

نمذجة الجريان الواطئ لنهري الزاب الأعلى والزاب الأسفل في شمال العراق

إحسان فصيح حسن
مدرس مساعد
مركز بحوث السدود والموارد المائية
جامعة الموصل

د. تيمور عبد المجيد أوجي
استاذ مساعد
قسم هندسة السدود والموارد المائية
كلية الهندسة - جامعة الموصل

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة وتحليل التصارييف اليومية الواطنة (Low flows) لكل شهر لفترة 52 سنة لمحطتي قياس اسكي كلك ودوكان الواقعة على نهري الزاب الاعلى والزاب الاسفل على التوالي للتنبؤ بتصارييفها الواطنة باستخدام نموذجين من النماذج التصادفية (Stochastic Models) هما نموذج (ARIMA) نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة ونموذج (Thomas-Fiering) ومن ثم مقارنة النتائج المحسوبة بالطريقتين واختبارها عن طريق ايجاد معدل الخطأ المطلق (MAE) Mean Absolute Error والجدر التربيعي لمعدل مربع الخطأ Root Mean Square Error (RMSE) للبيانات المنتبأ بها من كلا الطريقتين للتحقق من ادانها ثم الاعتماد عليها في التنبؤ. وفيما يتعلق بالتطبيق فقد تبين من نتائج البحث ان نموذج (ARIMA) أعطت تنبؤات أكثر ملاءمة وتناسقا مع مثيلاتها في السلسلة الاصلية من تلك التي قدمها نموذج (Thomas-Fiering)، تم استخدام البرنامج (Minitab version 14) في تقييم الجانب الإحصائي للبحث.

الكلمات الدالة: الجريان الواطئ، الزاب الاعلى، الزاب الاسفل، ARIMA، Thomas-Fiering.

Low flow modeling for Greater Zab and Lesser Zab rivers in Northern Iraq

Dr. Taymoor A. Awchi
Dept. of Dams and Water Resources Eng.
College of Engineering
University of Mosul

Mr. Ihsan F. Hasan
Dams and Water Resources
Research Center
University of Mosul

Abstract

This research analyzes the minimum daily flows of each month for 52 years from Eski kalak and Dokan gauge stations on Greater Zab river and Lesser Zab river respectively to predict their low flows using two Stochastic Models; (ARIMA) model (Autoregressive Integrated Moving Average) and (Thomas-Fiering) model. A comparison is conducted for the results of both methods utilizing the Mean Average Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE) of predicted data from both models to verify their performance and reliability. The results showed that the ARIMA model has given more appropriate forecasts and harmonic direction comparing to the same historical time series than those given by (Thomas-Fiering) model. Minitab version 14 package is utilized to assess the statistical side of the research.

Key word: Low flow, Greater Zab, Lesser Zab, ARIMA, Thomas-Fiering.

المقدمة

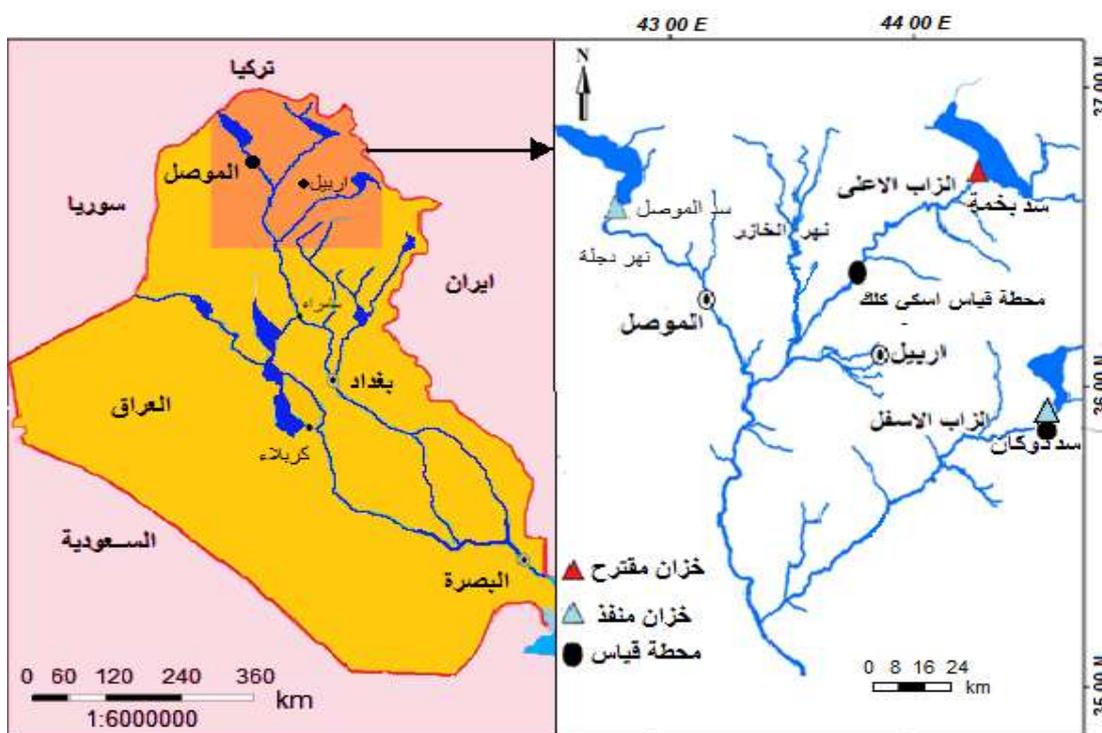
أن للتغيرات المناخية المتوقعة بسبب الاحتباس الحراري وما سيصاحبه من ارتفاع في درجات الحرارة وتناقص في معدلات الهطولات المطرية [1] سيكون له تأثير مباشر على الموارد المائية السطحية ثم الجوفية من الخزانات ومناسيب البحيرات وبخاصة انخفاض الجريانات السطحية التي تؤثر بدورها على أداء المحطات الكهرومائية والملاحة وتجهيز متطلبات الارواء فضلا عن حدوث اضرار اقتصادية واجتماعية كبيرة الامر الذي يستدعي التفكير في تطوير طرق البحث والتحليل عند تخطيط وتصميم وادارة الموارد المائية ودراسة مشاكلها لمواجهة هذا التحدي الاستراتيجي في العالم ككل.

وتشير الدراسات إلى أن التغيرات المناخية المتوقع حدوثها خلال القرن الحالي ستؤدي الى تغيرات كبيرة في الدورة الهيدرولوجية مثل زيادة معدلات تبخر مياه المحيطات وازدياد سرعة تبخير المياه من اليابسة و بالتالي وصول كمية اقل من مياه الامطار الى مصادر الانهار كما انه من المتوقع ان تأتي هذه التغيرات مصحوبه بانماط جديدة لسقوط الامطار واحداث مناخ اكثر تطرفا بما في ذلك حالات الجفاف والفيضانات[2]. كما إن ارتفاع درجات الحرارة سيؤدي الى زيادة الاحتياجات المائية للنباتات مما سيزيد الطلب على الموارد المائية و انخفاض في انتاجية المحاصيل الأمر الذي يهدد الأمن الغذائي في البلدان المتأثرة مما حفز ذلك المهتمين بهذه المجالات الى النظر بعناية تجاه هكذا مشاكل خطيرة تظهر آثارها وتأثيراتها السنية في المدين القريب والبعيد. لقد اخذ الباحثون على عاتقهم الاهتمام الكبير بهذا الموضوع عن طريق دراسة مفاهيم الموازنة المائية المناخية والتصحر والجفاف والقيمة الفعلية للأمطار، وتحديد كميات الفائض والعجز المائي وتأثيراتها على البيئة، ومن ثم وضع الحلول الملائمة لتقليل تلك التأثيرات والسبل الكفيلة في الاستفادة العظمى من الفائض المائي إن وجد. فقد استخدم [3] نموذج (Thomas-Fiering) المعدل لتوليد متغيرات هيدرولوجية شهرية لمحطات قياس واقعة في أحواض تتميز بوجود مدة جفاف لبعض الأشهر. بعد تطبيق النموذج تبين أن هناك تقارب كبير بين القيم الشهرية للمعدل والانحراف المعياري للسلسلتين المرصودة والمولدة. كما قام الباحثان [4] ببناء نموذج تصادفي Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) لدراسة ووصف المركبات العشوائية للسلاسل الزمنية للجريان في نهر (Delaware)، في حين أجرى الباحثون [5] تقييماً لأداء نموذجين من النماذج التصادفية (ARIMA and Thomas-Fiering) لتخمين نوعية المياه وبيانات الجريان في نهر (Yeşilirmak) في تركيا، وقدم [6] نموذج هجين من الشبكات العصبية الاصطناعية ANN والنماذج التصادفية لاستكشاف إمكانية استخدامه في توليد التصاريح الشهرية الداخلة لمشروع ري Mula في الهند، وتم تقييم أداء النموذج الهجين بمقارنته مع نتائج نموذج Thomas Fiering. كما تم تطبيق نموذج (ARIMA) مطور من قبل الباحثين [7] للتحويل اللوغارتمي للتصاريح الشهرية لنهر (Benue) وتم تقييم ادائه بمقارنته مع نموذج (Thomas-Fiering).

نظرا لأهمية دراسة تصاريح الأنهار بنواحيها المتعددة فان الهدف الرئيس للبحث الحالي هو دراسة السلسلة الزمنية للتصاريح الدنيا اليومية لكل شهر، وتحليل التغيرات، والاسترشاد بها في دراسة ظاهرة الموسمية، وأيضاً التنبؤ بتصاريح الأنهار وتحليل ومناقشة النمذجة التصادفية للسلسلة الزمنية لنهري الزاب الاعلى والزاب الاسفل باستخدام نماذج (ARIMA) ونموذج (Thomas-Fiering) لفترات لاحقة، مما يفيد في رسم وتخطيط وتنفيذ السياسات المستقبلية التي يعتمد عليها في اتخاذ القرار السليم على المستويين التنفيذي والإداري لأي منظومة إدارية تختص بإدارة شؤون المياه، وهو أساس للتنمية وإدارة مصادر المياه.

1. منطقة الدراسة:

في هذا البحث استخدمت بيانات السلسلة الزمنية لقيم أوطاً تصريف يومي خلال كل شهر ولمدة (52) سنة للفترة من 1959 ولغاية 2011 لمحطة القياس (اسكي كلك) على نهر الزاب الاعلى و للفترة من 1960 ولغاية 2012 لمحطة القياس في مقدم (سد دوكان) على نهر الزاب الاسفل. والنهران هما رافدان من روافد نهر دجلة يقعان ضمن منطقة الدراسة في الجزء الشمالي من العراق بين دائرتي عرض (11° 35'-13° 37') شمالاً وخطي طول (15° 43' - 10° 45') شرقاً والمبين موقعهما في الشكل (1).



شكل (1) مواقع محطات قياس التصريف للأنهار المدروسة في شمال العراق

2. تحليل السلسلة الزمنية للجريان الواطئ باستخدام النماذج التصادفية:

ان الهدف الرئيسي لبناء وتحليل نماذج السلاسل الزمنية هو الوصول إلى النموذج الرياضي الذي يمثل البيانات من ثم القدرة على التنبؤ بها في المستقبل. ولغرض تحليل السلسلة الزمنية للجريان الشهري الواطئ تم اعتماد أوطأ تصريف يومي لكل شهر لمحطتي القياس المعتمدة في البحث باستخدام النماذج التصادفية الخطية (Linear Stochastic Models) المتمثلة بنماذج (ARIMA) نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة باستخدام برنامج Minitab-14، ونموذج (Thomas-Fiering) باستخدام برنامج Matlab-7.8.

1.3. نموذج (ARIMA): Autoregressive Integrated Moving Average

ان نماذج ARIMA قد استخدمت من قبل الباحثان بوكس وجنكنز [8] في التوقع للمستقبل في مجال الاقتصاد أولاً في الستينيات من القرن الماضي. والكلمة الإنجليزية ARIMA، تعبر عن المكونات الثلاث للنموذج: تكامل الانحدار الذاتي مع المتوسط المتحرك Autoregressive Integrated Moving Average Model. ويكتب النموذج اللاموسمي المتكامل غالباً بالصيغة $ARIMA(p,d,q)$ ، لأنه يحدد بثلاث قيم: رتبة الانحدار الذاتي (p)، رتبة المتوسط المتحرك (q) ورتبة التكامل (d). والنموذج الموسمي المتكامل بالصيغة $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ اذ تمثل (P) رتبة الانحدار الذاتي الموسمي و (Q) رتبة المتوسط المتحرك الموسمي و (D) رتبة التكامل الموسمي. وعبر [9] عن نموذج ARIMA الموسمي المتكامل باستخدام عامل الارتداد الخلفي (B) بالمعادلة الآتية:

$$\Phi(B)\Phi(B^s)(w_i - \mu) = \theta(B)\Theta(B^s)a_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$w_i = (1-B)^d (1-B^s)^D x_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث ان
 $\Phi(B)$: معامل الانحدار الذاتي اللاموسمي.
 $\Phi(B^s)$: معامل الانحدار الذاتي الموسمي.

$\theta(B)$: معامل المتوسط المتحرك اللاموسمي.
 $\Theta(B^s)$: معامل المتوسط المتحرك الموسمي.
 a_i : الخطأ العشوائي
 $(1-B)^d$: معامل التكامل اللاموسمي.
 $(1-B^s)^D$: معامل التكامل الموسمي.
 x_i : قيم مشاهدات السلسلة الزمنية.
 μ : معدل سلسلة البواقي

ان بناء نموذج مناسب لتمثيل سلسلة زمنية مرصودة يعتبر من المهام الصعبة والتي تحتاج الى الكثير من البحث والخبرة. وسيتم هنا استعراض الخطوات الاساسية لبناء نموذج (ARIMA) للتنبؤ عن سلسلة زمنية ما:

تشخيص النموذج: تهدف هذه المرحلة الى تحديد استقرارية البيانات (وكون السلسلة مستقرة يعني أن متوسطها الحسابي Mean وتباينها Variance ثابتان مع استقرار معامل الالتواء طوال زمن السلسلة)، وتحديد فيما اذا كانت السلسلة تحتوي على المركبة الموسمية ام لا (وكون السلسلة تحتوي على الموسمية يعني انها تعيد نفسها بشكل متكرر من سنة الى اخرى وعند فترة زمنية ثابتة كأن تكون كل 12 شهر او كل شهر او اسبوع)، كما يتم تشخيص النموذج وتحديد رتبته من خلال الدالتي الارتباط الذاتي Autocorrelation Function (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي Partial Autocorrelation Function (PACF)، باعتماد عدد من المقاييس الاحصائية التي تميز نموذج عن آخر وعلى الخبرة المستمدة من الدراسات والابحاث للنماذج غير الموسمية والموسمية الساكنة المختلفة.

تقدير معالم النموذج: بعد ترشيح نموذج او اكثر كنموذج مناسب وتحديد درجته لوصف المتسلسلة المرصودة يتم تقدير معالم هذا النموذج من البيانات المرصودة باستخدام طرق التقدير الاحصائي الخاصة بالمتسلسلات الزمنية وهذا النموذج المرشح يؤخذ كنموذج اولي قابل للتعديل لاحقا.

اختبار النموذج: يتم ترشيح عدد من النماذج الملائمة لكل سلسلة باستخدام الدالتي معامل الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي بعد اجراء اختبارات معينة لمعرفة مدى تطابق المشاهدات مع القيم المحسوبة من النماذج المرشحة. ومن ثم اختيار النموذج الافضل نسبياً من بين النماذج الملائمة باعتماد معايير خاصة منها معيار Akaike Information Criteria (AIC) ومعيار Schwarz Bayesian criterion (SBC) والنموذج الافضل نسبياً هو الذي تكون قيمة المعايير (AIC) و (SBC) له اقل ما يمكن. وفي حالة اجتياز النموذج المرشح لهذه الاختبارات نقوم باعتماده على انه النموذج النهائي ويستخدم لحساب تنبؤات للقيم المستقبلية [10]. ويمكن تمثيل الاختبارات السابقة بالعلاقات الاتية:

$$AIC = n \ln(\sigma_a^2) + 2 * m \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$SBC = n \ln(\sigma_a^2) + n + m * \ln n \quad \dots \dots \dots (4)$$

حيث:

m: عدد المعالم المقدرة في النموذج

n: تمثل عدد المشاهدات للسلسلة الزمنية.

σ_a^2 : تباين البواقي

ويتم اختيار النموذج الامثل الذي ينتج عنه اقل قيمة لهذين المعيارين.

استخدام النموذج لحساب التنبؤات: يستخدم النموذج النهائي للتنبؤ بالقيم المستقبلية للسلسلة الزمنية المرصودة.

2.3. نموذج (Thomas-Fiering):

ان نموذج (Thomas-Fiering) هو أحد صور نماذج ماركوف من الدرجة الاولى وهو ذو إمكانيه عالية في نمذجة السلاسل الزمنية للجريان في الأنهار وقد أوصى [11] باستخدامه لنمذجة السلاسل الزمنية للجريان في الأنهار على

الأساس الشهري بشكل خاص. ويمكن استخدامه للجريان الموسمي والاسبوعي فضلا عن اليومي، ولا يتطلب بالضرورة ان تكون البيانات المرصودة تتبع التوزيع الطبيعي وعليه في هذا البحث سوف يتم استخدام كلا من البيانات الاصلية والمحولة الى التوزيع الطبيعي في حالة كون البيانات غير مستقرة، ويمكن كتابة علاقة الانحدار الخطي لنموذج (Thomas-Fiering) بالمعادلة الاتية [12]:

$$q_{i+1} = \bar{q}_{j+1} + b_j(q_i - \bar{q}_j) + Z_i\sigma_{j+1}(1 - r_j^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

حيث:

- q_i و q_{i+1} : قيم التصريف المولدة للشهر (i+1) من التصريف للشهر (i).
- \bar{q}_{j+1} و \bar{q}_j : المعدل الشهري للتصريف خلال الشهرين (j) و (j+1) على التوالي.
- b_j : معامل الانحدار بين التصريف في الشهرين (j) و (j+1).
- Z_i : عدد عشوائي.
- σ_{j+1} : الانحراف المعياري للتصريف في الشهر (j+1).
- r_j : معامل الارتباط بين التصريف في الشهرين (j) و (j+1).
- j : رمز الشهر لسلسلة الجريان المرصودة وتأخذ القيم من 1 إلى 12.
- i : رمز الشهر لسلسلة الجريان المولدة وتأخذ القيم من 1 إلى طول السلسلة المطلوب توليدها.

في حالة استخدام التوزيع الطبيعي وقبل البدء بخطوات بناء نموذج التوليد يجب التحقق من أن سلسلة الجريان المرصودة والمستخدم في النموذج تخضع للتوزيع الطبيعي وإذا لم يتحقق ذلك فيتم اللجوء إلى طريقة التحويل (Transformation)، إذ تُعد طريقة (Box-Cox) المبينة في المعادلة (6) والتي اعتمدت في الدراسة الحالية، إحدى الطرائق المعتمدة لتحويل سلسلة الجريان المرصودة إلى التوزيع الطبيعي وذلك عن طريق فرض عدة قيم لـ λ تقع بين (+1 و -1) ولكل شهر على حدة، للحصول على قيم جديدة يكون معامل الالتواء (Skewness) لها قريبة من الصفر والتي يمكن أن تستخدم لاحقا في نموذج التوليد [13]. كما تم استخدام التحويل اللوغارتمي Log-transformed المبين في المعادلة (7) والذي يتميز بالقدرة على إزالة القيم السالبة التي تحدث احيانا للتصريف المولدة من نموذج Thomas-Fiering في حالة استخدام بيانات غير محولة [14].

$$q_i = (X_i^\lambda - 1) / \lambda \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$q_i = \ln(X_i) \quad \dots\dots\dots (7)$$

حيث:

q_i : التصريف الشهري بعد تحويله إلى حالة التوزيع الطبيعي.

X_i : التصريف الشهري المرصود.

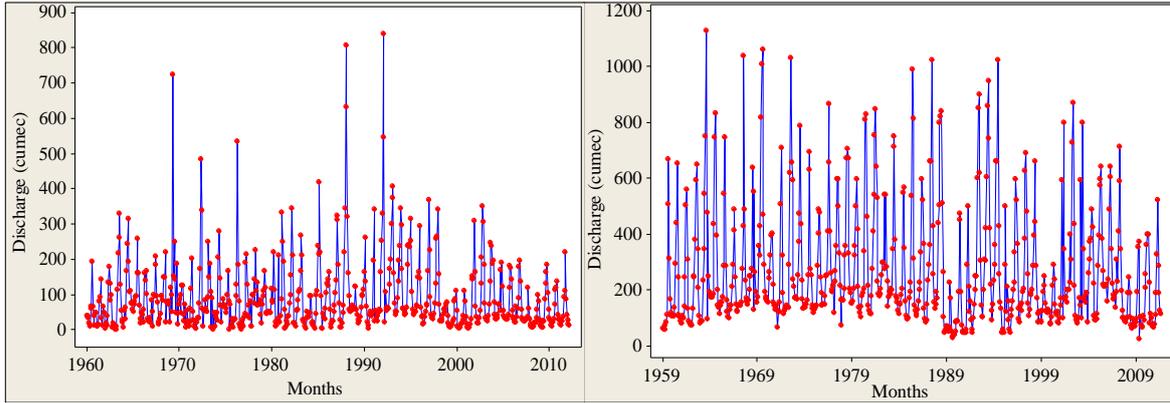
بعد استخدام النموذج وتوليد البيانات المستقبلية يتم إرجاع البيانات المولدة إلى الحالة الأصلية لها وذلك عن طريق عكس معادلة (Box-Cox) وبنفس قيم λ المستخدمة سابقا، وبالنسبة للبيانات المحولة بواسطة المعادلة (8) يتم ارجاعها الى الحالة الاصلية باستخدام العلاقة الاتية:

$$X_i = \exp(q_i) \quad \dots\dots\dots (8)$$

3. النتائج والمناقشة

تعد عملية التنبؤ من المسائل الشائعة في العديد من مجالات العلوم كالانواء الجوية والهيدرولوجيا والكهرباء والاقتصاد... الخ، لذا كانت هذه العملية محط اهتمام المعنيين لفترة طويلة من الزمن [15]. أن عمليات التنبؤ المتعلقة بتصريف الانهار مهمة وضرورية في تخطيط وتصميم مشاريع الموارد المائية مثل إنشاء السدود والخزانات وتشغيلها والسيطرة على الفيضانات وتلبية الاحتياجات المائية في مواسم الجفاف وتنظيم تصريف المياه، من هنا فإن تطوير النماذج التصادفية واستخدامها للظواهر الهيدرولوجية ادت دورا مهما في هندسة الموارد المائية وبضمنها استخدامها في التنبؤ بتصريف الانهار، وأن اختيار النموذج المناسب للسلسلة الهيدرولوجية المعينة يعد مظهرا مهما لعملية النمذجة [16].

الشكل (2) يمثل السلسلة الزمنية لأوطاً تصريف يومي من كل شهر والمستخدم في الدراسة ومن خلال الرسم تكون لدينا فكرة جيدة عن استقرار السلسلة من عدمها، (أي احتواء السلسلة على موسمية أو اتجاه عام أو عدم الثبات في التباين) وفي هذه الحالة ينبغي معالجتها بواسطة الفروقات حسب درجة التكامل من أجل تحويلها إلى سلسلة مستقرة حيث يتم أخذ الفرق العادي لغرض تثبيت التباين وقد تستدعي الحالة أخذ الفرق الموسمي أو كليهما لتحقيق الاستقرار والنموذج العام في حالة أخذ الفرق العادي يشار إليه بنموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة التكاملية ويرمز له بـ $ARIMA(p,d,q)$ ، وفي حالة أخذ الفرق الموسمي يشار إليه بـ $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$.

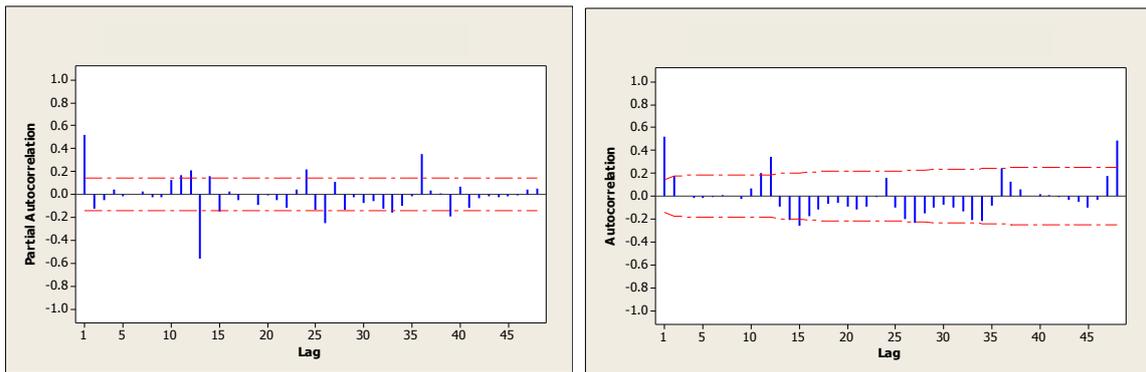


(ب)

(أ)

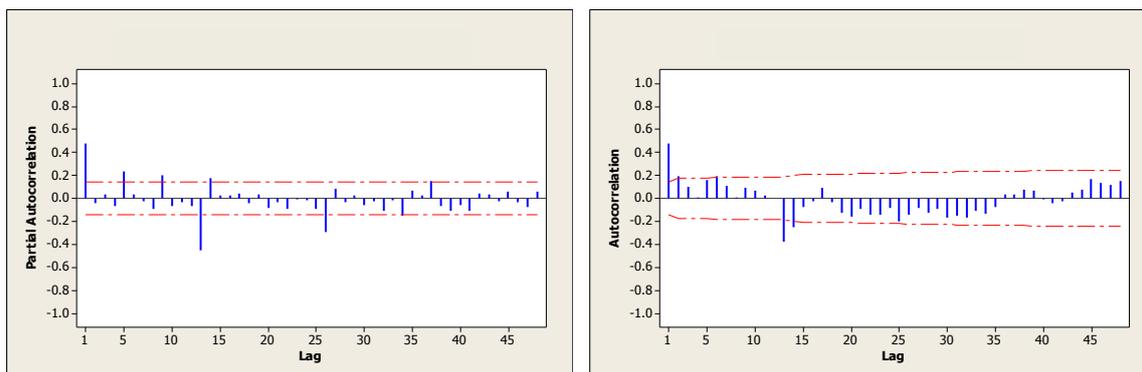
شكل (2) السلسلة الزمنية للتصريف اليومي الأدنى لكل شهر لنهر الزاب الأعلى (أ) ونهر الزاب الأسفل (ب)

ومن خلال ملاحظة الشكل (2) يتبين وجود واضح لنمط التباينات في السلسلة وهذا يعني بأن السلسلة غير مستقرة في التباين لذلك يتم تحويل السلسلة إلى سلسلة مستقرة بأخذ الفرق الأول للسلسلة لغرض تثبيت التباين وكما يتبين أن السلسلة الزمنية تتأثر بالتغيرات الموسمية، مما يدل أن السلسلة موسمية أي أنها تعيد نفسها كل (12) شهراً وفي هذه الحالة تكون السلسلة الأصلية من النوع $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$. الشكلين (3) و (4) يمثلان دوال الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي بعد أخذ الفروقات العادية والموسمية عند $(S=12)$.



شكل (3) معامل الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي بعد أخذ الفروقات الشهرية لأوطاً تصريف يومي لنهر الزاب الأعلى.

أوجي: نمذجة الجريان الواطئ لنهري الزاب الأعلى والزاب الأسفل في شمال العراق



الشكل (4) معامل الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي بعد اخذ الفروق للبيانات الشهرية لأوطأ تصريف يومي لنهر الزاب الاسفل.

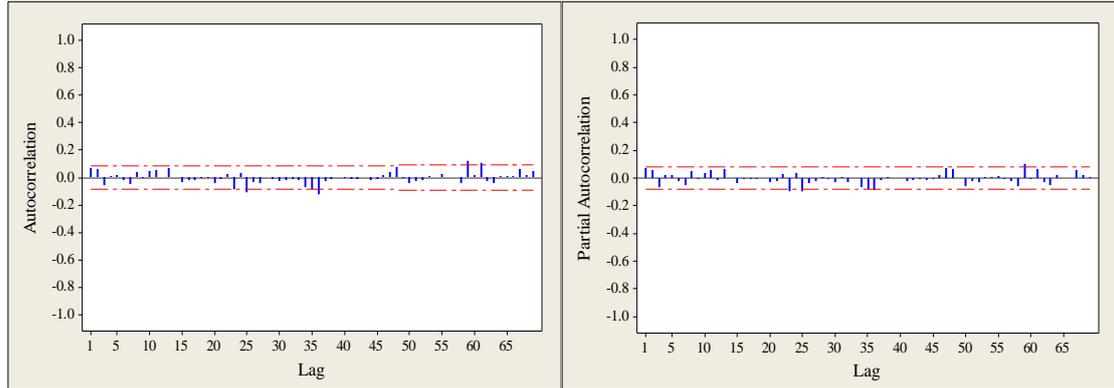
للتعرف على نوع ودرجة النموذج فإنه ومن خلال ملاحظة معاملات الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي للفروق لسلسلة التصريف في الشكلين (3) و (4) واستعمال معايير (AIC) و (SBC) و (R) الموضحة في الجدول (1) نستنتج ان النموذجان المقترجان المناسبان هما نموذج $ARIMA(1,0,1)(1,1,1)_{12}$ للتنبؤ بتصريف نهر الزاب الأعلى و نموذج $ARIMA(2,0,1)(2,1,2)_{12}$ للتنبؤ بتصريف نهر الزاب الاسفل.

جدول (1) نتائج معايير اختبار نماذج ARIMA المرشحة للتنبؤ

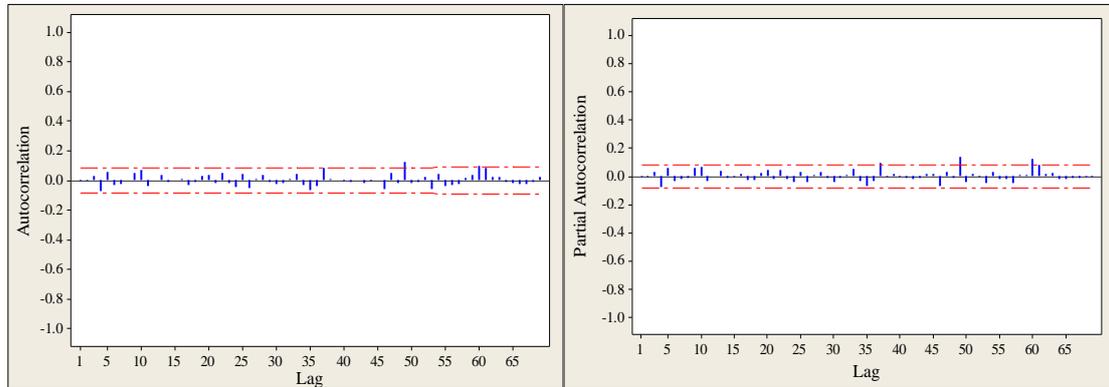
المعايير الاحصائية			نموذج (ARIMA)	اسم النهر
R	SBC	AIC		
0.838	3102	2553	$(0,0,1)(1,1,0)_{12}$	الزاب الاعلى عند محطة(اسكي كلك)
0.841	3095	2542	$(1,0,1)(1,1,0)_{12}$	
0.825	3220	2672	$(1,0,1)(0,1,0)_{12}$	
0.914	3087	2525	$(1,0,1)(1,1,1)_{12}$	
0.823	3285	2741	$(1,0,0)(0,1,0)_{12}$	
0.831	3116	2559	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	
0.830	3145	2571	$(2,0,2)(2,1,2)_{12}$	
0.829	3160	2590	$(1,0,2)(1,1,2)_{12}$	
0.861	3094	2533	$(1,0,1)(2,1,2)_{12}$	الزاب الاسفل عند محطة (دوكان)
0.894	2842	2284	$(1,0,1)(1,1,1)_{12}$	
0.896	2830	2271	$(0,0,1)(1,1,1)_{12}$	
0.905	2828	2266	$(0,0,1)(2,1,2)_{12}$	
0.895	2838	2273	$(1,0,1)(2,1,2)_{12}$	
0.950	2825	2259	$(2,0,1)(2,1,2)_{12}$	
0.916	2827	2266	$(2,0,1)(0,1,2)_{12}$	
0.895	2833	2272	$(0,0,1)(3,1,1)_{12}$	
0.892	2846	2285	$(1,0,0)(3,1,1)_{12}$	
0.888	2869	2294	$(1,0,1)(3,1,3)_{12}$	

1.4. اختبار طبيعة البواقي

يهدف هذا الاختبار الى معرفة ما اذا كانت بواقي النموذج تتبع قانون التوزيع الطبيعي ام لا ومعرفة هل ان سلسلة البواقي عبارة عن ضجة بيضاء ام لا (white noise)، وهذا اختبار مهم لانه الاختبار الحاسم لصلاحية طريقة بوكس وجنكنز ويعكسه يتم اللجوء الى استخدام طرق أخرى، فإذا كانت البواقي موزعة طبيعياً (الارتباطات الذاتية للبواقي تقع بين حدي الثقة) امكننا ذلك من حساب التوقعات بواسطة طريقة بوكس وجنكنز اما في الحالة البديلة (البواقي غير طبيعية ووجود ارتباط ذاتي بين الاخطاء) فهذا يعني أننا سنعيد تشخيص النموذج من جديد [4]. الاشكال (5) و (6) توضح سلسلة البواقي للنموذجان المستخدمان في التنبؤ.



الشكل (5) معامل الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي لبواقي النموذج $ARIMA(1,0,1)(1,1,1)_{12}$ المستخدم في التنبؤ بتصاريف نهر الزاب الاعلى بعد اخذ الفروق



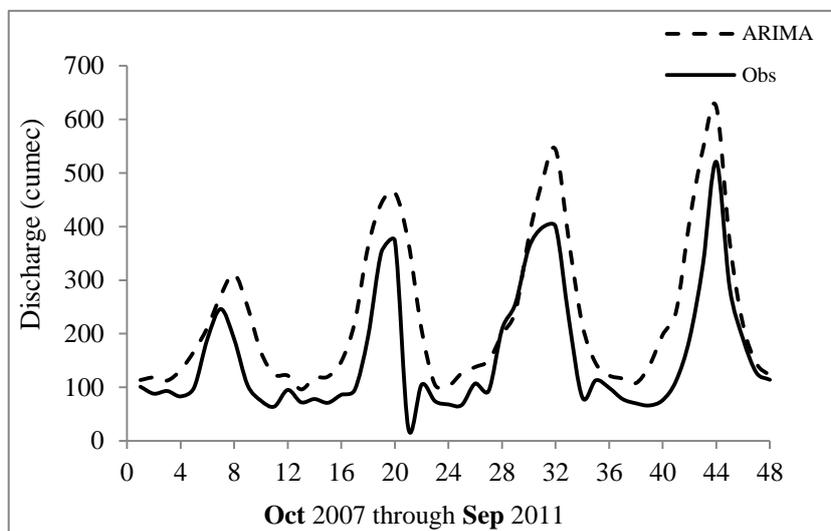
الشكل (6) معامل الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي لبواقي النموذج $ARIMA(2,0,1)(2,1,2)_{12}$ المستخدم في التنبؤ بتصاريف نهر الزاب الاسفل بعد اخذ الفروق

نلاحظ من الاشكال اعلاه ان البواقي (الأخطاء) تقع ضمن حدود الثقة وهذا مؤشر على غياب الارتباطات الذاتية للبواقي، اي ان النماذج جيدة وملائمة ويمكن استخدامها في حساب التنبؤات. لغرض المقارنة بين الاسلوبين المستخدمين، وهما الأسلوب الكلاسيكي المتمثل بنماذج ARIMA لبوكس-جنكنز ونموذج Thomas-Fiering في حالة استخدام البيانات الحقيقية والذي رمز له بـ T-F والبيانات الموزعة طبيعياً باستخدام تحويل (Box-Cox) والذي رمز له بـ T-F(box) والتحويل اللوغارتمي والذي رمز له بـ T-F(log) في هذه الدراسة، اعتمد على المعايير الإحصائية المتمثلة بـ(الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ RMSE والقيمة المطلقة لمتوسط الخطأ MAE ومعامل الارتباط R والمبينة في الجدول (2) حيث نجد ان نموذج بوكس- جنكنز افضل من نماذج Thomas-Fiering.

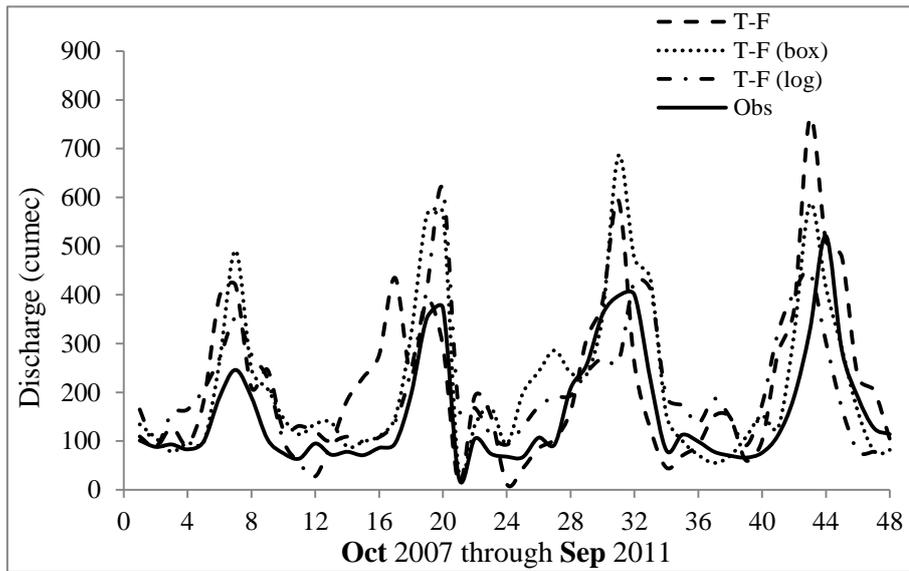
جدول (2) يمثل مقارنة بين قيم التصاريح الحقيقية والمتنبأ بها بطريقتي ARIMA و Thomas-Fiering

الزاب الاسفل	الزاب الاعلى	النماذج	
36	89.7	RMSE	ARIMA
29	64	MAE	
95	91	R%	
54	121.6	RMSE	Thomas-Fiering
40	84	MAE	
69	74	R%	
37	104	RMSE	Thomas-Fiering (Box-Cox)
30	74	MAE	
79	86	R%	
69	99	RMSE	Thomas-Fiering (Log)
45.6	80	MAE	
67	72	R%	

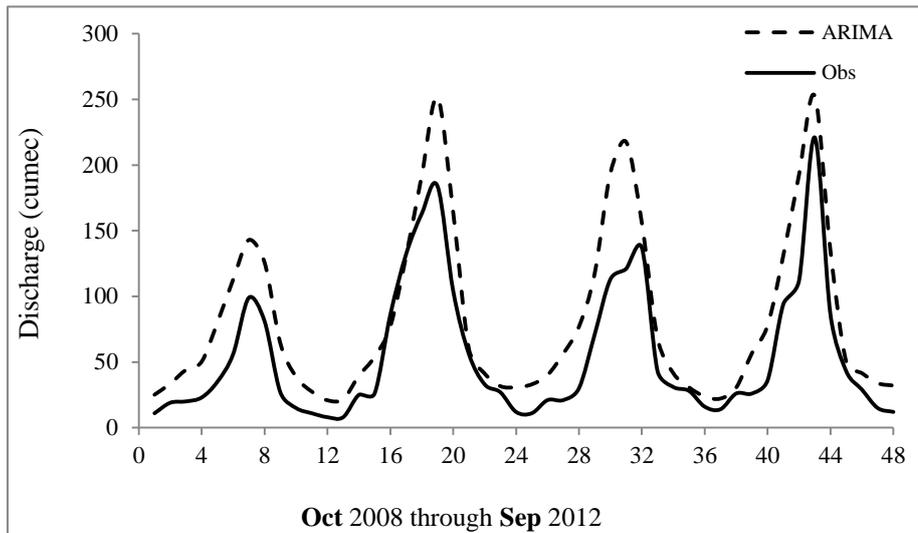
في الاشكال من (7) الى (10) تم استخدام التصاريح اليومية الواطئة لكل شهر ولاول 48 سنة من اصل 52 سنة من البيانات المتوفرة لغرض التنبأ بالتصاريح الواطئة للسنوات الاربعة المتبقية بطريقتي (ARIMA) و Thomas-Fiering لكي يتم مقارنتها مع قيم التصاريح الحقيقية الموجودة للسنوات الاربعة نفسها، ويتضح من الأشكال أن نموذج بوكس- جنكنز هو الافضل أداءً في التنبؤ.



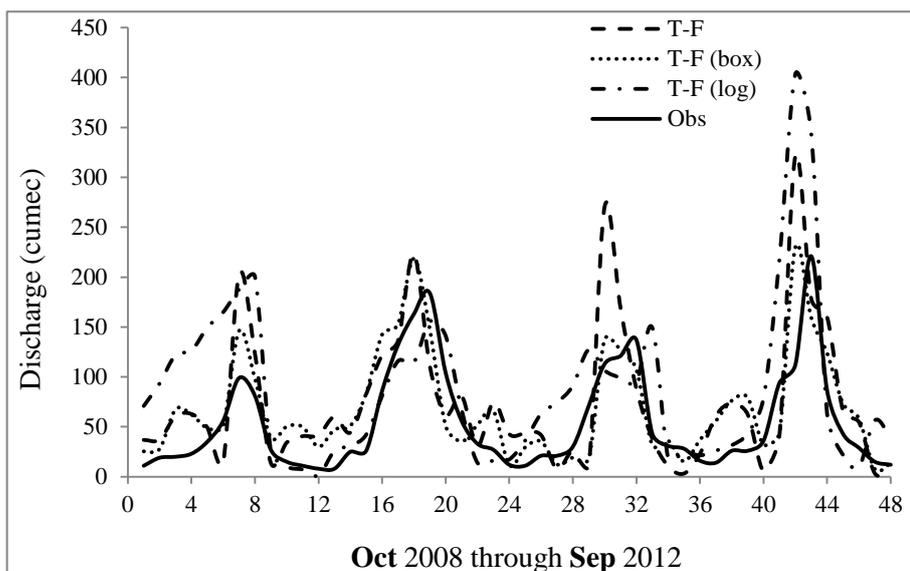
شكل (7) التصاريح الحقيقية والمتنبأ بها لنهر الزاب الأعلى باستخدام نموذج ARIMA



شكل (8) التصارييف الحقيقية والمتنبأ بها لنهر الزاب الأعلى باستخدام نماذج Thomas-Fiering للبيانات الحقيقية وللبيانات الموزعة طبيعيا باستخدام معادلتني (6) و (7)



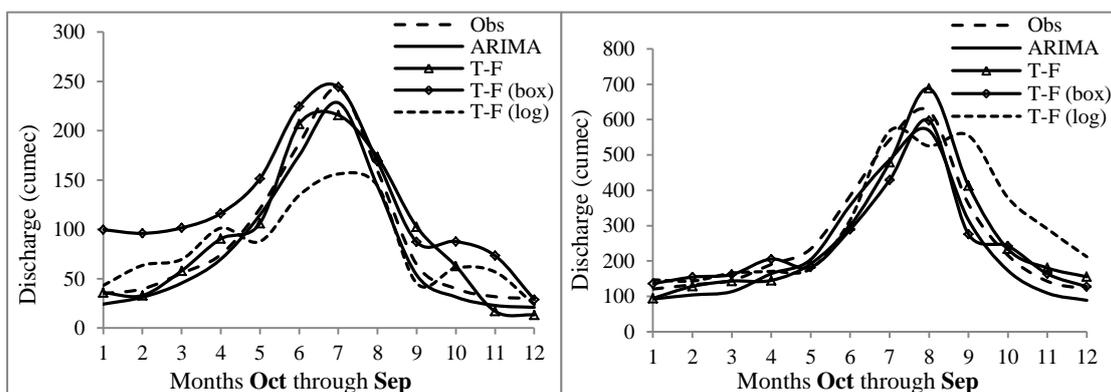
شكل (9) التصارييف الحقيقية والمتنبأ بها لنهر الزاب الأسفل باستخدام نموذج ARIMA



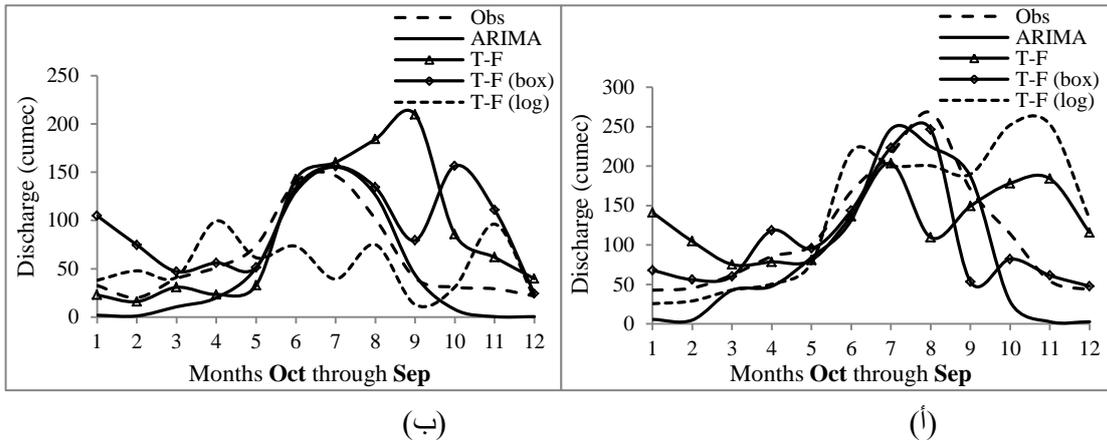
شكل (10) التصارييف الحقيقية والمنتبأ بها لنهر الزاب الأسفل باستخدام نماذج Thomas-Fiering للبيانات الحقيقية وللبيانات الموزعة طبيعياً باستخدام معادلتني (6) و (7)

أن الأشكال أعلاه تمثل التنبؤ لـ (أربع سنوات) ، ونلاحظ بأن قيم التنبؤات تقارب قيم السلسلة الأصلية في حالة استخدام نماذج (ARIMA) أكثر من نماذج Thomas-Fiering وفي كلتا الحالتين (في حالة البيانات الحقيقية أو في حالة تحويلها إلى التوزيع الطبيعي).

تبين الأشكال (11) و (12) مخططات المقارنة لقيمة المعدل والانحراف المعياري للتصارييف الواطئة المرصودة لكل شهر لمدة 52 سنة مع المنتبأ بها لـ (عشر سنوات) زمنية مستقبلية. من بين جميع السلاسل المولدة، لوحظ ان السلاسل المولدة بواسطة نموذج ARIMA أقرب إلى السلسلة المرصودة فيما يتعلق بقيمة المعدل والانحراف المعياري للتصارييف الواطئة لكل شهر.



شكل (11) المعدل الشهري للتصارييف الواطئة الحقيقية والمنتبأ بها لنهري الزاب الأعلى (أ) والزاب الاسفل (ب)



شكل (12) الانحراف المعياري للتصارييف الشهرية الواطنة الحقيقية والمتنبأ بها لنهري الزاب الأعلى (أ) والزاب الاسفل (ب)

نستنتج مما تقدم بأن نموذج (ARIMA) هو النموذج الملائم للبيانات المتاحة مقارنة مع نماذج Thomas-Fiering في حالة استخدام البيانات الحقيقية (T-F) والبيانات الموزعة طبيعياً باستخدام تحويل (T-Box-Cox) (T-F(box)) والبيانات الموزعة طبيعياً باستخدام التحويل اللوغارتمي (T-F(log)). لأنه نجح في اختبار معنوية المعلمات المقدرة للنموذج فضلاً عن نجاحه في اختبار تحليل البواقي (بمعنى آخر نجح في اختبار الفحوص التشخيصية لهذا النموذج)، وقد بلغت قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ RMSE والقيمة المطلقة لمتوسط الخطأ MAE ومعامل الارتباط R لنموذج ARIMA بالنسبة لنهر الزاب الأعلى 89.7 و 64 و 91% على التوالي، و 36 و 29 و 95% بالنسبة لنهر الزاب الاسفل على التوالي. يليه نموذج T-F(box) من بين نماذج Thomas-Fiering حيث كانت قيم RMSE و MAE و R تساوي 104 و 74 و 86% على التوالي بالنسبة لنهر الزاب الأعلى و 37 و 30 و 79% بالنسبة لنهر الزاب الاسفل على التوالي.

تستخدم النماذج التصادفية كأداة تسمح برؤية المستقبل من خلال دراسة الماضي من وجهة نظر الحاضر ولعل من اهم النماذج التصادفية في حساب التنبؤات هي تقنيات ونماذج السلاسل الزمنية حيث تتميز التنبؤات التي تولدها طريقة (ARIMA) بالدقة العالية في تشخيصها ووصفها لمستقبل الظواهر والمتغيرات الهيدرولوجية والاقتصادية وذلك لصغر تباين أخطاء تنبؤاتها مما يعزز مكانتها واهميتها في عملية اتخاذ القرار، الا ان دقة وفعالية التنبؤات تبقى مرهونة بدقة وصحة المعلومات الاحصائية التي تبني على اساسها الدراسات التنبؤية.

تعتبر هذه التنبؤات كمعلومات مهمة في توجيه مسؤولي إدارة الموارد المائية لصنع القرار المناسب أثناء عملية التخطيط المستقبلي لإدارة الموارد المائية وباستخدام الطرق العلمية الحديثة المساعدة على اتخاذ القرار. ومن هنا يتبين أن للتنبؤ بالتصارييف المستقبلية أهمية كبيرة جداً في التسيير الأمثل لتلبية المتطلبات المائية للري والصناعة و البلدية والاحتياجات المستقبلية الأخرى، إلا أن هذه الطرق والتقنيات تبقى مساعدة في عملية اتخاذ القرارات، ويجب على القائمين على إدارة الموارد المائية استعمال خبرتهم وتجربتهم في توجيه الحلول المقترحة باستعمال هذه الطرق في الإدارة الإستراتيجية للموارد المائية.

4. المصادر:

1. Arora, V.K. and Boer, G.J. "Effects of Climate Change on the Hydrology of Major River Basins" J. of Geophysical Research, American Geophysical Union, Vol. 106. No. D4, 3335-3348, (2001).
2. Heglund, J. and Barkdoll, B. D. "Current State of Knowledge in Effects of Climate Change on Watershed Behavior" World Environmental and Water Resources Congress: Restoring Our Natural Habitat, (2007), ASCE.

3. خدر، خالد محمود، " توليد السلاسل الهيدرولوجية الشهرية (الأمطار والتصارييف) لمحطات القياس الواقعة في أحواض تتميز بوجود فترة جفاف لبعض الأشهر"، وقائع المؤتمر العلمي الثاني لمركز بحوث سد الموصل، جامعة الموصل (1990).
4. Ahlert, R.C., and Mehta, B.M. "Stochastic Analysis and Transfer Functions for Flows of the Upper Delaware River" Ecological Modeling, 14, 59-78. (1981).
 5. Yurekli, K., Kurunc, A., and Ozturk, F. "Testing the Residuals of an ARIMA Model on the Cekerek Stream Watershed in Turkey" Turkish Jour. Eng. Envi. Sci. No. 29, p 61-74. (2005)
 6. Awchi, T. A., and Srivastava, D. K. "Analysis of drought and storage for Mula project using ANN and stochastic generation models" Hydrologic Research, IWA, Vol. 4, No. 1. p 79-91. (2009).
 7. Martins, O.Y., Ahaneku, I.E. Mohammed, S.A. "Parametric Linear Stochastic Modeling of Benue River Flow Process" Open Journal of Marine Science, No. 3, p 73-81. (2011).
 8. Box, G.E.P., Jenkins, G.M. "Time Series Analysis: Forecasting and Control" San Francisco: Holden-Day, (1987).
 9. Yurekli, K., Kurunc, A., and Simsek, H. "Prediction of Daily Maximum Streamflow Based on Stochastic Approaches" Journal of Spatial Hydrology Vol. 4 No. 2 p: 1-12, (2004). IVSL. Org.
 10. Subagadis, Y.H., "Stochastic Simulation of Streamflow and Hydrologic Drought Analysis (Case Study: Upper Blue Nile Basin" M.Sc. Thesis in Civil Engineering, Addis Ababa University. (2009)
 11. Clarke, R.T. "Mathematical Models in Hydrology". FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 19. Second edition. (1984).
 12. Sargent, D. M. "A Simplified Model for the generation of daily stream flows" Hydrological Sciences Journal, Vol. 24 No.4, p:509-527, (2012) IVSL. Org.
 13. Kottagoda, N.T., "Stochastic water resources technology", John Wiley and sons, New York. (1980).
 14. Ahmed, J.A., and Sarma, A.K. "Artificial neural network model for synthetic Streamflow generation" Springer Science, Water Resources Manage. Vol. 21, p 1015-1029. IVSL. Org. (2007).
 15. Lendasse, A., Bodt, E.D., Wertz, V., and Vwrleysen, M. "Non-Linear Financial Time Series Forecasting-Application to the Bel 20 Stock Market Index", European Journal of Economic and Social System, Vol. 14 No. 1, p: 81-91 (2000).
 16. Kumar, D., Raju, K., and Sathish, T. "River Flow Forecasting using Recurrent neural Networks", Water Resources Management, 18:1431-161(2004), Springer.