

تقدير التبخر-النتح المرجعي عن طريق التنبؤ بدرجات الحرارة باستخدام نموذج عشوائي

إحسان فصيح حسن
مركز بحوث السدود والموارد المائية
جامعة الموصل

أ.م.د. تيمور عبد المجيد أوجي
قسم هندسة الموارد المائية
كلية الهندسة - جامعة الموصل

الخلاصة

تم في هذا البحث تطبيق النموذج العشوائي (ARIMA) لنمذجة قيم درجات الحرارة الشهرية لمنطقة الموصل شمال العراق باعتماد السلسلة الزمنية لبيانات المعدل الشهري لدرجات الحرارة للفترة (1995-2010) باستخدام برنامج Minitab، وقد تم التأكد من أداء النموذج المقترح من خلال عمل تنبؤات شهرية لدرجات الحرارة للعامين 2009 و 2010 حيث بلغ مقدار معامل الارتباط ($R^2 = 0.99$) مع قيم البيانات الحقيقية للسنتين نفسها. بعدها تم استخدام النموذج المقترح في التنبؤ بمعدلات درجات الحرارة الشهرية للفترة (2011-2012). حيث تم استخدام هذه البيانات في تخمين قيم التبخر-نتح المرجعي ET_0 المستقبلية باستخدام عدد من طرق حساب التبخر-نتح المرجعي المعتمدة على درجة الحرارة بشكل اساسي، وذلك لأهميتها في الحفاظ على الموارد المائية وترشيد استخدامها بما يتناسب مع الحالة المستقبلية للمياه في المنطقة، أظهرت النتائج المحسوبة بطريقتي Blaney-Criddle و Hamon تقارباً كبيراً عند مقارنتها مع قيم التبخر-نتح باستخدام معادلة (Penman-Monteith).

Estimation of Reference Evapotranspiration by Predicting Temperature Values Using a Stochastic Model

Dr.Taymoor A. Awchi
Dept. of Water Resources Eng.
College of Eng./University of Mosul

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

Abstract

In this research, the stochastic model (ARIMA) was applied to modeling the monthly temperature values for the area of Mosul, Northern Iraq, by utilizing the time-series data of monthly mean temperature for the period (1995-2010) using the Minitab Software. The performance of the proposed model has been approved through the prediction of monthly temperature values for the years 2009 and 2010 where the correlation coefficient value was ($R^2=0.99$) with the values of the actual data for the same years. Then the proposed model was used to predict the mean monthly temperature values for the years (2011-2012). Due to its importance in the preservation of water resources and rational use in line with the future state of water in the region, this data was used to estimate the future values of Reference Evapotranspiration (ET_0) using different empirical methods based essentially on temperature. The results of Blaney-Criddle and Hamon methods showed high correlation with ET_0 value calculated by Penman-Monteith model.

Key Words: Reference evapotranspiration, Temperature, ARIMA, Time series.

المقدمة:

يعتمد كل من التخطيط الاقتصادي والاداري لأنظمة الموارد المائية على دراسة التوقعات الهيدرولوجية المستقبلية، لذا اهتمت الكثير من الدراسات والبحوث بدراسة السلاسل الزمنية للظواهر الهيدرولوجية لان كثيراً من هذه الظواهر اذا ما درست لعدد من السنوات او الاشهر امكن معرفة طبيعة التغيرات التي ستطرأ عليها والتنبؤ بما سيحدث لها من تغير في المستقبل على ضوء ما حدث لها بالماضي. فقد استخدم [12] نموذجاً مركباً من نموذج الانحدار الذاتي المتكامل Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) والمتوسطات المتحركة (ARIMA) ونموذج الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) للتنبؤ بالجفاف بالاعتماد على السلسلة الزمنية للأمطار. في حين استخدم الباحثان [18] اسلوبين من النماذج العشوائية هما نموذج ARIMA ونموذج Thomas-Fiering في تخمين الجريان الشهر المتوقع في وادي (Cekerek) في تركيا لدراسة وتحليل الجفاف. وقام الباحثون [16] بدراسة التغيرات المناخية في حوض نهر السنغال بالاعتماد على نموذج (ARIMA)، كما قام الباحث [14] بتقييم تخمين الفيضان على نهر Ouse باستخدام نموذج (ARIMA)، كما استخدم [1] نموذج ARIMA للتنبؤ بدرجات الحرارة في ولاية الخرطوم بالاعتماد على السلسلة الزمنية لدرجات الحرارة الشهرية للفترة من (1991 – 2001).

من المعلوم ان تقدير كميات المياه المفقودة من خلال عملية التبخر-النتح يلعب دوراً رئيسياً في تخطيط وادارة انظمة الموارد المائية مثل تصميم الخزانات، تقييم كفاءة الري للمشاريع المقامة، تخمين متطلبات تجهيز المياه لمشاريع الري المقترحة، حيث يعتبر التبخر-نتح المرجعي من المركبات الرئيسية التي تدخل في معظم النماذج الهيدرولوجية. هناك عدد كبير من طرق حساب وتقدير التبخر-نتح المرجعي والتي يمكن تقسيمها من خلال المتغيرات المناخية التي تحتاجها الى خمس مجاميع وهي: الموازنة المائية، تحول الكتلة، مركب من الاشعاع الشمسي ودرجات الحرارة، الاشعاع الشمسي، درجات الحرارة [17].

فقد قام العديد من الباحثين منذ منتصف القرن الماضي مثل [3,6,9,10,11] بجهود مضيئة للتغلب على صعوبة استخدام معادلة (Penman) التي تحتاج لقيم عناصر مناخية متعددة لحساب التبخر-نتح مثل الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح والرطوبة النسبية ودرجة الحرارة، بتقديم صيغ جديدة ومبسطة تحتاج الى قيم درجات الحرارة فقط في حساب التبخر نتح المرجعي.

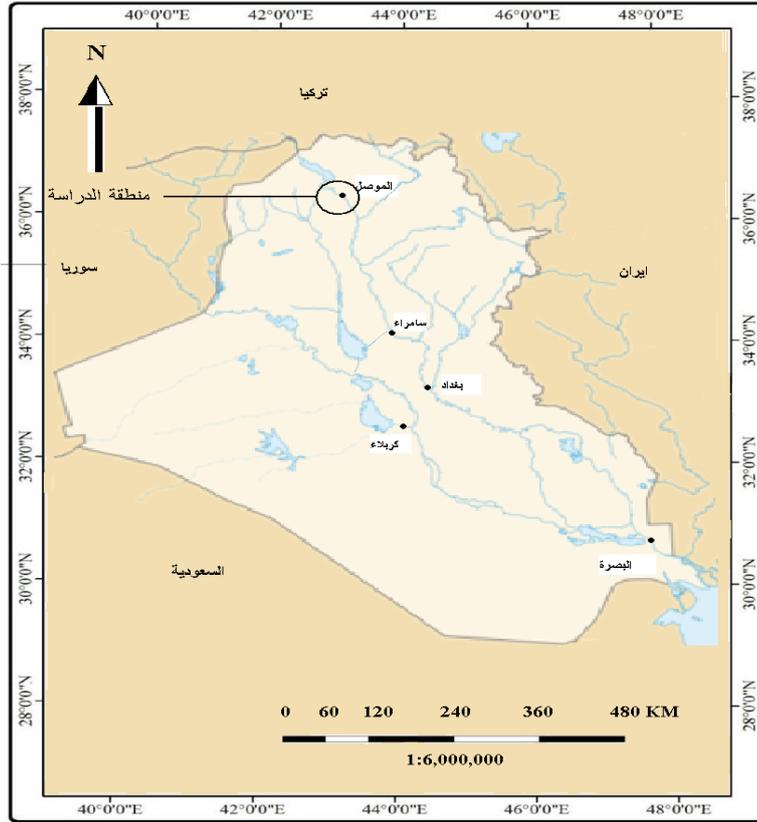
تم في هذا البحث تطبيق احد النماذج العشوائية من نماذج بوكس- جنكنس لغرض التنبؤ بدرجات الحرارة باستخدام برنامج Minitab، وهو نموذج ARIMA، (نماذج الانحدار الذاتي المتكاملة مع المتوسطات المتحركة). حيث قسم البحث الى جزئين، الاول يتناول استخدام نموذج ARIMA لنمذجة قيم درجات الحرارة الشهرية لمنطقة الدراسة للفترة (1995-2010) ومراحل بناء النموذج واختباره للتأكد من صحته وكفاءته من خلال ايجاد معامل الارتباط بين القيم الحقيقية والمتنبأ بها للفترة (2009-2010) ثم استخدام النموذج للتنبؤ بقيم معدلات درجات الحرارة المستقبلية للسنوات (2011-2012). في حين تناول الجزء الثاني تقدير قيم التبخر-نتح المرجعي باستخدام معادلات وضعية تعتمد على درجات الحرارة بشكل اساسي ومن ثم اختباره للتأكد من كفاءته.

هدف البحث:

يعتبر التنبؤ والتوقع الهيدرولوجي من المواضيع التي تكتسب اهمية كبيرة في وقتنا الحاضر، اذ من خلال التنبؤ بالمتغيرات الهيدرولوجية يمكن اصحاب القرار من رسم السياسات المائية والاقتصادية للفترة القادمة. عليه يهدف البحث الى اختبار السلسلة الزمنية لمعدل درجات الحرارة المسجلة في مدينة الموصل ثم التعرف على استخدام نماذج ARIMA واختيار انسبها في التنبؤ الهيدرولوجي والمناخي، واستخدام البيانات المتنبأ بها في تخمين قيم التبخر-نتح المرجعي ETo المستقبلية بالاستعانة بالطرق الوضعية المناسبة التي تعتمد على درجات الحرارة بشكل اساسي.

منطقة الدراسة:

تقع مدينة الموصل شمال العراق على خط طول $36^{\circ} 09'$ شرقاً وخط عرض $36^{\circ} 19'$ شمالاً، حيث يغلب عليها النطرف الكبير في درجات الحرارة بين الصيف والشتاء والليل والنهار. تركز البحث الحالي على تخمين قيم التبخر-نتح المرجعي المستقبلية باستخدام بيانات درجات الحرارة المتنبأ بها من نماذج ARIMA، وقد استخدم لهذا الغرض السلاسل الزمنية لمعدلات درجات الحرارة الشهرية من محطة الانواء الجوية في مدينة الموصل للفترة (1995-2010). والشكل (1) يبين الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة.



شكل (1) خارطة تبين موقع منطقة الدراسة

النماذج العشوائية:

تستخدم النماذج العشوائية Stochastic Models بشكل واسع في تحليل ونمذجة السلاسل الزمنية الهيدرولوجية. تم في هذه الدراسة استخدام نماذج (ARIMA) في التنبؤ، ويقصد بنماذج (ARIMA) تلك المنهجية التي طبقها كل من George Box و Gwilyn Jenkins (بوكس-جنكنس) على السلاسل الزمنية عام 1970. وهذه المنهجية تصنف الى الآتي:

1. النماذج اللاموسمية Non Seasonal model : تستخدم لتمثيل نوعين من السلاسل: الساكنة stationary وغير الساكنة Non-stationary ، وتعتبر السلسلة الزمنية ساكنة اذا كان لها وسط حسابي وتباين ثابتين. ومن هذه النماذج:

أ- نموذج الانحدار الذاتي: Autoregressive model ويكتب بالشكل الآتي:

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

حيث ان:

X_t : تمثل قيم المتغير X المتنبأ بها للفترة الزمنية (t) الحالية.
 $X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-p}$: تمثل القيم المقاسة من السلسلة الزمنية للمتغير X للفترة (t-1, t-2,...t-p) السابقة.
 $\mu, \theta_1, \theta_2, \theta_p$: معالم معادلة الانحدار.
 e_t : متغيرات عشوائية.

ويرمز لهذا النموذج بـ $AR(p)$ حيث p تمثل درجة النموذج. ويشير نموذج الانحدار الذاتي الى ان القيم

الحالية للمتغير X_t تعتمد على قيم المتغير السابقة $X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-p}$.

ب- نموذج المتوسطات المتحركة: Moving Average Model وصيغته كالتالي:

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

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_q : معالم النموذج.

$e_{t-1}, e_{t-2}, e_{t-q}$: تمثل قيم البواقي Residuals الناتجة من تقدير المتغير X_t .

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

ج- نموذج الانحدار الذاتي و المتوسطات المتحركة $ARMA(p,q)$ حيث p,q تمثلان درجته. ويكتب بالصيغة الآتية [1]:

$$X_t = \mu + \theta_1 X_{t-1} + \theta_2 X_{t-2} + \dots + \theta_p X_{t-p} + e_t - \phi_1 e_{t-1} - \phi_2 e_{t-2} - \dots - \phi_q e_{t-q} \quad \dots \dots \dots (3)$$

وإذا كانت السلسلة غير ساكنة فيمكن تحويلها إلى سلسلة ساكنة بعملية التفاضل differencing وذلك بأخذ الفروق المناسبة للسلسلة الاصلية فمثلاً الفرق الأول يكون وفقاً للمعادلة الآتية:

$$W_t = X_t - X_{t-1} \quad \dots \dots \dots (4)$$

وتختبر السلسلة الزمنية الجديدة فإذا أصبحت ساكنة تكون درجة التفاضل d مساوية لـ 1، وإذا كانت السلسلة لازالت تعاني من عدم السكون نقوم بالتفاضل مرة ثانية وهكذا حتى نصل إلى سلسلة زمنية ساكنة، ثم تمثل بنفس النماذج السابقة ولكن تضاف فقط كلمة متكاملة integrated إلى اسم النموذج فتصبح $ARIMA(p,q,d)$ للدلالة على أن هذا النموذج استخدم لتمثيل سلسلة زمنية غير ساكنة.

2. النماذج الموسمية Seasonal model: تستخدم لتمثيل السلاسل الزمنية الموسمية وتتكون من نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة الموسمية $SARMA(P,Q)$ حيث P,Q تمثلان درجته ويكتب كالاتي:

$$X_t = \mu + \theta_S X_{t-S} + \theta_{2S} X_{t-2S} + \dots + \theta_{PS} X_{t-PS} + e_t - \phi_S e_{t-S} - \phi_{2S} e_{t-2S} - \dots - \phi_{QS} e_{t-QS} \quad \dots \dots (5)$$

أما إذا كانت السلاسل الموسمية غير ساكنة فتحول إلى ساكنة عن طريق أخذ الفرق الموسمي وفق المعادلة الآتية:

$$W_t = X_t - X_{t-S} \quad \dots \dots \dots (6)$$
ويرمز لهذا النموذج بـ $ARIMA(P,Q,D)_S$.

3. النموذج الموسمي المضاعف $ARIMA(p,q,d) \times (P,Q,D)_S$: هو خليط من النماذج اللاموسمية والموسمية ويكتب بالشكل الآتي [12]:

$$\theta_p(B)\theta_P(B^S) \nabla^d \nabla_S^D X_t = \phi_q(B) \phi_Q(B^S) e_t \quad \dots \dots \dots (7)$$

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
- B : عامل الازاحة الخلفية (backward shift operator).

مراحل بناء النموذج: هناك ثلاث مراحل لغرض بناء نموذج لتمثيل سلسلة زمنية ساكنة وتشمل:

1. **تشخيص النموذج:** يتم تشخيص النموذج وتحديد درجته من خلال دالتي الارتباط الذاتي Autocorrelation Function (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي Partial Autocorrelation Function (PACF)، للنماذج غير الموسمية والموسمية الساكنة المختلفة.

2. **تقدير معالم النموذج:** بعد أن يحدد النموذج وتحدد درجته يتم تقدير معالمه.

3. **اختبارات دقة النتائج التنبؤية:** هنالك اختبارات عديدة تعتمد في تقييم النماذج المتنبأ بها ومنها الآتي [8]:

أ- متوسط القيم المطلقة للأخطاء: MAE
وتحسب بالشكل الآتي:

$$MAE = \frac{\sum |Y_t - X_t|}{n} \quad \dots \dots \dots (8)$$

ب- مربع الأخطاء المطلقة: MSE
وتحسب بالشكل الآتي:

$$MSE = \frac{\sum (Y_t - X_t)^2}{n} \quad \dots \dots \dots (9)$$

ج- النسبة المطلقة لمتوسط الأخطاء: MAPE
وتحسب بالشكل الآتي:

$$MAPE = \frac{\sum \left(\frac{|Y_t - X_t|}{Y_t} \right)}{n} \quad \dots \dots \dots (10)$$

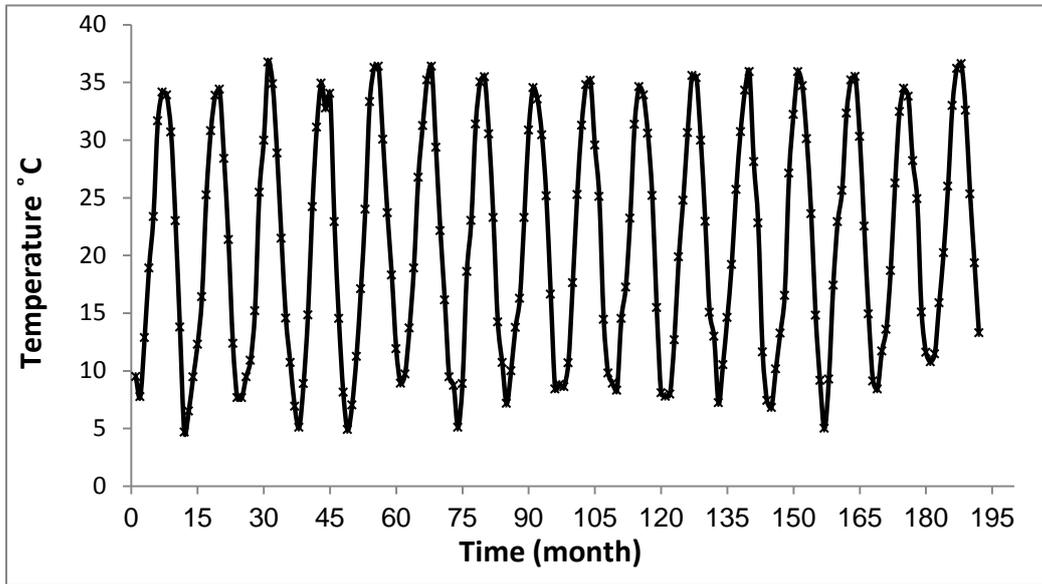
د- نسبة متوسط الأخطاء: MPE
وتحسب بالشكل الآتي:

$$MPE = \frac{\sum \left(\frac{(Y_t - X_t)^2}{Y_t} \right)}{n} \dots \dots \dots (11)$$

حيث ان
 Y_t : تمثل القيم الحقيقية للمتغير
 X_t : تمثل القيم المتنبأ بها للمتغير Y_t
وفي جميع الحالات كلما كانت قيم اختبارات الدقة التنبؤية اقل كانت الدقة التنبؤية للنموذج اكبر.

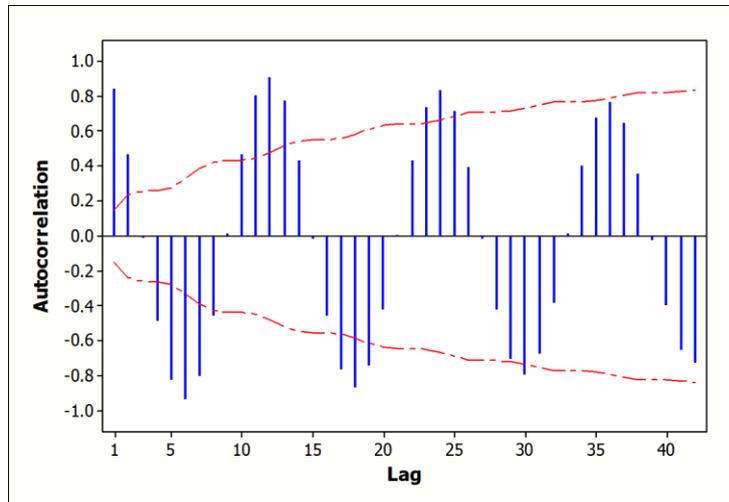
التطبيق العملي:

لغرض تطبيق نموذج *ARIMA* للتنبؤ بدرجات الحرارة تم أخذ البيانات الخاصة بدرجات الحرارة الشهرية للفترة (2010-1995) من محطة الانواء الجوية في مدينة الموصل، والشكل (2) يبين رسم السلسلة الزمنية لدرجات الحرارة الشهرية لمدينة الموصل.



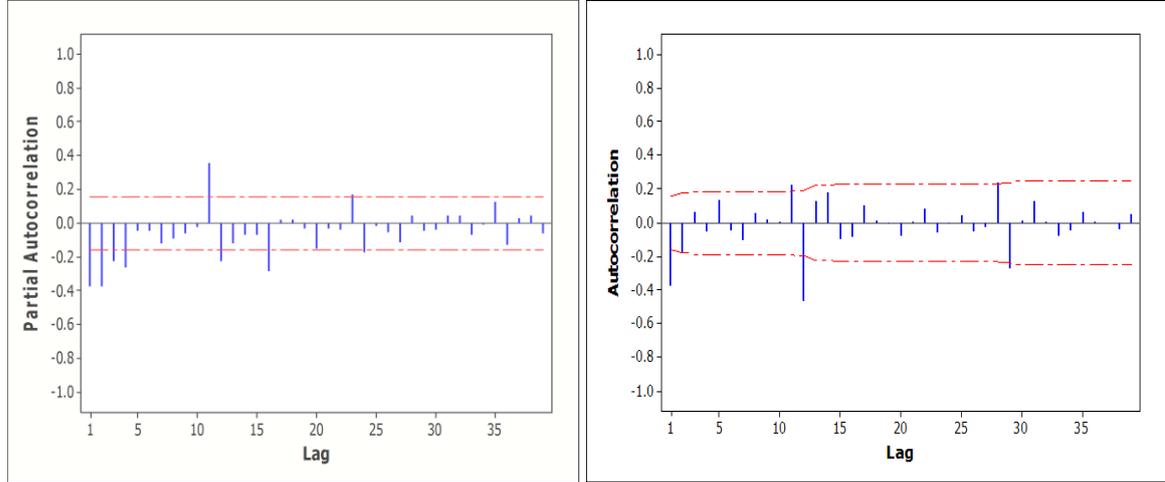
شكل (2) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة لمنطقة الدراسة خلال الفترة 2010-1995

ولغرض معرفة طبيعة السلسلة الزمنية من حيث السكون تم إيجاد قيم معاملات الارتباط الذاتي (*ACF*) كما في الشكل (3).



شكل (3) قيم معاملات الارتباط الذاتي *ACF* لسلسلة درجات الحرارة في منطقة الدراسة

يتضح من الشكل (3) ان السلسلة غير ساكنة، ويؤكد الشكل البياني للسلسلة الأصلية لدرجات الحرارة في الشكل (2) وجود تأثيرات موسمية لذلك نأخذ الفرق الأول لتسكين السلسلة والفرق الموسمي للتخلص من أثر الظاهرة الموسمية واستخرجت قيم معاملات الارتباط الذاتي ACF والذاتي الجزئي $Partial ACF$ لتشخيص النموذج الملائم وتم رسمهما كما هو موضح في الشكل (4).

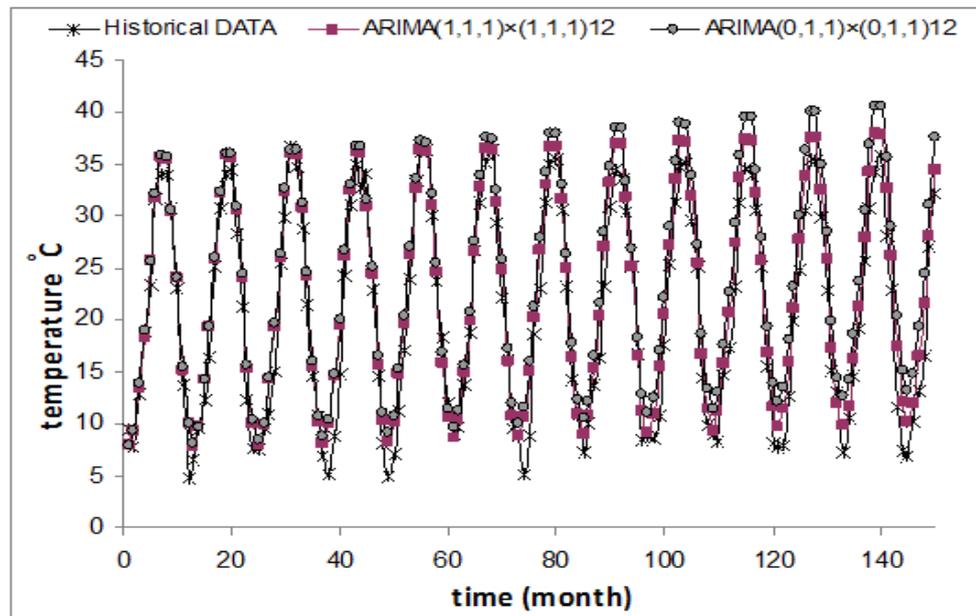


(ب)

(أ)

شكل (4) قيم معاملات الارتباط الذاتي ACF في (أ) والذاتي الجزئي $Partial ACF$ في (ب) بعد اخذ الفرق $\nabla^1 \nabla^{12} X_t$

بعد اخذ الفرق الأول والفرق الموسمي للسلسلة الزمنية $\nabla^1 \nabla^{12} X_t$ ومن ملاحظة الشكل (4) نجد ان دالة الارتباط الذاتي تتناقص تدريجياً كما ان معامل دالة الارتباط يتنازل بعد الفترة الأولى وعليه يتم ترشيح النموذجين $ARIMA(1,1,1) \times (1,1,1)_{12}$ و $ARIMA(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$ لعمل التنبؤات باستخدام برنامج Minitab. والشكل (5) يوضح القيم الحقيقية والمنتبأ بها لدرجات الحرارة للنموذجين المقترحين.



شكل (5) يوضح القيم الحقيقية لدرجات الحرارة والمنتبأ بها من نماذج ARIMA

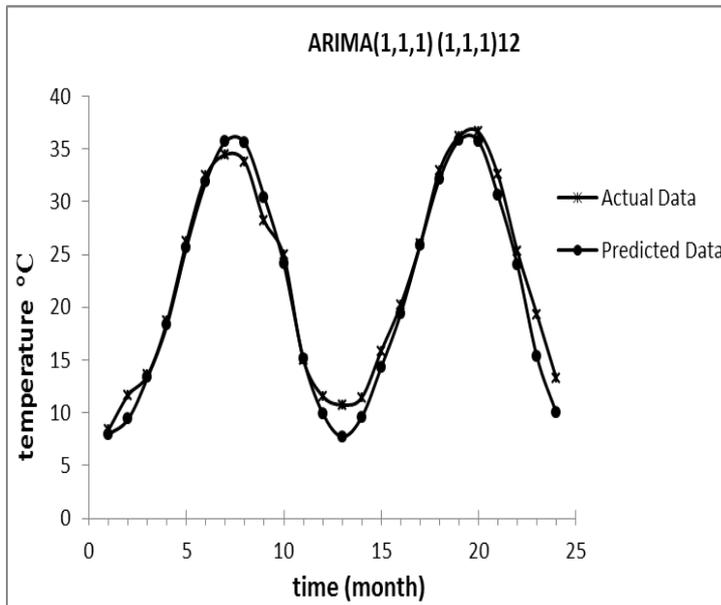
وعند

أوجي: تقدير التبخر-النتح المرجعي عن طريق التنبؤ بدرجات الحرارة باستخدام نموذج عشوائي

مقارنة النموذجين طبقاً لاختبارات الدقة نجد إن نموذج $ARIMA(1,1,1) \times (1,1,1)_{12}$ حقق دقة تنبؤية أكثر من نموذج $ARIMA(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$ وكما موضح في الجدول رقم (1) مما يعني إمكانية استخدامه في التنبؤ:

جدول (1) قيم اختبارات الدقة التنبؤية لنماذج $ARIMA$ المقترحة

نوع الاختبار	$ARIMA(1,1,1) \times (1,1,1)_{12}$	$ARIMA(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$
MSE	15.280	69.134
MAE	3.5345	7.6449
MAPE	0.2555	0.5254
MPE	1.1932	4.8444



وقبل استخدام النموذج لحساب التنبؤات المستقبلية يجب اختباره للتأكد من صحته وكفاءته لذا تم استخراج قيم معامل الارتباط بين السلسلة الحقيقية لدرجات الحرارة للسنتين (2009 و 2010) وبين السلسلة المتنبأ بها لنفس الفترة من خلال النموذج المقترح الذي تم التوصل له كما في الشكل الآتي:

من الشكل أعلاه يتضح التقارب الكبير بين السلسلة الحقيقية لدرجات الحرارة وبين السلسلة المتنبأ بها حيث بلغ معامل الارتباط (0.99)، مما يثبت كفاءة النموذج المقترح في تمثيله للظاهرة المدروسة، لذا تم تطبيق النموذج المذكور للتنبؤ بالمعدلات الشهرية لدرجات الحرارة لسنتي (2011، 2012) وكانت النتائج كما في الجدول الآتي:

شكل (6) بيانات درجات الحرارة الشهرية الحقيقية والمتنبأ بها للسنتين (2009، 2010)

جدول (2) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة المتنبأ بها في منطقة الدراسة وفق النموذج

سنة 2012		سنة 2011	
درجة الحرارة	الشهر	درجة الحرارة	الشهر
9.21	Jan	9.43	Jan
10.76	Feb	10.50	Feb
14.81	Mar	14.24	Mar
19.90	Apr	19.45	Apr
26.66	May	26.47	May
33.17	Jun	32.83	Jun
36.61	Jul	36.34	Jul
36.49	Aug	36.06	Aug
31.58	Sep	30.9	Sep
25.22	Oct	24.8	Oct
16.84	Nov	15.77	Nov
11.50	Dec	10.62	Dec

طرق تقدير قيم التبخر- نتح المرجعي:

ان ايجاد العلاقة بين التبخر ودرجة حرارة الهواء يرجع الى عشرينيات القرن الماضي انظر [7]. حيث ان معظم معادلات التبخر-نتح المعتمدة على درجات الحرارة تأخذ الصيغة الاتية [17]:

$$ET_o = cT^a \quad \dots\dots\dots (12)$$

حيث ان

ET_o : قيم التبخر-نتح المرجعي.

T : درجة الحرارة. و a , C : ثوابت

تم في هذه الدراسة تقدير قيم التبخر-نتح المرجعي ET_o باستخدام المعادلات الوضعية التي تتطلب درجات الحرارة المتنبأ بها من نماذج ARIMA كمتغير ادخال بشكل اساسي، وادناه الطرق الوضعية التي تم استخدامها في هذه الدراسة:

1. طريقة بلاني كريدل Blaney-Criddle

تقترح هذه الطريقة للأماكن التي تتوفر فيها معلومات مناخية عن درجة حرارة الهواء، والنسبة المئوية لعدد ساعات النهار فقط وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة كما في منطقة الدراسة الحالية حيث يظهر من متابعة وتحليل هذه الطريقة أن عملية حساب التبخر-نتح الكلي المحتمل لا تحتاج إلا لبيانات المتوسطات الشهرية للحرارة، والموقع الجغرافي للمحطة أو المنطقة المدروسة (بمعرفة خطوط العرض). وتأخذ المعادلة الصيغة الاتية [5]:

$$ET_o = C[P(0.46T + 8.13)] \quad \dots\dots\dots (13)$$

حيث ان:

ET_o : تبخر- نتح المرجعي (mm/day)

T : معدل درجة الحرارة الشهرية ($^{\circ}C$)

p : نسبة مجموع ساعات النهار في الشهر الى مجموع ساعات النهار في السنة (%)

C : ثابت يعتمد على الرطوبة النسبية، عدد الساعات التي تكون فيها الشمس مشرقة، وسرعة الرياح خلال اليوم. [17]

2. طريقة خروفة Kharrufa:

في سنة (1985) اشتق الباحث Kharrufa معادلة لحساب التبخر-نتح المرجعي من خلال علاقة تربط بين التبخر- نتح المرجعي ET_o والنسبة المئوية لعدد ساعات النهار p في المناطق الجافة وشبه الجافة بالصيغة الاتية [17]:

$$ET_o = 0.34 * p * T^{1.3} \quad \dots\dots\dots (14)$$

حيث ET_o و T و p هي كما معرف في المعادلة السابقة.

3. طريقة Hamon:

اشتق الباحث (1961) Hamon طريقة لحساب التبخر-نتح المرجعي بالاعتماد على درجة حرارة الهواء بالصيغة الاتية [13]:

$$ET_o = 0.55 * D^2 * P_t \quad \dots\dots\dots (15)$$

D : عدد ساعات سطوع الشمس. P_t : تمثل كثافة بخار الماء المشبع وتحسب بالشكل الاتي:

$$P_t = 4.95 * e^{(0.062T)} / 100 \quad \dots\dots\dots (16)$$

4. طريقة Papadakis:

وتأخذ الصيغة الاتية [13]:

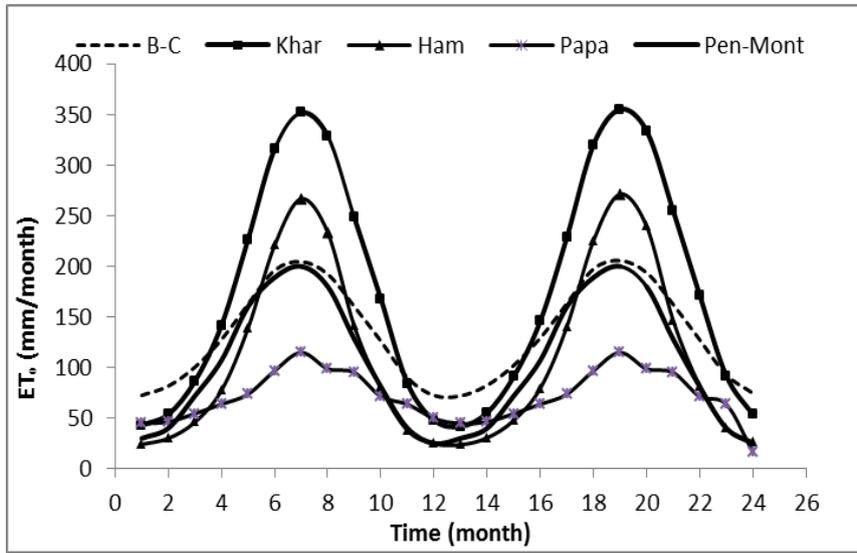
$$ET_o = 0.562 * (e_s \max - (e_s \min - 2)) \quad \dots\dots\dots (17)$$

حيث:

$e_s \min$, $e_s \max$: ضغط بخار الماء المشبع عند معدل درجة الحرارة العظمى و درجة الحرارة الصغرى (pa)

يوضح الشكل(7) قيم التبخر-نتح المرجعي التي تم تقديرها للسنتين (2011 و 2012) باستخدام طرق التبخر-نتح المختلفة. فبلغ أعلى قيمة لـ ET_o 355 ملم/لشهر تموز سنة 2012 بطريقة Kharrufa، في حين كانت اقل قيمة لـ ET_o 114 ملم/ لنفس الشهر سنة 2012 بطريقة Papadakis. بينما بلغت قيم ET_o لنفس الشهر 205ملم و271ملم بطريقتي Blaney-Criddle و Hamon على التوالي. وقد أظهرت نتائج تقديرات التبخر- نتح المحسوبة بطريقتي Blaney-Criddle و Hamon تقارباً على المستوى الشهري عند مقارنتها مع قياسات التبخر-نتح باستخدام معادلة (Monteith Penman) من المحطات المناخية التي تتماثل في خصائصها المناخية مع منطقة الدراسة والتي اجريت من قبل [2] والتي تم فيها قياس عناصر الحرارة والرطوبة النسبية والاشعاع الشمسي والرياح، بينما أظهرت التقديرات المحسوبة

بطريقتي Papadakis و Kharrufa تبايناً ملحوظاً عند مقارنتها مع طريقة (Penman-Monteith) حيث بلغ معامل الارتباط (0.89) بطريقة Papadakis. في حين كان معامل الارتباط (0.98) بطريقة Blaney-Criddle.



شكل (7) قيم التبخر-نتح المرجعي للسنتين (2011 و 2012) بالطرق المختلفة مقارنة مع طريقة (بنمان-مونتث).

B-C=Blaney-Criddle; Khar=Kharrufa; Ham=Hamon; Papa=Papadakis; Pen-Mont= Penman-Monteith

الاستنتاجات:

1. من خلال تحليل السلسلة الزمنية باستخدام نموذج $ARIMA$ الموسمي لغرض التنبؤ نستنتج ان درجات الحرارة الشهرية في منطقة الدراسة تؤلف سلسلة زمنية غير ساكنة وموسمية اي تعيد نفسها كل 12 شهراً وذلك من خلال قيم معاملات الارتباط الذاتي.
2. عند مقارنة نماذج $ARIMA$ المستخدمة في البحث تبين ان النموذج $ARIMA(1,1,1) \times (1,1,1)_{12}$ حقق قدرة تنبؤية اعلى من نموذج $ARIMA(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$ طبقاً لاختبارات القدرة التنبؤية، وذلك للتقارب الكبير بين السلسلة الفعلية والمتنبأ بها حيث بلغ معامل الارتباط ($R^2 = 0.99$) مما يدل على كفاءة النموذج المستخدم في التنبؤ.
3. أظهرت النتائج المحسوبة من جميع طرق التبخر-نتح المتبعة في البحث ان لها نفس الاتجاه تقريباً خلال السنة، إلا أنها حققت بطريقتي Blaney-Criddle و Hamon تقارباً على المستوى الشهري عند مقارنتها مع قياسات التبخر-نتح باستخدام معادلة (Penman-Monteith) من المحطات المناخية التي تتماثل في خصائصها المناخية مع منطقة الدراسة والتي تم فيها قياس عناصر مناخية متعددة إذ كان معامل الارتباط (0.98) بطريقة Blaney-Criddle، بينما أظهرت التقديرات المحسوبة بطريقتي Kharrufa و Papadakis تبايناً ملحوظاً عند مقارنتها مع طريقة (Penman-Monteith) حيث بلغ معامل الارتباط (0.89) بطريقة Papadakis، لعدم كفاءة الثوابت المستخدمة فيها وحاجتها الى معايرة بما يتلاءم مع منطقة الدراسة.
4. ان هناك زيادة سنوية في مقدار التبخر-نتح المرجعي بنسبة (0.011) في سنة (2012) بالمقارنة مع سنة (2010) بطريقة بلاني-كريدل بسبب زيادة درجات الحرارة وقلة الأمطار نتيجة الانحسار الحراري وتغير المناخ.
5. ان قلة البيانات المناخية المتوفرة وصعوبة الحصول عليها تعتبر من المشاكل الشائعة في تخمين التبخر-نتح بطريقة Penman-Monteith (والتي تعتبر من افضل الطرق الحديثة في حساب قيم ET_0) ، لذا يمكن استخدام معادلات التبخر-نتح المرجعي التي تحتاج الى درجات الحرارة بشكل اساسي وبالأخص طريقتي Blaney-Criddle و Hamon في المناطق التي لا تتوفر فيها بيانات مناخية كافية حيث وجد انها تعطي تقديرات معقولة عند مقارنتها مع سجلات التبخر-نتح التاريخية.

المصادر:

1. إبراهيم، بسام يونس. (2001). " التنبؤ بدرجات الحرارة في ولاية الخرطوم باستخدام أحد نماذج بوكس- جنكنس للسلاسل الزمنية". مجلة كلية العلوم- جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا.
2. بدر، هدى هاشم. (2008). " تحديد الطريقة المثلى لحساب الاستهلاك المائي الدال في مدينة الموصل" مركز بحوث السدود والموارد المائية، جامعة الموصل.
3. Blaney, H.F., Criddle, W.D. (1950). " Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological Irrigation Data". Technical Paper. No. 96, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C.
4. Box, G., Jenkins, G., (1970). "Time Series Analysis, Forecasting and Control" San Francisco: Holden-Day.
5. Doorenbos, J., Pruitt, W.O., (1977). "Guidelines for predicting crop water requirements". FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
6. Hamon, W.R., (1961). "Estimating potential evapotranspiration". Journal of Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 871: 107–120.
7. Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., (1990). "Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements". American Society of Civil Engineers: New York.
8. Keller, G., and Worrack, B., (1997). "Statistics for Management and Economics " Cole publishing Company , New York.
9. Kharrufa, N.S., (1985). "Simplified equation for evapotranspiration in arid regions". Beitragezur Hydrologic Sonderheft 5.1: 39–47.
10. Kosa, P. (2009). " Air Temperature and Actual Evapotranspiration Correlation Using Landsat 5 TM Satellite Imagery" Kasetart Journal. (Nat.Sci.) 43 : 605 - 611
11. Linacre, E.T. (1977). "A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone". Agricultural Meteorology, 18: 409–424
12. Mishra, A. K., Desai, V. R., and Singh, V.P.,(2007). "Drought Forecasting Using a Hybrid Stochastic and Neural Network Model". Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 12, No. 6, ASCE.
13. Rosenberry, O. D., Thomas, C. W., Donald, C. B., Gene, E. L., (2007) " Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA". Journal of Hydrology, 340, 149– 166.
14. See, L., and Openshaw, S., (1998). "Using Soft Computing Techniques to Enhance Flood Forecasting on The River Ouse". Proceeding Hydroinformatics'98: 3rd International Conference on Hydro informatics, Copenhagen, Denmark, 24-26 August, pp. 819-824.
15. Vandaele, W. (1983). "Applied Time Series and Box-Jenkins Models", John Wiley & Sons.
16. Venema, H.D., Schiller, E.J., and Adamowski, K. (1996) "Evidence of Climate Change in The Senegal River Basin", Water Resources Development, 12, 531-546
17. Xu, C. Y., and Singh, V. P., (2001). " Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation" Hydro. Process, 15, 305–319.
18. Yurekli, K. and Kurunc, A. (2006). " Performances of Stochastic Approaches in Generating Low Streamflow Data for Drought Analysis" Journal of Spatial Hydrology Spring, Vol. 5, No. 1.