبلين للمساعدة في قرارات إدارة الطلب على المياه [5].

اقترح (عبيد محمود محسن الزويبي، 2007) في المؤتمر الإحصائي العربي الأول المنعقد في عمان-الأردن طريقة لتشخيص نماذج السلاسل الزمنية، حيث قدم شرحاً مفصلاً عن تحليل السلاسل الزمنية وتشخيصها، وأورد تطبيقاً عملياً على ذلك [6].

شرح العالم (Michael Falk، 2006 وآخرون) الفصل الأول في تحليل السلاسل الزمنية موضعاً نماذج ARIMA المختلفة، كما بين مركبات السلسلة الزمنية الأربعة: الاتجاه العام، والدورية، والموسمية، والعشوائية [7].

أهمية البحث وأهدافه

تمثل سرعة الرياح التغير في نسبة سرعة غازات الغلاف الجوي، وتؤثر بشكل كبير على التنبؤ الجوي وحركة الملاحه البحرية والجوية. إضافة إلى مشاريع البناء ومعدل التمثيل الضوئي للنباتات وآثار أخرى لا تعد ولا تحصى. من هنا أتت أهمية البحث في ضرورة التعرف على سرعة الرياح، والبحث عن الطرائق التي تعطينا توقعاً مستقبلياً لها في مناطق الرياح والمنشآت الاقتصادية الهامة وخاصةً في حوض الساحل من أجل أخذ الاحتياطات اللازمة، ووضع الاستراتيجيات المناسبة للمعالجة. وقد تم اختيار محطة طرطوس في محافظة طرطوس كحالة دراسة حيث تتوضع على ارتفاع متوسط عن سطح البحر يبلغ 8 أمتار، وبمعدل سرعة رياح يساوي 2.4 كم/سا في الشهر خلال فترة الرصد .

يهدف البحث إلى إيجاد نموذجي التمثيل و التنبؤ الملائمين لسلسلة سرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس، ووضع الحلول المناسبة لتجنب الآثار السلبية للنتائج المحتملة، والاستفادة الممكنة من طاقة الرياح.

طرائق البحث ومواده

1- تعاريف ومبادئ أولية

- السلسلة الزمنية Time Series: هي متتابعة من القيم المشاهدة لظاهرة عشوائية مرتبة مع الزمن (أو مرتبة مع المكان). والغرض من دراسة السلاسل الزمنية هو :
 - أ - فهم ونمذجة عشوائية الظاهرة المشاهدة.
 - ب- التنبؤ بالقيم المستقبلية للظاهرة العشوائية.
 - ج- التحكم بالظاهرة العشوائية إذا أمكن ذلك.
- متسلسلة الضجّة البيضاء White Noise Series: هي متتابعة من المشاهدات العشوائية غير المترابطة والتي تكون مستقلة ولها توزيعات متطابقة بمتوسط صفري وتباين ثابت.
- دالة الترابط الذاتي Autocorrelation Function (ACF): هي مقدار الترابط بين مشاهدتين من السلسلة مع أخذ تأثير المتغيرات بينهما بعين الاعتبار، وهي من الأساليب الهامة في معرفة استقرار السلسلة في المتوسط والتباين.
- دالة الترابط الذاتي الجزئي Partial Autocorrelation Function(PACF): هي مقدار الترابط بين مشاهدتين من السلسلة بعد إزالة تأثير الترابط الناتج من المتغيرات الواقعة بينهما.
- نموذج Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average(SARIMA): وهو مكون من (AR) الانحدار الذاتي و (MA) المتوسط المتحرك و (I) التكامل و (S) الموسمية [3].

- معايير أداء التنبؤ هي : جذر الخطأ المتوسط التربيع (RMSE) ، متوسط الخطأ المطلق المئوي (MAPE) ، و متوسط الخطأ المطلق MAE أو (MAD) .
وتعطى بالعلاقات التالية:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m [x_t - \hat{x}_t]^2} \quad \dots(1)$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m \frac{|x_t - \hat{x}_t|}{x_t} \right] \times 100\% \quad \dots(2)$$

$$MAE = \left[\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m |x_t - \hat{x}_t| \right] \quad \dots(3)$$

حيث x_t هي المشاهدة الحقيقية في الزمن t ، \hat{x}_t هي قيمة التنبؤ ل x_t على أساس النموذج أو الطريقة المعينة ، و m هي العدد الإجمالي للملاحظات [2].

- المتوسط الموزون Weighted Mean : ويعطى وفق العلاقات التالية :

$$\dots(4) \quad \text{المتوسط الموزون} = (RMSE + 4 MAPE + MAE) / 6$$

$$\dots(5) \quad = (4RMSE + MAPE + MAE) / 6$$

$$\dots(6) \quad = (RMSE + MAPE + 4MAE) / 6$$

2- تحليل السلسلة الزمنية Analysis of Time Series

يتكون تحليل السلاسل الزمنية من مراحل متسلسلة تبدأ بمرحلة التشخيص للنموذج والتي تعد المرحلة الأهم. وتليها مرحلة تقدير المعلمات للنموذج، ومن ثم مرحلة فحص مدى الملائمة للنموذج. وتأتي المرحلة الأخيرة وهي مرحلة التكهّن أو التنبؤ، كما هو موضح في الشكل (1).

تكون السلسلة الزمنية $\{y_t\}$ على نوعين متصلّة continuous ومنفصلة discrete بحسب ما تأخذه قيم الزمن t . ويمكن أن تكون مستقرة stationary إذا كانت الخصائص الاحتمالية لا تتأثر بالزمن أو العكس غير مستقرة non-stationary، ويعتبر نموذج السلسلة الزمنية Time Series Model الدالة التي تربط قيم السلسلة الزمنية بالقيم السابقة لها وأخطائها.

إن إحدى طرق تحليل السلاسل الزمنية تتم من خلال تمثيلها بنموذج خطي عام هو النموذج المختلط Mixed Model، حيث إن الكثير من السلاسل الزمنية لا يمكن تمثيلها- بنموذج انحدار ذاتي Autoregressive (AR) Model فقط، أو نموذج وسط متحرك Moving Average Model (MA) فقط، لأنه غالباً ما يكون للسلسلة خواص كلا النموذجين وبذلك تمثل بالنموذج المختلط (انحدار ذاتي - وسط متحرك) Autoregressive (ARMA) Moving Average Mode; ويكتب اختصاراً ARMA (q,p) حيث P تمثل رتبة الانحدار الذاتي، q تمثل رتبة الوسط المتحرك.

وللسلسلة y_t المستقرة تكون صيغة ARMA (q,p):

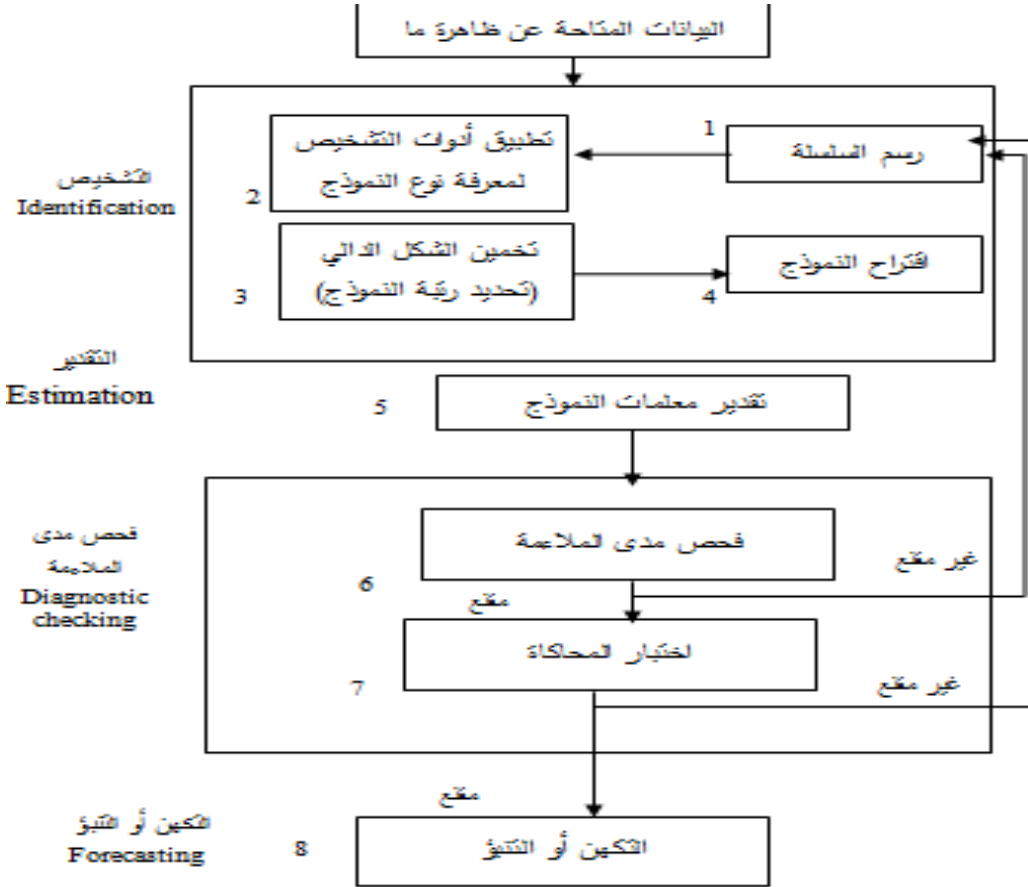
$$\phi(B)y_t = \theta(B)a_t \quad \dots(4)$$

$$\phi(B)_t = 1 - \phi_1 B - 1 - \phi_2 B^2 - \dots - 1 - \phi_p B^p \quad \dots(5)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - 1 - \theta_2 B^2 - \dots - 1 - \theta_q B^q \quad \dots(6)$$

$$B^j a_t = a_{t-j} \quad \dots(7)$$

{ a_t } سلسلة الأخطاء العشوائية المستقلة وتسمى الضجة البيضاء white noise والنماذج (P) AR، (q) MA يمكن اعتبارها حالات خاصة من النموذج ARMA (q,P) [6].



الشكل (1) خطوات تحليل السلسلة الزمنية

3- نماذج بوكس-جنكنز:

هناك نوعان من هذه النماذج:

- النماذج اللاموسمية ARIMA : تستخدم لتمثيل نوعين من السلاسل: الساكنة وغير الساكنة ومن هذه النماذج [3]:

- نموذج الانحدار الذاتي: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + Z_t \quad \dots(8)$$

حيث أن معالم النموذج و Z_t متغيرات عشوائية غير مرتبطة مع بعضها (white noise) بوسط حسابي صفر وتباين σ_Z^2 أي أن:

$$E(Z_t) = 0$$

$$E(Z_t Z_{t+k}) = \begin{cases} 0 & k \neq 0 \\ \sigma_Z^2 & k = 0 \end{cases}$$

ويرمز لهذا النموذج بـ $AR(p)$ حيث p تمثل درجة النموذج.

- نموذج المتوسطات المتحركة: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_q Z_{t-q} \quad \dots\dots\dots(9)$$

ويرمز لهذا النموذج بـ $MA(q)$ حيث q تمثل درجة النموذج.

- نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة: وتكتب معادلته بالشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_q Z_{t-q} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ويرمز لهذا النموذج بـ $ARMA(p, q)$ حيث p, q تمثلان درجته.

وعندما تكون السلسلة غير ساكنة، فإنه يمكن بأخذ الفروق المناسبة، تحويلها إلى سلسلة ساكنة، ويؤخذ الفرق الأول وفقاً للمعادلة الآتية:

$$W_t = X_t - X_{t-1} \quad \dots\dots\dots(11)$$

ثم تمثل بنفس النماذج السابقة ولكن تضاف فقط كلمة *integrated* إلى اسم النموذج للدلالة على أن هذا النموذج استخدم لتمثيل سلسلة زمنية غير ساكنة.

• **النماذج الموسمية SARIMA** : تستخدم لتمثيل السلاسل الزمنية الموسمية ومن هذه النماذج [3]:

- نموذج الانحدار الذاتي الموسمي: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_S X_{t-S} + \theta_{2S} X_{t-2S} + \dots + \theta_{PS} X_{t-PS} + Z_t \quad \dots\dots\dots(12)$$

ويرمز لهذا النموذج بـ $SAR(P)$ حيث P تمثل درجة النموذج.

- نموذج المتوسطات المتحركة الموسمي: وتكتب معادلته كما يأتي:

$$X_t = \mu + Z_t - \phi_S Z_{t-S} - \phi_{2S} Z_{t-2S} - \dots - \phi_{QS} Z_{t-QS} \quad \dots\dots\dots(13)$$

ويرمز لهذا النموذج بـ $SMA(Q)$ حيث Q تمثل درجة النموذج.

- نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة الموسمي: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_S X_{t-S} + \theta_{2S} X_{t-2S} + \dots + \theta_{PS} X_{t-PS} + Z_t - \phi_S Z_{t-S} - \phi_{2S} Z_{t-2S} - \dots - \phi_{QS} Z_{t-QS} \quad \dots\dots\dots(14)$$

ويرمز لهذا النموذج بـ $SARMA(P, Q)$ حيث P, Q تمثلان درجته.

وعندما تكون السلاسل الزمنية غير ساكنة، فإنه يمكن تحويلها إلى سلاسل ساكنة، بأخذ الفرق الموسمي وفق المعادلة الآتية:

$$W_t = X_t - X_{t-S} \quad \dots\dots\dots(15)$$

ثم تمثل بنفس النماذج السابقة ولكن تضاف فقط كلمة *integrated* إلى اسم النموذج للدلالة على أن هذا النموذج استخدم لتمثيل سلسلة زمنية غير ساكنة.

النموذج الموسمي المضاعف: هو خليط من النماذج اللا موسمية والموسمية ويكتب بالشكل الآتي:

$$\theta_p(B) \theta_p(B^S) \nabla^d \nabla^D X_t = \phi_q(B) \phi_q(B^S) Z_t \quad \dots\dots\dots(16)$$

حيث إن: p درجة الانحدار الذاتي الاعتيادي، P درجة الانحدار الذاتي الموسمي

q درجة المتوسط المتحرك الاعتيادي، Q درجة المتوسط المتحرك الموسمي

d درجة الفروق الاعتيادية، D درجة الفروق الموسمية

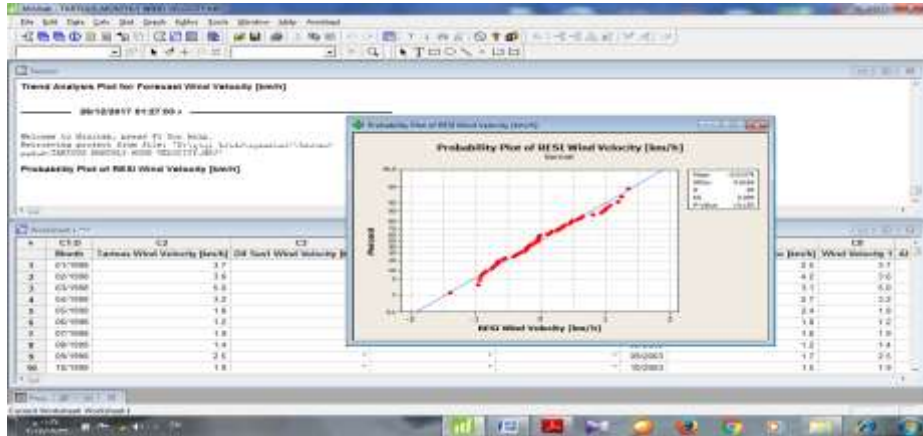
S طول فترة الموسم

ويرمز للنموذج أعلاه بـ $ARIMA(p, q, d) \times (P, Q, D)_S$ [3].

البرمجيات المستخدمة

* برنامج **Minitab** : يُعتبر البرنامج أحد البرامج الإحصائية الرائدة والمتميزة في إطار مجال دراسة علوم الإحصاء وتقنيات صنع القرار والتخطيط والتحليل الإحصائي، وقد أصبح هذا البرنامج واسع الانتشار على مستوى عالم الأعمال، حيث يُقدم البرنامج الأدوات الإحصائية الدقيقة والسهلة لكثير من المجالات الإحصائية المتعددة، ومنها مجال ضبط الجودة. ومن مزايا البرنامج الرئيسية التحكم بالإجراءات الإحصائية، وتحليل نظم القياس، وتصميم التجارب، وتحليل الوثوقية وقابلية الاستمرار، وحجم وقوة العينة، والتحليل متعدد المتغيرات، والمتسلسلات الزمنية والتنبؤ، والإحصائيات التي ليس لها معاملات أو الاختبارات اللابارامترية. يمثل الشكل (2) إحدى واجهات البرنامج.

* برنامج **Excel** : يقوم البرنامج بترتيب البيانات، وإعادة تنسيقها وإجراء التحليل الخاص عليها، كما يقوم بعمل المخططات والرسوم البيانية، للعثور على أفضل وصف تفصيلي للبيانات، إضافة إلى تسهيل عملية تمييز الاتجاهات والأنماط، ويسمح بتصميم القوالب بشكل سريع، كما يسمح بإيجاد حلول المسائل الرياضية العديدة بسرعة كبيرة تعتبر هائلة بالمقارنة مع الزمن الذي يستغرقه الحل اليدوي.



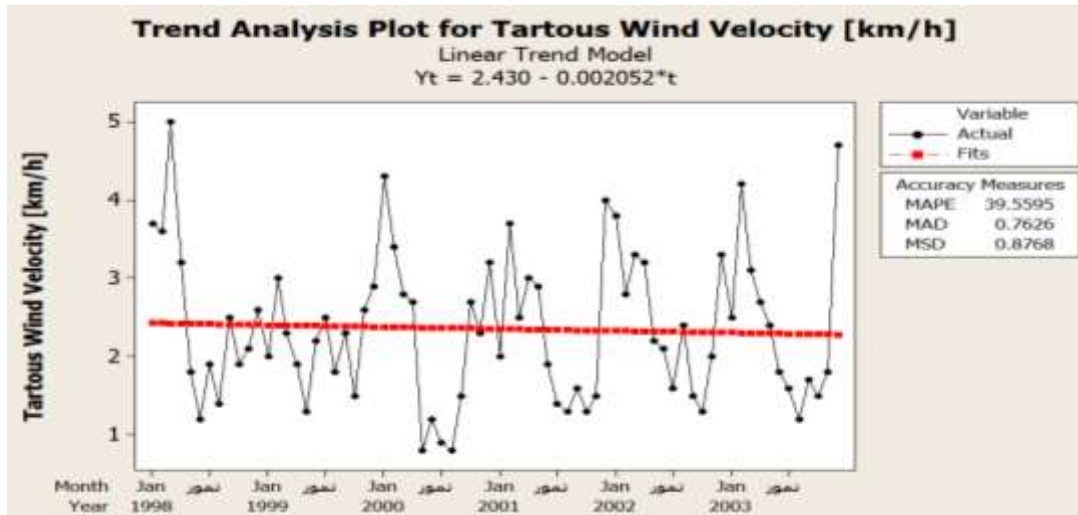
الشكل (2) واجهة لمخرجات برنامج Minitab

النتائج والمناقشة

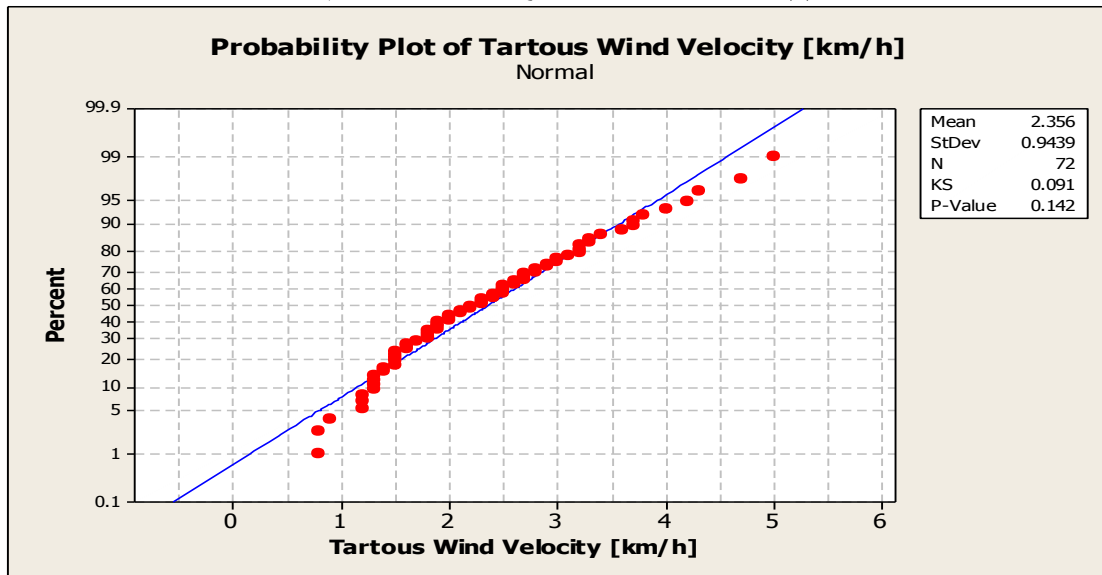
أولاً - بناء نموذج التمثيل Model Fitting

تم إدخال بيانات السلسلة الزمنية لسرعة الرياح الشهرية المسجلة في محطة طرطوس من العام 1998 وحتى العام 2003 باستخدام برنامج Minitab، حيث تم استخدام هذه البيانات لبناء نموذج التمثيل.

يوضح الشكل (3) السلسلة الزمنية لسرعة الرياح الشهرية والاتجاه العام للسلسلة ومعادلته، حيث نلاحظ وجود اتجاه عام متناقص بشكل بسيط، واقترب الخط كثيراً من الخط المستقيم، فالسلسلة مستقرة في المتوسط، كما نقوم باختبار تثبيت التباين أي اختبار التوزيع الطبيعي من خلال طريقة (Kolmogorov-Smirnov) كما هو موضح في الشكل (4).

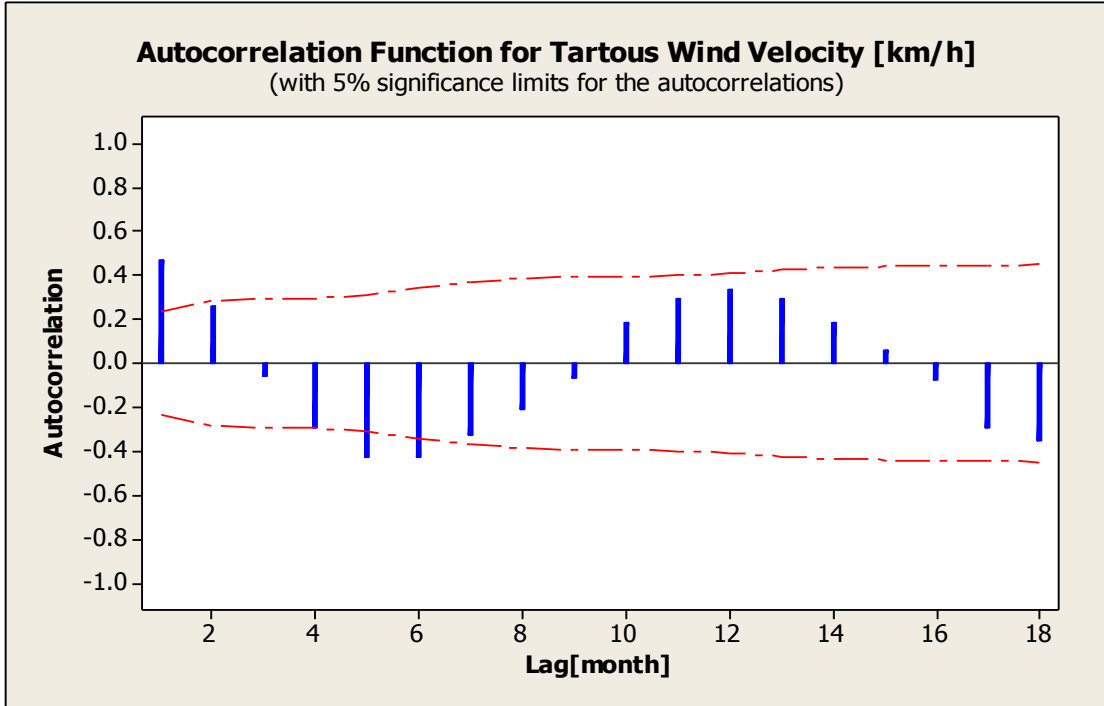


الشكل (3) السلسلة الزمنية لسرعة الرياح الشهرية والاتجاه العام ومعادلته

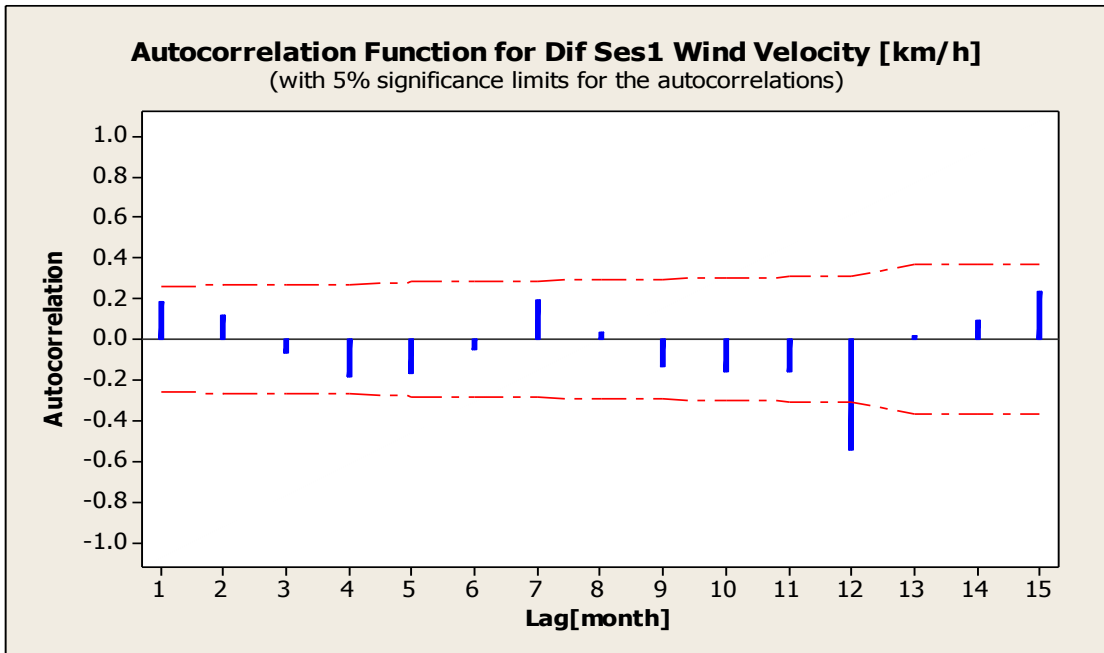


الشكل (4) اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة سرعة الرياح الشهرية

نلاحظ اقتراب معظم القيم من الخط المستقيم (الممثل للتوزيع الطبيعي) فالسلسلة مستقرة في التباين، ثم نوجد دالة الترابط الذاتي Autocorrelation Function (ACF) التي نوضحها في الشكل (5)، فيتبين لدينا وجود دورية و موسمية فيها من المرتبة (12) فهي سلسلة غير مستقرة موسمياً، لذلك نجري التفريق الأول للسلسلة من أجل إزالة الدورية والموسمية حسب المعادلة (17) $y_t = (1-B)z_t, \dots$ ونوضح دالة الترابط الذاتي الجديدة بعد التفريق الموسمي الأول في الشكل (6).



الشكل (5) دالة الترابط الذاتي لسلسلة سرعة الرياح الشهرية



الشكل (6) دالة الترابط الذاتي الجديدة لسلسلة سرعة الرياح الشهرية الجديدة

فنلاحظ زوال الدورية والموسمية منها وبالتالي أصبحت السلسلة مستقرة وجاهزة لبناء النموذج.

أ- بناء النموذج Building Model

تم اقتراح العديد من النماذج بناءً على التحويلات السابقة و إجراء الاختبارات المختلفة على البواقي وتوصلنا إلى عدد من النماذج المناسبة لذلك نلجأ إلى معيار أكاي AIC Automatic Information Criteria لتحديد النموذج المناسب ويعطى المعيار بالعلاقة: (18)..... $AIC(m) = n * \ln(\sigma^2) + 2 * m$ نوضح النتائج في الجدول (1).

الجدول (1) نتائج اختبار معيار أكاي.

<i>SARIMA Model</i>	σ^2	<i>m</i>	<i>AIC</i>
<i>SARIMA (1,0,0)(0,1,1)12</i>	0.4339	3	-54.116
<i>SARIMA (2,0,1)(1,1,1)12</i>	0.3921	6	-55.409
<i>SARIMA (1,0,1)(0,1,1)12</i>	0.4346	4	-51.999
<i>SARIMA (2,0,1)(1,0,1)12</i>	0.4231	6	-49.931
<i>SARIMA (1,0,1)(1,0,1)12</i>	0.4198	5	-52.494
<i>SARIMA (2,0,1)(0,1,1)12</i>	0.4434	5	-48.556
<i>SARIMA (0,0,1)(1,0,1)12</i>	0.4146	4	-55.392
<i>SARIMA (1,0,1)(1,1,0)12</i>	0.4463	4	-50.087
<i>SARIMA (1,1,1)(1,1,1)12</i>	0.4033	5	-55.381
<i>SARIMA (1,0,0)(1,1,1)12</i>	0.4012	4	-57.757

نختار النموذج الذي يحقق أقل قيمة لمعيار أكاي ونعتبره نموذجاً أولياً وبالتالي يكون النموذج الأفضل $SARIMA (1,0,0)(1,1,1)12$ وله الشكل:

$$(1 - \phi B) \cdot (1 - \Phi B) \cdot (1 - B^{12}) z_t = \delta + (1 - \Theta B) a_t \approx WN(0, \sigma^2) \quad \dots (19)$$

ويعد تطبيق النموذج كانت معالمه موضحة في الجدول (2).

الجدول (2) معالم النموذج المقترح $SARIMA (1,0,0)(1,1,1)12$.

ϕ	Φ	Θ	δ
0.2354	-0.6083	0.4157	0.0192

و بالتالي يكون النموذج:

$$(1 - 0.2354B) \cdot (1 + 0.6083B) \cdot (1 - B^{12}) z_t = 0.0192 + (1 - 0.4157B) a_t \approx WN(0, 0.4012) \quad \dots (20)$$

ب- اختبار (معايرة) النموذج Model Checking

نقوم الآن باختبار النموذج وفق التالي:

(1) اختبار متوسط البواقي: نبين النتائج في الجدول (3).

الجدول(3)المتوسط الصفري للبواقي.

<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>StDev</i>	<i>SEMean</i>	95% <i>CI</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
60	-0.0137	0.6169	0.0797	-0.1699 , 0.1424	-0.17	0.863

بما أن $P = 0.863 > 0.05$ فلا نرفض الفرضية الصفرية [3].

(2) اختبار عشوائية البواقي: نبين النتائج في الجدول (4).

الجدول(4)نتائج اختبار عشوائية البواقي.

32	العدد الملاحظ للتعاقبات
30	عدد التعاقبات المتوقع
24	عدد المشاهدات الأكبر من المتوسط
36	عدد المشاهدات الأصغر من المتوسط
0.550	قيمة <i>P</i>

بما أن $P = 0.550 > 0.05$ فالبواقي عشوائية [3].

(3) استقلال البواقي: من خلال فحص دالتي الترابط الذاتي والترابط الذاتي

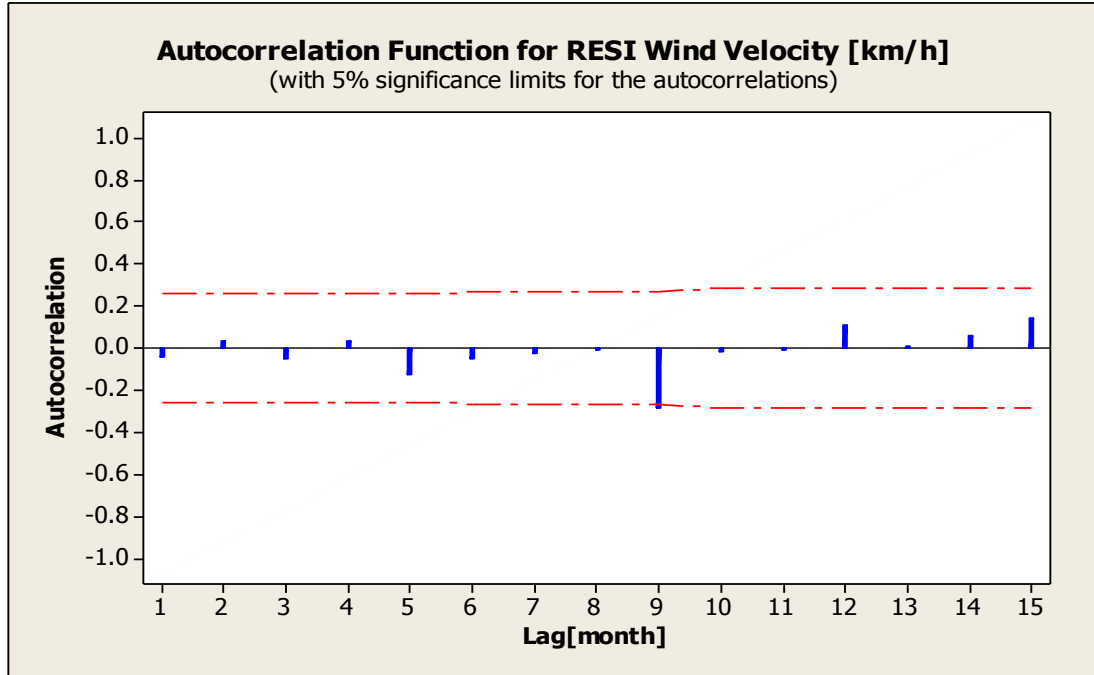
الجزئي للبواقي في الشكلين (7) و(8) نلاحظ أن معظم المعاملات تقع ضمن حدود الثقة ومعظم قيمها تقارب الصفر وهذا يعني أن السلسلة مستقرة ولا يوجد ترابط بين عناصرها أي أنها تتبع أنماط متسلسلة الضجة البيضاء [3].

(4) اختبار طبيعة البواقي ويشمل ثلاث مراحل:

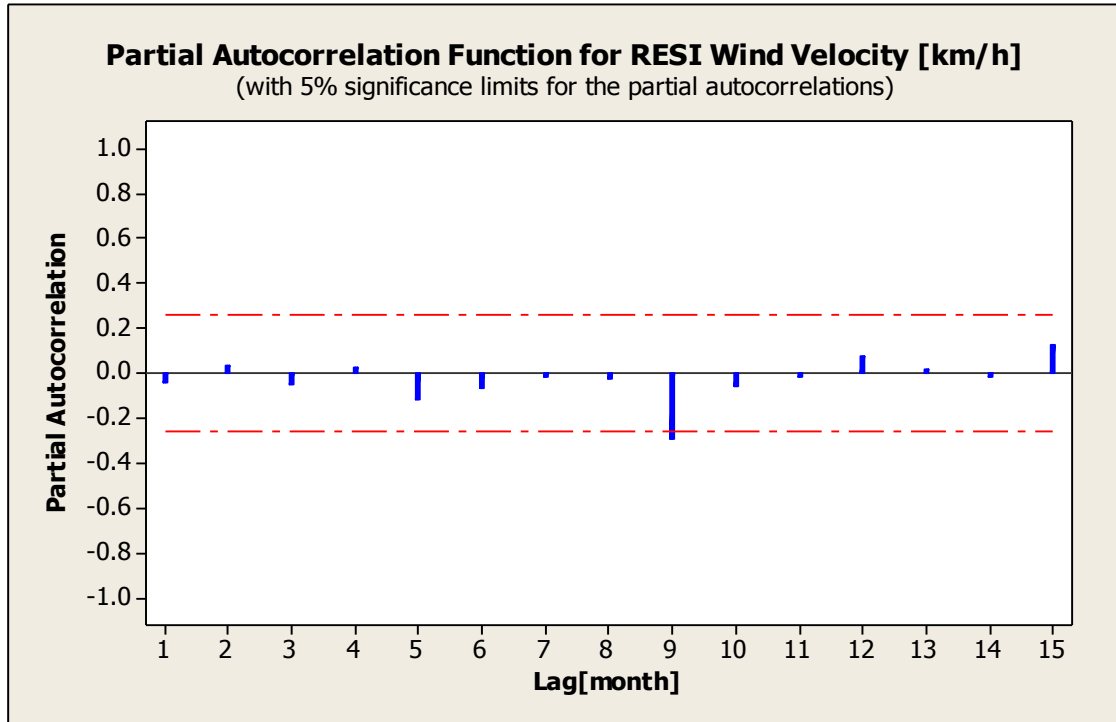
(أ) نرسم المضلع التكراري للبواقي في الشكل (9) ونلاحظ أنه متناظر وله شكل التوزيع الطبيعي تقريباً.

(ب) للتأكد من التوزيع الطبيعي للبواقي نرسم الاحتمال الطبيعي في الشكل (10).

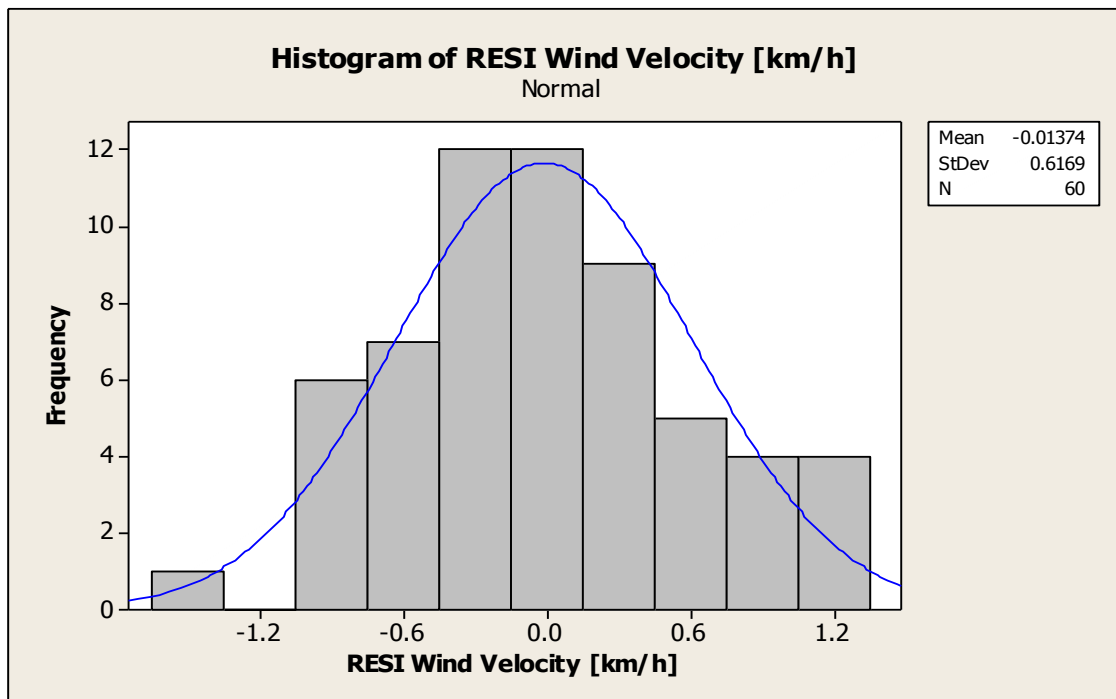
ف نجد أن البواقي طبيعية وللتأكد نجري المرحلة الثالثة.



الشكل (7) دالة الترابط الذاتي لبواقي النموذج

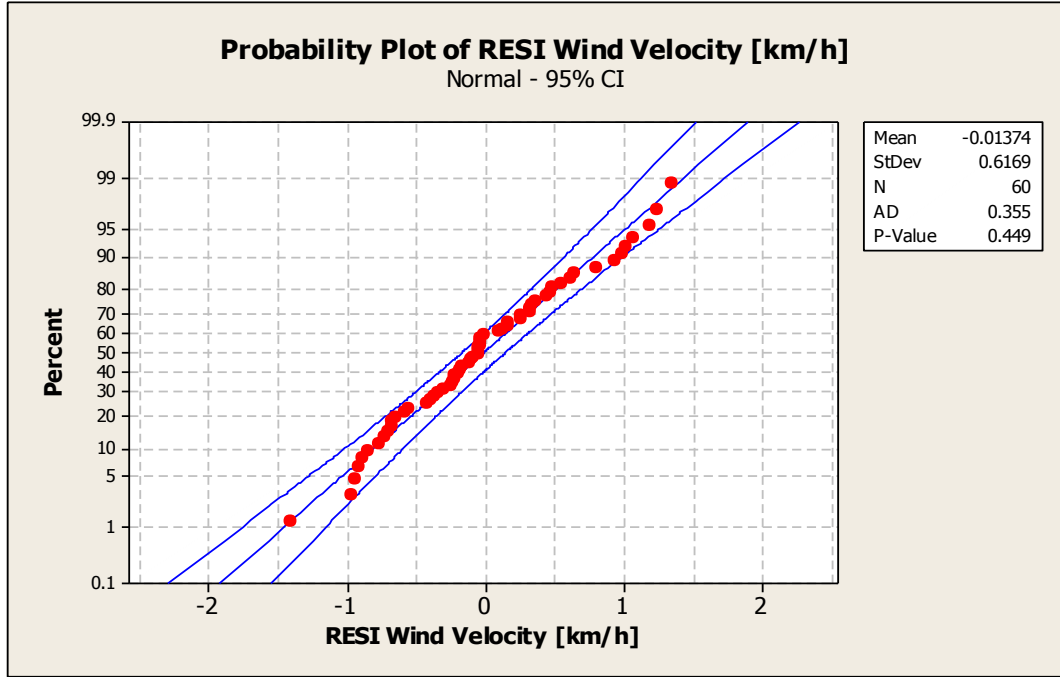


الشكل (8) دالة الترابط الذاتي الجزئي لبواقي النموذج

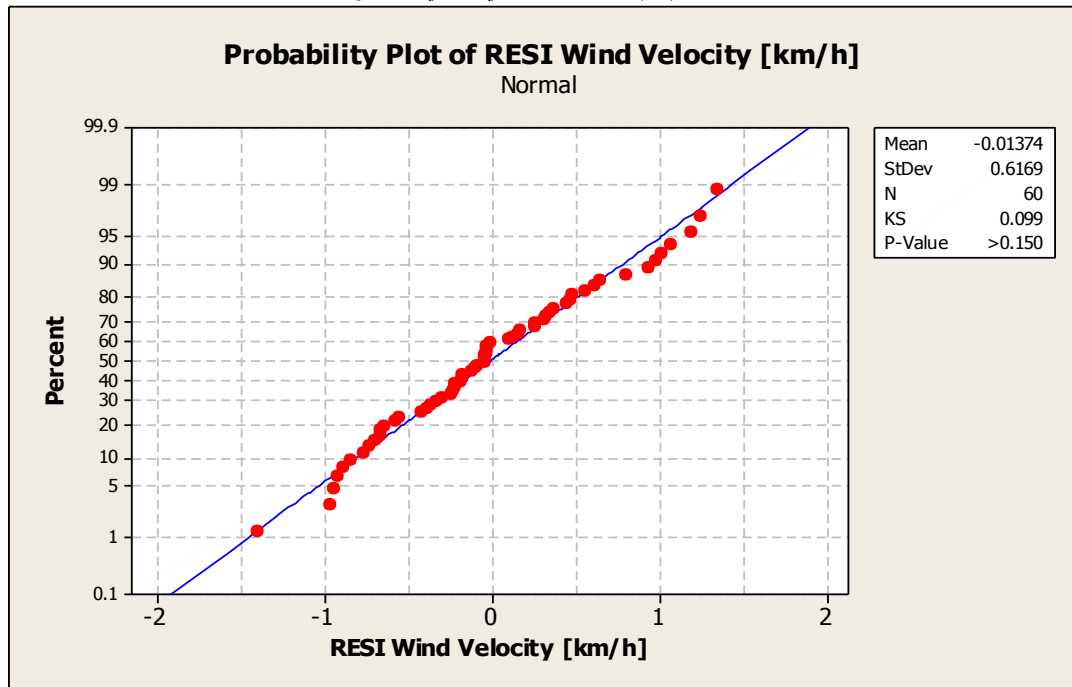


الشكل (9) المضلع التكراري لبواقي النموذج

(ت) اختبار $K-S$ لطبيعة البواقي ونوضحه في الشكل (11).
بما أن قيمة $P > 0.05$ فلا نرفض الفرضية الصفرية والبواقي موزعة طبيعياً [3].



الشكل (10) الاحتمال الطبيعي لبواقي النموذج



الشكل (11) اختبار $K-S$ لبواقي النموذج

بعد نجاح الاختبارات أصبح النموذج ملائماً للسلسلة وبالتالي يكون النموذج النهائي للتمثيل والممثل لبيانات سلسلة سرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس:

$$(1 - 0.2354B) \cdot (1 + 0.6083B) \cdot (1 - B^{12})z_t = 0.0192 + (1 - 0.4157B)a_t \approx WN(0, 0.4012) \quad \dots(20)$$

ثانياً - بناء نموذج التنبؤ Model Forecasting

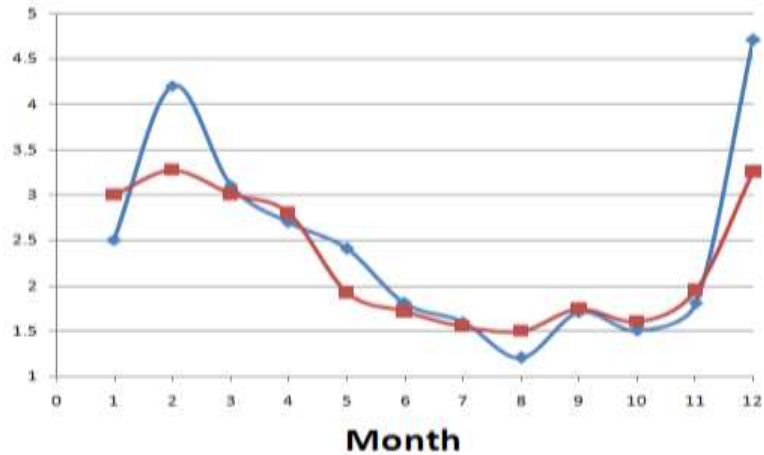
تم استخدام بيانات السلسلة الزمنية من العام 1998 وحتى العام 2002 لبناء نموذج التنبؤ، وأشهر العام 2003 للتحقق من جودة تمثيل البيانات.

تم اقتراح العديد من النماذج ومقارنة القيم المتنبأ بها مع مجموعة الاختبار وتوصلنا إلى النماذج المناسبة التالية حسب الأشكال (12)، (13)، (14).

مقارنة سرعة الرياح الشهرية
في محطة طرطوس
النموذج (1,0,0)(0,1,1)

Wind Velocity
[km/h]

Real(km/h)
Forecast(km/h)

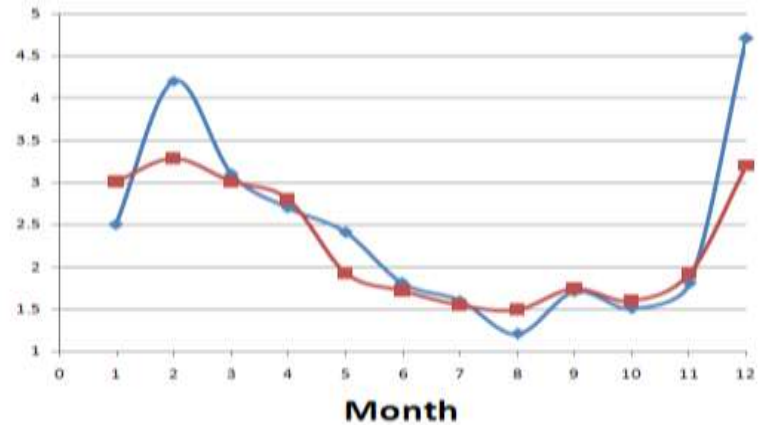


الشكل (12) نموذج SARIMA(1,0,0)(0,1,1)

مقارنة سرعة الرياح الشهرية
في محطة طرطوس
النموذج (1,0,1)(0,1,1)

Wind Velocity
[km/h]

Real(km/h)
Forecast(km/h)

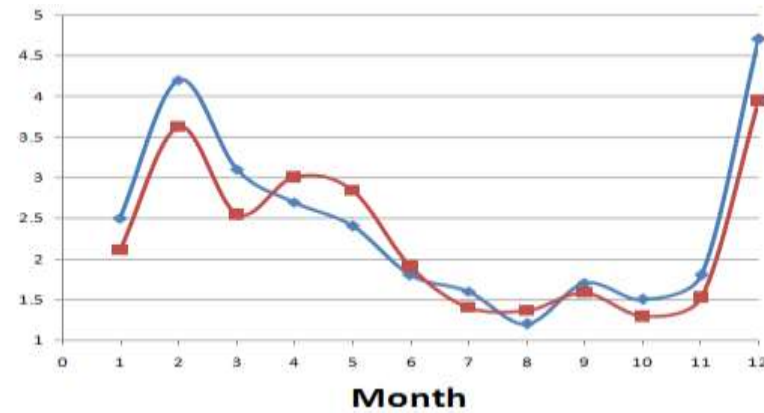


الشكل (13) نموذج SARIMA(1,0,1)(0,1,1)

مقارنة سرعة الرياح الشهرية
في محطة طرطوس
النموذج (1,0,1)(1,1,0)

Wind Velocity
[km/h]

Real(km/h)
Forecast(km/h)



الشكل (14) نموذج SARIMA(1,0,1)(1,1,0)

تم حساب معايير أداء التنبؤ للنماذج الثلاثة المقترحة وبيّننا النتائج في الجدول (5).

الجدول (5) معايير أداء التنبؤ للنماذج الثلاث المقترحة.

Model	RMSE	MAPE	MAE
SARIMA(1,0,0)(0,1,1) ₁₂	0.653	26.916	0.5
SARIMA(1,0,1)(0,1,1) ₁₂	0.654	26.823	0.5
SARIMA(1,0,1)(1,1,0) ₁₂	0.699	26.350	0.5

ثم قمنا بحساب المتوسط الموزون لكل من النماذج والنتائج موضحة في الجدول (6).

الجدول (6) المتوسط الموزون لكل من النماذج المقترحة.

Model	W.M (1)	W.M (2)	W.M (3)
SARIMA(1,0,0)(0,1,1) ₁₂	5	5	18.1
SARIMA(1,0,1)(0,1,1) ₁₂	5	4.9	18.1
SARIMA(1,0,1)(1,1,0) ₁₂	4.9	4.9	17.8

اعتمدنا النموذج SARIMA (1,0,1)(1,1,0)₁₂ الذي يحقق أقل قيمة للمتوسط الموزون والذي يعطي النموذج الأمثل للتنبؤ بالقيم المستقبلية لسلسلة سرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس. نبين في الجدول (7) مقارنة بين القيم الحقيقية لسلسلة سرعة الرياح الشهرية والقيم المتنبأ بها والنسبة المئوية للفرق الحاصل الذي لم يتجاوز نسبة 20% [3].

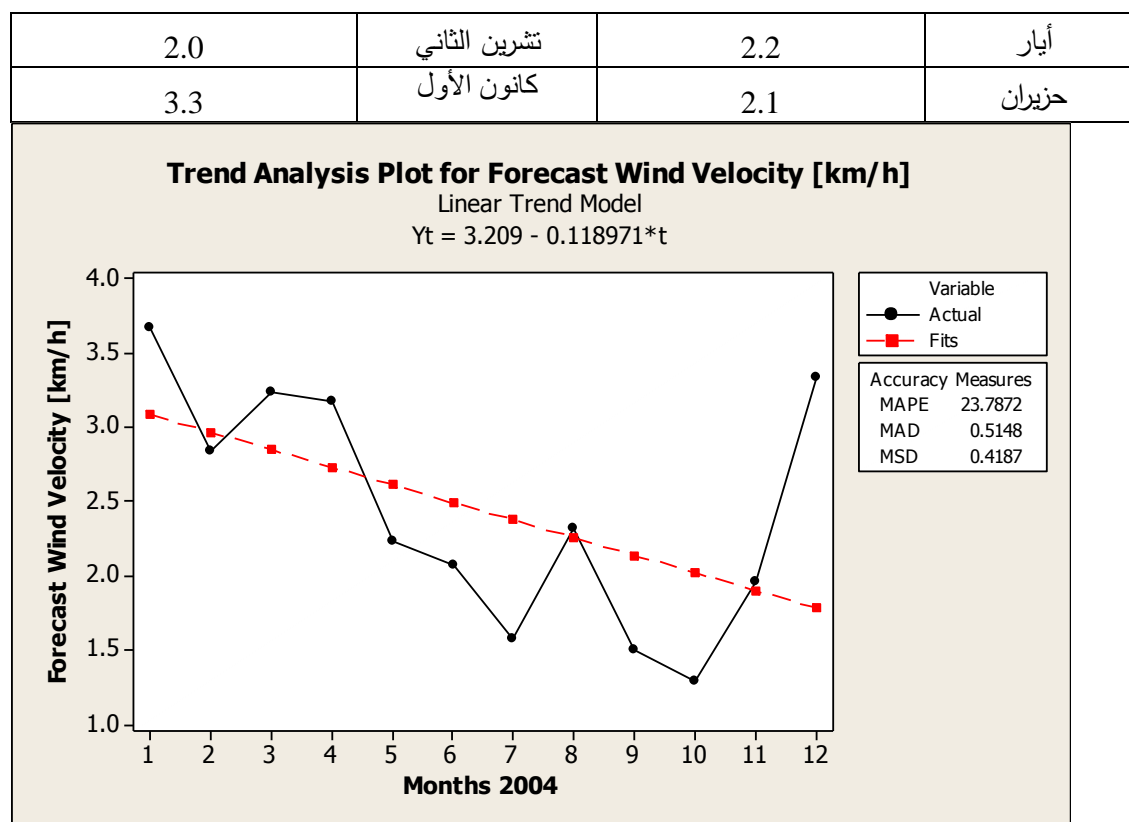
الجدول (7) مقارنة بين القيم الحقيقية لسلسلة سرعة الرياح الشهرية والقيم المتنبأ بها.

الشهر والسنة	القيمة الحقيقية (km/h)	القيمة المتنبأ بها (km/h)	الفرق (km/h)	النسبة المئوية للفرق
2003/01	2.5	2.1	0.4	15.60
2003/02	4.2	3.6	0.6	13.66
2003/03	3.1	2.5	0.6	17.90
2003/04	2.7	3.0	-0.3	-11.26
2003/05	2.4	2.8	-0.4	-18.42
2003/06	1.8	1.9	-0.1	-5.81
2003/07	1.6	1.4	0.2	12.21
2003/08	1.2	1.4	-0.2	-13.90
2003/09	1.7	1.6	0.1	6.83
2003/10	1.5	1.3	0.2	13.95
2003/11	1.8	1.5	0.3	15.26
2003/12	4.7	3.9	0.8	16.12

نستخدم النموذج النهائي للتنبؤ بسرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس لعام 2004 ونوضح النتائج في الجدول (8)، كما نبين السلسلة المتنبأ بها في الشكل (15).

الجدول (8) قيم سلسلة سرعة الرياح الشهرية المتنبأ بها.

أشهر العام 2004	القيمة المتنبأ بها (km/h)	أشهر العام 2004	القيمة المتنبأ بها (km/h)
كانون الثاني	3.7	تموز	1.6
شباط	2.8	آب	2.3
آذار	3.2	أيلول	1.5
نيسان	3.2	تشرين الأول	1.3



الشكل (15) سلسلة سرعة الرياح الشهرية المتنبأ بها والاتجاه العام لها ومعادلته

الاستنتاجات والتوصيات

- 1- هناك تناقص في سرعة الرياح الشهرية في محطة طرطوس بلغ 0.002 كم/سا في الشهر خلال فترة الرصد.
- 2- أعطى النموذج $SARIMA(1,0,0)(1,1,1)I2$ أفضل النتائج لتمثيل بيانات سلسلة سرعة الرياح الشهرية بعد أن تجاوز جميع اختبارات المعايرة المطلوبة، كما أعطى النموذج $SARIMA(1,0,1)(1,1,0)I2$ أفضل النتائج للتنبؤ بالقيم المستقبلية لسرعة الرياح والذي حقق أقل قيمة للمتوسط الموزون.
- 3- أثبت استخدام معيار أكاي في عملية المقارنة بين نماذج التمثيل قدرته على اختيار أفضلها، وكذلك معايير أداء التنبؤ والمتوسط الموزون للمقارنة في اختيار أفضل نموذج تنبؤ.
- 4- نوصي ببناء نموذج للتنبؤ بسرعة الرياح اليومية في محطة طرطوس باستخدام الشبكات العصبية الصناعية $ANN($ Artificial Neural Network) ومقارنة النتائج مع نموذج آخر يتم بناؤه وفق منهجية بوكس - جنكز.

المراجع

1. ماسو، أمجد عبد اللطيف. الإحصاء باستخدام Minitab 15 (الجزء الأول). دار الاستقامة، حلب، 2008، 13.
2. مطر، ظافر رمضان. التقنيّة المقترحة لمشكلة اختيار أفضل نموذج للتنبؤ في السلاسل الزمنية- حالة دراسة. المجلة العراقية للعلوم الإحصائية، المجلد 14، 2008، 1-20.
3. بزّي، عدنان ماجد. طرق التنبؤ الإحصائي (الجزء الأول). جامعة الملك سعود، 2002،
<<<http://www.abarry.net/or/or221book1.pdf>>>
4. KAVASSERI, R. G.; SEETHARAMAN, K. *Day-ahead Wind Speed Forecasting Using F-ARIMA Models*. North Dakota State University, 2009.
5. WANG, H.; YAN, J.; LIU, Y.; HAN, SH.; ZHAO, J. *Multi-Step-Ahead Method For Wind Speed Prediction Correction Based on Numerical Weather Prediction and Historical Measurement Data*. 2017.
6. الزوبعي، عبيد محمود محسن. طريقة مقترحة لتشخيص نماذج السلاسل الزمنية. المؤتمر الإحصائي العربي الأول، عمّان، الأردن، 2007.
7. FALK, M.; MAROHN, F.; MICHEL, R.; HOFMANN, D.; MACKE, M. *A First Course on Time Series Analysis*. Chair of Statistics, University of Wurzburg, 2006. 58-76.