المجلة العراقية للعلوم الإحصائية (21) 2012
ص ص [97-118]

توظيف نهج التحليل العاملي للتنبؤ بنماذج دالة التحويل

د.هيام عبد المجيد حياوي[1]   احمد سالم اسماعيل[2]

الملخص

المسألة التي يتناولها هذا البحث هي توظيف التحليل العاملي لبناء نماذج دالة التحويل ومن ثم التنبؤ, بالاعتماد على طريقة المكونات الرئيسة، وتطبيق ذلك على البيانات المناخية (درجة الحرارة وسرعة الرياح والإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية) الخاصة بظاهرة التبخر- نتح الكامن، من حيثُ إن البيانات المناخية هي المدخلات للنموذج وظاهرة التبخر- نتح تمثل المخرجات, إذ تم تقدير النموذج مرتين, الأولى تم فيها تقدير نموذج دالة التحويل باعتماد البيانات الناتجة من التحليل العاملي بوصفها مدخلات, أما الثانية فقدر فيها نموذج دالة التحويل باعتماد البيانات المناخية بوصفها مدخلات، ثم إيجاد الأسلوب الأفضل في التنبؤ من خلال معايير ضبط دقة التنبؤ.

Employment of the Factor Analysis Approach to Predict the Transfer Function Models

Abstract

The research deals with the employing of the factor analysis approach to structure the transfer function models and then predict depending on the principle component method and then apply that on the climate data (temperature, wind speed, solar radiation and the relative humidity) related to the evaporation - transpiration phenomenon, considering that the climate data is the input for the model and the evaporation - transpiration phenomenon stands for the outputs. The model was estimated twice: in the first estimation the transfer function was estimated using the data resulted from the

---

[1] أستاذ مساعد/قسم الإحصاء والمعلوماتية/كلية علوم الحاسوب والرياضيات/جامعة الموصل/العراق
[2] طالب ماجستير.

تاريخ التسليم 2011/6/5 ــــــــــــــــ تاريخ القبول 2011/10/4

factorial analysis as inputs, while in the second estimation, the transfer function model was estimated using the climate data as inputs and then determining the best approach in prediction by means of prediction accuracy criterions.

1-1 المقدمة :

إن التطور الحديث في العلوم المختلفة لا يكتفي بمجرد عرض المـشاكل ودراسـة الظواهر وتحديد الأسباب واستخلاص النتائج بطريقة سطحية مجردة بعيدة عـن أسـلوب الموضوعية والقياس فقط، بل أصبحت الدراسات الحديثة تعتمد على التوليف أو التـداخل بين الاتجاهات المختلفة للعلوم، فالتداخل بوسعه أن يستفيد من المزايا المتعددة لهذه العلوم وتوظيفها في اتجاه خدمة المجالات الأخرى، مما دفع العديد من البـاحثين إلـى التفكيـر المستمر لتحقيق هذا الهدف . ولقد أصبح الاتجاه العام في مثل هذه البحوث يأخذ صـدى واسع الانتشار, ذلك باستخدام الأساليب التي تعتمد التقنيات الحاسـوبية الحديثـة . يعـد موضوع السلسلة الزمنية في وصف الظاهرة لمعرفة طبيعة التغيرات التي تطرأ عليها في الفترات الزمنية وما كانت وما ستكون عليه من المواضيع المستخدمة في تحليل وتفـسير الكثير من الظواهر حيث أن قيمة الظاهرة تتأثر بتغير العناصر المكونة لها مـن الاتجـاه العام والتغيرات الموسمية والتغيرات الدورية وكذلك التغيرات العشوائية فضلا عن إلـى المتغيرات الخارجية الأخرى وان تحليل السلسلة الزمنية هو دراسة هذه العناصر لتحديـد اثر كل منها من قيم الظاهرة, فضلا عن مقدار الأهمية التي يوضحها أسـلوب التحليـل العاملي للكشف عن المتغيرات ذوات التأثير الجوهري في السلسلة الزمنية.

2-1 الجانب النظري:

1-2-1 التحليل العاملي(Factor Analysis):

إن الفكرة الأساسية للتحليل العاملي (Factor Analysis) بمفهومها العام, هي مدى معرفة إمكانية تمثيل مجموعة من المتغيرات بدلالة عدد قليل من العوامل . فغاية التحليل العاملي تكمن في تحديد العوامل الكامنة وراء الظواهر والمشاهدات وقياسها, للوصول إلى نتائج تتبلور في صور نظريات علمية مستقرة . لبلوغ هذا الهدف نحن بحاجة إلى التحقق من العلاقة بين العوامل والمتغيرات الأصلية ومنحها هذا التفسير في إطار الطريقة التـي يتم خلالها إنشاء البيانات(Hardle and Hlvka,2007) .

1-1-2-1 نموذج التحليل العاملي(The Factor Analysis Model):

تكمن أهمية التحليل العاملي بوصفه نموذجا رياضيا لتحليل العلاقات بين عـدد كبير من المتغيرات وتفسيرها في عدد قليل من العوامل, بذلك يفـسر النمـوذج العـاملي لـ m من المتغيرات لعينة حجمها n من الأفراد, حيث m تقسم إلى جزائين من العوامـل الجزء الأكبر منها يدعى بالعوامل المـشتركة (Common Factors) والأخـر يـدعى بالعوامل الوحيدة (Unique Factors) لكل متغير، أي أن النموذج العاملي يكون بالصيغة الآتية:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \cdots + l_{1p}F_p + e_1 \\ x_2 &= l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \cdots + l_{2p}F_p + e_2 \\ &\vdots \\ x_m &= l_{m1}F_1 + l_{m2}F_2 + \cdots + l_{mp}F_p + e_m \end{aligned}\right\} \qquad \text{........................(1)}$$

إذ إن :

$F_1, F_2, ..., F_p$: العوامل العامة التي تم اختيارها من (m) من المتغيرات .

l_{ji} : معاملات العوامل العامة F_i الخاص بالمتغير x_j حيث $j = 1,2,...,m$ ، ويسمى بتحميل العامل i للمتغير x_j .

e_j : العوامل الوحيدة.

وهذا ما يسمى بالنموذج العاملي, نلاحظ الطرف الأيمن من النمـوذج يقـسم إلـى جزائين, الأول هو العوامل العامة وتحميلات العوامل العامة, والثاني العوامـل الوحيـدة, وكذلك الأمر بالنسبة للتباين فهو يقسم إلى جزائين الأول هـو التبـاين العـام (General Variance) الذي يأتي عن طريق العوامل العامة ويرمز له بـ h_j^2, والثاني هو تبـاين العوامل الوحيدة الذي يأتي عن طريق العامل الوحيد ويشار إليه بالرمز u_j^2, وعلى هـذا الأساس يمكن إيجاد التبـاين لأي متغيـر x_j كـالآتي (Afifi and Clark,1984), (Anderson,1984) :

$$Var(x_j) = h_j^2 + u_j^2 \qquad \text{........................(2)}$$

إذ إن :

h_j^2 : التباين العام .

u_j^2 : التباين الخاص .

2-1-2-1 طرائق التحليل العاملي (Factor Analysis Methods)

1- طريقة المكونات الرئيسة (Principal Component Method) .

2- الطريقة القطرية (Diagonal Method).

3- طريقة الإمكان الأعظم (Maximum Likelihood Method) .

4- الطريقة التخيلية (Imaginary Method) .

5- طريقة المربعات الصغرى غير الموزونة (Unweighted Least Square Method).

6- طريقة المربعات الصغرى العامة (Generalized Least Square Method).

7- طريقة ألفا (Alpha Method).

8- الطريقة المركزية (The Centroid Method)

9- طريقة العوامل المتعددة (Multiple Factors Method)

3-1-2-1 طريقة المكونات الرئيسة (Principal Component Method):

تعرف المكونات الرئيسة بأنها أسلوب لتحويل المتغيرات التفسيرية الأصلية إلى متغيرات جديدة غير مرتبطة (Afifi and Clark,1984).

يتم اختيار المكونات الرئيسة بحيث تكون متعامدة فيما بينها وكذلك مؤهلة لتفسير معظم الاختلافات الكلية للنموذج ويتم إحلال تلك المكونات الجديدة محل المتغيرات الأصلية في النموذج الذي يمثل الظاهرة المدروسة, ويمكن كتابة المكونات الرئيسة PC_i بالصيغة الآتية (Morrison,1976) :

$$\left.\begin{aligned} PC_1 &= a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \cdots + a_{m1}x_m \\ PC_2 &= a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{m2}x_m \\ &\vdots \\ PC_p &= a_{1p}x_1 + a_{2p}x_2 + \cdots + a_{mp}x_m \end{aligned}\right\} \quad \text{.......................(3)}$$

إذ إن :

PC_i : المكون الرئيس الذي تسلسله i .

a_i : المتجه المميز i لمصفوفة المتجهات المميزة.

أي انه يتم اختيار PC_1 بحيث يجعل تباين المكون الرئيس الأول إلى مجموع التباين الكلي اكبر ما يمكن، وهو أكبر من تباين أي مكون رئيس آخر ، أي أن $(V(PC_1)/T.V.)$ أكبر ما يمكن . و يكون المكون الرئيس الثاني PC_2 له تباين اقل من تباين PC_1 ولكنه اكبر من تباين أي مكون رئيس آخر. وهكذا ...

4-1-2-1 طرائق اختيار عدد المكونات

: (The Component Number Choice Methods)

1- معيار (Kaiser) :

إن من أكثر المعايير استخداماً في اختيار عدد المكونات وأوسعها انتشاراً هو معيار Kaiser عام 1960 القائم على أساس إبقاء العامل المناظر للجذر المميز λ_j في التحليل عندما يكون ذلك الجذر اكبر أو يساوي واحداً ، وبعكس ذلك يتم استبعاده .

2- معيار (Cattel's):

وضع Cattel عام 1966 معيار يدعى اختبار الحجر (Scree Test) والذي بموجبه

تُختار المكونات التي تُشكل المنحني الناتج من التقاء النقاط $(1, \lambda_1), (2, \lambda_2), \ldots, (m, \lambda_m)$ وتترك تلك المكونات التي تشكل الخط المستقيم من ذلك المنحني.

3- نسبة تباين المكون الرئيس من التباين الكلي

: (Ratio Variance Principal Component Of The Variance Overall)

يتم اختيار عدد المكونات على أساس النسبة التجميعية للتباين المفسر بالعوامل بحيث تكون اكبر أو مساوية لـ 75% (الجبوري وعبد, 2000).

5-1-2-1 التحليل العاملي للمكونات الرئيسة

(The Factor Analysis For The Principal Components)

(Morrison,1976):

أن إحدى طرائق إجراء التحليل العاملي هو البدء بتحليل المكونات الرئيسة واستخدام عدد قليل من المكونات الرئيسة الأولى كعوامل غير مدورة. إن طريقة إيجاد

العوامل غير المدورة هي كما يأتي: بوجود (m) من المتغيرات، يوجد العدد نفـسه مـن المكونات الرئيسة, حيث يتم تحويل عدد من المتغيرات إلى مكونات, إن هذا التحويل من قيم X إلى قيم (PC) هو تحويل متعامد، لذلك فإن العلاقة العكسية وببساطة هي:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= a_{11}PC_1 + a_{21}PC_2 + \cdots + a_{m1}PC_m \\ x_2 &= a_{12}PC_1 + a_{22}PC_2 + \cdots + a_{m2}PC_m \\ &\vdots \\ x_m &= a_{1m}PC_1 + a_{2m}PC_2 + \cdots + a_{mm}PC_m \end{aligned}\right\} \quad \text{........................(5)}$$

الجدير بالذكر إن

$$\begin{aligned} F_i &= PC_i \big/ \sqrt{v(PC_i)} \\ &= PC_i \big/ \sqrt{\lambda_i} \end{aligned} \quad \text{...........................(6)}$$

وكما هو معلوم فإن تباين المتغير x_j هو

$$v(x_j) = h_j^2 + u_j^2$$

وإن

$$h_j^2 = l_{j1}^2 + l_{j2}^2 + \cdots + l_{jp}^2$$

وبما أن المتغيرات بصيغتها القياسية فإن

$$v(x_j) = 1 = h_j^2 + u_j^2 \quad \text{...................................(7)}$$

6-1-2-1 تدوير المحاور (Rotating The Axes) :

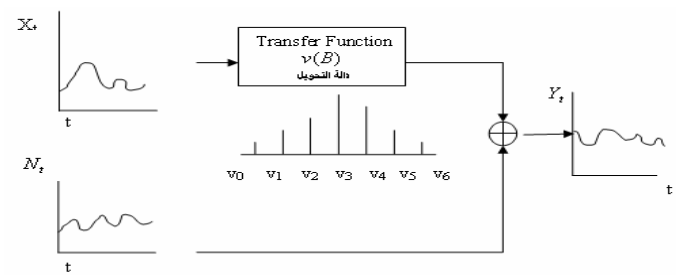
إن التحليل العاملي لمصفوفة ارتباط، باستخدام أية طريقة من الطرائـق العامليـة يهدف إلى استخلاص مجموعة من العوامل، بمعنى آخر، عبارة عـن محـاور متعامـدة إحداثياتها تمثل تشبعات المتغيرات، غير أنه ليس هناك ما يضمن لنا دائما الحصول على عوامل يمكن تفسيرها بسهولة من خلال ارتباطاتها مع المتغيرات, وهى تتحـدد بطريقـة عشوائية، ويختلف هذا التحديد للمحاور من طريقة عامليه إلى أخرى ، فهل يمكننا قبـول العوامل الناتجة في تحليلاتنا على أنها الصورة النهائيـة التـي تلخـص لنـا العلاقـات الارتباطية المتعددة وبصورة مقبولة, وهنا يقوم الباحث بإجراء جديد ألا وهو آلية التدوير

لهذه العوامل أو المحاور يهدف أساسا إلـى إعـادة تحديـد مواضـعها (Gailly and Adler,2004) .

2-2-1 نماذج دالة التحويل (Transfer Function Models) :

يعرف النظام (System) بأنه تفاعل مجموعة من الأشياء التـي تنـتج إشـارات ملحوظة تكون ذوات فائـدة تسمى بالمخـ ـرجات (Outputs) ويرمـ ـز لهـا بـ ـ Y_t، فضـلاً عن تأثر النظام بمؤثرات خارجية مسيطر عليها تـسمى بالمـدخلات (Inputs) ويرمز لها بـ X_t ومنها إشارات خارجية غير مسيطر عليها تعـرف بالإزعاجـات أو الاضطرابات (Disturbances) ويرمز لها بـ N_t والعلاقة بين المدخلات والمخرجات تتحدد من خلال دالة التحويل (Transfer Function) التي تعكس شكل التغيـر الـذي يطرأ على المدخلات لتتحول إلى المخرجات (Ljung,1999) .

إن الغرض الأساسي من صياغة نموذج دالة التحويل هو أن السلسلة الزمنية ربما لن تتأثر بقيمها الماضية فحسب بل قد تتأثر بقيم حاضرة وماضية لسلسلة أو لسلاسل زمنية أخرى, لذلك تُعبر دالة التحويل عن الخصائص الحركية للنظام من حيث كيفية تحويل المدخلات إلى مخرجات ويوضح ذلك بالشكل (1) .



الشكل(1):نظام دالة التحويل

بافتراض أن Y_t, X_t سلاسل زمنية في حالتها المستقرة, إذ يمثلان على التوالي سلسلة المدخلات منفردة وسلسلة المخرجات منفردة, وتكون الإزعاجات مستقلة عن المدخلات، وإن

الصيغة الرياضية لنموذج دالة التحويل أحادي الإدخال غير موسمي هي:

$$Y_t = v(B)X_t + N_t \qquad \text{.......... ....}(8)$$

$$\phi(B)N_t = \theta(B)\,a_t \;\Rightarrow\; N_t = \frac{\theta(B)}{\phi(B)}a_t$$

في حالة كون المتغيرات المدروسة تتبع نموذج دالة التحويل المضاعف الموسمي الذي لا

يختلف في مفهومه عن نماذج السلاسل الزمنية المضاعفة الموسمية, والصيغة الرياضـية العامة لنموذج دالة التحويل أحادي الإدخال الموسمي هي:

$$Y_t = v(B) X_t + N_t$$

....(9)

$$\phi(B)\Phi(B^s)N_t = \theta(B)\Theta(B^s)a_t \;\Rightarrow\; N_t = \frac{\theta(B)\Theta(B^s)}{\phi(B)\Phi(B^s)}a_t$$

حيث إن : $\Theta(B^s),\Phi(B^s)$: معلمات الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة الموسـمية على التوالي.

إذ أن : $v(B)$: دالة الاستجابة النبضية(Impulse Response Function) (Box and Jenkins,1976) (Hipel and Mcleod,1994) .

1-2-2-1 دالة الاستجابة النبضية (Impulse Response Function):

تعد دالة الاستجابة النبضية (Impulse Response Function) أو دالة التحويـل

مؤشر

للعلاقة بين المدخلات والمخرجات, وتسمى الأوزان $(v_0, v_1, v_2, v_3, ...)$ بـأوزان نبـضات الاستجابة, تمثل هذه الأوزان الأثر الذي يحدث في سلسلة المخرجات نتيجة لتغير سلـسلة المدخلات بوحدة واحدة, تكتب دالة الاستجابة النبضية لتوزيع الإزاحات الخطية في شـكل عامل الإزاحة الخلفي من خلال تعريف $v(B)$ بالصيغة الآتية :

$$v(B) = v_0 + v_1 B + v_2 B^2 + \cdots$$

........................(10)

يمكن تقريب دالـة التحويـل كنـسبة بـين حدوديـة (Polynomial) $\omega(B)$ و $\delta(B)$ والموضحة بالصيغة الآتية :

$$v(B) = \frac{\omega_s(B)B^b}{\delta_r(B)}$$

........................(11)

إذ أن :

$\omega(B)$: تمثل التأثير الابتـدائي (Initial Effect), أي تـشير إلـى أي مـدى سلـسلة المخرجات متأثرة بالقيم الجديدة لسلسلة المدخلات.

$\delta(B)$: تمثل عامل التضاؤل (Damping Factor) للتأثير الابتدائي, أي تشير إلـى أن سلسلة المخرجات ترتبط مع القيم السابقة لها إلى حد Y_{t-r} .

s : رتبة متعدد الحدود $\omega(B)$.

r : رتبة متعدد الحدود $\delta(B)$.

b : رتبة زمن التأخير (الزمن الميت), للمزيد انظر (ال طوي, 2011).

2-2-2-1 أسلوب بوكس-جنكنز في تحليل نماذج دالة التحويل
(Box-Jenkins Methodology In Transfer Function Models Analysis) :

هناك ثلاث مراحل لبناء نموذج دالة التحويل, ذلك من خـلال الخوارزميـة التـي وضعها Box-Jenkins في بناء السـلسـلة الـزمنية, بالاعتماد علـى معـلومات سـلسـلة المـدخلات والمخرجات X_t, Y_t, إذ يمكن تلخيص هذه المراحل كالآتي:

1-2-2-2-1 تشخيص نموذج دالة التحويل

(Identification Transfer Function Model) :

من أولى خطوات بناء نموذج Box-Jenkins هي تحديد مراوحـة السلـسلة مـن عدمه، وفي حالة الاستقرارية افهناك تغيرات موسمية أم لا, بعد التأكـد مـن مراوحـة السلسلة تبدأ مرحلة تشخيص النموذج والمتمثلة بالخطوات الآتية :

1- تقدير أوزان دالة التحويل (Estimation of transfer function weights) :

يتم تقدير أوزان دالة التحويل بطريقتين :

a- تقدير أوزان دالة التحويل اعتمادا على دالة الارتباط المتقـاطع (Estimation of transfer function weights depending on the cross-correlation function

قدم بوكس-جنكنز طريقة لتقدير أوزان دالة التحويل تعتمد علـى دالـة الارتباطـات المتقاطعة (Cross Correlations Function) عندما يكون النموذج أحادي الإدخال، إذ يكون من الصعب تعميمها لدراسة نماذج متعدد الإدخال, للمزيد انظر (ال طوي, 2011).

b- تقدير أوزان دالة التحويل اعتمادا على طريقة دالة التحويل الخطية

(Linear Transfer Function Method)LTF :

اقترحت طريقة دالة التحويل الخطية LTF لتقدير أوزان دالة التحويل عام (1982) من قبل Liu و Hanssens ثم حظيت باهتمام خاص عام (1991) من Pankratz وعام (1992) من Liu و Hudak، لتقدير أوزان دالة التحويل, وبإعادة كتابـة نمـوذج دالـة التحويل بالصورة الآتية:

$$Y_t = C + (v_0 + v_1 B + v_2 B^2 + \ \dots \ + v_k B^k) X_t + N_t \qquad \text{.......... ....} \ (12)$$

إذ أن k يمثل حجم العينة الكافي, أي يمثل العدد الـذي يحـدد مـن أوزان دالـة التحويل, إذ تمثل الخطوة المهمة لتحديد نموذج دالة التحويل بشكل دقيق, فإن حجم العينـة يحدد اختيارنا لعدد الأوزان. وصغر حجم العينة يؤدي إلى استخدام عدد قليل نـسبيا مـن الأوزان, والعكس صحيح . فإذا تم افتراض أن Y_t تمثل سلـسلة المخرجـات المنفـردة, وأن X_{1t} تمثل سلسلة المدخلات المنفردة، فإنه يمكن التعبير عن نمـوذج دالـة التحويـل الخطية لهذه السلاسل كالآتي:

$$Y_t = C + (v_{10} + v_{11} B + v_{12} B^2 + \ \dots \ + v_{1k} B^k) X_{1t} + N_t \qquad \text{.......... ....} \ (13)$$

إذ إن:

C: تمثل الحد الثابت.

v_{1j} : تمثل وزن لدالة التحويل j من متغير المدخلات X_{1t} إلى متغير المخرجات Y_t, بحيث $(j = 0,1,\dots,k)$.

k : يمثل العدد الكافي من أوزان دالة التحويل . كما سيتم افتراض الآتي :

$$m = n - k \qquad \text{......................}(14-a)$$

$$\underline{\beta} = [c \ v_{10} \ v_{12} \ \cdots \ v_{1k}]' \qquad \text{......................}(14-b)$$

$$\underline{Y} = [Y_{k+1} \ , Y_{k+2} \ , \cdots, \ Y_{k+m}]' \qquad \text{.....................}(14-c)$$

$$\underline{X} = [1 \ X_1^0 \ X_1^1 \ \cdots \ X_1^k] \qquad \text{....................}(14-d)$$

$$\underline{N} = [N_t] \qquad \text{.......................}(14-e)$$

إذ إن: $X_1^j = B^j X_1^0$ و $X = [X_{1(k+1)} \ , X_{1(k+2)} , \cdots, \ X_{1(k+m)}]'$

باستخدام طريقة المربعات الصغرى (Least Square) الاعتيادية . نمـوذج دالـة التحويل في (13) باستخدام المصفوفات فـي (14-a) (14-b) (14-c) (14-d) (14-e) يصبح النموذج كالآتي:

$$\underline{Y} = \underline{X}\ \underline{\hat{\beta}} + \underline{N} \qquad .... (15)$$

إذ أن: $\hat{\beta}$ القيمة المقدرة لـ β .

إذ أصبح بالإمكان الحصول على التقدير النهائي للمعلمات وكما يأتي:

$$\hat{\beta} = (\underline{X}'\ \underline{X})^{-1}\underline{X}'\underline{Y} \qquad .... (16)$$

إذ يمكن إعمام طريقة دالة التحويل الخطية في تقدير أوزان دالة التحويل عنـد تطبيقهـا لنماذج دالة التحويل متعددة المدخلات وبنفس الأسلوب السابق, (الحنـون,2007) (Liu, 1994) , للمزيد انظر (ال طوي, 2011) .

الفرق بين طريقتي التقدير هو أن الطريقة الأولى تُعد كفؤاً ولكنها تجـرى لنمـاذج أحادية

المدخلات فحسب بواسطة دراسة دالة الارتبـاط المتقـاطع بـين سلـسلتي المـدخلات والمخرجات بعد أن يجرى لهما التبييض المسبق، إذ يكون من الصعب تعميمها لدراسـة نماذج متعدد المدخلات، في حين لا يواجه تطبيق طريقة(LTF) هذا الإشكال أو التقييـد حيث يمكن تطبيقها للنماذج الأحادية أو المتعددة المدخلات على السواء (الحنون,2007).

2- تحديد نموذج ARMA لحد الإزعاج N_t

: (Determination Of the ARMA Model for the Disturbance Term)

بعد الانتهاء من تقدير أوزان دالة التحويل, فالخطوة اللاحقة هـي تحديـد نمـوذج ARMA

المناسب لحد الإزعاج N_t , قبل معرفة النموذج لحد الإزعاج N_t يجـب حـساب القـيم التقديرية لسلسلة الإزعاج N_t ، وذلك من خلال النموذج:

$$Y_t = v(B)X_t + N_t \qquad .... (17)$$

$$\therefore\ N_t = Y_t - v(B)X_t$$

ومن الضروري تحديد رتبة نموذج سلسلة الإزعاج من خلال اختبار دالتي الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي لسلسلة الإزعاج N_t للحصول على سلسلة البواقي a_t التي تمثـل تشويـشاً أبيض ويعبر عنها كالآتي:

$$\phi(B)N_t = \theta(B)\ a_t \qquad ....(18)$$

أما إذا كانت سلسلة الإزعاج تتبع نموذج SARMA المضاعف الموسمي, فـيمكن الحصول على سلسلة البواقي a_t التي تمثل تشويشاً أبيض ويعبر عنها كالآتي:

$$\phi(B)\Phi(B)N_t = \theta(B)\ \Theta(B)a_t \qquad ....(19)$$

2-2-2-2-1 تقدير معلمات نموذج دالة التحويل

:(Parameters Estimation of Transfer Function Model)

بعد أن تم التعرف على نموذج دالة التحويل، يتم في هذه الخطوة تقدير المعلمـات (Parameters),أي تقدير متجهات المعلمات الآتية:

$$\underline{\omega} = [\ \omega_{0,} \omega_1, \dots, \omega_s]', \underline{\delta} = [\ \delta_{1,} \delta_2, \dots, \delta_r]', \underline{\phi} = [\ \phi_{1,} \phi_2, \dots, \phi_p]', \underline{\theta} = [\ \theta_{1,} \theta_2, \dots, \theta_q]',$$
$$\underline{\Phi} = [\ \Phi_{1,} \Phi_2, \dots, \Phi_P]', \underline{\Phi} = [\ \Phi_{1,} \Phi_2, \dots, \Phi_Q]'$$

بافتراض أن :

$$\underline{\beta}' = (\underline{\omega}, \underline{\delta}, \underline{\phi}, \underline{\theta}, \underline{\Phi}, \underline{\Theta}) \qquad (20)$$

فنموذج دالة التحويل العام يمكن كتابته بالصيغة الآتية :

$$\delta(B)\phi(B)\Phi(B)Y_t = \phi(B)\omega(B)\Phi(B)X_{t-b} + \delta(B)\theta(B)\Theta(B)a_t \qquad ....(21)$$

يمكن كتابة النموذج (21) بالأسلوب الآتي :

$$a_t = Y_t + d_1 Y_{t-1} + \cdots + d_{p+r} Y_{t-p-r} + c_0 X_{t-b} + c_1 X_{t-b-1} + \cdots + c_{p+s} X_{t-b-p-s} +$$
$$b_1 a_{t-1} + b_2 a_{t-2} + \cdots + b_{r+q} a_{t-r-q} \qquad ....(22)$$

إذ إن :

d : يمثل متعددة الحدود δ و ϕ و Φ.

c : يمثل متعددة الحدود ω و ϕ وΦ.

b: يمثل متعددة الحدود δ وθ وΘ .

إذ أن حد الخطأ يتوزع طبيعياً بمتوسط صفر وتباين σ_a^2 . يتم تقدير المعلمات $\underline{\beta}'$ باستخدام طريقة دالة الترجيح الشرطية (Conditional Likelihood Function) بوصفها إحدى الطرائق لتقدير المَعلمات وكالاتي :

$$L(\beta,\sigma_a^2 \mid X,Y,X_0,Y_0,a_0) \;\alpha\; \sigma^{-n} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2}\sum_{t=1}^{n} a_t^2) \qquad ....(23)$$

إذ إن X_0,Y_0,a_0 قيم ابتدائية حقيقية (Proper Starting) لحساب a_t .
(Liu,1992- ,(Box and Jenkins,1976) ,(Abraham and Ledolter,2005) .1994)

1-2-2-2-3 التحقق من دقة تشخيص النموذج

(Diagnostic checking of the Model)

بعد تشخيص نموذج دالة التحويل بالصيغة النسبية وتقدير معلماته, وتحديد النموذج ARMA المناسب لسلسلة الإزعاج, يتم التحقق من دقة اختيار النموذج الذي يساعد في اتخاذ القرار فيما إذا كان نموذج دالة التحويل ملائماً للبيانات المتاحة قبل استخدامه في عملية التنبؤ, أما إذا كان غير ملائم فيجب إعادة صياغة النموذج وذلك بتشخيص نموذج آخر .

اختبار النموذج يتم عن طريق, اختبار دالة الارتباط الذاتي لسلسلة البواقي $\hat{a}_t$ ، يجب أن تكون عملية تشويش أبيض، (Makridakis et al.,1998) .

1-2-2-2-4 التنبؤ(Prediction):

إن الطريقة المتبعة للتنبؤ بنماذج دالة التحويل هي الطرائق نفسها المستخدمة في نماذج ARIMA أحادية السلسلة, عند تحقيق نموذج دالة التحويل الخطوات السابقة كفروض رئيسة ومن ثم يمكن عده النموذج الملائم, عندها يمكن استخدامه للتنبؤ بسلسلة المخرجات Y_t من خلال استخدام التاريخ السابق لكل من سلسلة المخرجات Y_t وسلسلة المدخلات المقترنة X_t , يتم استخدام طريقة تنبؤات لها أقل متوسط مربعات خطأ(Minimum Mean Square Error) (MMSE).

1-2-2-3 معايير ضبط دقة التنبؤ(Prediction Accuracy Criterions):

هناك مجموعة من اختبارات الدقة التنبؤية التي تستخدم للحكم على دقة التنبؤ, سنستعرض عدداً من معايير حسن المطابقة دقة التنبؤ وهي:

1. متوسط الأخطاء المطلقة MAE(Mean Absolute Errors):

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|Y_t - \hat{Y}_t\right|}{n} \qquad \text{.............................(24)}$$

2. متوسط مربعات الخطأ MSE (Mean Square Error):

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n} \qquad \text{............................(25)}$$

3. معدل متوسط الأخطاء المطلقة MAPE

(Mean Absolute Percentage Error):

$$MAPE = \sum_{t=1}^{n} \frac{\left|Y_t - \hat{Y}_t\right|}{Y_t} \Big/ n \qquad \text{............................(26)}$$

علماً أن جميع المعايير المذكورة تعطي أفـضلية للنمـوذج الـذي يعطيهـا أقـل قيمـة (Makridakis et al.,1998).

3-1 الجانب التطبيقي :

تم استخدام المعدلات الشهرية للبيانات المناخية (درجة الحرارة وتقاس °م, السطوع الشمسي يقاس ساعة, الرطوبة النسبية للهواء تقاس %, سرعة الريح م/ثا) لمحافظة نينوى للمدة من 1991/1/1 لغاية 2004/04/30 وتمثل 160 مشاهدة, التي تم الحصول عليهـا من الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في محافظة نينوى/الرشيدية .

بالاعتماد على البيانات المناخية بوصفها متغيرات يتم تقليصها إلى عدد ضئيل مـن العوامل, ويتم استخدام تلك العوامل كمتغيرات إدخـال(Input) لنمـاذج دالـة التحويـل (Transfer Function Models) المؤثر في متغير الإخراج (Output) التبخر- نـتح الكامن ET_o الذي يعبر عنه (ملم/يوم), ويمكن وصف بيانات المدخلات والمخرجات كمـا يأتي:

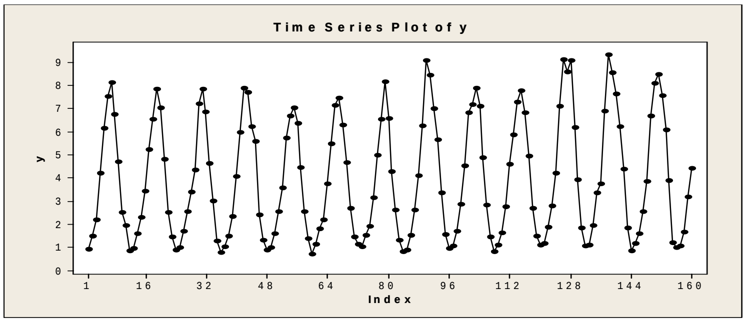
Y : التبخر- نتح الكامن ET_o .

X_1 : المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة (م°) .

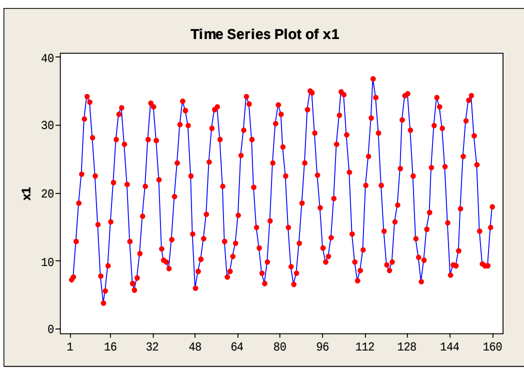
X_2 : المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية (%) .

X_3 : المعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) .

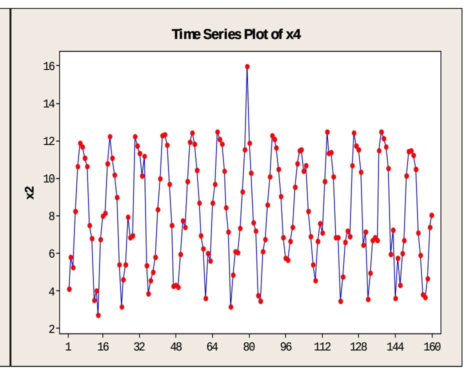
X_4 : المعدلات الشهرية لفترة سطوع الشمس (ساعة) .



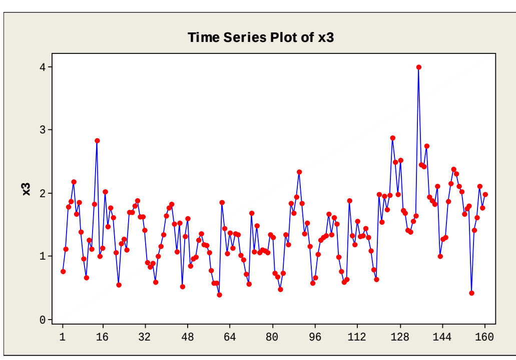
المشاهدات الأصلية لسلسلة الزمنية لبيانات التبخر- نتح Y



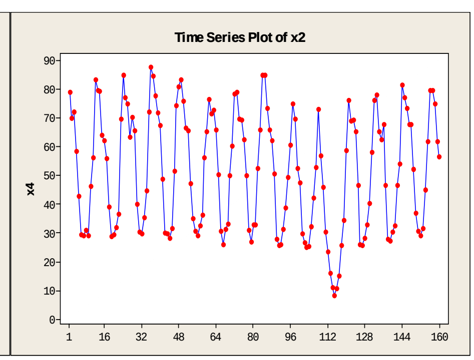
المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة



المعدلات الشهرية لفترة سطوع الشمس



المعدلات الشهرية لسرعة الرياح



المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية

الشكل(2):المعدلات الشهرية للبيانات المستخدمة

تم إجراء أسلوب تحليل المكونات الرئيسة وذلك باستخدام مصفوفة الارتباطات بين المتغيرات (X_1, X_2, X_3, X_4) بعدما تم تحويل المتغيرات الأصلية إلى الصيغة القياسـية, ذلك لتحديد أهم المكونات المؤثرة لظاهرة التبخر- نتح الكامن, وتم اعتماد تلك المكونات الناتجة في التحليل العاملي, وبإجراء التدوير باستخدام التدوير المتعامد (varmax) . بعد تحليل مصفوفة الارتباط تمكنا من تمييز مكون رئيس وحيد يفسر ما نسبته (69.5%) من إجمالي التباين الكلي, في حين لو ميزنا مكوناً رئيساً ثانياً الذي يفسر(25.3%) من إجمالي التباين الكلي, يصبح إجمالي التباين الكلي الذي يفسره المكونان ما نسبته(94.8%) . تـم تمييز المتغيرات المؤثرة في المكون الرئيس من خلال مصفوفة المتجهات المميزة, عكس المكون الرئيس الأول أهمية كبيرة بتفسير ما نسبته (69.5%) من التباين الكلي وأشـتمل هذا المكون على ثلاثة متغيرات ذوات تأثير وهما المتغيـر الأول (المعـدلات الـشهرية لدرجة الحرارة (م°)) والمتغير الثاني (المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية (%)) والمتغير الرابع (المعدلات الشهرية لفترة سطوع الشمس (ساعة)), أما ما يخص المكـون الـرئيس الثاني الذي فسر ما نسبته (25.3%) من إجمالي التباين الكلي فقد أشتمل على متغير وحيد ذي تأثير معنوي وهو المتغير الثالث (المعدلات الشهرية لسرع الرياح (م/ثا)) . بعـد أن اختيرت العوامل المهمة بالاعتماد على المكونات الرئيسة اجري التحليل العـاملي علـى مكونين وبذلك تم الحصول على تشبعات المتغيرات وكميات الشيوع, وبما أن قيمة التشبع تعطي أهمية للمتغير لتبين تأثير المتغير في ذلك العامل . نلاحظ على نحو عـام أهميـة المتغيرات كافة في تأثيرها في عمليتي التبخر- نتح ماعدا المتغير الثالث لم يكن له تـأثير معنوي في المكون الأول بينما عكس ذلك التأثير في المكون الثاني وذلك لحصوله علـى اقل كمية شيوع في المكون الأول بينما حصل عكس ذلك في المكون الثاني، أما بالنـسبة للمتغيرات المؤثرة تأثيراً معنوياً فقد اختلفت أهميتها، والجدول الآتي يوضـح تحمـيلات العوامل المدورة :

الجدول (1): تحميلات العوامل المدورة الخاصة بمصفوفة الارتباط

المتغيرات	تحميلات العامل F_1	تحميلات العامل F_2	كميات الشيوع
1	-0.932896	-0.005897	0.953673
2	0.97239	-0.086654	0.926094
3	0.063926	0.997953	0.999281
4	0.979641	0.094789	0.936069

سيتم اعتبار بيانات العوامل الناتجة بوصفها متغيرات إدخال في بناء نماذج دالة التحويـل للمزيد انظر (آل طوي, 2011).

بعد تحويل السلاسل الزمنية إلى عوامل بالاعتماد على مصفوفة الارتبـاط حـسب نوع البيانات، ومن ثم إيجاد نموذج دالة التحويل الملائم لتمثيل البيانـات, إذ تـم تحليـل وبناء نموذج دالة التحويل بالاعتماد على نظام متكامل لتحليل السلـسلة الزمنيـة يـدعى (Statistical System) ويرمز له بـ (SCA), وبالأسلوب الذي اتبعه Liu للخوارزمية التي وضعها Box- Jenkins في تحليل السلسلة الزمنية, ثم إيجاد القيم التنبؤية لظـاهرة التبخر- نتح الكامن, في الوقت نفسه تم إيجاد النموذج الملائم لدالة التحويل بالاعتماد على السلاسل الزمنية للبيانات المناخية قبل تحويلها إلى عوامل, إذ تم استخدام 156 مـشاهدة لتقدير نموذج دالة التحويل الملائم والإبقاء على 4 مـشاهدات كعينـة بعديـة (Out of Sample) للمقارنة بقيم التنبؤ التي يتم الحصول عليها من النموذج . ثم إيجاد الأسـلوب الأفضل في التنبؤ من خلال معايير ضبط دقة التنبؤ .

1-3-1 بناء نموذج دالة التحويل بالاعتماد على بيانات ظاهرة التبخر-نتح بوصفه متغير إخراج والعامل الناتج(في حالة استخدام العامل الأول)من التحليل العاملي كمتغير إدخال:

تمر عملية بناء النموذج بعدة خطوات أو مراحل لكي تصبح النماذج فـي النهايـة جاهزة للاستخدام والتطبيق وهذه الخطوات هي التشخيص (Identification) ثم التقدير (Estimation) ثم إجراء الفحوص التشخيـصية (Diagnostic Checking)، ومـن الواجب اجتياز هذه الخطوات جميعها لكي يتحول النموذج التجريبي إلى النموذج النهائي الجاهز لاستخدامه تطبيقيا في التنبؤ (Prediction) .

بعد إتباع منهجية بوكس-جنكز اعتمادا على أسلوب Liu وباستخدام النظـام SCA تم الحصول على نموذج دالة التحويل، أصبح من الممكن التنبؤ بالقيم المستقبلية لظـاهرة التبخر-نتح الكامن من خلال نموذج دالة التحويل الذي تم التوصل إليه كالآتي :

$$\hat{Y}_t = -0.4294 \times F1_{t-2} + N_t \qquad \text{.............................(26)}$$

إذ إن :

$$N_t = (1 - 0.6251B)a_t \qquad \text{...........................(26-a)}$$

a_t : تمثل سلسلة البواقي.

والجدول الآتي يوضح القيم الأصلية والمتنبأ بها :

الجدول (2) : القيم الأصلية والمتنبأ بها لظاهرة تبخر-نتح وباستخدام العامل الأول في التحليل العاملي كمدخل

NO.	Y	$\hat{Y}$
157	-0.233	-0.25857
158	0.195	0.220919
159	0.567	0.550371
160	-0.105	-0.09797

وبما أن a_{t+i} هي القيمة التنبؤية لخطوة مستقبلية مقدارها i وهذه القيمة لا يمكن التنبؤ بها لذلك تكون مساوية إلى الصفر .

للزيادة من دقة التحليل تم إيجاد نموذج دالة التحويل بعـد إرجـاع العامـل إلـى المتغيرات المناخية المؤثرة لظاهرة التبخر- نتح, ذلك من خلال النموذج الأتي :

$$X_j = l_{ji} F_i \qquad \text{................................(27)}$$

إذ أصبح النموذج النهائي للتنبؤ بالقيم المستقبلية لظاهرة التبخر-نتح بالصيغة الآتية :

$$\hat{Y}_t = -0.4294 \times F1_{1t-2} - 0.4294 \times F1_{2t-2} - 0.4294 \times F1_{3t-2} - 0.4294 \times F1_{4t-2} + N_t \qquad \text{..........(28)}$$

الجدول الآتي يوضح القيم لظاهرة التبخر- نتح الكامن والمتنبأ بها للظاهرة :

الجدول (3) : القيم لظاهرة التبخر-نتح الكامن والمتنبأ بها للظاهرة

NO.	Y	$\hat{Y}$
157	-0.233	-0.21619
158	0.195	0.178138
159	0.567	0.581602
160	-0.105	-0.12168

2-3-1 بناء نموذج دالة التحويل بالاعتماد على بيانات ظاهرة التبخر-نتح الكامن بوصفه متغير إخراج والعوامل الناتجة(في حالة استخدام العامل الأول والعامل الثاني) من التحليل العاملي بوصفها متغيرات إدخال:

يمكن إجراء الخطوات السابقة نفسها من عملية تهيئة وتشخيص وتدقيق ومن ثم التنبؤ باستخدام النموذج النهائي حسب التحليل في نظام SCA كالآتي:

$$Y_t = 0.1274F2_{t-3} - 0.1943F2_{t-4} + N_t \qquad \text{.........................(29)}$$

إذ إن :

$$N_t = (1 - 0.6468)\ a_t \qquad \text{............................(30)}$$

a_t : تمثل سلسلة البواقي.

إذا يلاحظ من خلال النموذج (29) عدم ظهور العامل الأول مما يدل على عدم معنويته في حالة استخدام العامل الأول والثاني في التحليل, الجدول الآتي يوضح القيم الأصلية والمتنبأ بها :

الجدول (4) : القيم الأصلية والمتنبأ بها لظاهرة تبخر-نتح الكامن

NO.	Y	$\hat{Y}$
157	-0.233	-0.22911
158	0.195	0.22492
159	0.567	0.607728
160	-0.105	-0.02475

للزيادة من دقة التحليل تم إيجاد نموذج دالة التحويل بعد إرجاع العامل إلى المتغيرات المناخية المؤثرة لظاهرة التبخر- نتح, إذ أصبح النموذج النهائي للتنبؤ بالقيم المستقبلية لظاهرة التبخر-نتح بالصيغة الآتية :

$$Y_t = 0.1274X_{1t-3} + 0.1274X_{2t-3} + 0.1274X_{3t-3} + 0.1274X_{4t-3} - 0.1943X_{1t-4} - 0.1943X_{2t-4} - 0.1943X_{3t-4} - 0.1943X_{4t-4} + N_t \qquad \text{......(31)}$$

الجدول الآتي يوضح القيم لظاهرة التبخر- نتح والمتنبأ بها لظاهرة تبخر-نتح والبيانات المناخية الناتجة من تحويل العامل.

الجدول(5) : القيم لظاهرة التبخر-نتح والمتنبأ بها لظاهرة تبخر-نتح والبيانات المناخية الناتجة من تحويل العامل الثاني إلى المتغيرات الأصلية

NO.	Y	$\hat{Y}$
157	-0.233	-0.20362
158	0.195	-0.16934
159	0.567	0.78799
160	-0.105	1.0452

3-3-1 بناء نموذج دالة التحويل بالاعتماد على بيانات ظاهرة التبخر- نتح الكامن بوصفه متغير إخراج والبيانات المناخية بوصفها متغيرات إدخال:

يمكن إجراء الخطوات السابقة نفسها من عملية تهيئة وتشخيص وتدقيق ومن ثم التنبؤ. بعد مرور نموذج دوال التحويل بمراحل بنائه ثم تقديره ثم اجتيازه للفحوص التشخيصية بنجاح أصبح من الممكن التنبؤ للقيم المستقبلية لظاهرة التبخر-نتح من خلال نموذج دالة التحويل الذي تم التوصل إليه كالآتي :

$$\hat{Y}_t = 0.2994 \times X3_{t-3} + N_t \qquad ....(32)$$

إذ إن :

$$N_t = (1 - 0.6128B)a_t \qquad ....(33)$$

a_t : تمثل سلسلة البواقي .

والجدول الآتي يوضح القيم الأصلية والمتنبأ بها:

الجدول (6) : القيم الأصلية والمتنبأ بها لظاهرة تبخر-نتح والبيانات المناخية

NO.	Y	$\hat{Y}$
157	-0.233	-0.30596
158	0.195	0.229946
159	0.567	0.573642
160	-0.105	-0.10307

علما أن جميع النماذج المستخدمة للتنبؤ بالقيم المستقبلية لظاهرة التبخر- نتح الكامن قد استبعدت منها المعلمات الموسمية, ذلك لظهور عدم معنوية تلك المعلمات, للمزيد انظر (ال طوي, 2011).

4-1 معايير ضبط دقة التنبؤ بين النهج التقليدي ونهج التحليل العاملي للتنبؤ بنماذج دالة التحويل :

لغرض إيجاد النهج الأفضل بين النهجين المستخدمين، وهما النهج التقليدي

ونهج التحليل العاملي فقد تم اعتماد المعايير الإحصائية للمقارنة وضبط دقة التنبؤ, كمـا مبين في الجدول (7).

الجدول (7) :المعايير الإحصائية لضبط دقة التنبؤ لظاهرة التبخر-نتح باستخدام النهج التقليدي ونهج التحليل العاملي

النهج المستخدم	MAPE	MSE	MAE
النهج التقليدي	-0.00586	0.00165	0.029019
نهج التحليل العاملي قبل تحويل العامل الأول إلى متغيرات	-0.01425	0.00041	0.018687
نهج التحليل العاملي بعد تحويل العامل الأول إلى متغيرات	-0.02937***	0.000268***	0.016338***
نهج التحليل العاملي قبل تحويل العامل الثاني إلى متغيرات	-0.01392	0.002236	0.038447
نهج التحليل العاملي بعد تحويل العامل الثاني إلى متغيرات	-0.01057	0.376323	0.441228

كما هو واضح فان نهج التحليل العاملي بعد تحويل العامل الأول إلى متغيـرات متفـوق على النهج التقليدي على وفق المعايير الإحصائية الثلاثة.

5-1 الاستنتاجات: من خلال الجانب التطبيقي يمكن ان نحصل على الاستنتاجات الآتية:

في التطبيق العملي, عند توظيف التحليل العاملي للتنبؤ بنماذج دالة التحويل, كانـت عملية التقدير للنموذج تتعامل مع عدد قليل من المتغيرات , لان من مهام التحليل العاملي هو تقليل عدد المتغيرات المستخدمة إلى عدد ضئيل من العوامل, بنفس الوقت يكون هنالك عدد قليل من المعلمات, بذلك تصبح عملية التقدير أقل صعوبة فيما لو كان هنالـك عـدد كبير من المعلمات, في حين عند عدم توظيف نهج التحليل العاملي, تم التعامل مـع عـدد اكبر من المتغيرات.

المصادر:

1-الجبوري، شلال حبيب وعبد ، صلاح حمزة (2000):" تحليل متعـدد المتغيـرات ", دار الكتب للطباعة والنشر ، بغداد.

2-الحنون، أسامة بشير شكر ،(2007): "نماذج دالة التحويل الآنية مع تطبيق"، رسـالة ماجستير غير منشورة ،كلية علوم الحاسبات والرياضيات،جامعة الموصل .

3-ال طوي، احمد سالم إسماعيل، (2011): " توظيف التحليل العاملي في نمـاذج دالـة التحويل للتنبؤ بالمعدلات الشهرية للتبخر- نتح "، رسالة ماجستير غير منـشورة، كليـة علوم الحاسوب والرياضيات جامعة الموصل.

4- Abraham, Bovas and Ledolter, Johannes (2005) : " Statistical Methods for Forecasting" , John Wily and Sons, United States of America.
5- Afifi, A.A and Clark, V. (1984): "Computer Aided Multivariate Analysis", Life Time Learning Publications, California, USA.
6- Anderson,T.W.,(1984) :"An Introduction to Multivariate Statistical Analysis", 2nd ed., John Wily and Sons, New York-USA.
7- Box, G.E.P and Jenkins, G.M. (1976):"Time series Analysis Forecasting and Control", Holden – Day, San Francisco.
8- Gailly, Jean-loup and Adler Mark (2004) :" SPSS 13.0 Base User's Guide " SPSS Inc, United States of America.
9- Hardle,Wolfgang and Hlvka, Zdenek, (2007): "Multivariate Statistics: Exercises and Solution" . Springer-Verlag, Berlin .
10- Hipel, K.W. and Mcleod, A.I. (1994): " Time Series Modeling Of Water Resources And Environmental Systems", Elsevier Science B.V. All rights reserved, Netherlands.
11- Liu, L.-M. and Hudak, G.B., (1994): "Forecasting and Time Series Analysis Using the SCA Statistical System", Volume 1, Scientific Computing Associates Crop. , Chicago.
12- Ljung, L., (1999):"System Identification Theory for user",2nd ed. Prentice Hall Upper Saddle River N.J. London UK.
13- Makridaskis, S. Wheelwright, S. and Hyndman, R. (1998): "Forecasting: Methods and Applications", 3rd ed., John Wiley and Sons, New York, USA.
14- Morrison,D.F.(1976):"Multivariate Statistical Methods " 2nd ed., Mcgraw-Hill.Inc.NewyYork,USA.
15- Wei, W. W. S. (1990): "Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., The Advanced Book Program, California, USA.