

## بناء نموذج للتنبؤ بالهطل المطري السنوي في محطة حصن سليمان باستخدام النمذجة الرياضية

الدكتور غطفان عبد الكريم عمّار\*

الدكتور شريف بدر حايك<sup>†</sup>

نزار محمد حمدان<sup>‡</sup>

(تاريخ الإيداع 9 / 2 / 2016. قُبِلَ للنشر في 10 / 7 / 2016)

### □ ملخص □

نظراً لأهمية المياه وازدياد الحاجة إليها في الوقت الحاضر نتيجةً للتطور الكبير الحاصل في جميع مجالات الحياة الاقتصادية والاجتماعية، وباعتبار التقييم والتخطيط وإدارة المصادر المائية أحد المواضيع الهامة في الحياة البشرية وبالأخص في المناطق التي تتميز بندرة الهطولات المطرية أو التي يكون فيها التوزيع المطري رديئاً أو غير منتظم بحيث لا يمكن استخدامه للأغراض المختلفة.

من هنا أتت أهمية البحث في التنبؤ بالهطل المطري في محطة حصن سليمان، ولتحقيق هذا الهدف فقد استخدمت بيانات السلسلة الزمنية لمعدل الهطل المطري السنوي في محطة حصن سليمان الواقعة في محافظة طرطوس على خط الطول  $36^{\circ}15'$  و خط العرض  $34^{\circ}56'$  للفترة بين عامي 1959-2011، وقد استخدمت في الدراسة منهجية بوكس - جنكنز التي تعتمد على إيجاد التنبؤات المستقبلية لسلسلة البيانات الأصلية. كما تم استخدام البرامج Minitab و Excel في الجانب الإحصائي وإعداد نتائج الدراسة.

توصلت الدراسة إلى أن الهطل المطري في محطة حصن سليمان متناقص وقد بلغ هذا التناقص 3,7 ملم في العام خلال فترة الرصد، كما توصلت إلى بناء نموذج (ARIMA) المناسب للسلسلة بعد أن اجتاز مختلف الاختبارات الإحصائية المطلوبة، وكان النموذج  $ARIMA(1,0,0)$  هو النموذج المناسب لتمثيل البيانات والنموذج  $ARIMA(4,1,5)$  هو النموذج المناسب للتنبؤ بالهطل المطري المستقبلي.

الكلمات المفتاحية : الهطل المطري، محطة حصن سليمان، منهجية بوكس - جنكنز، نموذج (ARIMA).

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

<sup>†</sup> أستاذ- قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

<sup>‡</sup> طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Building a forecasting model for annual rainfall in Husn Suleiman station using mathematical modeling

Dr. Ghatfan Ammar<sup>1</sup>  
Dr. Sharif Hayek<sup>2</sup>  
Nizar Mohammad Hamdan<sup>3</sup>

(Received 9 / 2 / 2016. Accepted 10 / 7 / 2016)

### □ ABSTRACT □

Due to the importance of water, and the increasing of demand at the present time due to the tremendous development in all spheres of economic and social life, and as the evaluation, planning and management of water sources, one of the important topics in human life, especially in areas with scarce rainfall or where rainfall distribution is poor or irregular so cannot be used for different purposes.

From here, the importance of the research in forecasting rainfall in the Husn Suleiman station, comes, and to achieve this goal the data of time series for the average annual rainfall precipitation been used in Husn Suleiman station which located in the province of Tartous on longitude  $36^{\circ} 15'$  and latitude  $34^{\circ} 56'$ , for the period between 1959-2011,

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 in the statistical side and the preparation of the study results.

As a result, the study found that rainfall value in the 'Husn Suleiman station' decreasing, this decline amounted to 3.7 mm per year during the monitoring period.

Also, the appropriate (ARIMA) model for the series was build after it passed the various statistical tests are required, and founded that ARIMA(1,0,0) model is a good representation of the data and the ARIMA(4,1,5) model is the right model to forecast future rainfall.

**Keywords :** rainfall, Husn Suleiman station, Box – Jenkins methodology, (ARIMA) Model.

---

<sup>1</sup>Professor, Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

<sup>3</sup> Postgraduate Student, Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة

يمثل التنبؤ الهيدرولوجي تقييماً للحالات المقبلة للظواهر الهيدرولوجية، وهو تنبؤ بالخصائص الهيدرولوجية في المكان والزمان على حدٍ سواء. وتتعاظم الحاجة إلى هذه التنبؤات مع تعرض مواطني البلد و بنيته التحتية وممتلكاته للمخاطر من الظواهر الطبيعية، ومع توسع اقتصاده واستغلاله لموارده المائية مما يقتضي تحقيق أفضل إدارة ممكنة لهذه الموارد. ومع ذلك تعد التنبؤات الهيدرولوجية أساسية للتخفيف من آثار الظواهر المتطرفة (الفيضانات و نوبات الجفاف) في جميع مستويات التنمية الوطنية[1].

تعد عملية التنبؤ من المسائل الشائعة في العديد من مجالات العلوم كالكهرباء والهيدرولوجيا والاقتصاد... الخ، وكانت هذه العملية محطّ اهتمام الإحصائيين لفترة طويلة من الزمن. ولأن التنبؤ له أهمية واضحة ومؤثرة في دقة القرار، ووجود ارتباطات ذاتية عالية ضمن مجموعات البيانات، فإن الفشل في أخذ الاعتماد الزمني بعين الاعتبار ينتج عنه تنبؤ ضعيف[2].

سنتطرق في هذا البحث إلى مسألة بناء نموذج تنبؤ إحصائي بالهطل المطري لمحطة حصن سليمان الواقعة في محافظة طرطوس. يوجد العديد من الأساليب الممكنة لوصف السلاسل الزمنية وتحليلها ويعد أسلوب بوكس - جنكنز 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. يتعامل البحث مع إشكالية تناقض نتائج معايير تقييم أداء التنبؤ في ترشيحها للنموذج الأفضل ويهدف إلى تقديم أسلوب إحصائي يعمل على توظيف نتائج معايير التنبؤ MAPE(Mean Absolute Percent 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[3].

وضّح العالم (C.G. KILSBY, 1997 وآخرون) إحصائيات الهطل المطري المتوقعة في إنكلترا و ويلز باستخدام متغيرات الانتشار في الغلاف الجوي عن طريق نموذج الانتشار العام (GCM) بهدف التنبؤ بمتوسط كمية الهطل المطري اليومي[4].

قدّم (عدنان ماجد بزي. 2002) من جامعة الملك سعود طرق التنبؤ الإحصائي (الجزء الأول) حيث شرح طرق التنبؤ باستخدام أسلوب بوكس - جنكنز وبناء نماذج ARIMA المناسبة للسلسلة الزمنية، والتي كانت أول معالجة رياضية جادة ومحكمة للتنبؤ الإحصائي للسلسلة الزمنية [5].

قام العالمان (Pavla Pekarova and Jan Pekar, 2005) بدراسة التنبؤ بالتدفق طويل الأمد لمحطة Turnu Severin على نهر الدانوب باستخدام نموذج الانحدار الذاتي الخطي، حيث تم تحديد الاتجاهات طويلة الأمد لسلسلة التدفق السنوية وتغيرات الجريان السطحي في سبع محطات على طول نهر الدانوب، وتوصلت إلى أن التدفق السنوي في الدانوب في محطة Turnu Severin سيصل إلى حدّه الأعلى محلياً ضمن السنوات من 2004 إلى 2006، ويجب أن تكون الفترة من 2015 إلى 2019 جافة [6].

درس (Saleh Zakaria, 2012) وآخرون من جامعة Lulea السويدية التنبؤ بالهطل المطري الأسبوعي لأربع محطات مطرية في منطقة سنجار في العراق، وقد تم إيجاد النماذج الملائمة والتنبؤ بكمية الهطل للسنوات بين (2016-2012) [7].

درس (حازم و فيق علي. 2012) بناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية المضغوطة في المنطقة الممتدة بين نهري مرقية والحصين، حيث قام ببناء نموذج رياضي لحركتها بعد تطويره للنموذج الاعتيادي، ومن ثم معايرة النموذج الرياضي تمهيداً لوضع سيناريوهات الاستثمار المستقبلية للموارد المائية الجوفية المتاحة، وتحديد مركبات الموازنة المائية وتأثير تطبيق خطط الاستثمار المطلوبة عليها، ومن ثم تحديد صلاحية الموارد الجوفية للاستخدامات المختلفة [8].

درس (تمام رعد، 2012) التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي لحوض العاصي الأعلى باستخدام الطرق التحليلية الإحصائية، حيث وضح فيه حاجة شبكة ري حمص من المياه وقدم تصور عن الوضع المائي للحوض بمختلف خصائصه المناخية من هطل مطري وتبخر وحرارة حتى عام 2030 [9].

درس (د. غطفان عمّار ود. شريف حايك. 2015) التنبؤ بالهطل المطري في محطة طرطوس الواقعة في القسم الجنوبي من الساحل السوري، حيث تم تطبيق نماذج بوكس - جنكز في الدراسة التي توصلت لبناء نموذج ARIMA(3,0,4) المناسب وتم التنبؤ بقيم الهطل المطري لعشرين سنة قادمة [10].

### أهمية البحث وأهدافه

من المعلوم أن الماء هو شريان الحياة وعصبها، وهو الركيزة الأساسية الأولى التي تقوم عليها التنمية الشاملة، وقد أصبحت المياه الشغل الشاغل للكثير من دول العالم التي تعاني أو بدأت تعاني من نقص في المياه مما جعلها مشكلة حيوية خطيرة، وأصبحت من أهم القضايا التي قد تواجه استمرار الأمم والتي تُخاض لأجلها الحروب [8]. تأتي أهمية البحث من ضرورة المحافظة على الثروة المائية وحمايتها من التلوث والاستنزاف والجفاف، فكان لا بد من البحث عن الطرائق التي تعطينا توقعاً مستقبلياً للهطل المطري في مناطق المصادر المائية وخاصةً في حوض الساحل من أجل أخذ الاحتياطات اللازمة، ووضع الاستراتيجيات المناسبة للمعالجة. وقد تم اختيار محطة حصن سليمان في محافظة طرطوس كحالة دراسة حيث تتوضع على ارتفاع متوسط عن سطح البحر يبلغ 840 متراً، وبمعدل هطل سنوي يساوي 1369 مم.

يهدف البحث إلى إيجاد نموذجي التمثيل و التنبؤ الملائمين لسلسلة الهطل المطري في محطة حصن سليمان لإعطاء فكرة عن وضع الأمطار في المنطقة للفترة القادمة، ووضع الحلول المناسبة لتجنب الآثار السلبية للنتائج المُحتملة.

### 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 الضجة 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 (ARIMA) AutoRegressive Integrated Moving Average: وهو مكون من (AR) الانحدار الذاتي و (MA) المتوسط المتحرك و (I) التكامل [5].
- 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 الملاحظة الحقيقية في الزمن  $t$ ،  $\hat{x}_t$  هي قيمة التنبؤ لـ  $x_t$  على أساس النموذج أو الطريقة المعينة ، و  $m$  هي العدد الإجمالي للملاحظات [3].

• المتوسط الموزون Weighted Mean : ويعطى وفق العلاقات التالية :

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

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

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

## 2 - أهداف تحليل السلاسل الزمنية Analysis of Time Series

يُعتبر تحليل السلاسل الزمنية من الأساليب الإحصائية الهامة التي تُستخدم في التنبؤ بقيم الظواهر العشوائية في المستقبل، من خلال إيجاد نظام تنبؤ موثوق به يمكن الاعتماد عليه، وتمثل العملية في كيفية نمذجة

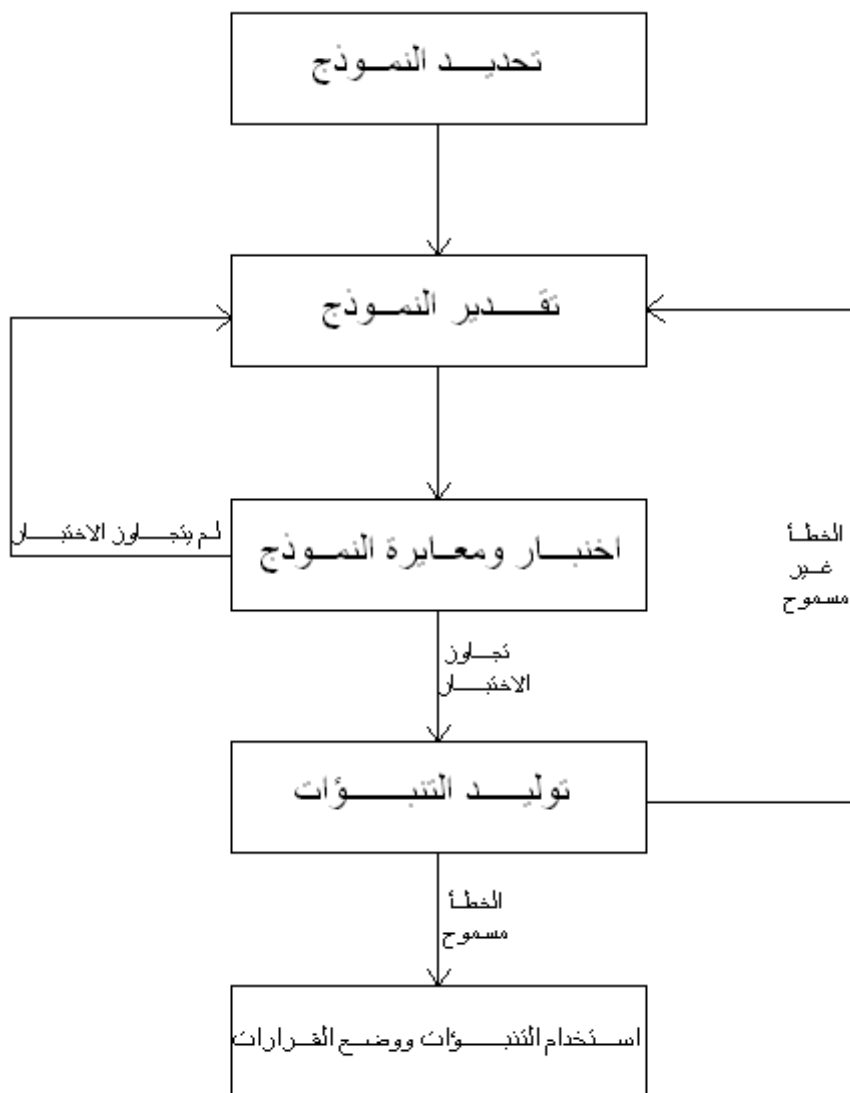
المشاهدات الزمنية المترابطة، وكيف يمكن التنبؤ بالمشاهدات المستقبلية باستخدام البيانات السابقة. ويهدف تحليل السلاسل إلى :

- أ - الحصول على وصف دقيق للملامح الخاصة للطور العشوائي الذي سيولد المتسلسلة الزمنية المطلوبة.
- ب - إنشاء نموذج لتفسير وشرح سلوك السلسلة الزمنية، وذلك بدلالة متغيرات أخرى تربط القيم المشاهدة ببعض قواعد السلوك للمتسلسلة الزمنية.
- ج - استخدام النتائج التي نحصل عليها من البندين السابقين للتنبؤ بسلوك المتسلسلة الزمنية في المستقبل، وذلك اعتماداً على معلومات الماضي[5].

### 3 - بناء نموذج التنبؤ

إن إيجاد نموذج مناسب تنطبق عليه سلسلة زمنية يُعتبر من المهام الصعبة، ويحتاج إلى كثير من البحث والخبرة ويبين الشكل (1) خطوات النمذجة الرياضية للتنبؤ بسلسلة زمنية ما.

- أولاً - تحديد النموذج : Model Identification - يتم برسم المتسلسلة الزمنية فيما يسمى Time Plot حيث يكون الإحداثي الأفقي هو الزمن والرأسي حجم الظاهرة المشاهدة ومن ثم اختيار نموذج رياضي معتمدين على بعض المقاييس الإحصائية التي تميز نموذج عن آخر وعلى الخبرة المستمدة من الدراسات والأبحاث.
- ثانياً - تقدير النموذج : Model Estimation - بعد ترشيح نموذج أو أكثر كنموذج مناسب لوصف المتسلسلة المشاهدة نقوم بتقدير معالم هذا النموذج من البيانات المشاهدة باستخدام طرائق التقدير الإحصائي الخاصة بالمتسلسلات الزمنية وهذا النموذج المرشح يؤخذ كنموذج أولي قابل للتعديل لاحقاً.
- ثالثاً - اختبارالنموذج : Model Checking - يتم إجراء اختبارات تفحصية على أخطاء التطبيق لمعرفة مدى تطابق المشاهدات مع القيم المحسوبة من النموذج المرشح ومدى صحة فرضيات النموذج. في حالة اجتياز النموذج المرشح لهذه الاختبارات نقوم باعتماده على أنه النموذج النهائي ويستخدم لتوليد تنبؤات للقيم المستقبلية وإلا نعود لتقدير نموذج جديد.
- رابعاً - توليد التنبؤات : Forecast Generation - يُستخدم النموذج النهائي لتوليد التنبؤات المستقبلية ومن ثم حساب أخطاء التنبؤ كلما استجدت قيم جديدة مشاهدة من المتسلسلة الزمنية ومراقبة هذه الأخطاء فيما يسمى مخططات المراقبة Control Charts والتي توضع للقبول بنسبة خطأ معين إذا تجاوزته أخطاء التنبؤ يُعاد النظر في النموذج وتعاد الدورة من جديد بتحديد نموذج مرشح آخر.
- خامساً - استخدام التنبؤات ووضع القرارات : Decision Making - تُقدم النتائج في تقرير لصانعي القرار للنظر في استخدامها بالشكل المناسب[5].

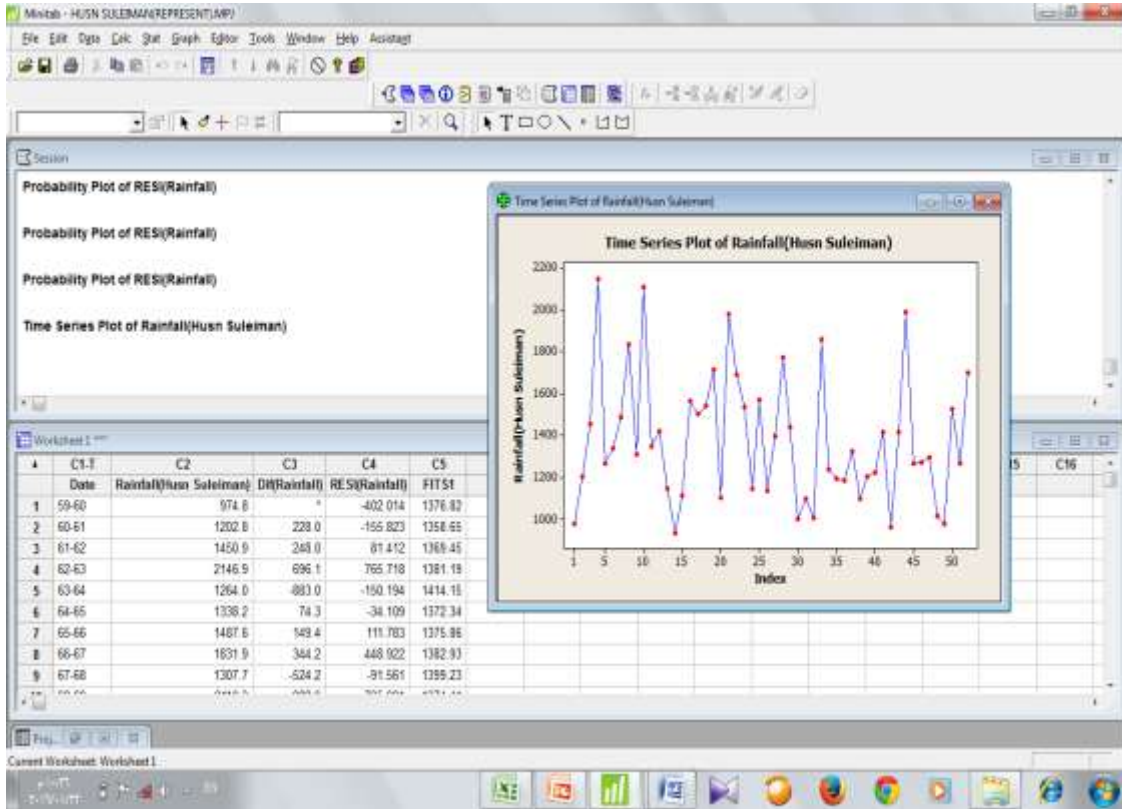


الشكل (1) خطوات النمذجة الرياضية للتنبؤ بسلسلة زمنية ما

### البرمجيات المستخدمة

\* برنامج **Minitab** : يعد من أشهر حزم البرامج الإحصائية الجاهزة التي تستخدم في مجال العرض والتحليل الإحصائي للبيانات، ويتميز بمزايا عديدة أهمها : سهولة الاستخدام، تضمنه لأنواع عديدة من الأساليب الإحصائية، بالإضافة لكونه أكثر البرامج الإحصائية استخداماً في الآونة الأخيرة في المراجع الإحصائية التعليمية في جميع أنحاء العالم. يمثل الشكل (2) إحدى واجهاته.

\* برنامج **Excel** : يعتبر من أشهر البرامج الرياضية الجاهزة في العالم، فهو يسمح بإيجاد حلول المسائل الرياضية العديدة بسرعة كبيرة تعتبر هائلة بالمقارنة مع الزمن الذي يستغرقه الحل اليدوي، ويقدم طريقة مبسطة للتعامل مع المعادلات والأرقام والنصوص والخطوط البيانية في المستوى والفرغ.

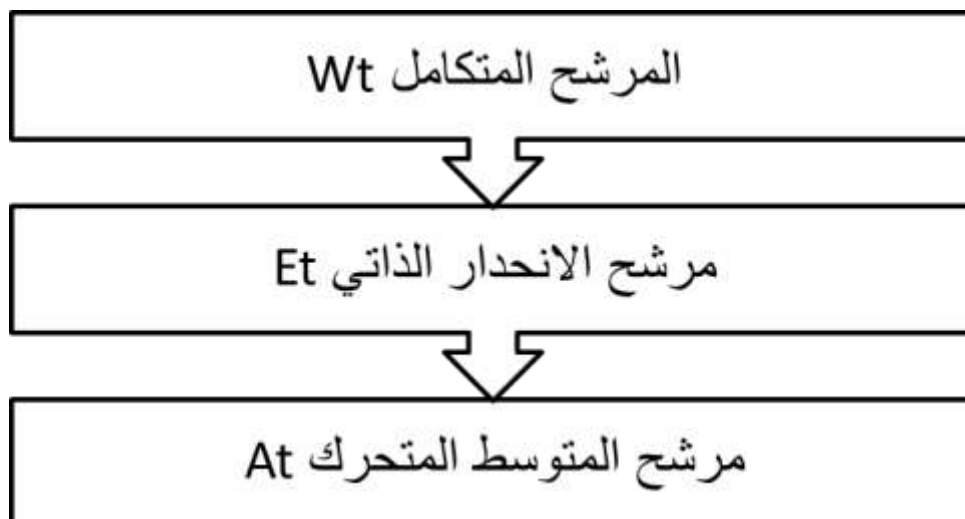


الشكل (2) واجهة لمخرجات Minitab

### خطوات العمل :

- 1 - جمع قياسات الهطل المطري لمحطة حصن سليمان للأعوام (1959-2011).
  - 2 - تقسيم مجموعة القياسات السابقة إلى مجموعتين :
    - أ - الأولى للحصول على أخطاء التطبيق Fitting Errors.
    - ب - الثانية للحصول على أخطاء التنبؤ Forecast Errors.
  - 3 - بناء النموذج النهائي المناسب باستخدام منهجية Box - Jenkins التي تحلل السلسلة الزمنية وفق ثلاثة مكونات تسمى مرشحات خطية :
    - أ - مرشح السكون (المتكامل)  $Wt$  : يهدف إلى تحويل سلسلة بيانات غير ساكنة إلى بيانات ساكنة وذلك بتثبيت قيمة الوسط الحسابي والتباين لجميع البيانات.
    - ب - مرشح الانحدار الذاتي (AutoRegressive)  $Et$  : يحدد جذر الانحدار الذاتي من الدرجة  $P$  ويُرّمز له  $(AR(P))$  وتمتد فيه دالة الترابط الذاتي (ACF) لا نهائياً وتتكون من خليط من التخامدات الأسية والجيبية.
    - ج - مرشح المتوسطات المتحركة (Moving Average)  $At$  : يحدد جذر الانحدار الذاتي الجزئي من الدرجة  $q$  ويُرّمز له  $(MA(q))$  وتمتد فيه دالة الترابط الذاتي الجزئي (PACF) لا نهائياً وتتكون من خليط من التخامدات الأسية والجيبية.
- يوضح الشكل (3) منهجية Box - Jenkins بمراحلها الثلاث [5].



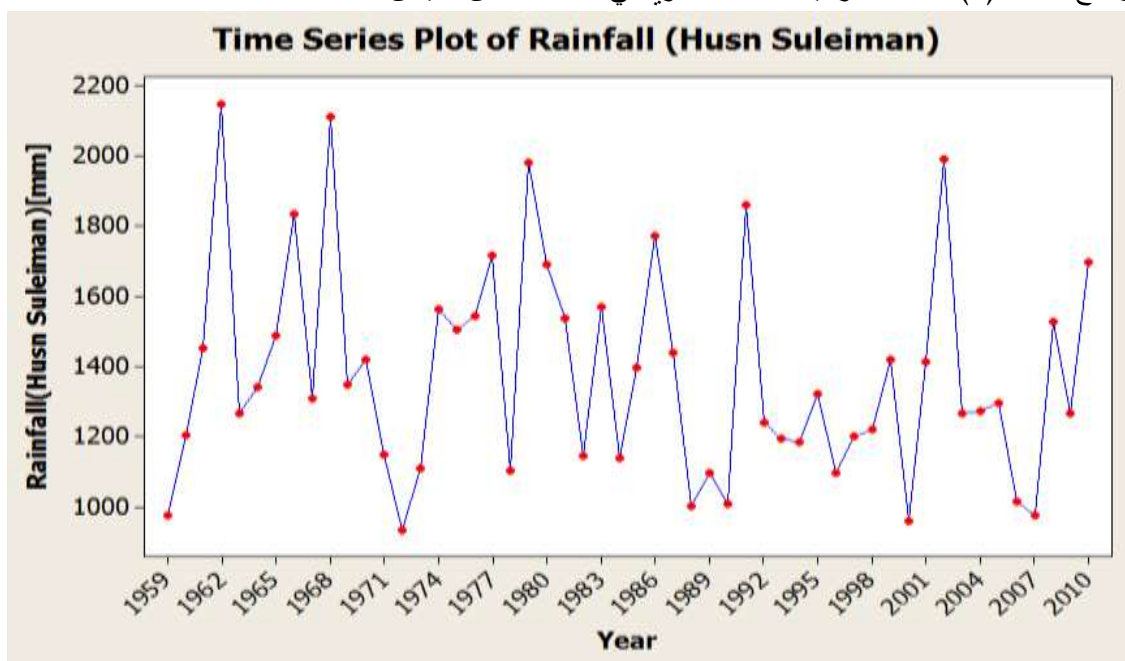


الشكل (3) المخطط العام لأسلوب Box - Jenkins

### النتائج والمناقشة

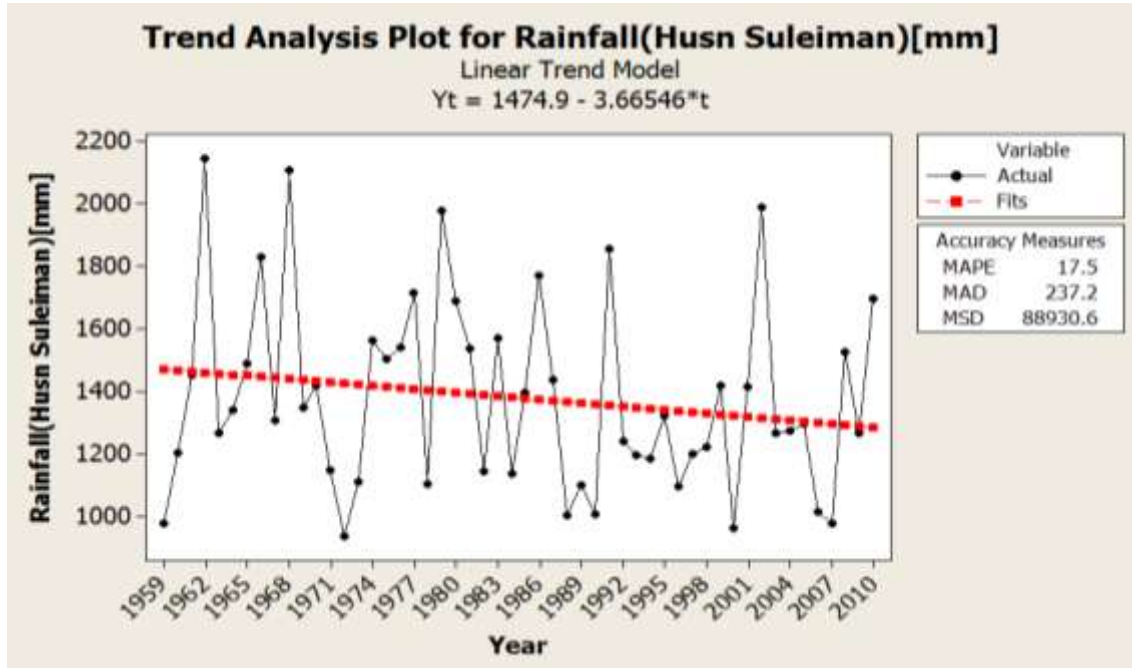
#### أولاً - بناء نموذج التمثيل

تم إدخال بيانات السلسلة الزمنية للهطل المطري السنوي بين العامين الهيدرولوجيين (1959-1960) وحتى (2010-2011) لبناء نموذج التمثيل باستخدام برنامج Minitab. يوضح الشكل (4) السلسلة الزمنية للهطل المطري في محطة حصن سليمان.



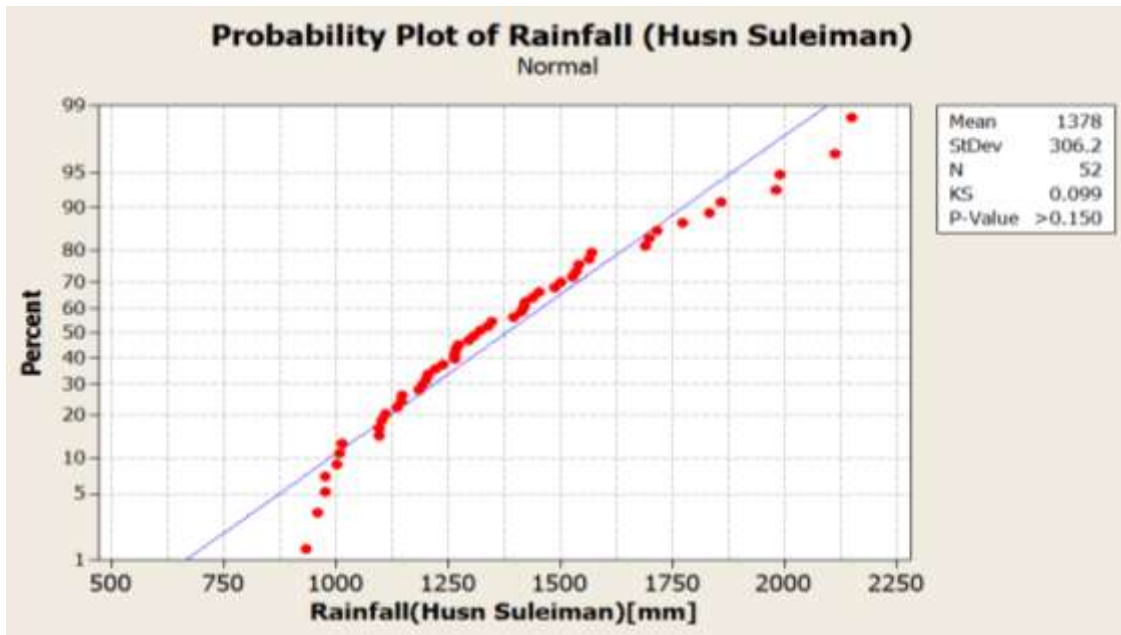
الشكل (4) السلسلة الزمنية للهطل المطري في محطة حصن سليمان

نوضح الاتجاه العام للسلسلة ومعادلته في الشكل (5).



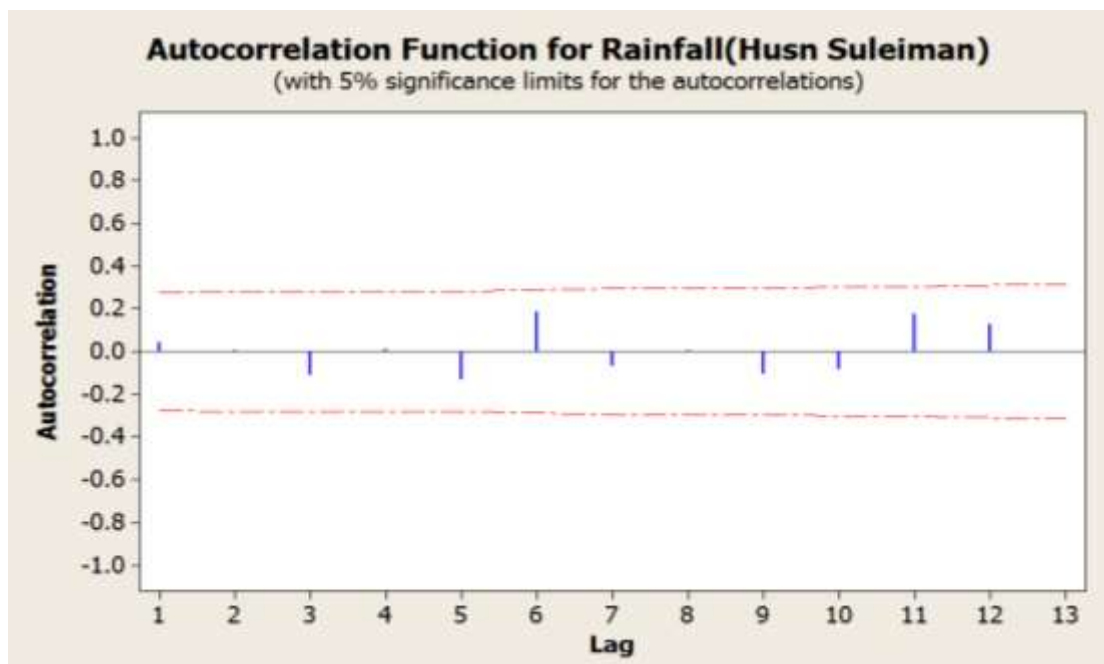
الشكل (5) الاتجاه العام لسلسلة الهطل المطري ومعادلته

نلاحظ وجود اتجاه عام متناقص، فالسلسلة غير مستقرة في المتوسط. ثم نقوم باختبار تثبيت التباين أي اختبار التوزيع الطبيعي من خلال طريقة (Kolmogorov -Smirnov) كما هو موضح في الشكل (6).



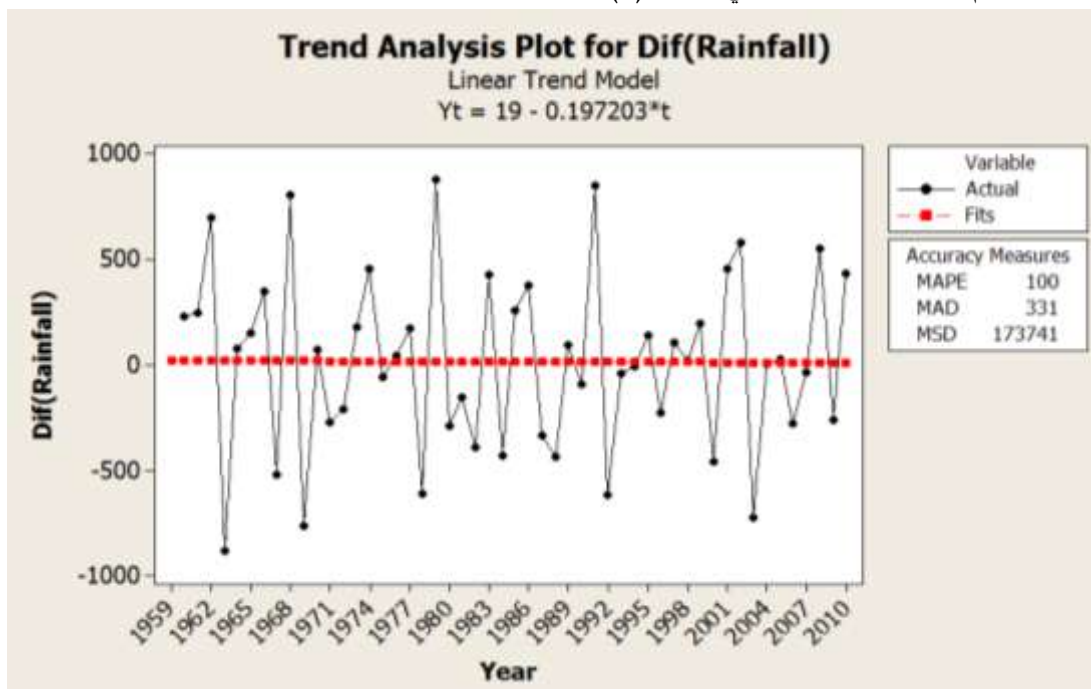
الشكل (6) اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة الهطل المطري

نلاحظ اقتراب معظم القيم من الخط المستقيم (الممثل للتوزيع الطبيعي) فالسلسلة مستقرة في التباين ثم نوجد دالة الترابط الذاتي (ACF) التي نوضحها في الشكل (7).



الشكل (7) دالة الترابط الذاتي لسلسلة الهطل المطري

نلاحظ عدم وجود دورية أو موسمية فيها فهي سلسلة مستقرة موسمياً. نجري التفريق الأول للسلسلة من أجل تثبيت المتوسط حسب المعادلة :  $y_t = (1-B)x_t$  ونوضح السلسلة الجديدة والاتجاه العام ومعادلته بعد التفريق في الشكل (8).



الشكل (8) السلسلة الزمنية الجديدة والاتجاه العام ومعادلته

نلاحظ زوال الاتجاه العام واستقرار السلسلة في المتوسط ،بالتالي أصبحت السلسلة مستقرة وجاهزة لبناء

النموذج.

### بناء النموذج لسلسلة الهطل المطري $X(t)$ :

تم اقتراح العديد من النماذج بناءً على التحويلات السابقة وتم إجراء الاختبارات المختلفة على البواقي وتوصلنا إلى عدد من النماذج المناسبة لذلك نلجأ إلى معيار أكاي  $AIC$  لتحديد النموذج المناسب ويعطى المعيار بالعلاقة

$$AIC(m) = n * \ln(\sigma^2) + 2 * m \quad \dots(7):$$

نوضح النتائج في الجدول (1).

الجدول (1) نتائج اختبار معيار أكاي.

Model	$\sigma^2$	m	AIC
ARIMA (1,0,1)	97372	3	603.287
ARIMA (1,0,0)	95425	2	600.237
ARIMA (2,0,0)	97370	3	603.286
ARIMA (2,0,2)	89921	5	603.148

نختار النموذج الذي يحقق أقل قيمة لمعيار أكاي وبالتالي يكون النموذج الأفضل :

ARIMA (1,0,0) وله الشكل :

$$(1 - \phi B)x_t = \delta + a_t \approx WN(0, \sigma^2) \quad \dots(8)$$

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

الجدول (2) معالم النموذج المقترح ARIMA (1,0,0) .

$\phi$	$\delta$
0.0473	1312.49

و بالتالي يكون النموذج :

$$(1 - 0.0473 B)x_t = 1312.49 + a_t , a_t \approx WN(0, 95425) \quad \dots(9)$$

### اختبار النموذج Model Checking :

نقوم الآن باختبار النموذج وفق التالي :

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

الجدول(3)المتوسط الصفري للبواقي.

N	Mean	StDev	SEMean	95% CI	Z	P
52	0.4	305.9	42.8	-83.6 , 84.3	0.01	0.993

بما أن  $0.993 > 0.05$  فلا نرفض الفرضية الصفرية[5].

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

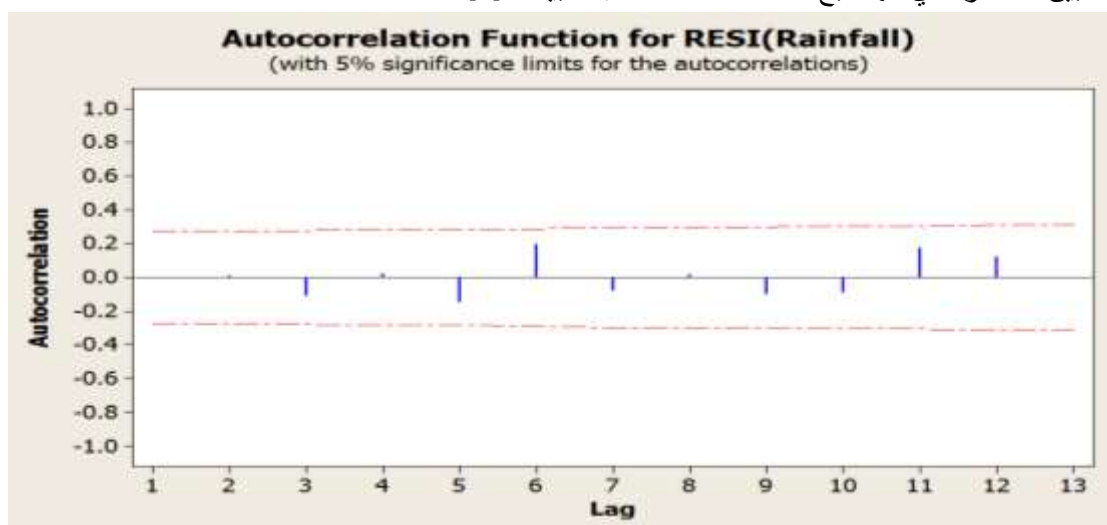
الجدول(4)نتائج اختبار عشوائية البواقي.

26	العدد الملاحظ للتعاقبات
27	عدد التعاقبات المتوقع
23	عدد المشاهدات الأكبر من المتوسط
29	عدد المشاهدات الأصغر من المتوسط
0.853	قيمة $P$

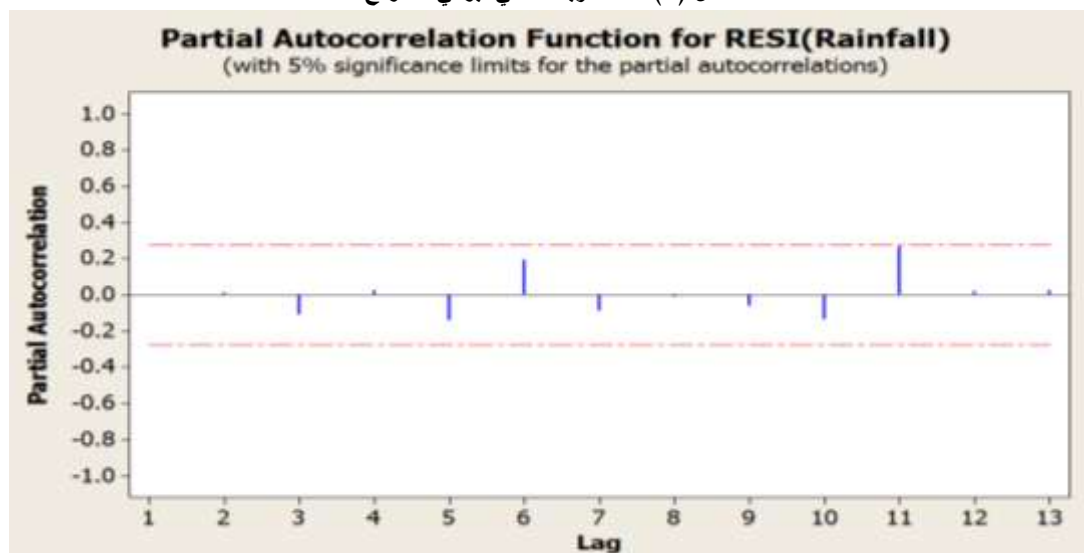
بما أن  $0.05 < 0.853$  فالبواقي عشوائية [5].

(3) استقلال البواقي : من خلال فحص دالتي الترابط الذاتي والترابط الذاتي الجزئي للبواقي في الشكلين (9) و

(10) 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 [5].



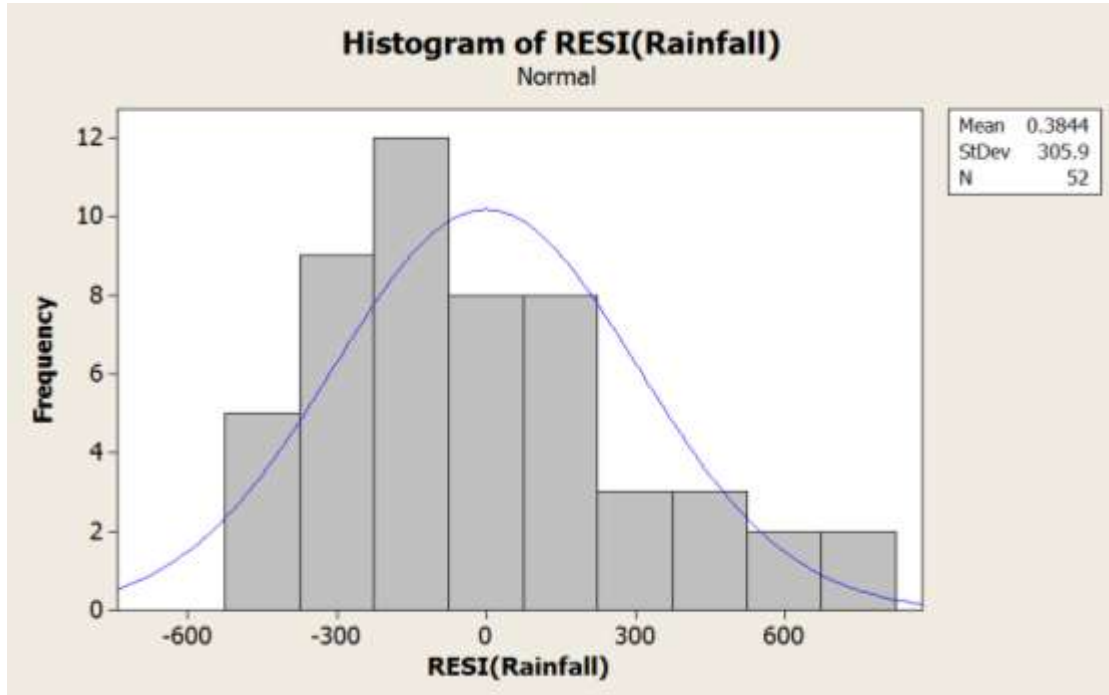
الشكل (9) دالة الترابط الذاتي لبواقي النموذج



الشكل (10) دالة الترابط الذاتي الجزئي لبواقي النموذج

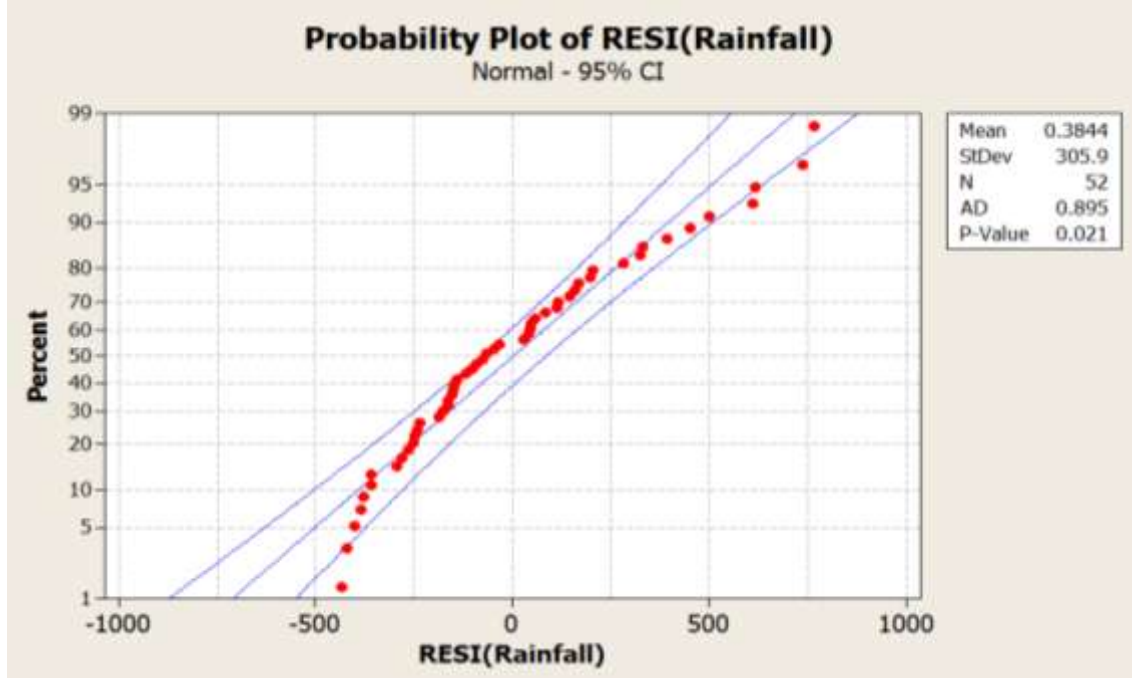
(4) اختبار طبيعة البواقي : ويشمل ثلاث مراحل :

أ) نرسم المضلع التكراري للبواقي في الشكل (11) ونلاحظ أنه متناظر وله شكل التوزيع الطبيعي تقريباً



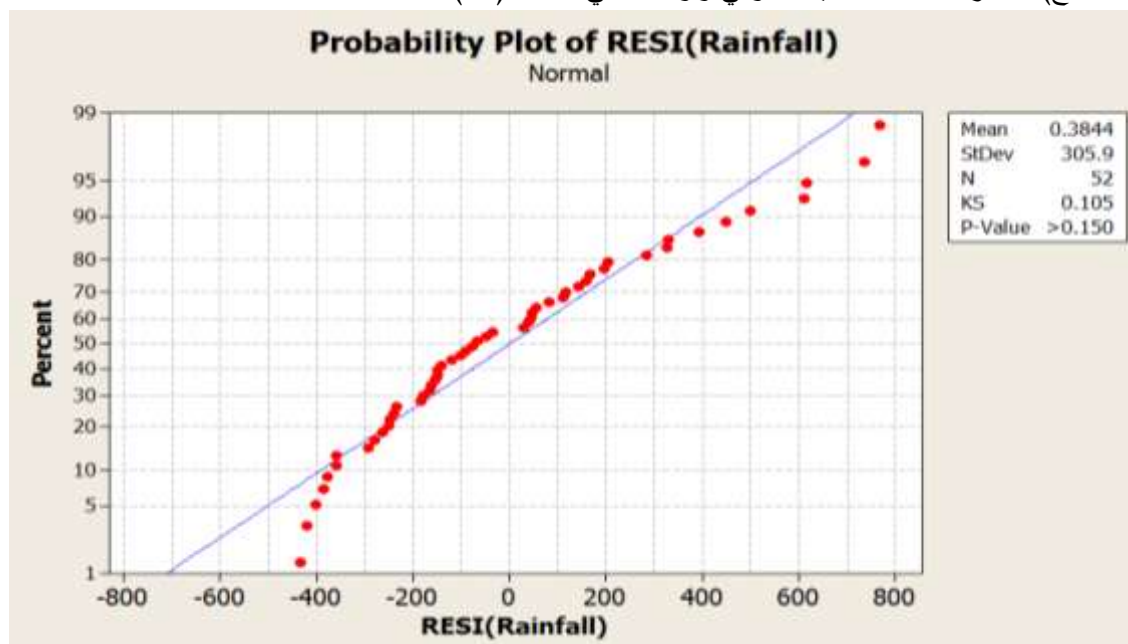
الشكل (11) المضلع التكراري لبواقي النموذج

ب) للتأكد من التوزيع الطبيعي للبواقي نرسم الاحتمال الطبيعي في الشكل (12).



الشكل (12) الاحتمال الطبيعي لبواقي النموذج

من الواضح أن البواقي طبيعية وللتأكد نجري المرحلة الثالثة.  
ج) اختبار  $K-S$  لطبيعة البواقي ونوضحه في الشكل (13).



الشكل (13) اختبار  $K-S$  لبواقي النموذج

بما أن قيمة ال  $P-Value$  أكبر من 0.150 وهي أكبر من  $\alpha = 0.05$  فلا نرفض الفرضية والبواقي موزعة طبيعياً [5].

بعد نجاح الاختبارات أصبح النموذج ملائماً للسلسلة وبالتالي يكون النموذج النهائي لتمثيل بيانات سلسلة

الهطل المطري في محطة حصن سليمان :

$$(1 - 0.0473 B)x_t = 1312.49 + a_t, a_t \approx WN(0,95425)$$

$$\Rightarrow x_t - 0.0473 x_{t-1} = 1312.49 + a_t, a_t \approx WN(0,95425) \quad \dots(10)$$

ثانياً- بناء نموذج التنبؤ

تم استخدام بيانات السلسلة الزمنية للهطل المطري السنوي بين العامين الهيدرولوجيين (1960-1961) وحتى

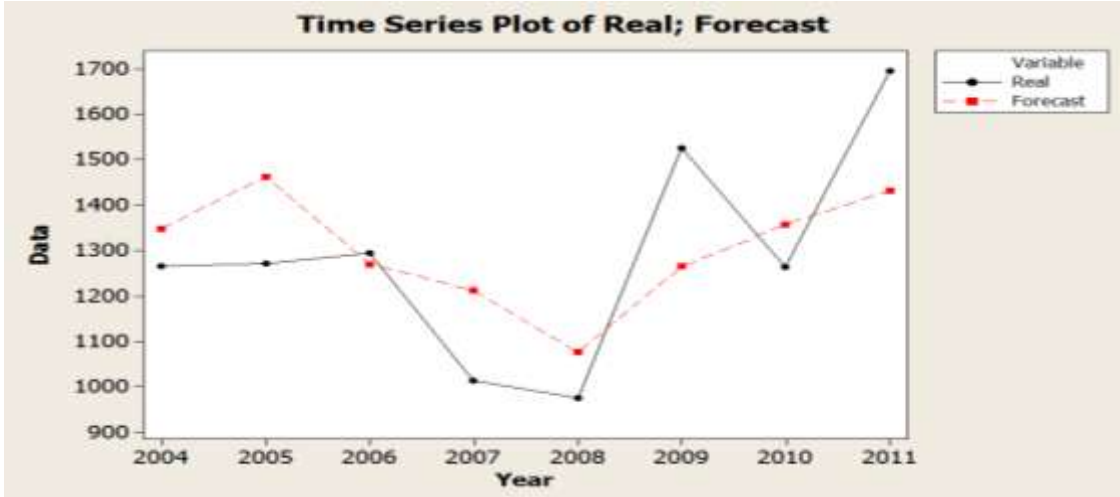
(2002-2003) لبناء نموذج التنبؤ، والبيانات بين العامين الهيدرولوجيين (2003-2004) وحتى (2010-2011)

للتحقق من جودة تمثيل البيانات.

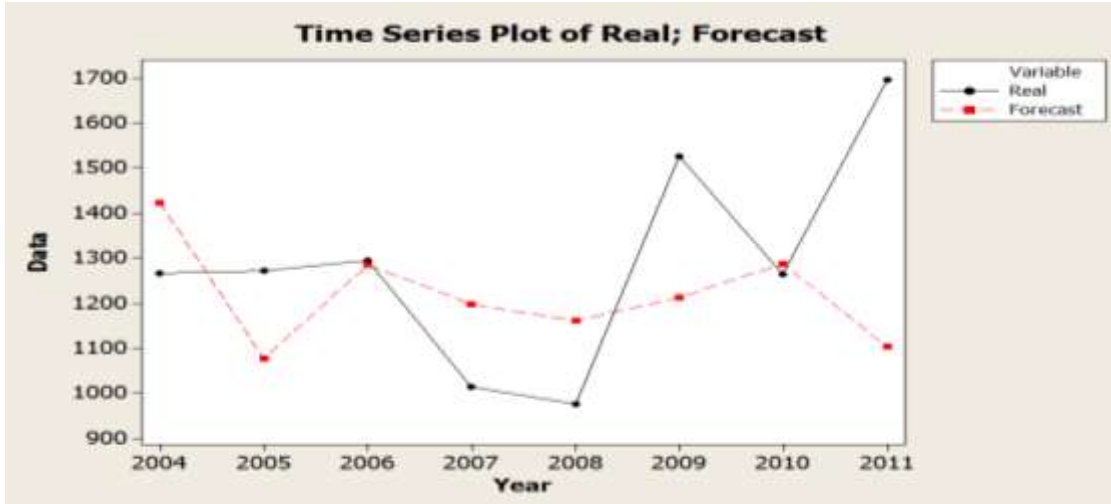
تم اقتراح العديد من النماذج ومقارنة القيم المتنبأ بها مع مجموعة الاختبار وتوصلنا إلى النماذج المناسبة التالية

حسب الأشكال (14)، (15)، (16).

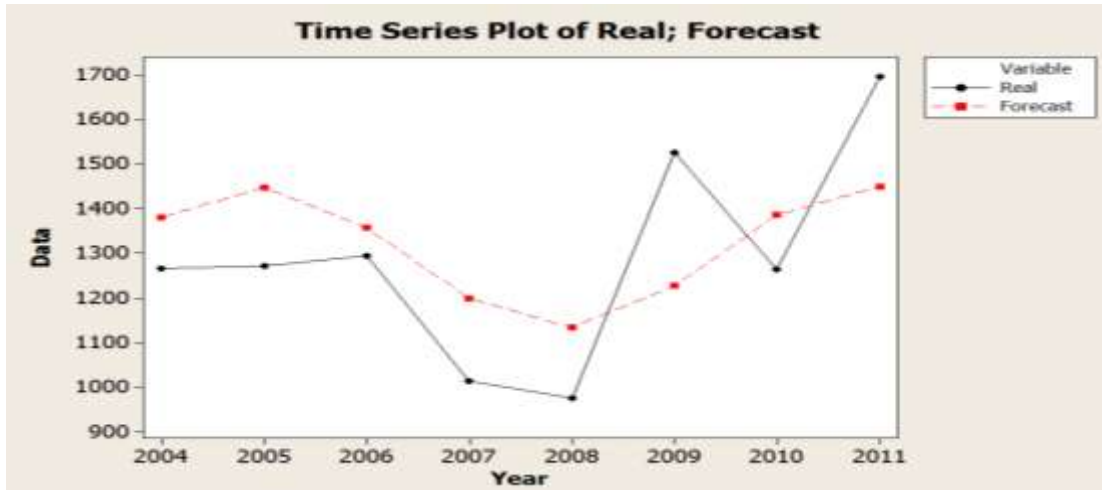




الشكل (14) نموذج  $ARIMA(4,1,5)$



الشكل (15) نموذج  $ARIMA(5,1,3)$



الشكل (16) نموذج  $ARIMA(3,1,4)$

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



الجدول (5) معايير أداء التنبؤ للنماذج الثلاث المقترحة.

Model	RMSE	MAPE	MAE
ARIMA(4,1,5)	261.83	16.16	218.9
ARIMA(5,1,3)	277.87	16.76	232.67
ARIMA(3,1,4)	284.59	17.89	240.5

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)
ARIMA(4,1,5)	90.9	213.73	192.27
ARIMA(5,1,3)	96.26	226.82	204.22
ARIMA(3,1,4)	99.44	232.79	210.75

اعتمدنا النموذج الذي يحقق أقل قيمة للمتوسط الموزون والذي يعطي النموذج الأمثل للتنبؤ بالقيم المستقبلية لسلسلة الهطل المطري في محطة حصن سليمان.

نبين في الجدول (7) مقارنة بين القيم الحقيقية لسلسلة الهطل والقيم المتنبأ بها والنسبة المئوية للفرق الحاصل الذي لم يتجاوز نسبة 20 %.

الجدول (7) مقارنة بين القيم الحقيقية لسلسلة الهطل والقيم المتنبأ بها.

النسبة المئوية للفرق	الفرق (mm)	القيمة المتنبأ بها	القيمة الحقيقية
-6.54	-82.7	1348.27	1265.5
-15.12	-192.1	1463.09	1270.9
1.92	24.8	1270.63	1295.5
-19.63	-199.0	1212.60	1013.6
-10.32	-100.7	1076.43	975.7
17.10	260.9	1265.25	1526.2
-7.34	-92.9	1357.98	1265.1
15.60	264.7	1432.34	1697.0

### الاستنتاجات والتوصيات

- 1 هناك تناقص للهطل المطري في محطة حصن سليمان بلغ 3,7 ملم في العام خلال فترة الرصد.
- 2 أعطى النموذج  $ARIMA(1,0,0)$  أفضل النتائج لتمثيل بيانات سلسلة الهطل المطري في محطة حصن سليمان بعد أن تجاوز جميع الاختبارات التشخيصية اللازمة، كما أعطى النموذج  $ARIMA(4,1,5)$  أفضل النتائج للتنبؤ بالقيم المستقبلية للهطل والذي حقق أقل قيمة للمتوسط الموزون.

3. أثبت استخدام كل من 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. بناء نموذج للتنبؤ بالهطل المطري باستخدام الشبكات العصبية الصناعية (Artificial Neural Network) ANN ومقارنة النتائج مع نتائج منهجية بوكس - جنكنز.

## المراجع

1. المنظمة العالمية للأرصاد الجوية . التنبؤ الهيدرولوجي وإدارة الفيضانات . جنيف، لجنة الهيدرولوجيا، الدورة الثالثة عشرة، 4-12 تشرين الثاني، 2008، 7.
2. مطر، ظافر رمضان؛ الياس، انتصار ابراهيم. تحليل ونمذجة السلسلة الزمنية لتدفق المياه الداخلة إلى مدينة الموصل. المجلة العراقية للعلوم الإحصائية، المجلد 18، 2010، 1-32.
3. مطر، ظافر رمضان. التقنيّة المقترحة لمشكلة اختيار أفضل نموذج للتنبؤ في السلاسل الزمنية- حالة دراسة. المجلة العراقية للعلوم الإحصائية، المجلد 14، 2008، 1-20.
4. KILSBY, C. G.; COWPERTWAIT, P.S.P; O'CONNELL, P.E.; JONES, P.D. *Predicting Rainfall Statistics in England and Wales Using Atmospheric Circulation Variables*. International Journal of Climatology, 1997, 523-539.
5. بزي، عدنان ماجد. طرق التنبؤ الإحصائي (الجزء الأول). جامعة الملك سعود، 2002، <<<http://www.abarry.net/or/or221book1.pdf>>>
6. PEKAROVA, P.; PEKAR, J. *Long - Term Discharge Prediction For The Turnu Severin Station (The Danube) Using a Linear Autoregressive Model*. Bratislava University Slovak, 2005, 7-12.
7. ZAKARIA, S.; AL-ANSARI, N.; KNUTSSON, S.; AL-BADRANY, TH. *Arima Models for Weekly Rainfall in the semi-arid Sinjar District at Iraq*. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol.2, no.3, 2012, 25-55.
8. علي، حازم وفريق. بناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية المضغوطة في المنطقة الممتدة بين نهري مرقية والحسين. رسالة علمية أعدت لنيل درجة الماجستير، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، 2012، 13.
9. رعد، تمام. التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي لحوض العاصي الأعلى باستخدام الطرق التحليلية الإحصائية. رسالة علمية أعدت لنيل درجة الدكتوراه، قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، 2012.
10. عمار، غطفان عبد الكريم؛ حايك، شريف بدر. التنبؤ بالهطل المطري في محطة طرطوس الواقعة في القسم الجنوبي من الساحل السوري . مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية ISSN:2079-3081، المجلد 37، العدد 2، 2015.