

التنبؤ بحجوم المياه الشهرية الواردة عبر نهر الروس في الساحل السوري باستخدام تحليل السلاسل الزمنية

د. شريف بدر حايك *

د. منذر حماد **

(تاريخ الإيداع 3 / 5 / 2016. قُبل للنشر في 6 / 9 / 2016)

□ ملخص □

تعتمد دراسة وتصميم السدود المائية بشكل رئيس على التنبؤات بأحجام المياه الجارية في الأنهار أو المتوقع ورودها مستقبلاً، باستخدام تحليل السلاسل الزمنية للقياسات التاريخية. يهدف البحث إلى إعداد دراسة إحصائية لحجوم المياه الشهرية الواردة في نهر الروس في الساحل السوري والتنبؤ المستقبلي بهذه الحجوم. واعتمدت نماذج "بوكس-جنكنز" في تحليل بيانات السلسلة الزمنية، وذلك لارتفاع درجة الدقة في تنبؤاتها.

اعتمدنا بيانات حجوم المياه الشهرية لمدة 15 عاماً، وبعد إجراء الاختبارات المطلوبة على بواقي النموذج، تبين أن أفضل نموذج يمثل البيانات هو $(1,2,1)_{12}$ SARIMA(0,1,2)، وبعد تقسيم البيانات إلى 14 سنة لبناء النموذج وسنة واحدة لاختباره واعتماداً على أصغر قيمة للمتوسط الموزون للمعايير RMSE, MAP, MAE، فإن أفضل نموذج للتنبؤ هو النموذج $(0,1,1)_{12}$ SARIMA(1,1,0)، وقد أعطى النموذج تنبؤات قريبة من حجوم المياه الشهرية الواردة في النهر المقيسة فعلياً.

الكلمات المفتاحية: الغزارة النهرية، نهر الروس، نماذج بوكس-جنكنز، التنبؤ، نماذج SARIMA.

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

Predict of the monthly water volumes incoming in AL-ROOS River in the Syrian Coast by using the time series analysis

Dr. Sharif Hayek^{*}
Dr. Munzer Hammad^{**}

(Received 3 / 5 / 2016. Accepted 6 / 9 / 2016)

□ ABSTRACT □

The study and design of water dams depend essential on prediction of water volumes or future predicted in rivers, by using the time series analysis of the historical measurements.

The research aims to make statistical study of monthly water volumes incoming in AL-Aroos River in Syrian coastal and future prediction of these volumes. And the Box-Jenkins models is adopt to analysis the time series data, because of its high accuracy. We attend the monthly water volumes for 15 years. And after doing the wanted tests on model residuals we found that the best model to represent the data is SARIMA(0,1,2) (1,2,1)₁₂, and after dividing the data to 14 years to build the model and one year to test it, and depending on the smallest of weighted mean of criteria RMSE, MAP, MAE,. The best predicted model is SARIMA (1,1,0) (0,1,1)₁₂ and the model give the nearest predicted of measured data actually.

Keywords: Riverflow, AL-ROOS river, Jenkens-Boox models, prediction, SARIMA models.

^{*} Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{**} Associated Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعد الدراسات الإحصائية من أهم الطرائق والأساليب اللازمة للقيام بالدراسات والبحوث العلمية على أساس قياس حركة عدد من المتغيرات المحددة للظواهر موضوع الدراسة. ويشكل تحليل السلاسل الزمنية من بين أهم الأساليب الإحصائية الحديثة التي يمكن من خلالها معرفة طبيعة التغيرات التي طرأت على قيم الظاهرة مع الزمن، وتحديد الأسباب والنتائج وتفسير العلاقات المشاهدة بينها، والتنبؤ المستقبلي بالتغيرات تبعاً لقيم المشاهدات والقياسات التاريخية السابقة للظاهرة المدروسة.

تعتمد دراسة وتصميم السدود المائية بشكل رئيس على التنبؤات بأحجام المياه الجارية في الأنهار أو المتوقع ورودها مستقبلاً، ونظراً لصعوبة التنبؤ بأحجامها يلجأ معظم المصممين والمهندسين إلى اعتماد السلاسل الزمنية لأحجام هذه المياه.

أهمية البحث وأهدافه

يهدف البحث إلى إعداد دراسة إحصائية لحجوم المياه الواردة في نهر الروس في الساحل السوري والتنبؤ المستقبلي بهذه الحجوم، باستخدام السلاسل الزمنية لأحجام المياه الواردة في مجرى النهر المدروس عند موقع (جسر معيربان - بحمرا) .

تتبع أهمية البحث من اعتماد أساليب التنبؤ في تحليل بيانات السلاسل الزمنية للقياسات المائية، واستخدام نتائجها في اتخاذ القرارات ذات الصلة ورسم السياسات المستقبلية للقطاعات الاقتصادية المختلفة. ومن أكثر الأساليب المستخدمة في تحليل بيانات السلسلة الزمنية، نماذج "بوكس- جنكنز" وذلك لارتفاع درجة الدقة في تنبؤاتها. لقد عمل العديد من الباحثين في توليد السلاسل الزمنية، منها تحليل السلسلة الزمنية لأحجام المياه الواردة إلى بحيرة سد الموصل من نهر دجلة واستخدامها للتنبؤ من خلال التحليل الإحصائي لأحجام المياه الشهرية الواردة إلى بحيرة السد ولمدة 15 سنة خلال الفترة 1985-1999م والتنبؤ بأحجام المياه الواردة للسنوات المائية 2000-2004م، حيث أظهرت نتائج اختبارات النماذج الإحصائية تطابقاً بين القيم المتنبأ بها والقيم التاريخية لحجوم المياه الواردة، حيث وصل معامل الارتباط إلى 0.96 [1].

تم تطبيق تحليل إحصائي باستخدام برنامج Minitab على السلسلة الزمنية الشهرية لحجوم مياه نهر دجلة (مقدرة بـ مليون متر مكعب) الداخلة إلى مدينة الموصل للفترة من 1963-1995، وقد أظهر نموذج بوكس-جنكنز $SARIMA(1,1,2) * (3,1,1)_{12}$ نتائج مشجعة جداً في التنبؤ اعتماداً على الأسلوب المقترح مقارنة ببقية النماذج، في حين أن النموذج الأفضل لتمثيل البيانات هو $(0,1,1)_{12} * SARIMA(1,1,2)$ [2].

تمّ تحديد السلسلة الزمنية للتصارييف السنوية في سبع محطات قياس على طول نهر الدانوب. وكانت أهم نتائج التحليل الإحصائي لهذه السلسلة أن عام 1860 كان العام الأكثر جفافاً في وسط وشرق أوروبا منذ عام 1840م. وقد ترافق ذلك مع ظروف مختلفة لدرجات حرارة الهواء. وتم اعتماد نماذج "بوكس-جنكنز" ونماذج التماثل للتنبؤ بالتصارييف السنوية لنهر الدانوب لعقدين متتاليين. إذ توقعت هذه النماذج في محطة Turnu severin على النهر المدروس، أن القيم الأعظمية للتصارييف ستكون خلال الفترة 2004-2006. بينما سيخف النهر خلال الفترة 2015-2019. وأوصى البحث بضرورة اعتماد السلاسل الزمنية الشهرية للتصارييف النهرية بدلاً من التصارييف السنوية في الدراسات الإحصائية التنبؤية [3].

استخدمت البيانات الشهرية للأمطار في محطة بغداد للأتواء الجوية لدراسة السلوكية الزمنية لها، حيث تم ملاحظة تذبذبات واضحة فيها مع وجود نمط تزايد طفيف جداً، إضافة إلى الدورية الواضحة فيها. تم اختيار نماذج متعددة لـ ARIMA وإخضاع النموذج الأفضل لاختيار المواعمة. لوحظ أن أفضل نموذج كان ذا المعالم SARIMA $(0,1,1) * (2,1,3)$. إذ تعكس بواقى هذا النموذج سلسلة الضجة البيضاء. وتم استخدام هذا النموذج للتنبؤ بقيم الأمطار لفترة أربع سنوات قادمة بعد التحقق من مواعمة لتمثيل البيانات الأصلية [4].

أكدت دراسة قام بها الباحث (Sevinc. O, 2007) لتقييم التغيرات المناخية (ازدياد درجات الحرارة) في حوض نهر Aegean على النظام الهيدرولوجي والموارد المائية في الحوض المدروس. إذ تبين نتيجة سيناريوهات الاستثمار المقترحة انخفاض موارد موازنة المياه السطحية حوالي 20%، 35%، 50% في أعوام 2030، 2050، 2100 على الترتيب، الأمر الذي سيسبب عجز مائي في تأمين إمدادات المياه للأغراض الزراعية والصناعية والبلدية في الحوض [5].

وفي دراسة أعدها (د. غطفان عمار - 2009) عن تأثير التغيرات المناخية على الواردات المائية لنهر الحصين، تبين أن هناك تناقصاً في الهطل المطري في المحطات الموجودة في حوض النهر تتراوح قيمه بين % (7 - 11) خلال فترة الدراسة التي تجاوزت الأربعين عاماً، وأن هناك تناقصاً في الواردات المائية لنهر الحصين بلغت قيمته % 7.6 خلال نفس الفترة. [6].

وبينت دراسة أعدها (د. غطفان عمار - 2012) عن تأثير التغيرات المناخية على تدفقات نبع السن، أن هناك تناقصاً في الهطل المطري في محطات حوض النبع تراوحت قيمته بين 9 mm و 20 mm في العام، وكذلك تناقصاً في تدفقات النبع بلغت قيمته $0.127 \text{ m}^3/\text{s}$ ، خلال فترة المراقبة الممتدة بين عامي (1974-2000) [7].

بينما قام (المسعودي- 2011) بمعايرة سبعة نماذج موسمية مضاعفة Box-Jenkis لوصف التدفق الشهري من حوض دوكان [8].

الطرائق والمواد المستخدمة

يُعزى الاهتمام الكبير بموضوع السلاسل الزمنية Time series إلى الحاجة الماسة لنظام تنبؤ موثوق به، يمكن الاعتماد عليه في تفسير كثير من الظواهر في مختلف مجالات الحياة، وهذا النظام التنبؤي يتطلب بناء نماذج دقيقة تسمى نماذج المتسلسلات الزمنية، التي يمكن تصنيفها بناءً على عدد متغيرات النموذج.

توجد عدة طرائق لتحليل السلاسل الزمنية وصياغة نماذج التنبؤ منها:

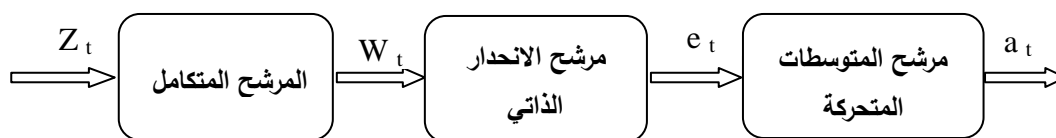
- طرائق كمية (تمهيد السلاسل الزمنية).

- أسلوب التحليل التجريبي Empirical model decomposition.

- تحليل السلاسل الزمنية باستخدام النماذج العشوائية Stochastic models.

يعد تحليل السلاسل الزمنية من الأساليب الإحصائية المهمة التي تُستخدم في التنبؤ بقيم الظواهر العشوائية في

المستقبل، من خلال إيجاد نظام تنبؤ موثوق به ويمكن الاعتماد عليه. وتعتبر نماذج بوكس-جنكنز من أهم هذه الأساليب الإحصائية، التي تعتمد على استخراج التغيرات المتوقعة للبيانات المُشاهدة، وتجزأ السلسلة الزمنية إلى ثلاثة مكونات تسمى مرشحات خطية هي: مرشح السكون (المتكامل)، مرشح الانحدار الذاتي، مرشح المتوسطات المتحركة (الشكل -1).



الشكل (1): المخطط العام لأسلوب " بوكس - جنكنز "

حيث: Z_t - السلسلة الزمنية المدروسة. $-W_t$ - السلسلة الزمنية الناتجة بعد المرشح المتكامل.
 $-e_t$ - السلسلة الزمنية الناتجة بعد مرشح الانحدار الذاتي. $-a_t$ - السلسلة الزمنية الناتجة بعد مرشح المتوسطات المتحركة.

تتألف نماذج " بوكس-جنكنز " الإحصائية من:

1. النماذج الموسمية: وهي تستخدم لتمثيل السلاسل الزمنية الموسمية ومن هذه النماذج [9]:

- نموذج الانحدار الذاتي الموسمي: ويرمز لهذا النموذج بـ $SAR(P)$ حيث P تمثل درجة النموذج. ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_S X_{t-S} + \theta_{2S} X_{t-2S} + \dots + \theta_{PS} X_{t-PS} + Z_t \dots \dots (1)$$

- نموذج المتوسطات المتحركة الموسمي: ويرمز لهذا النموذج بـ $SMA(Q)$ حيث Q تمثل درجة النموذج. وتكتب معادلته كما يأتي:

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

- نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة الموسمي: ويرمز لهذا النموذج بـ $SARMA(P, Q)$ حيث P, Q تمثلان درجته. ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_S X_{t-S} + \theta_{2S} X_{t-2S} + \dots + \theta_{PS} X_{t-PS} + Z_t - \phi_S Z_{t-S} - \phi_{2S} Z_{t-2S} - \dots - \phi_{QS} Z_{t-QS} \dots \dots (3)$$

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

$$W_t = X_t - X_{t-S} \dots \dots (4)$$

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

2. النماذج اللاموسمية: وهي تستخدم لتمثيل نوعين من السلاسل: الساكنة وغير الساكنة ومن هذه النماذج:

- نموذج الانحدار الذاتي: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + Z_t \dots \dots (5)$$

حيث أن معالم النموذج $\mu, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ و Z_t متغيرات عشوائية غير مرتبطة مع بعضها (white noise) بوسط حسابي صفر وتباين σ_Z^2 . ويرمز لهذا النموذج بـ $AR(p)$ حيث p تمثل درجة النموذج.

- نموذج المتوسطات المتحركة: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_q Z_{t-q} \dots \dots (6)$$

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

- نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة: ويرمز لهذا النموذج بـ $ARMA(p, q)$ حيث p, q تمثلان درجته. وتكتب معادلته بالشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_q Z_{t-q} \dots (7)$$

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

$$W_t = X_t - X_{t-1} \dots (8)$$

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

مراحل بناء نموذج التنبؤ: يلزم أربع مراحل لبناء نموذج تنبؤي لسلسلة زمنية ساكنة وهي:

تحديد النموذج Model identification: يتم التعرف على نموذج رياضي لسلسلة زمنية من خلال شكل دالتي الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي.

تقدير النموذج Model estimation: بعد تحديد شكل النموذج نقوم بتحديد معالمه:

$$\sigma^2, \theta_1, \dots, \theta_p, \phi_1, \dots, \phi_q, \delta$$

تشخيص واختبار النموذج Model checking and diagnostics: تجري بعض الاختبارات على البواقي

وأخطاء التطبيق، لتحديد مدى مطابقة النموذج للسلسلة المشاهدة. ويُفترض أن البواقي هي مقدرات لسلسلة الضجة البيضاء α_t ، التي نفترض أن لها توزيع طبيعي بمتوسط صفري وتباين σ^2 . ويتضمن فحص البواقي تحقيق فرضيات النموذج الآتية: متوسط صفري - العشوائية - عدم الترابط - التوزيع الطبيعي.

توليد التنبؤات Forecast generation: يُستخدم النموذج النهائي لتوليد تنبؤات عن القيم المستقبلية، ومن ثم

حساب أخطاء التنبؤ كلما استجبت قيم جديدة مُشاهدة من المتسلسلة الزمنية ومراقبة هذه الأخطاء ضمن الحدود المسموحة.

استخدام التنبؤات وصنع القرارات **Implementation and decision making:** تُقدم التنبؤات في تقرير لصانعي القرار لاستخدامها بالشكل الأمثل.

وقد تم اقتراح عدة معايير لتقويم التنبؤ في السلاسل الزمنية المستقبلية، وهي **RMSE, MAP, MAE:**

الجذر التربيعي لمتوسط الأخطاء:

$$RMSE \text{ (Root mean squared error)} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m (x_t - \bar{x}_t)^2} \quad (9)$$

متوسط نسبة الخطأ المطلق:

$$MAPE \text{ (Mean absolute percent error)} = \left[\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m \frac{|x_t - \bar{x}_t|}{x_t} \right] \cdot 100\% \quad (10)$$

$$MAE \text{ (Mean absolute error)} = \left[\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m |x_t - \bar{x}_t| \right] \quad (11) \quad \text{متوسط الخطأ المطلق:}$$

وتسهم أصغر قيمة للمتوسط الموزون **Weighted mean** في تحديد النموذج الأمثل للتنبؤ بالقيم المستقبلية

للسلاسل الزمنية، وهي تربط بين المعايير الثلاثة السابقة بالشكل الآتي:

$$\frac{(RMSE + 4.MAPE + MAE)}{6} \quad (12) \text{ Weighted mean} =$$

$$\frac{(4.RMSE + MAPE + MAE)}{6} \quad (13) \text{ Weighted mean} =$$

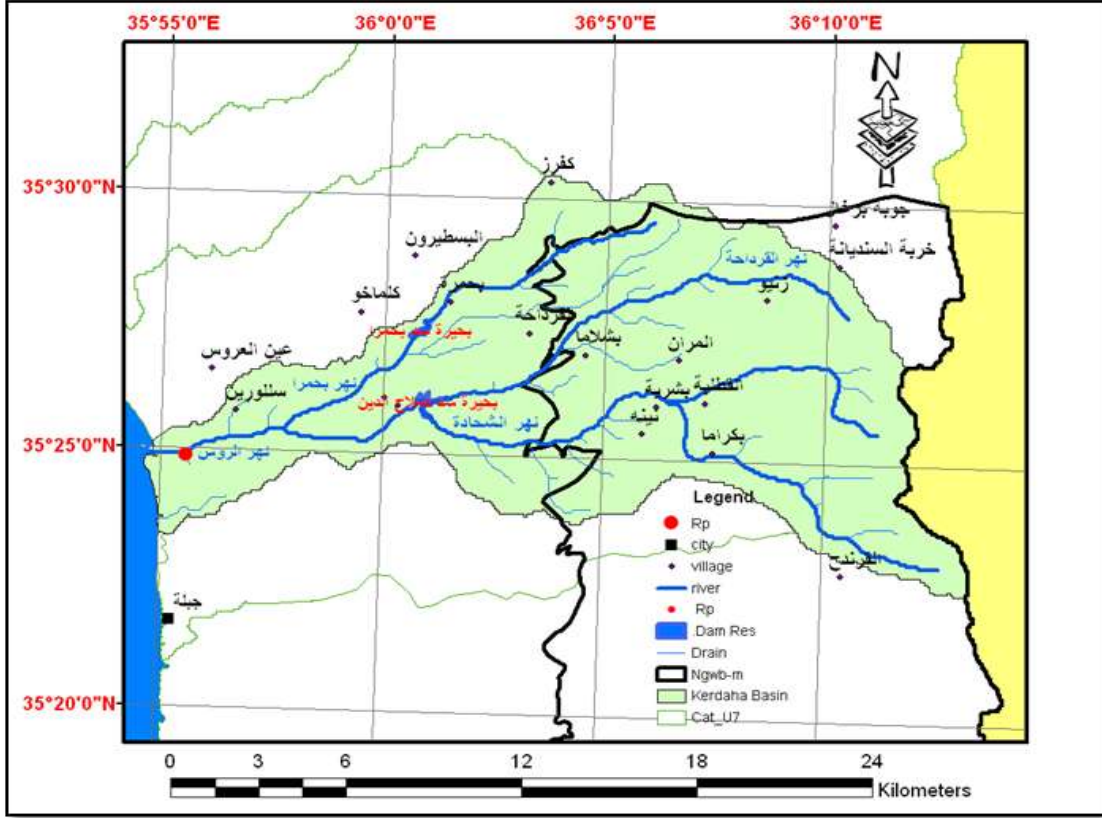
$$\frac{(RMSE + MAPE + 4.MAE)}{6} \quad (14) \text{ Weighted mean} =$$

يتشكل نهر الروس من سفوح الجبال الساحلية الغربية على ارتفاع 1200 م فوق منسوب سطح البحر، يحد حوض النهر من الشمال حوض نهر المضيق ومن الجنوب حوض نهر الرميطة، تبلغ مساحة الحوض الصباب الإجمالية 195 كم²، أما طول مجرى النهر فيبلغ 33.3 كم ومتوسط ميوله 0.04 والارتفاع المتوسط للحوض 514 م وميل الحوض 0.27.

يجري النهر في القسم العلوي من مجراه عبر وادي عميق ضيق له سفوح منحدره في بعض الأماكن، ويتخذ شكل النهر طابع الأنهار الجبلية العادية. ونهر الروس يجف موسمياً من تموز إلى أيلول وله شبكة هيدروغرافية كثيفة ويصب فيه من جانبيه الأيمن والأيسر عدد كبير من الروافد الصغيرة.

في القسم الأخير لنهر الروس-عند المصب-وعند تقاطعه مع طريق عام بانياس - اللاذقية. وتم تركيب أجهزة قياس آلية مع مسطرة لقياس مستوى الماء (مركز هيدرومتر)، ويصب النهر في البحر على مسافة 2.5 كم من المركز وعلى بعد 6 كم شمالي مدينة جبلة. ويُغمر المجرى وسرير النهر الفيضاني تماماً أثناء الفيضان، ويكون جريان النهر هادئ وذلك نتيجة لتسطح القاع ولا تزيد سرعة المياه عن 1.5 - 2 م/ثانية.

ومن أجل الوصول إلى هدف البحث، تم اعتماد الحجم الشهرية المقيسة للمياه الجارية في نهر الروس على الساحل السوري لمدة 15 عاماً خلال فترة المراقبة التي تمتد من العام الهيدرولوجي 1994-1995 وحتى العام الهيدرولوجي 2008-2009 الشكل (2).



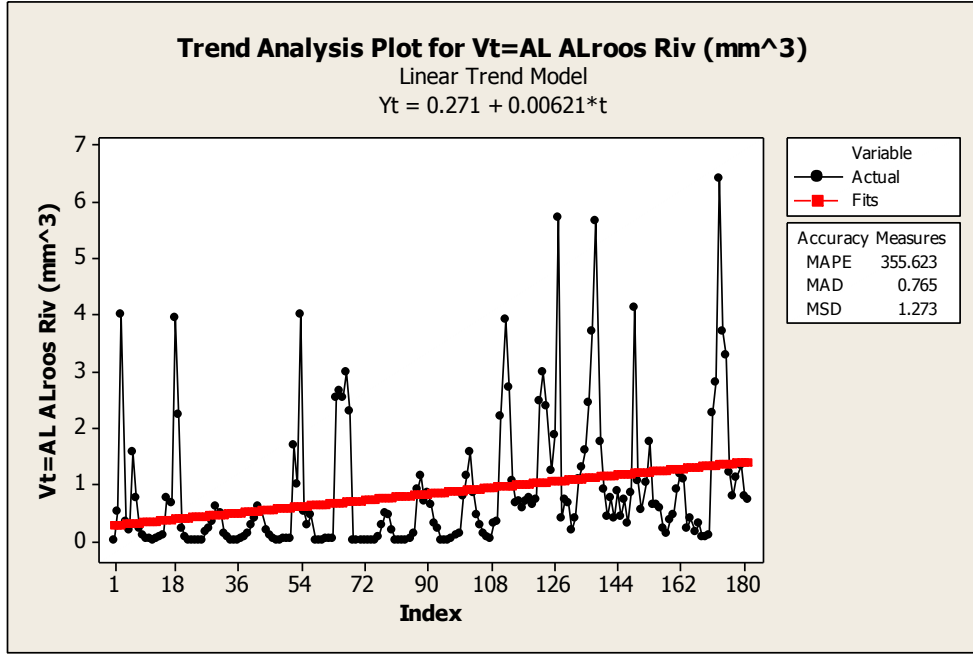
الشكل (2): الحوض السالك لنهر الروس

ومن أجل إجراء الدراسة الإحصائية ومعالجة بيانات الحجم الشهرية للمياه الواردة في النهر المدروس، وبناء النموذج واختباره، ورسم المنحنيات وغيرها من العمليات اللازمة للوصول إلى المطلوب، تم استخدام برنامجي Excel، Minitab.

النتائج والمناقشة

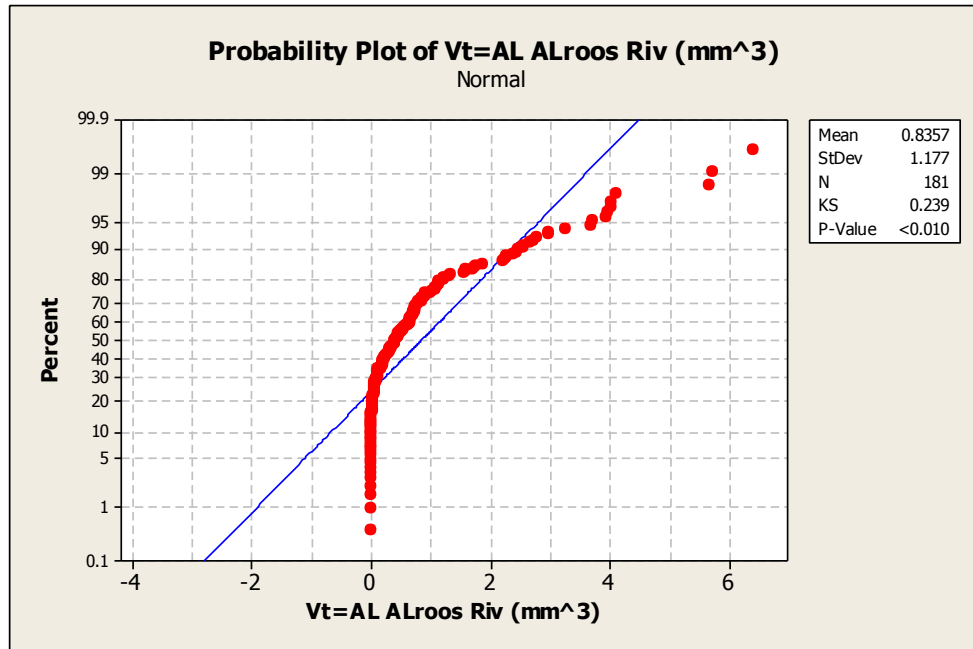
دراسة إحصائية لسلسلة حجم المياه الشهرية الواردة في نهر الروس $V(t)$:

اعتمدت الغزارة الشهرية لمياه نهر الروس قبل مصبه في البحر المتوسط، وتم تحويل هذه الغزارة إلى حجم مياه شهرية (مقدرة بـ مليون متر مكعب) لمدة 15 سنة بدءاً من العام الهيدرولوجي 1994-1995 حتى العام الهيدرولوجي 2008-2009، وتم إدخالها ومعالجتها ضمن بيئة برنامج Minitab. وتم رسم السلسلة الزمنية لحجم المياه الشهرية، فكانت معادلتها: $V_t = 0.271 + 0.00621t$. ويتضح نلاحظ وجود اتجاه عام متزايد لحجم المياه الشهرية الواردة عبر النهر بمقدار 6210 متر مكعب خلال فترة المراقبة، الموضحة في الشكل (3).



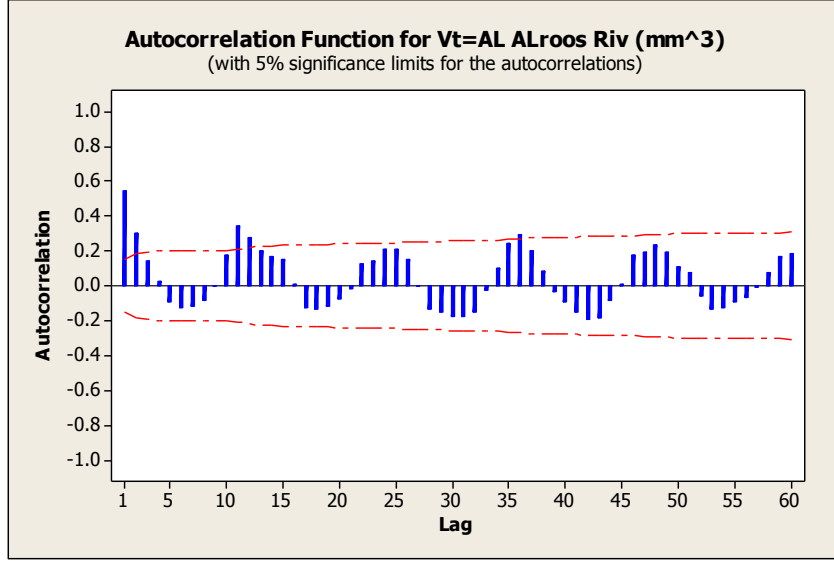
الشكل (3) سلسلة حجوم المياه الشهرية والاتجاه العام ومعادلته.

إن السلسلة الزمنية لحجوم المياه الشهرية في النهر غير مستقرة في المتوسط كما يتضح في الشكل (3). لذلك نقوم باختبار تثبيت التباين، باعتماد اختبار التوزيع الطبيعي باستخدام طريقة (Kolmogorov -Smirnov) الموضحة في الشكل (4).



الشكل (4) اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة الحجوم الشهرية للمياه

لا تتطبق قيم حجوم المياه الشهرية في النهر على الخط المستقيم الذي يمثل للتوزيع الطبيعي، فالسلسلة غير مستقرة في التباين. ثم نوجد دالة الترابط الذاتي (ACF) في الشكل (5).



الشكل (5) دالة الترابط الذاتي لسلسلة أحجام المياه الشهرية

نلاحظ وجود دورية وموسمية واضحة فيها فالسلسلة غير مستقرة. لذلك نحسب الأدلة الموسمية من خلال:

- تمهيد الذبذبات في البيانات الشهرية لحجوم مياه الجريان من خلال حساب المتوسط المتحرك المركزي Centered moving average، ولعدد معين من عناصر السلسلة الزمنية (تم اعتماد 12 شهر).

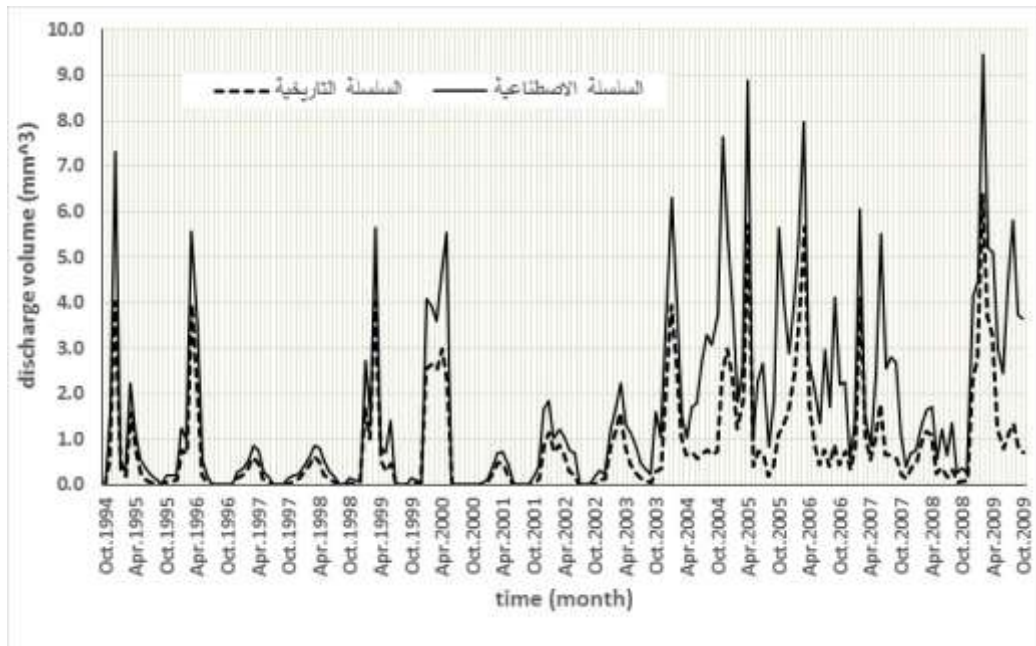
- حساب النسبة الموسمية لكل شهر، بقسمة بيانات السلسلة التاريخية لذلك الشهر على المتوسط المتحرك المركزي الناتج.

- حساب الدليل الموسمي لكل شهر من السنة، كمتوسط لجميع النسب الموسمية المستخرجة لذلك الشهر ولجميع السنوات.

- حساب أحجام الجريان غير الموسمية لكل شهر، بقسمة بيانات السلسلة التاريخية لكل شهر على الدليل الموسمي

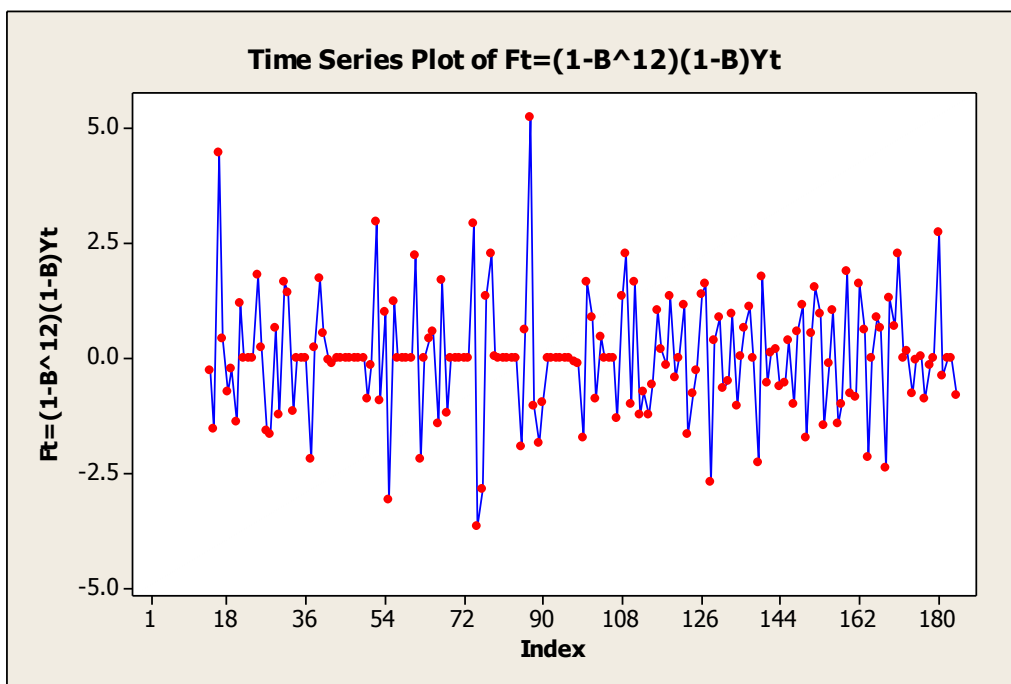
الموسمي seasonal index لذلك الشهر (للسلسلة الزمنية دليل موسمي واحد يحوي على 12 قيمة موزعة على 12 شهر تتكرر كل سنة).

يوضح الشكل (6) السلسلة الزمنية الاصطناعية والتاريخية بعد حساب الدليل الموسمي لها:



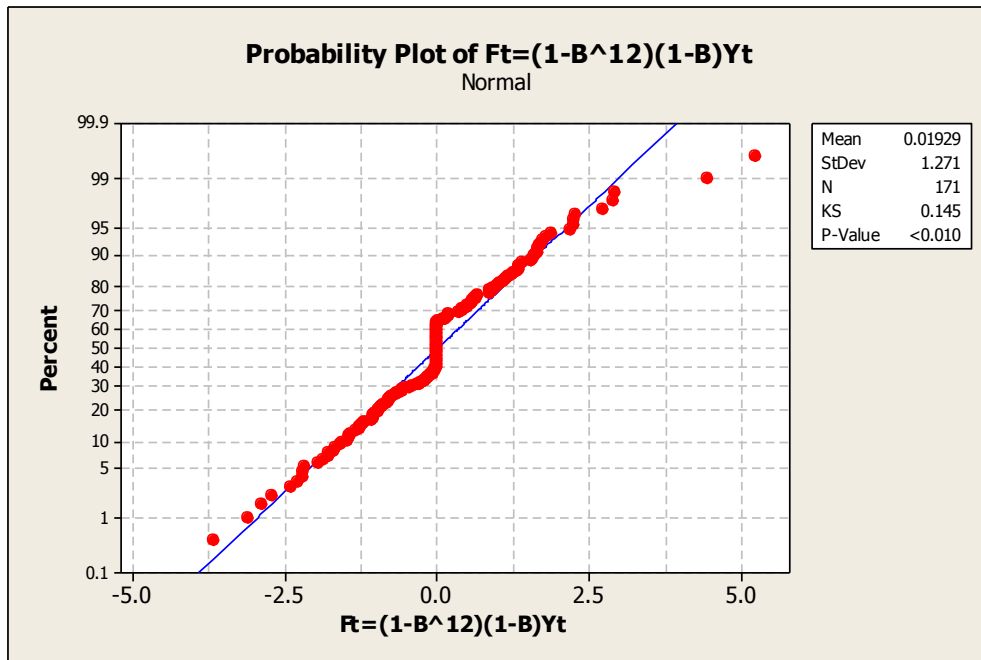
الشكل (6) سلسلة حجوم المياه الشهرية الاصطناعية والتاريخية

بغرض تثبيت التباين نأخذ اللوغاريتم الطبيعي للسلسلة، ثم نأخذ التفريق الأول للسلسلة من أجل تثبيت المتوسط والتباين $x_t = (1-B)y_t$ ، والفرق الموسمي الأول $f_t = (1-B^{12})(1-B)y_t$ ونرسمها بعد التفريق (الشكل - 7).



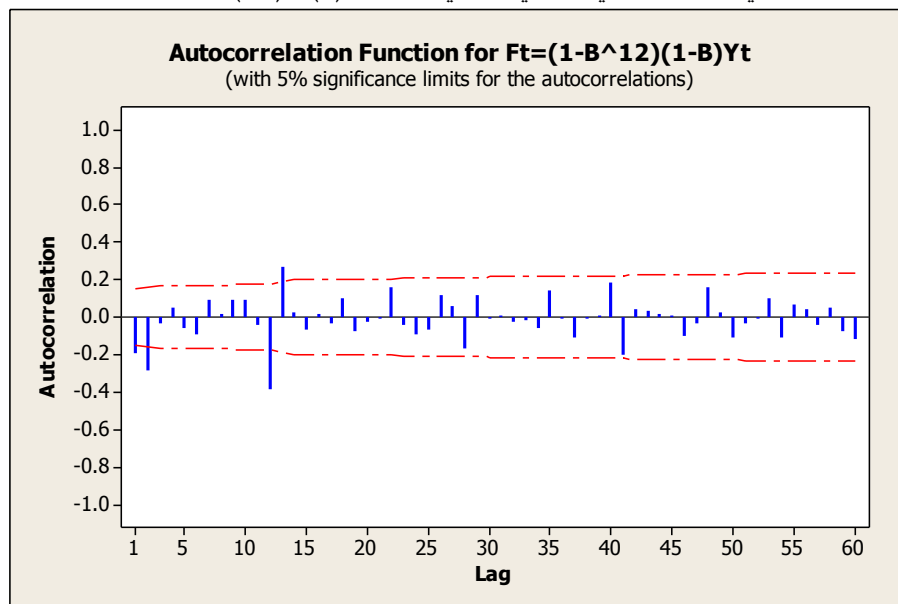
الشكل (7) السلسلة الزمنية الجديدة لقيم حجوم المياه الشهرية

ونجري اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة الحجوم الشهرية للمياه من خلال طريقة (Kolmogorov - Smirnov) (الشكل 8). ونلاحظ توزع جيد لقيم السلسلة الزمنية حول الخط المستقيم.

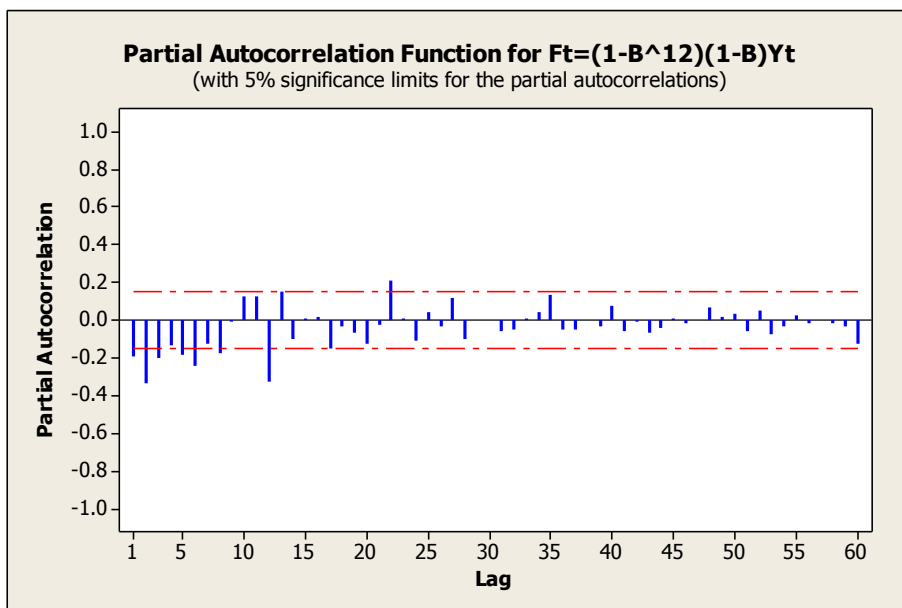


الشكل (8) اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة الحجم الشهرية للمياه

ثم نوجد دوال الترابط الذاتي والترابط الذاتي الجزئي لها في الشكلين (9) و(10).



الشكل (9) دالة الترابط الذاتي للسلسلة الجديدة



الشكل (10) دالة الترابط الذاتي الجزئي للسلسلة الجديدة

نلاحظ استقرار السلسلة موسمياً، وبالتالي أصبحت السلسلة مستقرة وجاهزة لبناء النموذج.

بناء النموذج لسلسلة حجوم المياه الشهرية الواردة في نهر الروس $V(t)$:

تم إدخال بيانات حجوم المياه الشهرية الواردة عبر نهر الروس لمدة 15 سنة بدءاً من العام الهيدرولوجي 1994-1995 حتى العام الهيدرولوجي 2008-2009، فتم اعتماد البيانات لمدة 14 سنة، لبناء نموذج تمثيل البيانات، وبيانات أشهر العام الهيدرولوجي 2008-2009 للتحقق من جودة تمثيل البيانات. تم اقتراح العديد من النماذج وإجراء الاختبارات المختلفة على البواقي، وتوصلنا إلى عدد من النماذج المناسبة، وتم اعتماد معيار أكاي AIC لتحديد النموذج المناسب ويعطى هذا المعيار بالعلاقة:

$$AIC(m) = n * \ln(\sigma^2) + 2 * m \quad (15)$$

حيث: n - عدد قيم السلسلة الزمنية. m - عدد معالم النموذج. σ - الانحراف المعياري. ونوضح النتائج في الجدول (1).

الجدول (1) نتائج اختبار معيار أكاي .

Model	σ^2	m	AIC
$SARIMA (0,1,1)(1,2,1)_{12}$	1.078	6	23.72
$SARIMA (1,1,1)(1,2,1)_{12}$	1.039	7	19.97
$SARIMA (0,1,2)(1,2,1)_{12}$	1.037	7	19.67

نختار النموذج الذي يحقق أقل قيمة لمعيار أكاي وبالتالي يكون النموذج

الأفضل: $SARIMA (0,1,2)(1,2,1)_{12}$

$$(1 - \phi B)(1 - B)(1 - B^{12}) Ln(V_t) = \delta + (1 - \Theta B^{12}) a_t \quad (16)$$

وله الشكل: (16) ويعد تطبيق النموذج المقترح فإن معالمه موضحة في الجدول (2).

الجدول (2) معالم النموذج المقترح.

Θ	ϕ	δ
0.8941	-0.453	0.003881

وبالتالي يكون النموذج :

$$(1 + 0.453 B)(1 - B)(1 - B^{12})Ln(V_t) = 0.003881 + (1 - 0.8941 B^{12})a_t, a_t \approx WN(0,1.037) \quad (17)$$

تشخيص النموذج:

يتم تشخيص النموذج وفق الآتي:

(1) اختبار متوسط البواقي: نبيّن أهم نتائج هذا الاختبار في الجدول (3).

الجدول (3) المتوسط الصفري للبواقي .

<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>StDev</i>	<i>SEMean</i>	<i>95% CI</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
156	0.0055	1.0051	0.083	(-0.1572, 0.1682)	0.07	0.947

بما أن: $P = 0.947 > 0.05$ فلا نرفض الفرضية الصفرية.

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

الجدول (4) نتائج اختبار عشوائية البواقي .

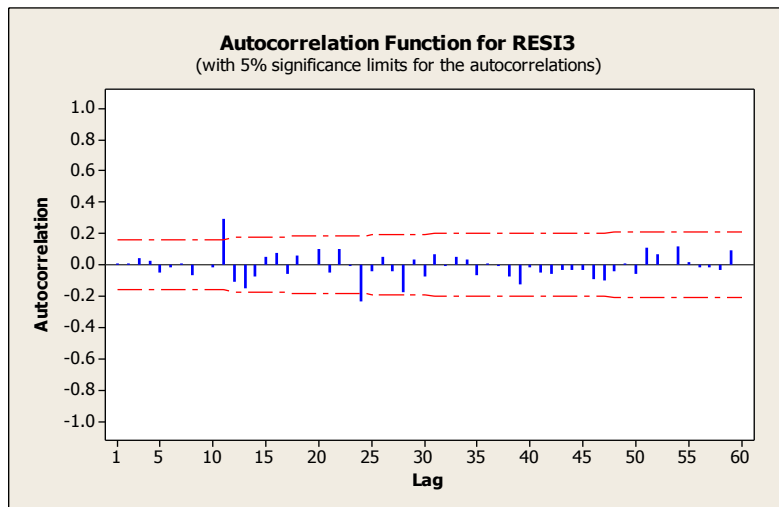
70	العدد الملاحظ للتعاقبات
79	عدد التعاقبات المتوقع
83	عدد المشاهدات الأكبر من المتوسط
73	عدد المشاهدات الأصغر من المتوسط
0.161	قيمة P

بما أن: $P = 0.161 > 0.05$ فالبواقي عشوائية.

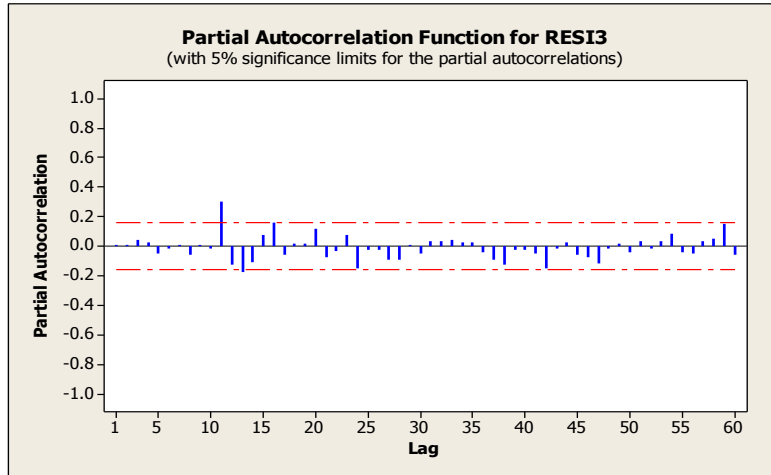
(3) استقلال البواقي: من خلال تدقيق دالتي الترابط الذاتي والترابط الجزئي للبواقي في الشكلين (11)

و (12)، نلاحظ أن معاملات هاتين الدالتين تقعان ضمن حدود الثقة ومعظم قيمها تقارب الصفر. وهذا يعني أن

السلسلة مستقرة وتتبع أنماط متسلسلة الضجة البيضاء.



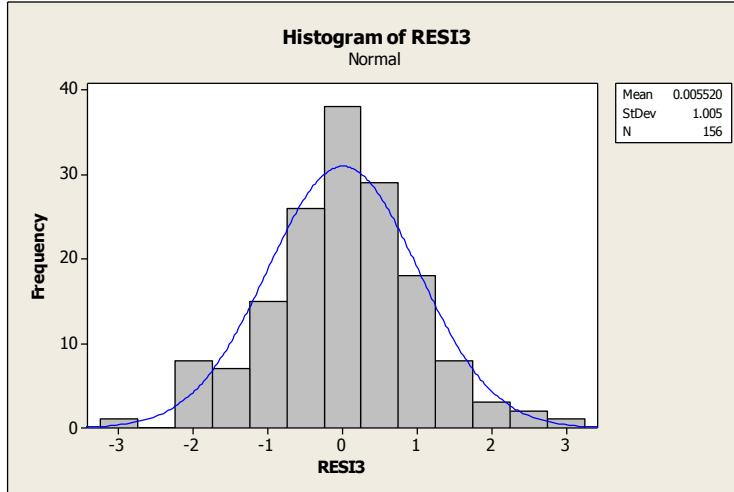
الشكل (11) دالة الترابط الذاتي لبواقي النموذج



الشكل (12) دالة الترابط الذاتي الجزئي لبواقي النموذج

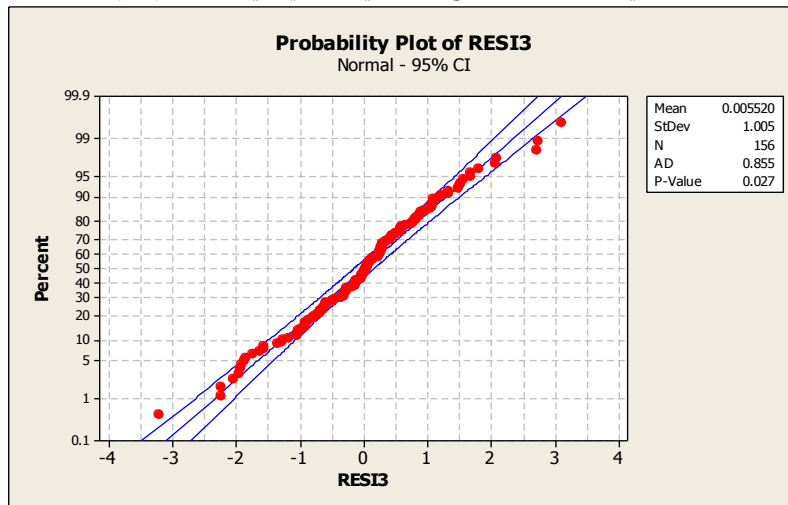
(4) اختبار طبيعة البواقي: ويشمل مرحلتين:

(أ) بعد رسم المضلع التكراري للبواقي في الشكل (13)، يتضح أنه متناظر وله شكل التوزيع الطبيعي تقريباً.



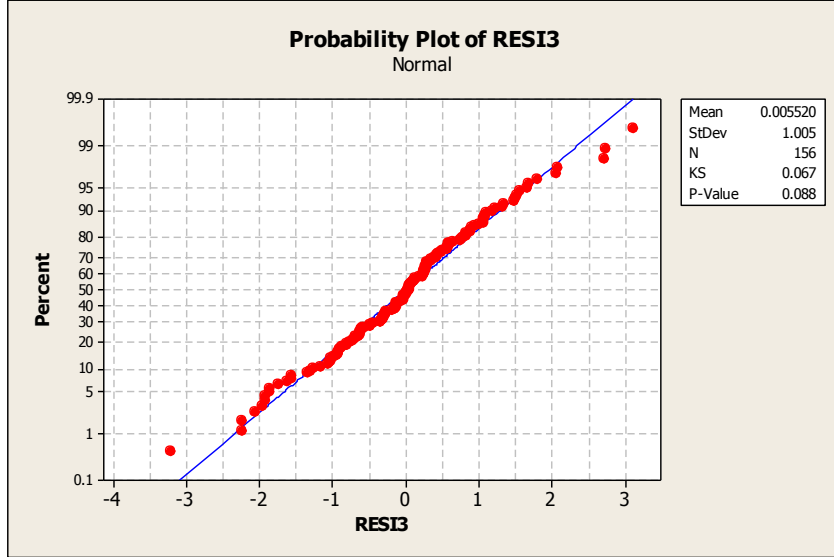
الشكل (13) المضلع التكراري لبواقي النموذج

(ب) نرسم الاحتمال الطبيعي للتأكد من التوزيع الطبيعي للبواقي في الشكل (14).



الشكل (14) الاحتمال الطبيعي لبواقي النموذج

وجد أن البواقي تخضع للتوزيع الطبيعي، وللتأكد من ذلك نجري المرحلة الثالثة.
ج) اختبار $K-S$ لطبيعة البواقي الموضح في الشكل (15).



الشكل (15) اختبار $K-S$ لبواقي النموذج

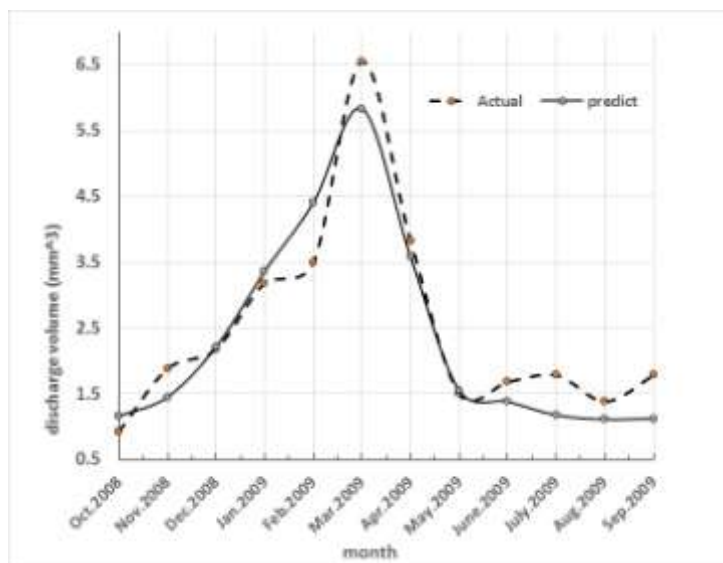
بما أن قيمة الـ $P-Value$ هي 0.088 وهي أكبر من $\alpha = 0.05$ فلا نرفض الفرضية والبواقي موزعة طبيعياً.

بعد نجاح الاختبارات أصبح النموذج ملائماً لسلسلة حجوم المياه الشهرية وبالتالي يكون النموذج النهائي:

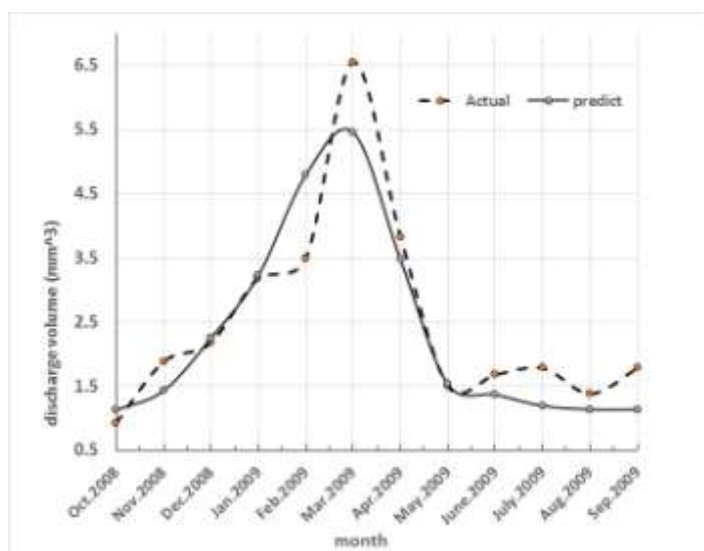
$$(1 + 0.453 B)(1 - B)(1 - B^{12})Ln(V_t) = 0.003881 + (1 - 0.8941 B^{12})a_t, a_t \approx WN(0, 1.037) \quad (18)$$

بناء النموذج التنبؤي لسلسلة حجوم المياه الشهرية الواردة عبر نهر الروس $V(t)$:

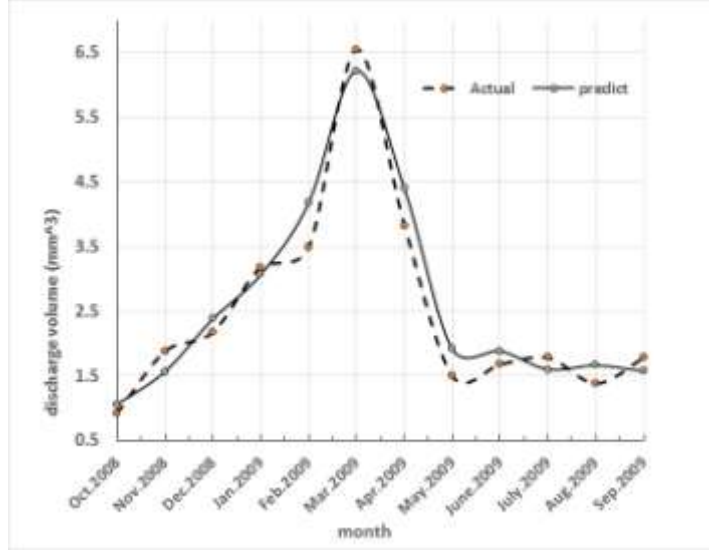
ليس من الضروري أن يكون نموذج تمثيل البيانات صالحاً للتنبؤ المستقبلي بقيمتها [2]. وهذا ما أكدته الاختبارات الكثيرة التي أجريت على السلسلة الزمنية للتنبؤ بقيم حجوم المياه الشهرية الواردة عبر النهر المدروس. لذلك تم بناء النموذج التنبؤي لسلسلة البيانات باعتماد مدة 14 سنة لبناء نموذج تمثيل البيانات، وعام واحد للتحقق من جودة تمثيلها (الأشكال 16, 17, 18).



الشكل (16) مقارنة القيم المقيسة مع القيم المتنبأ بها (مليون متر مكعب) تبعاً للنموذج $SARIMA(0,1,2)(1,0,1)_{12}$.



الشكل (17) مقارنة القيم المقيسة مع القيم المتنبأ بها (مليون متر مكعب) تبعاً للنموذج $SARIMA(0,1,1)(1,0,1)_{12}$.



الشكل (18) مقارنة القيم المقيسة مع القيم المتنبأ بها (مليون متر مكعب) تبعاً للنموذج $SARIMA (1,1,0)(0,1,1)_{12}$.

ولتقويم التنبؤ في السلاسل الزمنية المستقبلية المقترحة نستخدم معايير RMSE, MAP, MAE الموضحة في العلاقات (9, 10, 11)، ويبين الجدول (5) قيم المعايير السابقة للنماذج قيد الاختبار، والجدول (6) يبين قيم المتوسط الموزون الموضحة في العلاقات (12, 13, 14):

الجدول (5) معايير RMSE, MAP, MAE.

Model	RMSE	MAPE	MAP
$SARIMA (0,1,2)(1,0,1)_{12}$	74.73	21.23	20.79
$SARIMA (0,1,1)(1,0,1)_{12}$	71.12	19.84	19.59
$SARIMA (1,1,0)(0,1,1)_{12}$	55.83	15.49	15.36

الجدول (6) قيم المتوسط الموزون للمعايير RMSE, MAP, MAE.

Model	W.M (1)	W.M (2)	W.M (3)
$SARIMA (0,1,2)(1,0,1)_{12}$	12.45	3.54	3.47
$SARIMA (0,1,1)(1,0,1)_{12}$	11.85	3.31	3.26
$SARIMA (1,1,0)(0,1,1)_{12}$	9.31	2.58	2.56

إن النموذج الأمثل للتنبؤ بحجوم الجريان في نهر الروس هو: $SARIMA (1,1,0)(0,1,1)_{12}$ وبارامتراتة موضحة في الجدول (7):

الجدول (7) معالم النموذج المقترح

σ^2	Θ	ϕ	δ
0.969	0.9597	-0.3408	-0.001156

ويوضح الجدول (8) مقارنة القيم المقيسة مع القيم المتنبأ بها (مقدرة بـ مليون متر مكعب)، وهي تحقق تطابقاً جيداً بينهما يسمح لنا بالتنبؤ المستقبلي بحجوم المياه الشهرية الواردة في النهر المدروس:

الجدول (8) مقارنة القيم المقيسة مع القيم المتنبأ بها (مليون متر مكعب).

Month	Actual	predict	الخطأ النسبي (%)
Oct.08	0.928638	1.063675	-15
Nov.08	1.882944	1.570431	17
Dec.08	2.181283	2.383452	-9
Jan.09	3.188214	3.069701	4
Feb.09	3.488461	4.178281	-20
Mar.09	6.550835	6.222614	5
Apr.09	3.828512	4.403061	-15
May.09	1.503315	1.919606	-28
Jun.09	1.682784	1.88706	-12
Jul.09	1.784928	1.602668	10
Aug.09	1.388486	1.663294	-20
Sep.09	1.785376	1.575086	12

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تشكل حجوم المياه الشهرية الواردة في نهر الروس سلسلة زمنية اتجاهها العام متزايد، وهي غير مستقرة في المتوسط والتباين، كما بينت قيم معاملات الارتباط الذاتي.
2. إن النموذج الإحصائي الذي يصف البيانات المدروسة هو النموذج ذو المعالم SARIMA(0,1,2) (1,2,1) اعتماداً على معيار "أكاكي بعد إجراء اختبارات تشخيص النموذج.
3. إن نموذج التنبؤ بالبيانات هو النموذج (0,1,1) SARIMA(1,1,0)، اعتماداً على أصغر قيمة للمتوسط الموزون للمعايير RMSE, MAP, MAE، وقد أعطى النموذج تنبؤات قريبة من حجوم المياه الشهرية الواردة في النهر المقيسة فعلياً.
4. يُوصى باستخدام منهجية تحليل السلاسل الزمنية لحجوم المياه الشهرية الواردة في الأنهار، للتوصل إلى أفضل نموذج لتمثيل البيانات والتنبؤ بها في مناطق مختلفة في سورية.

المراجع

1. سعيد، يونس نجيب (2014) " تحليل السلسلة الزمنية لأحجام المياه الواردة إلى خزان سد الموصل من نهر دجلة واستخدامها للتنبؤ "، مجلة هندسة الرافدين، 39-27، المجلد 22- العدد 1، جامعة الموصل، العراق.
2. THAFER, R. MUTTER, 2008, "Apposed technique for the problem of selecting the best forecasting model in time series: A case study", J. Iraqi Journal of Statistical Science., 1-20.IRAQ
3. POVLA, P., JAN, P., 2005, "long-term prediction for the Turnu severin station (the Danube) using a linear autoregressive ", Journal of Hydrological processes,

SLOVAK REPUBLIC. Published online in Wiley Inter Science (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.5939.

4. SAWSAN, M. ALI, 2013, " *Time series analysis of Baghdad rain fall using ARIMA method* ", Iraqi journal of science, vol. 54 supplement No.4, pp:1136-1142, Baghdad –Iraq.

5. SEVINC, O. *Assessment of climate change effects in Aegean river basins: the case of Gediz and Buyuk Menderes basins*. climatic change journal ISSN:0165 - 0009 (print) 1573-1480 (Online), 2009, 253-283.

6. عمار، غطفان. تأثير التغيرات المناخية على الواردات المائية لنهر الحصين، مؤتمر الخليج التاسع

للمياه، سلطنة عمان، 25-23 آذار 2010.

7. عمار، غطفان. العلاقة بين الهطل والجريان في حوض نهر السن في ظل التغيرات المناخية،

المؤتمر العربي الهندسي السادس والعشرون لاتحاد المهندسين العرب، جدة، المملكة العربية السعودية، 7-10 كانون الأول 2012.

8. Al-Masudi, R. K.M.,(2011): "*Fitting ARIMA Models for Forecasting to inflow of Dokan Reservoir*", Journal of Babylon University, Vol.19, No.4.

9. حايك، شريف، عمار، غطفان (2015) " التنبؤ بالهطل المطري في محطة طرطوس الواقعة في

القسم الجنوبي من الساحل السوري "، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد 37، العدد 2، سورية.