

نمذجة التدفقات الشهرية لنبع السن في الساحل السوري باستخدام تحليل السلاسل الزمنية

د. شريف بدر حايك *

منذر علي حماد **

(تاريخ الإيداع 27 / 3 / 2018. قُبل للنشر في 9 / 8 / 2018)

□ ملخص □

تعتمد دراسة وتصميم المآخذ المائية للينابيع على تحليل السلاسل الزمنية للقياسات التاريخية من خلال التنبؤ بأحجام المياه الواردة أو المتوقع ورودها مستقبلاً. يهدف البحث إلى نمذجة تدفقات المياه الشهرية لنبع السن في الساحل السوري والتنبؤ المستقبلي بهذه التدفقات، باعتماد نماذج "بوكس-جنكنز" في تحليل بيانات السلسلة الزمنية، لارتفاع درجة الدقة في تنبؤاتها. اعتمدنا بيانات تدفقات المياه الشهرية وبالتالي حجوم المياه الشهرية لـ 101 شهراً من حزيران 2008 حتى تشرين الأول 2016م، وبعد إجراء عمليات استقرار السلسلة في التباين والمتوسط وإزالة الموسمية وتنفيذ الاختبارات المطلوبة على بواقي النموذج، تبين أن أفضل نموذج يمثل البيانات هو $SARIMA(2,0,1)$ $(2,1,0)_{12}$ ، وتم تقسيم البيانات إلى 81 شهراً لبناء النموذج و20 شهراً لاختباره، واعتماداً على أصغر قيمة للمتوسط الموزون للمعايير RMSE, MAP, MAE، فإن أفضل نموذج للتنبؤ هو النموذج $SARIMA(3,1,0)$ $(1,1,0)_{12}$ ، وقد أعطى النموذج تنبؤات قريبة من حجوم المياه الشهرية في النبع المقيسة فعلياً.

الكلمات المفتاحية: غزارة النبع، نبع السن، نماذج بوكس-جنكنز، التنبؤ، نماذج SARIMA.

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

Modeling the monthly flows of AL-SIN Spring in the Syrian Coast by using the time series analysis

Dr. Sharif HAYEK^{*}
Munzer HAMMAD^{**}

(Received 27 / 3 / 2018. Accepted 9 / 8 / 2018)

□ ABSTRACT □

The study and design of water-intakes on springs is based on the analysis of time series of historical measurements to achieve prediction of incoming water volumes or future expected.

The research aims to model the monthly water flows of AL-SIN Spring in Syrian Coast and future expectations of these flows, by adopting the Box-Jenkins models to analyze the time series data, due to its reliable accuracy. Monthly water flows, thus, monthly volumes, for 101 month (from June 2008 to October 2016) were processed. Performing the stability of the time series on variance and median and non-seasonality and making the wanted tests on model residuals, we found that the best model to represent the data is SARIMA(2,0,1) (2,1,0)₁₂, and after dividing the data into 81 month to build the model and 20 month to test it. Depending on the smallest of weighted mean of criteria RMSE, MAP, MAE,. The best predicted model was SARIMA (3,1,0) (1,1,0)₁₂ and the model gave the nearest predicted values to actually measured data in spring.

Keywords: Springflow, AL-SIN spring, 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

يشكل الماء عصب الحياة المعاصرة الذي تحتاجه جميع قطاعات المجتمع، لتلبية الاحتياجات المائية في القطاعات الصناعية والزراعية والبلدية وكافة الاستعمالات الأخرى.

أضحى استخدام البيانات الإحصائية ضرورة وأهمية للقيام بالدراسات والبحوث العلمية بغرض التخطيط وصنع القرار، وتطوير الأداء، على أساس قياس حركة عدد من المتغيرات المحددة للظواهر موضوع الدراسة. ويعد تحليل السلاسل الزمنية من بين أهم الأساليب الإحصائية الحديثة التي يمكن من خلالها معرفة طبيعة التغيرات التي طرأت على قيم الظاهرة مع الزمن والتنبؤ بها، من خلال معرفة سلوك متغير ما في فترات مستقبلية قادمة.

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

تستخدم نماذج Box-Jenkins للسلاسل الزمنية التاريخية في التنبؤ الهيدرولوجي، ومن أهم هذه النماذج: تكامل الانحدار الذاتي - المتوسط المتحرك (ARIMA)، الانحدار الذاتي - المتوسط المتحرك (ARMA)، الانحدار الذاتي (AR)، والمتوسط المتحرك (MA)، وتمتاز هذه النماذج بأهمية كبيرة للتنبؤ بالتغيرات المحتملة [1].

وقد اعتمد المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) ومعهد (Streamflow) (BGR) simulator, 2007) نموذجاً إحصائياً لدراسة تأثير التغير المناخي على تدفقات نبع بردى، إذ تبين عند تناقص الهطل المطري بمقدار 4% (25mm) يزداد الضخ الجوفي بجوار النبع 2.5% سنوياً، الأمر الذي يسبب انخفاض تدفقات النبع إلى 35% بعد مضي ست سنوات [2].

وبينت دراسة عن تأثير التغيرات المناخية على تدفقات نبع السن خلال فترة المراقبة بين عامي (1974-2000)، أن تناقص الهطل المطري في محطات حوض النبع تراوح بين 9-20 mm، يترافق بتناقص تدفقات النبع بمقدار $0.127 \text{ m}^3/\text{s}$ [3].

اعتمدت دراسة 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)، ويعد 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 [4].

لدى التحليل الإحصائي لأحجام المياه الشهرية الواردة إلى بحيرة سد الموصل من نهر دجلة لمدة 15 سنة خلال الفترة 1985-1999م تبين أن النموذج الأفضل لتمثيل البيانات هو $(0,1,1)_{12}$ SARIMA (1,1,2). والنموذج الأفضل للتنبؤ $(3,1,1)_{12}$ SARIMA (1,1,2)، والتطابق كبير بين القيم المتنبأ بها والقيم التاريخية لحجوم المياه الواردة حيث وصل معامل الارتباط إلى 0.96 [5].

وأكدت دراسة تأثير التغيرات المناخية على الواردات المائية لنهر الحصين في الساحل السوري خلال فترة الدراسة التي تجاوزت الأربعين عاماً، وجود تناقص تتراوح قيمه بين 7-11% في الهطل المطري في المحطات المناخية الموزعة في حوض النهر المدروس. ويترافق ذلك بتناقص في الواردات المائية لنهر الحصين قيمته 7.6% خلال نفس الفترة المدروسة. [6].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى إعداد دراسة إحصائية تنبؤية لحجوم المياه الشهرية المأخوذة من الحجوم اليومية للمياه في نبع السن على الساحل السوري، والتنبؤ المستقبلي بهذه الحجوم باستخدام السلاسل الزمنية لأحجام المياه عند موقع النبع المدروس.

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.

طرائق البحث ومواده

تعرف السلسلة الزمنية Time series بأنها مجموعة من القيم المشاهدة لظاهرة معينة مرتبة وفق حدوثها في الزمن، كالسنين والأشهر والأسابيع والأيام، أو أية وحدة زمنية، أي أنها عبارة عن سجل تاريخي لظاهرة معينة. وتعد السلسلة الزمنية ساكنة Stationary Time Series من الدرجة الثانية إذا كان لها وسط حسابي ثابت تتجمع حوله البيانات، أي خالية من تأثير الاتجاه العام ومن التأثيرات الموسمية. وللسلسلة الزمنية الساكنة وسط حسابي ثابت، وتباين وتغاير مشترك ثابتان أي أن:

$$\mu = E(X_t)$$

$$\sigma_X^2 = \text{Var}(X_t) = E(X_t - \mu)^2$$

$$\gamma_k = \text{Cov}(X_t, X_{t+k}) = E(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

فإذا كانت X_1, X_2, \dots, X_n هي قيم ملاحظة من السلسلة الزمنية $\{X_t\}$ وكانت \bar{X} , $\hat{\sigma}_X^2$, C_k هي تقديرات لـ μ , σ_X^2 , γ_k على التوالي فإن:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t \quad \dots\dots(1)$$

$$\hat{\sigma}_X^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2 \quad \dots\dots(2)$$

$$C_k = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}) \quad \dots\dots(3)$$

كما تعد السلسلة الزمنية سلسلة موسمية عندما تعيد نفسها كل فترة زمنية ثابتة، أي أن: $X_t = X_t + S$ حيث تمثل S طول الموسم. ويمكن معرفتها وتمييزها من خلال قيم معاملات الارتباط الذاتي التي تكون موجبة وأكبر ما يمكن وتختلف معنوياً عن الصفر عند الفترات الزمنية $S, 2S, 3S, \dots$.

إن معامل الارتباط الذاتي Autocorrelation Function هو مقياس يقيس قوة الارتباط بين قيم الظاهرة $\{X_t\}$ في فترات زمنية مختلفة، ويحسب من العلاقة الآتية:

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(X_t, X_{t+k})}{\sqrt{\text{Var}(X_t) \cdot \text{Var}(X_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}, \quad k = 1, 2, \dots, \frac{N}{4} \quad \dots\dots(4)$$

حيث إن التباين للسلسلة الزمنية الساكنة ثابت ومتساوٍ لكل الفترات الزمنية المختلفة ويحسب من العلاقة:

$$r_k = \frac{C_k}{C_0} \dots\dots\dots(5)$$

تعد نماذج بوكس-جنكنز من الأساليب الإحصائية المهمة لتحليل السلسلة الزمنية، حيث تستخدم هذه النماذج لتمثيل سلسلة زمنية تمثل ظاهرة معينة، وكذلك في التنبؤ بقيم الظاهرة في المستقبل. ولها تطبيقات كثيرة في المجالات الاقتصادية والأرصاء الجوية وهناك نوعان من هذه النماذج:

النماذج اللاموسمية: تستخدم لتمثيل نوعين من السلاسل: الساكنة وغير الساكنة Un stationary، ومن هذه النماذج [7]:

- نموذج الانحدار الذاتي: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + Z_t \dots\dots\dots(6)$$

حيث أن $\mu, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ 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:

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

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

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

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_q Z_{t-q} \dots\dots\dots(8)$$

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

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

$$W_t = X_t - X_{t-1} \dots\dots\dots(9)$$

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: تستخدم لتمثيل السلاسل الزمنية الموسمية ومن هذه النماذج [7]:

- نموذج الانحدار الذاتي الموسمي: ومعادلته من الشكل الآتي:

$$X_t = \mu + \theta_S X_{t-S} + \theta_{2S} X_{t-2S} + \dots + \theta_{PS} X_{t-PS} + Z_t \dots\dots\dots(10)$$

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

- نموذج المتوسطات المتحركة الموسمي: وتكتب معادلته كما يأتي:

$$X_t = \mu + Z_t - \phi_S Z_{t-S} - \phi_{2S} Z_{t-2S} - \dots - \phi_{QS} Z_{t-QS} \dots\dots\dots(11)$$

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

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

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

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:

$$W_t = X_t - X_{t-S} \quad \dots(13)$$

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 *Multiplicative seasonal model*: هو خليط من النماذج اللا موسمية والموسمية ويكتب بالشكل الآتي:

$$\theta_p(B)\theta_p(B^S)\nabla^d\nabla^D X_t = \phi_q(B)\phi_q(B^S)Z_t \quad \dots(14)$$

حيث أن: 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 $ARIMA(p, q, d) \times (P, Q, D)_S$.

مراحل بناء نموذج التنبؤ: يلزم أربع مراحل لبناء نموذج تنبؤي لسلسلة زمنية ساكنة وهي [8]:

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: $\sigma^2, \theta_1, \dots, \theta_p, \theta_1, \dots, \theta_p, \delta$

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 استجدت 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 $MAE, MAP, RMSE$: الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء:

$$RMSE \text{ (Root mean squared error)} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m (x_t - \bar{x}_t)^2} \quad (15)$$

متوسط نسبة الخطأ المطلق:

$$MAPE \text{ (Mean absolute percent error)} = \left[\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m \frac{|x_t - \bar{x}_t|}{x_t} \right] \cdot 100\% \quad (16)$$

متوسط الخطأ المطلق:

$$MAE \text{ (Mean absolute error)} = \left[\frac{1}{m} \sum_{t=1}^m |x_t - \bar{x}_t| \right] \quad (17)$$

وتسهم أصغر قيمة للمتوسط الموزون Weighted mean في تحديد النموذج الأمثل للتنبؤ بالقيم المستقبلية للسلاسل الزمنية، وهي ترتبط بين المعايير الثلاثة السابقة بالشكل الآتي:

$$\text{Weighted mean} = \frac{(RMSE + 4 \cdot MAPE + MAE)}{6} \quad (18)$$

$$\text{Weighted mean} = \frac{(4 \cdot RMSE + MAPE + MAE)}{6} \quad (19)$$

$$\text{Weighted mean} = \frac{(RMSE + MAPE + 4 \cdot MAE)}{6} \quad (20)$$

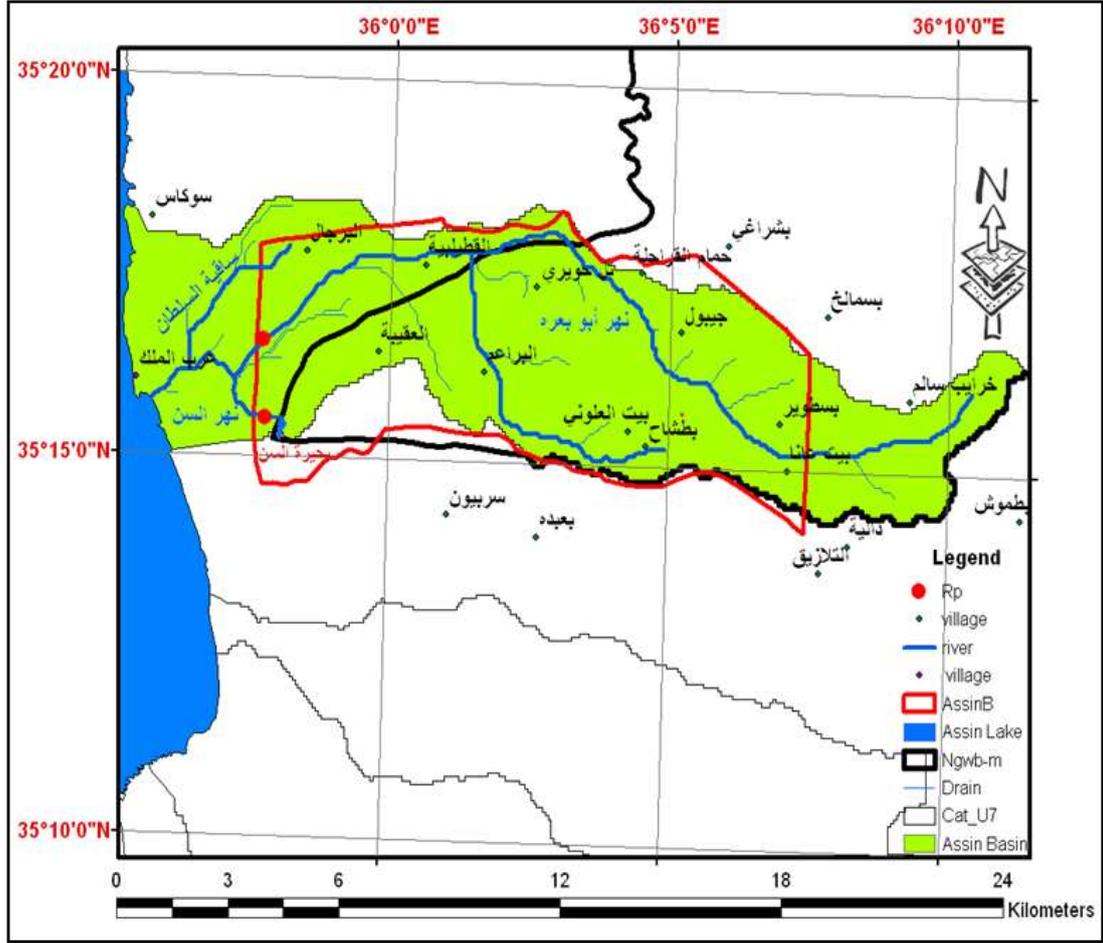
نهر السن

تشكّل نهر السن بشكل أساسي من نبع السن الذي ينبع عند أقدام الجبال الساحلية على منسوب +5.4 م وقد أصبح المنسوب حالياً +11 م بعد تغذية البحيرة. يجري نحو الغرب ليلتقي على بعد 2.258 كم من المنبع بمجرى نهر أبو بعري الحالي المحوّل، ويتابع بعدها ليصبّ في البحر قرب قرية عرب الملك. يبلغ طول مجراه 5.416 كم. وهو أحد الينابيع المهمة في حوض البحر المتوسط. تُستخدم مياهه حالياً لأغراض الشرب والري والصناعة، ويذهب ما يفرض منه إلى البحر. وترفده قبل المصبّ بـ 1.727 كم مياه نبع ساقية السلطان (الشكل-1).

يعد نبع السن المصدر الأساسي لمياه الشرب والصناعة والري في محافظتي طرطوس واللاذقية ومن خلال التصريف المراقبة خلال فترة الدراسة من العام 2008 حتى العام 2011 تبيّن لنا الآتي:

- يبلغ التصريف الوسطي السنوي لنبع السن: 9.004 ، 12.543 ، 10.459 ، 14.466 م³/ثا على التوالي.
- يبلغ التصريف المتوسط السنوي للفترة من 2008-2011 11.061 م³/ثا، أما المتوسط السنوي للتصريف الأعظم الشهري فيبلغ حوالي 13.792 م³/ثا، والمتوسط السنوي للتصريف الأدنى الشهري يبلغ 7.817 م³/ثا.
- يبلغ أعظم تصريف شهري 21.41 ، 19.88 ، 18.273 ، 16.397 م³/ثا على التوالي. وأدنى تصريف شهري فيبلغ 4.368 ، 7.623 ، 6.377 ، 9.7 م³/ثا للأشهر (تشرين ثاني ، أيلول ، حزيران ، حزيران) على التوالي.

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



(الشكل 1-1) الحوض السابك لنهر السن

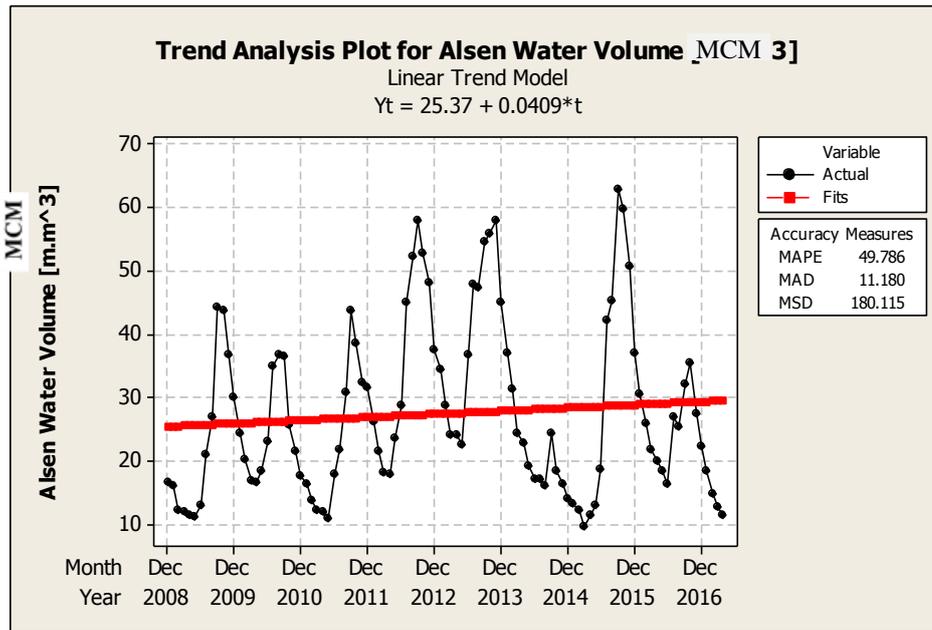
النتائج والمناقشة

سلسلة حجوم المياه الشهرية لنبع السن Monthly Water Volume for Al-Sin Spring

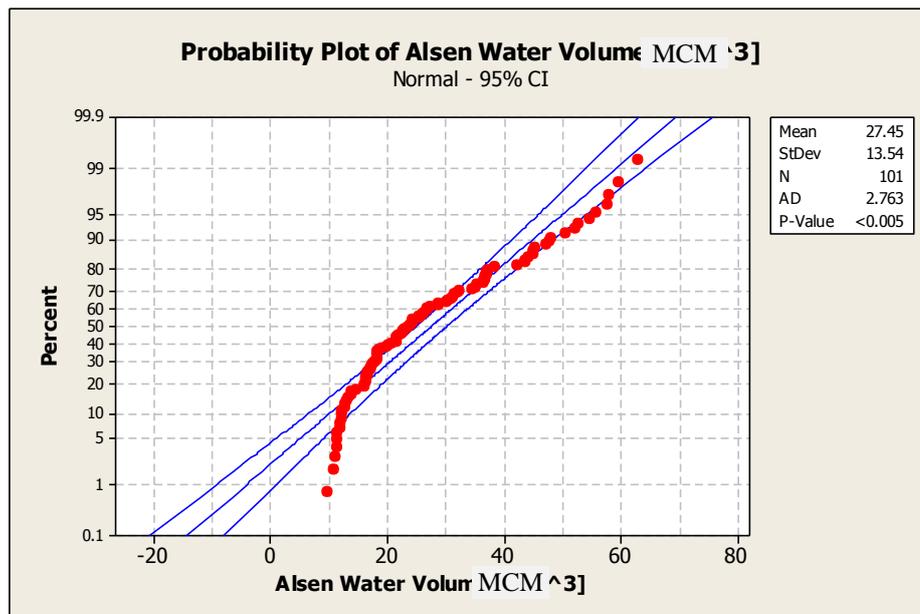
أولاً - بناء نموذج التمثيل Model Fitting

تم إدخال بيانات السلسلة الزمنية لحجوم المياه الشهرية لنهر السن والمشتقة من الحجوم اليومية للمياه في النبع من شهر حزيران لعام 2008 وحتى شهر تشرين الأول لعام 2016م باستخدام برنامج Minitab، حيث تم استخدام هذه البيانات لبناء نموذج التمثيل.

يوضح (الشكل 2-2) السلسلة الزمنية لحجوم المياه الشهرية والاتجاه العام للسلسلة ومعادلتها، حيث نلاحظ وجود اتجاه عام متزايد، فالسلسلة غير مستقرة في المتوسط، كما نقوم باختبار تثبيت التباين؛ أي اختبار التوزيع الطبيعي من خلال طريقة (Kolmogorov-Smirnov) كما هو موضح في (الشكل 3-3). علماً أن قيم حجوم المياه لا تقل عن الصفر بل قيم المستقيمات المغلفة لها تبدو أنها تصل إلى القيم السالبة.



(الشكل 2-) السلسلة الزمنية لحجوم المياه والاتجاه العام ومعادلته

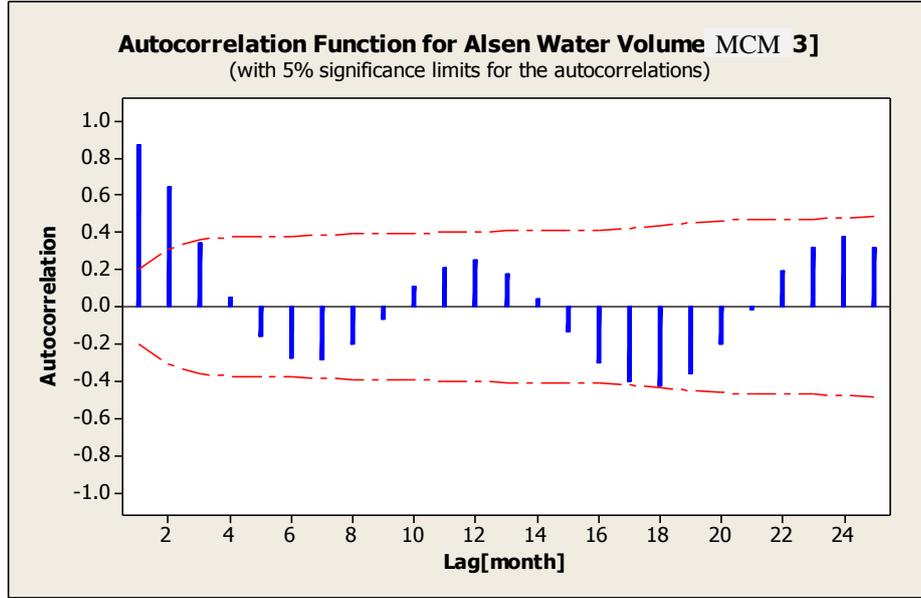


(الشكل 3-) اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة حجوم المياه

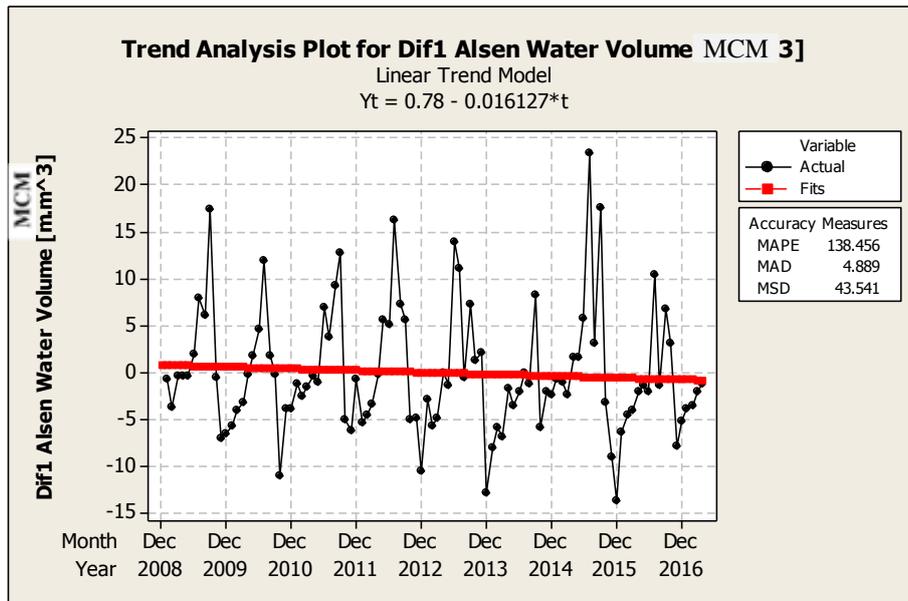
نلاحظ عدم اقتراب معظم القيم من الخط المستقيم (الممثل للتوزيع الطبيعي) فالسلسلة غير مستقرة في التباين، ثم نوجد دالة الترابط الذاتي (ACF) التي نوضحها في (الشكل 4-)، فيظهر وجود دورية وموسمية من المرتبة (12) فهي سلسلة غير مستقرة موسمياً، لذلك نحري التفريق الأول للسلسلة من أجل تثبيت المتوسط والتباين حسب المعادلة:

$$y_t = (1 - B)z_t \dots (21)$$

ونوضح السلسلة الجديدة والاتجاه العام ومعادلته بعد التفريق الأول في (الشكل 5-).



(الشكل -4) دالة الترابط الذاتي لسلسلة حجوم المياه



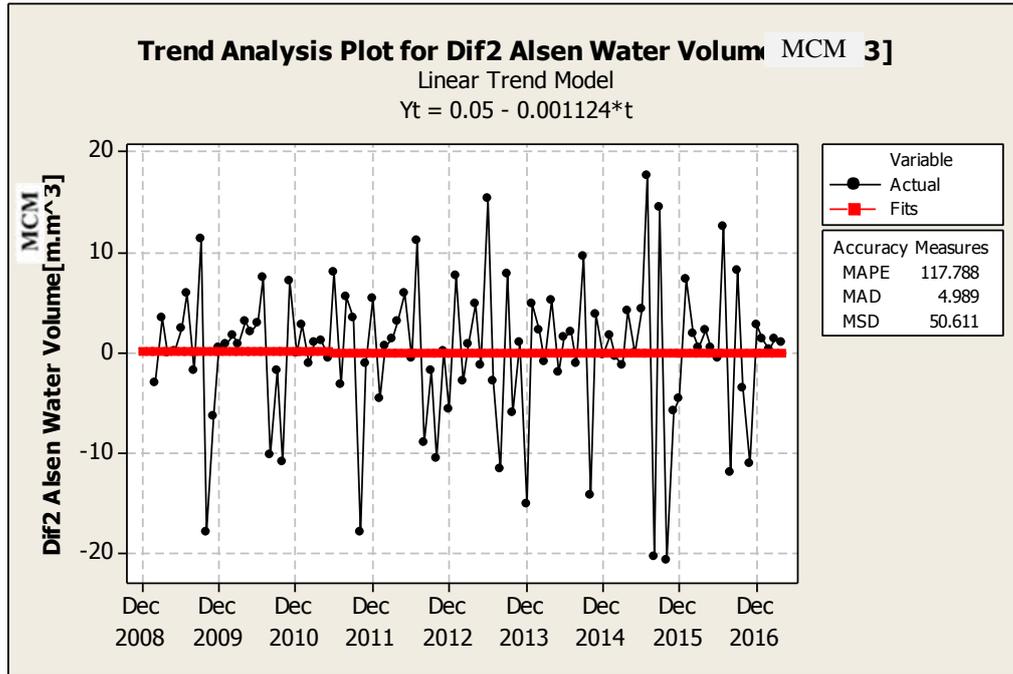
(الشكل -5) سلسلة حجوم المياه الجديدة بعد التفريق الأول

نلاحظ عدم زوال الاتجاه العام، لذلك نجري التفريق الثاني للسلسلة من أجل تثبيت المتوسط، والتباين حسب المعادلة

$$f_t = (1 - B)y_t \dots (22)$$

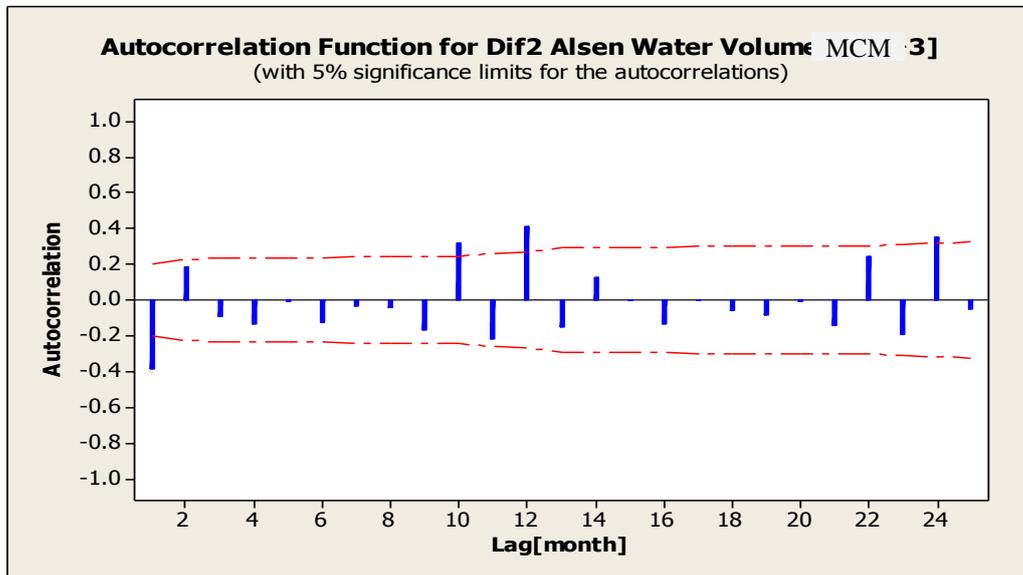
الآتية:

ونوضح السلسلة الجديدة والاتجاه العام ومعادلته بعد التفريق الثاني في (الشكل -6).

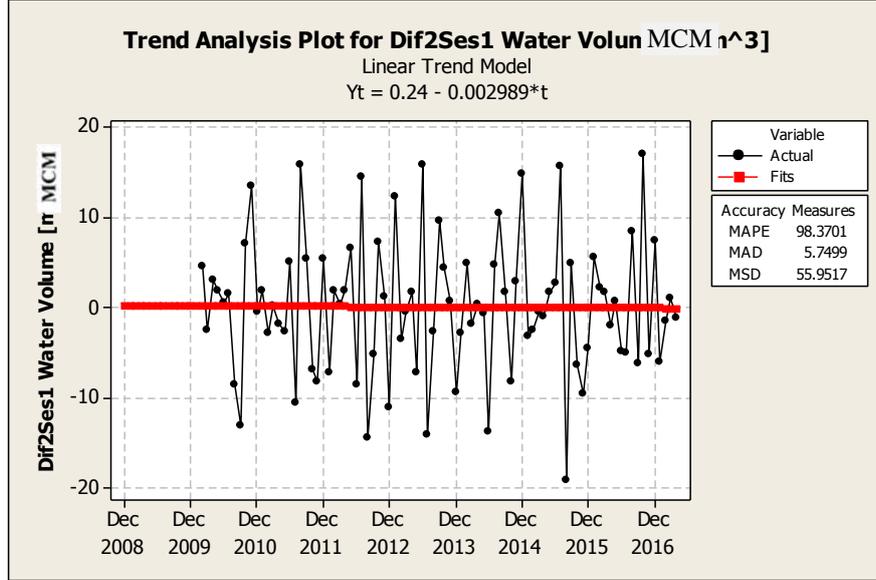


(الشكل 6- سلسلة حجوم المياه الجديدة بعد التفريق الثاني).

نلاحظ استقرار السلسلة في المتوسط والتباين، ثم نوجد دالة الترابط الذاتي من جديد ونوضحها في (الشكل 7-)، فينتبين لدينا وجود دورية وموسمية فيها من المرتبة 12 (ظهور قيم كبيرة كل 12 شهر وبشكل دوري) فهي سلسلة غير مستقرة موسمياً، لذلك نجري التفريق الموسمي الأول حسب (الشكل 8-).

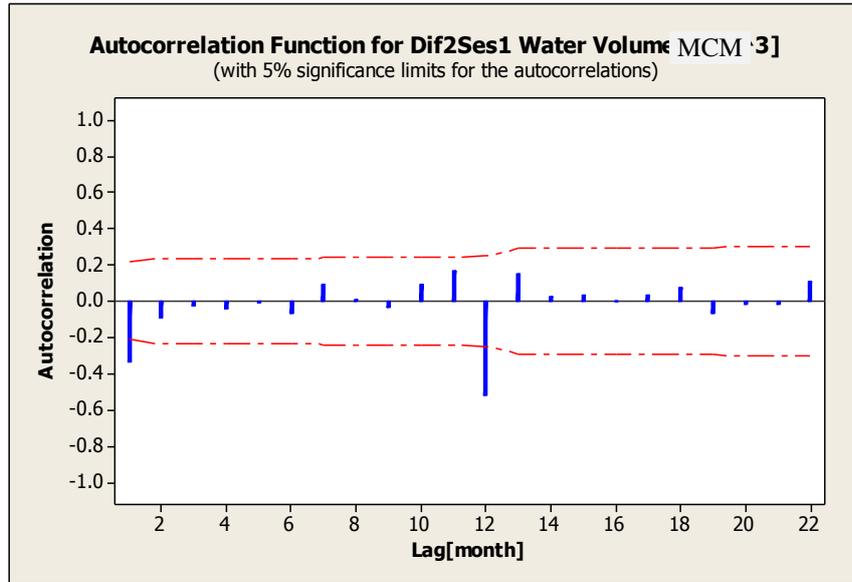


(الشكل 7- دالة الترابط الذاتي لسلسلة حجوم المياه الجديدة)



(الشكل -8) سلسلة حجوم المياه الجديدة بعد التفريق الموسمي الأول

والآن نعيد اختبار دالة الترابط الذاتي ونوضحها في (الشكل -9)، فنلاحظ زوال الدورية والموسمية وبالتالي أصبحت السلسلة مستقرة وجاهزة لبناء النموذج.



(الشكل -9) دالة الترابط الذاتي الجديدة لسلسلة حجوم المياه بعد التفريق الموسمي الأول

أ- بناء النموذج Building Model

تم اقتراح العديد من النماذج بناءً على التحويلات السابقة وإجراء الاختبارات المختلفة على البواقي وتوصلنا إلى عدد من النماذج المناسبة، لذلك نلجأ إلى معيار أكاي Automatic Information Criteria AIC لتحديد النموذج المناسب ويعطى المعيار بالعلاقة:

$$AIC(m) = n * \ln(\sigma^2) + 2 * m \quad \dots (23)$$

نوضح النتائج في (الجدول -1).

(الجدول- 1) نتائج اختبار معيار أكاي.

SARIMA Model	σ^2	m	AIC
SARIMA (2,1,1)(2,1,0)	18.34	6	305.818
SARIMA (3,1,1)(3,1,0)	17.86	8	307.139
SARIMA (2,0,1)(2,1,0)	17.12	6	298.865
SARIMA (5,0,1)(3,1,0)	17.22	10	307.453
SARIMA (3,0,1)(2,1,0)	17.32	7	302.038

نختار النموذج الذي يحقق أقل قيمة لمعيار أكاي ونعتبره نموذجاً أولياً وبالتالي يكون النموذج الأفضل
 $SARIMA (2,0,1)(2,1,0)$ وله الشكل:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2) \cdot (1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2) \cdot (1 - B^{12}) z_t = \delta + (1 - \theta B) a_t \approx WN(0, \sigma^2) \quad \dots(24)$$

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

(الجدول- 2) معالم النموذج المقترح $ARIMA (1,1,2)$.

ϕ_1	ϕ_2	Φ_1	Φ_2	θ	δ
1.6858	-0.7265	-1.0076	-0.6173	0.6094	0.0543

وبالتالي يكون النموذج:

$$(1 - 1.6858B + 0.7265B^2) \cdot (1 + 1.0076B + 0.6173B^2) \cdot (1 - B^{12}) z_t = 0.0543 + (1 - 0.6094B) a_t \approx WN(0, 17.12) \quad \dots(25)$$

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.

N	Mean	StDev	SEMean	95% CI	Z	P
89	-0.049	4.018	0.426	-0.884, 0.786	-0.12	0.908

بما أن $P = 0.908 > 0.05$ فلا نرفض الفرضية الصفرية.

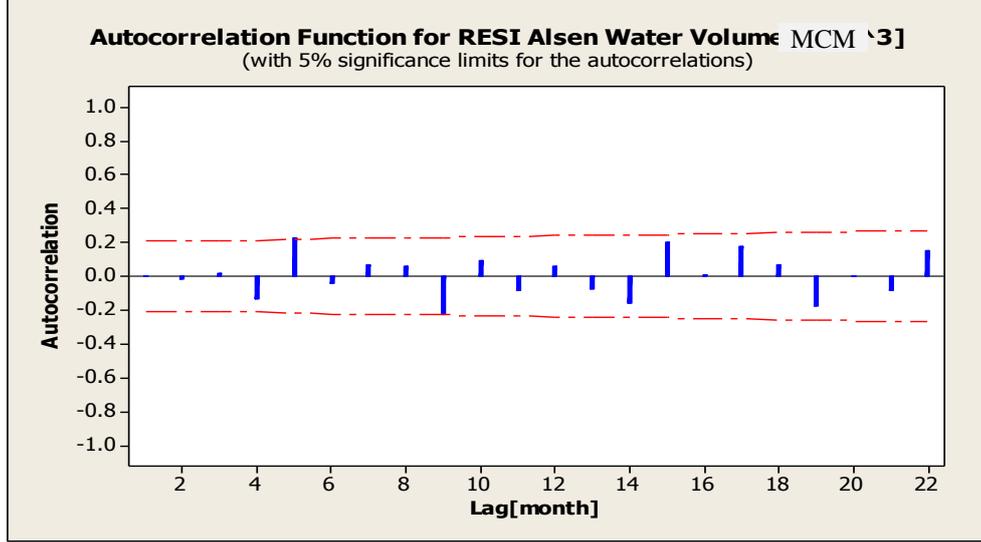
(2) اختبار عشوائية البواقي: نختبر عشوائية البواقي بواسطة اختبار التعاقب حول المتوسط وحول الصفر. والتعاقب هو مجموعة من المشاهدات المتتالية التي جميعها أكبر من أو أصغر من قيمة محددة هي قيمة المتوسط. ونبين النتائج في (الجدول - 4).

(الجدول-4) نتائج اختبار عشوائية البواقي.

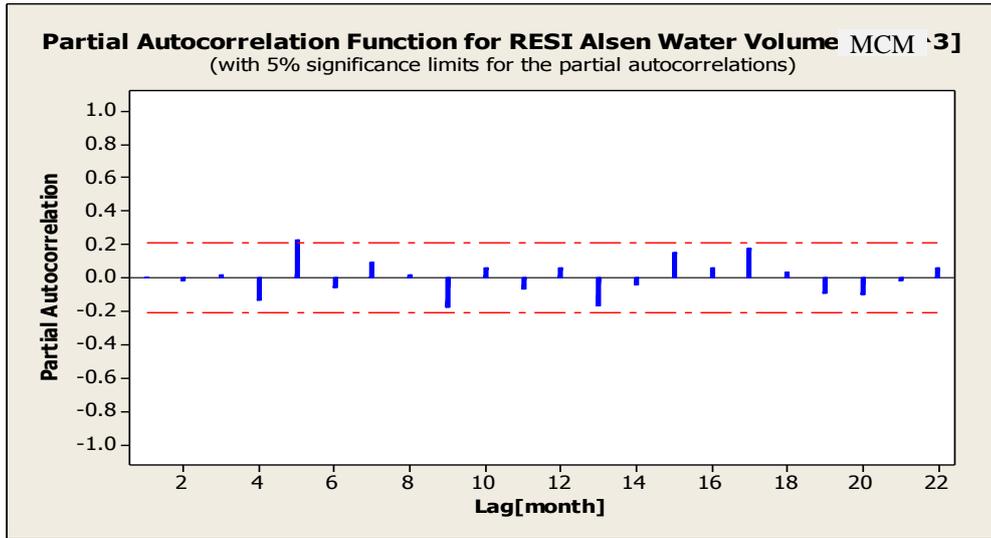
47	العدد الملاحظ لتعاقبات البواقي
46	عدد التعاقبات المتوقع للبواقي
46	عدد المشاهدات الأكبر من المتوسط
43	عدد المشاهدات الأصغر من المتوسط
0.741	قيمة P

بما أن $P = 0.741 > 0.05$ فالبواقي عشوائية.

(3) استقلال البواقي: من خلال فحص دالتي الترابط الذاتي والترابط الجزئي للبواقي في (الشكلين 10-11) 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.



(الشكل -10) دالة الترابط الذاتي لبواقي النموذج



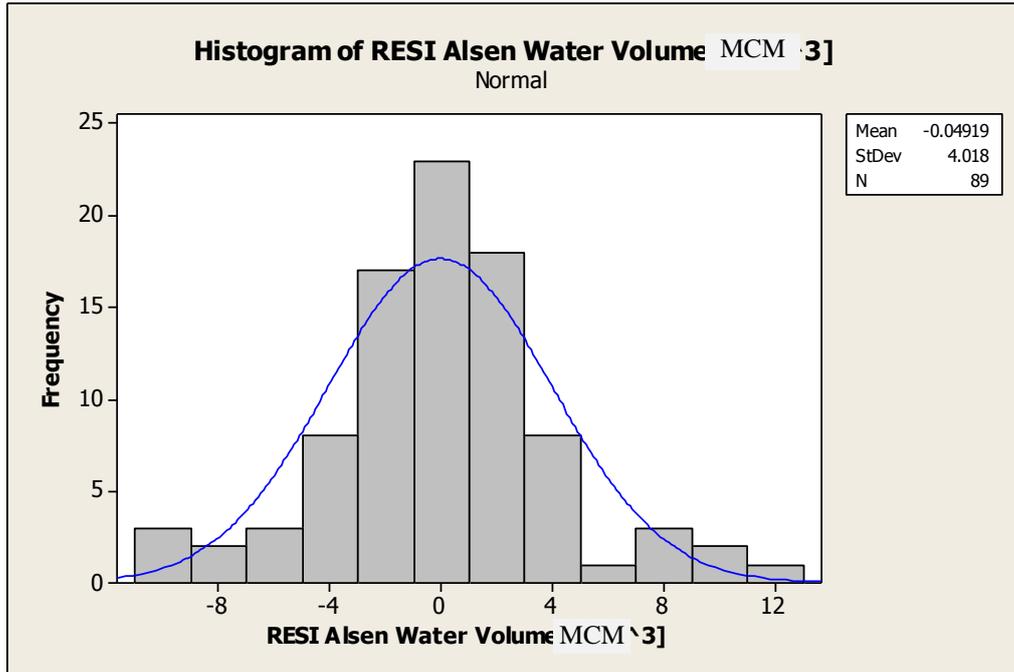
(الشكل -11) دالة الترابط الذاتي الجزئي لبواقي النموذج

(4) اختبار طبيعة البواقي ويشمل ثلاث مراحل:

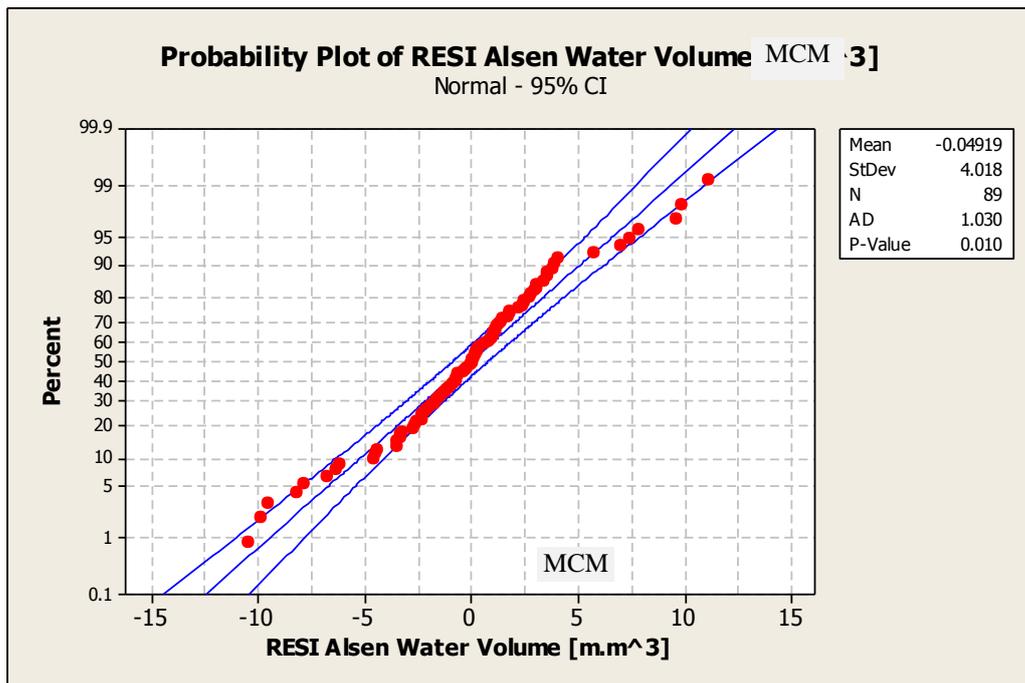
(أ) نرسم المضلع التكراري للبواقي في (الشكل-12) ونلاحظ أنه متناظر وله شكل التوزيع الطبيعي تقريباً.

(ب) للتأكد من التوزيع الطبيعي للبواقي نرسم الاحتمال الطبيعي في (الشكل -13).

ف نجد أن البواقي طبيعية وللتأكد نجري المرحلة الثالثة.

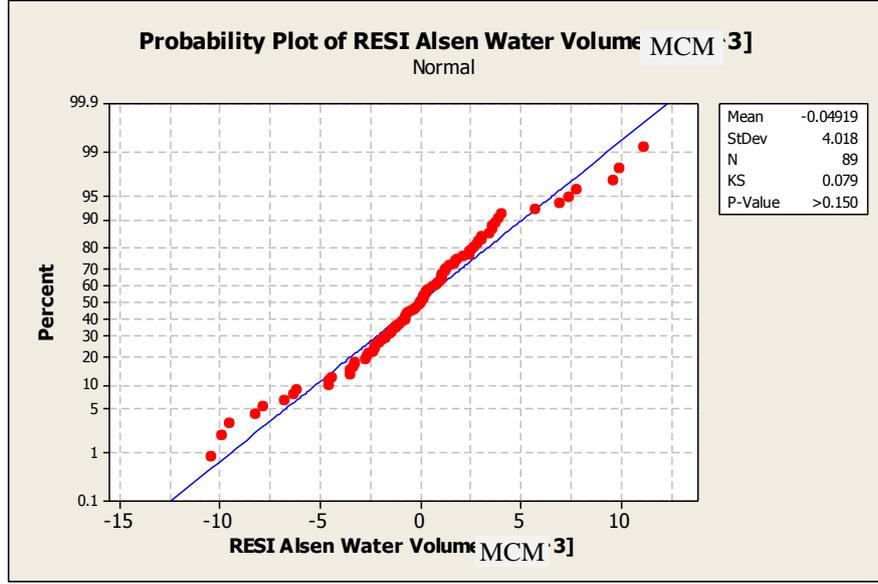


(الشكل -12) المضع التكراري لبواقي النموذج



(الشكل -13) الاحتمال الطبيعي لبواقي النموذج

(ت) اختبار $K - S$ لطبيعة البواقي ونوضحه في (الشكل -14).



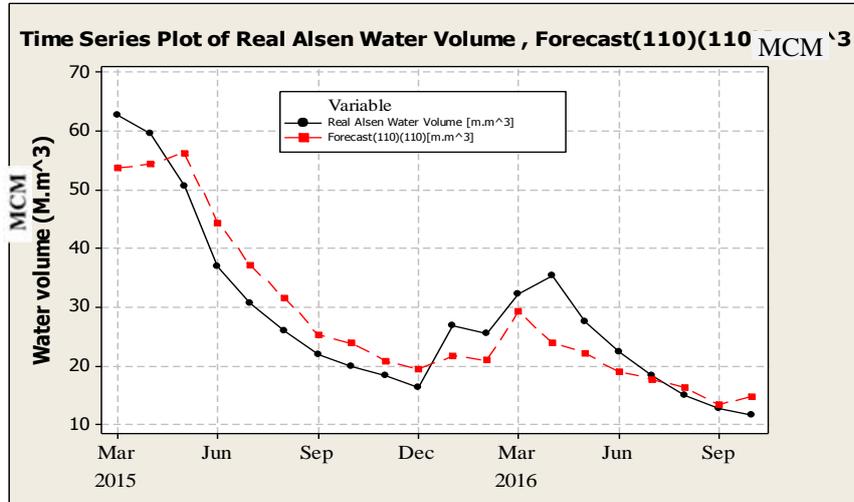
(الشكل -14) اختبار $K - S$ لبواقي النموذج

بما أن قيمة $P > 0.05 > 0.15$ فلا نرفض الفرضية الصفرية والبواقي موزعة طبيعياً. بعد نجاح الاختبارات أصبح النموذج ملائماً للسلسلة وبالتالي يكون النموذج النهائي للتمثيل والممثل لبيانات سلسلة حجوم المياه الشهرية لنهر السن:

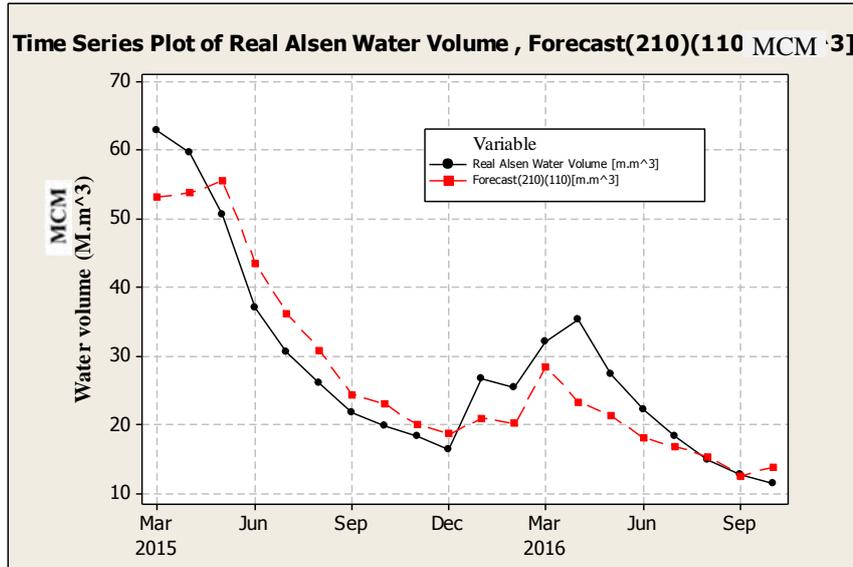
$$z_t = (1 - 1.6858B + 0.7265B^2) \cdot (1 + 1.0076B + 0.6173B^2) \cdot (1 - B^{12}) z_t = 0.0543 + (1 - 0.6094B)a_t \approx WN(0,17.12) \quad \dots(26)$$

ثانياً- بناء نموذج التنبؤ Model Forecasting

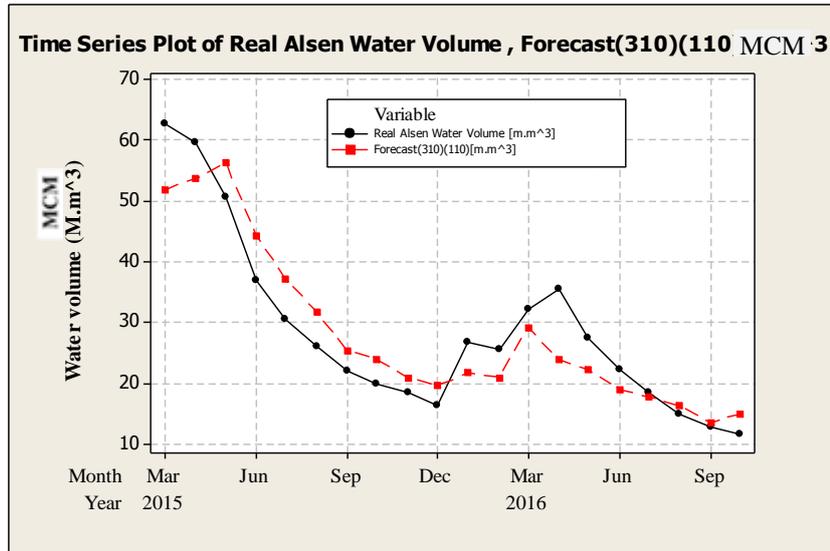
تم استخدام بيانات السلسلة الزمنية من شهر حزيران لعام 2008 وحتى شهر شباط لعام 2015 لبناء نموذج التنبؤ، والبيانات من شهر آذار لعام 2015 وحتى شهر تشرين الأول لعام 2016 للتحقق من جودة تمثيل البيانات. تم اقتراح العديد من النماذج ومقارنة القيم المنتبأ بها مع مجموعة الاختبار وتوصلنا إلى النماذج المناسبة التالية حسب (الأشكال 15، 16، 17).



(الشكل -15) نموذج SARIMA(1,1,0)(1,1,0)



(الشكل -16) نموذج SARIMA(2,1,0)(1,1,0)



(الشكل -17) نموذج SARIMA(3,1,0)(1,1,0)

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

(الجدول -5) معايير أداء التنبؤ للنماذج الثلاثة المقترحة.

Model	RMSE	MAPE	MAE
SARIMA(1,1,0)(1,1,0)	4.702	12.572	3.2
SARIMA(2,1,0)(1,1,0)	4.700	12.672	3.2
SARIMA(3,1,0)(1,1,0)	4.700	12.367	3.2

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(1,1,0)(1,1,0)	5.770	5.036	9.705
SARIMA(2,1,0)(1,1,0)	5.785	5.054	9.771
SARIMA(3,1,0)(1,1,0)	5.708	4.973	9.556

اعتمدنا النموذج SARIMA (3,1,0)(1,1,0) الذي يحقق أقل قيمة للمتوسط الموزون والذي يعطي النموذج الأمثل للتنبؤ بالقيم المستقبلية لسلسلة حجوم المياه الشهرية لنهر السن.

نبين في (الجدول-7) مقارنة بين القيم الحقيقية لسلسلة حجوم المياه الشهرية والقيم المتنبأ بها والنسبة المئوية للفرق الحاصل الذي في معظمه لم يتجاوز نسبة 20% [9]. ويمكن أن يُعزى هذا التجاوز إلى أسباب تتعلق بدقة قياسات تدفق النبع وإلى أخطاء عددية بسيطة مسموح بها ناجمة من تطبيق النماذج الإحصائية.

(الجدول-7) مقارنة بين القيم الحقيقية لسلسلة حجوم المياه الشهرية والقيم المتنبأ بها.

النسبة المئوية للفرق	الفرق (M.m ³)	القيمة المتنبأ بها (M.m ³)	القيمة الحقيقية (M.m ³)	الشهر والسنة
17.41	10.9394	51.8907	62.8301	2015/03
9.96	5.9391	53.6976	59.6367	2015/04
-11.17	-5.6558	56.3052	50.6494	2015/05
-19.95	-7.3779	44.3666	36.9887	2015/06
-21.34	-6.5217	37.0891	30.5675	2015/07
-22.05	-5.7391	31.7611	26.0220	2015/08
-15.76	-3.4499	25.3419	21.8920	2015/09
-20.61	-4.1004	23.9983	19.8979	2015/10
-13.39	-2.4683	20.8975	18.4291	2015/11
-19.97	-3.2637	19.6063	16.3426	2015/12
19.21	5.1558	21.6852	26.8410	2016/01
17.82	4.5339	20.9135	25.4474	2016/02
9.66	3.1099	29.1000	32.2099	2016/03
32.56	11.5170	23.8595	35.3765	2016/04
19.42	5.3395	22.1530	27.4925	2016/05
14.98	3.3446	18.9837	22.3284	2016/06
3.81	0.7020	17.7297	18.4317	2016/07
-9.33	-1.3897	16.2773	14.8876	2016/08
-5.82	-0.7414	13.4854	12.7440	2016/09
-28.91	-3.3422	14.9025	11.5603	2016/10

الاستنتاجات والتوصيات

1. تشكل حجوم المياه الشهرية في نبع السن وهي مأخوذة من القياسات اليومية المستهلكة فيه، سلسلة زمنية اتجاهها العام متزايد، وهي غير مستقرة في المتوسط والتباين وغير مستقرة موسمياً.
2. يصف النموذج الإحصائي $SARIMA(2,0,1)_{12}(2,1,0)$ بيانات السلسلة الزمنية لحجوم المياه الشهرية لنهر السن اعتماداً على معيار "أكاكي بعد إجراء اختبارات التشخيص المطلوبة على بواقي النموذج.
3. إن نموذج التنبؤ بالبيانات هو النموذج $SARIMA(3,1,0)_{12}(1,1,0)$ ، اعتماداً على أصغر قيمة للمتوسط الموزون للمعايير RMSE, MAP, MAE، وقد أعطى النموذج تنبؤات قريبة من معظم حجوم المياه الشهرية الواردة في النبع المقيسة فعلياً.
4. يُوصى باستخدام نماذج "بوكس-جنكنز" في تحليل السلاسل الزمنية لحجوم المياه الشهرية في الينابيع، من أجل إيجاد نماذج تمثيل البيانات والتنبؤ بها في مناطق مختلفة في سورية، شرط التحقق من موثوقية البيانات ومن جودة النماذج التنبؤية.

المراجع

1. عمار، غطفان. تأثير التغيرات المناخية على الواردات المائية لنهر الحصين، مؤتمر الخليج التاسع للمياه، سلطنة عمان، 23-25 آذار 2010.
2. Springflow Simulator Manual Vers. 1.0.2, 2007. ACSAD-BGR TECHNICALCOOPERATION PROJECT - NO.: 2004.2032.3, *Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources*.
3. 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.
4. حايك، شريف؛ حماد، منذر. التنبؤ بحجوم المياه الشهرية الواردة عبر نهر الروس في الساحل السوري باستخدام تحليل السلاسل الزمنية"، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، في سلسلة العلوم الهندسية، سورية (ISSN:2079-3081)، المجلد 38، العدد 5، 2016، 17.
5. سعيد، يونس نجيب " تحليل السلسلة الزمنية لأحجام المياه الواردة إلى خزان سد الموصل من نهر دجلة واستخدامها للتنبؤ "، مجلة هندسة الرافدين، 27-39، المجلد 22- العدد 1، 2014، جامعة الموصل، العراق.
6. عمار، غطفان. تأثير التغيرات المناخية على الواردات المائية لنهر الحصين، مؤتمر الخليج التاسع للمياه، سلطنة عمان، 23-25 آذار 2010.
7. NELSON, G. R., *Applied Time Series Analysis For Managerial Forecasting*, Holden-Day, Inc. 1973, 78-91.
8. Box, G. M. P. and PIERCE, D. A., *Distribution of Residual Autocorrelation in Autoregressive Integrated Moving Average Time Series Models*, John Wiley & Sons. 1970, 115-132.
9. JUN, G.; JIANZHONG, Z.; HUI, Q.; QIANG, Z.; QUIGQING, L. *Monthly streamflow forecasting based on improved support vector machine model*. Journal of expert systems with applications 38 (2011) 13073-13081. CHINA.