المجلة العراقية للعلوم الإحصائية

http://stats.uomosul.edu.iq

مقارنة التنبؤ لنماذج دالة التحويل ونماذج فضاء الحالة باستخدام الاسلوب المضبب

فهد سامر صبحي و هيام عبد المجيد حياوي

قسم الاحصاء والمعلوماتية ، كلية علوم الحاسوب والرياضيات ، جامعة الموصل ، الموصل ، العراق

معلومات النشر

تاريخ المقالة:
تم استلامه في 2 تشرين الاول 2021
تم القبول في 14 تشرين الثاني 2021
متاح على الإنترنت في 1 كانون الاول 2021

الكلمات الدالة:
النماذج الحركية، دالة التحويل، السلاسل الزمنية

المراسلة:
فهد سامر صبحي
fahadsamar1994@gmail.com

الخلاصة

يهدف البحث الى بناء نماذج حركية متمثلة بدالة التحويل ونماذج فضاء الحالة لمتغير ادخال منفرد ومتغير اخراج منفرد ،اذ يتمثل متغيري الادخال والاخراج بدرجات الحرارة للمياه قبل عملية التصفية وبعد عملية التصفية لتحويله الى ماء صالح للشرب ، اذ سيتم بناء نموذج دالة تحويل لمتغير ادخال منفرد ومتغير اخراج منفرد للبيانات الحقيقية ومن ثم تضبيب البيانات وبناء نماذج دالة التحويل ونماذج فضاء الحالة وايجاد القيم التنبؤية ومقارنة النتائج.

DOI: 10.33899/IQJOSS.2021.169968 , ©Authors, 2021, College of Computer Science and Mathematics, University of Mosul

1. المقدمة Introduction

تعد عملية التخطيط من أهم المسببات الرئيسة في تطور الأمم وتقدمها، وأن التخطيط الجيد هو الذي يعتمد في بناء البرامج التنموية على الأساليب العلمية المتطورة وبالأخص الأساليب الإحصائية الحديثة، ومنها استخدام نماذج السلاسل الزمنية في تحليل الظواهر بشكل عام، الأمر الذي فتح المجال الواسع للباحثين في دراسة موضوع السلاسل الزمنية وتحليلها لكونها من المواضيع المهمة في تحليل وتفسير سلوك الظواهر من خلال دراسة تطورها التاريخي عبر فترات زمنية قد تكون يومية أو فصلية أو شهرية .....الخ ، وذلك لأغراض التنبؤ بما سيحدث في مستقبل هذه الظواهر بأقل خطأ ممكن. وأن هذه العملية تتطلب دراسة تحليلية وافية للنماذج الإحصائية باعتماد أساليب رياضية وعلمية التي يمكن معاملتها مع متغيرات الحاضر وتوقعات المستقبل.

2. دالة التحويل Transfer Function

تعرف دالة التحويل بانها نموذج ديناميكي يصف العلاقة الديناميكية التي تربط سلسلة المدخلات (Inputs) بسلسلة المخرجات (Outputs) واحدة او أكثر حيث يقوم بتحويل سلسلة المدخلات x_t من خلال نظام ديناميكي الى سلسلة مخرجات y_t، وان سلسلة المدخلات يظهر تأثيرها في سلسلة المخرجات عن طريق دالة التحويل بافتراض ان x_t و y_t متسلسلات زمنية في حالتها المستقرة (Stationary) حيث يتوزع تأثير المدخلات على فترات زمنية مستقبلية قد يكون هناك تأخير زمني قبل ان تستجيب سلسلة المخرجات،

تهدف نماذج دالة التحويل الى تحديد نموذج ذو علاقة قوية لـ y_t مع x_t و n_t إذ أن الأخير يمثل كل التأثيرات الأخرى على العملية الحركية ويسمى الضوضاء (Noise)، ويستخدم هذا النموذج للتنبؤ ويتضمن هذا النموذج أكثر من سلسلة زمنية واحدة ويعرض الخصائص الحركية للنظام، ويسمى هذا النموذج بنموذج الانحدار الحركي (Dynamic Regression) بسبب العلاقة الحركية بين متغير الادخال والمتغيرات الاخراج .(Makridakis.,1983)

2.1 الصيغة العامة لنموذج دالة التحويل General Formula of Transfer Function Model

ان صيغة دالة التحويل يعبر عنها من خلال العلاقة الديناميكية بين متسلسلتين من المتسلسلات الزمنية احدهما متسلسلة المدخلات x_t والأخرى متسلسلة المخرجات y_t ،ولهذه العلاقة أهمية كبيرة في التنبوء بقيم y_t المستقبلية وعلى هذا الأساس تكون ذات اهمية كبيرة وبارزة في عملية التحليل الدقيق على افتراض ان كلاً من سلسلتي المدخلات والمخرجات مستقرة (Stationary) ومرتبطتان من خلال مرشح خطي (Linear Filter) إن ديناميكية العلاقة بين X_t و Y_t تمثل بواسطة نموذج دالة التحويل التالية:

$$Y_t = C + V(B)X_t + N_t \qquad (1)$$

أذ ان: C تمثل الحد الثابت. X_t : هي سلسلة المدخلات. Y_t : هي سلسلة المخرجات. N_t : هي سلسلة التشويش الأبيض(Noise).

$V(B)$: تشير الى دالة التحويل الخاصة بنماذج بوكس–جنكيز وهي عبارة عن مرشح خطي.

2.2 دالة الاستجابة النبضية Impulse Response Function

تعد دالة الاستجابة النبضية او ما يطلق عليها دالة التحويل عبارة عن مؤشر للعلاقة بين المدخلات والمخرجات وتسمى بأوزان او نبضات الاستجابة النبضية ويمكن كتابة اوزان نبضات الاستجابة بوصفها نسبة بين متعددتي حدود (Polynomial) $W(B)$و$\delta(B)$ بالشكل الآتي: *(Abraham and Ledolter,2005)*

$$V(B) = \frac{w_s(B)B^b}{\delta_r(B)} \qquad (2)$$

(B) ω: تمثل التأثير الابتدائي (Initial effect)،أي تشير إلى اي مدى سلسلة المخرجات متأثرة بالقيم الجديدة لسلسلة المدخلات ذا الرتبة s.

$\delta(B)$: تمثل عامل التضاؤل (Damping factor)، للتأثير الابتدائي، أي تشير إلى أن سلسلة المخرجات ترتبط مع القيم السابقة لها الى حد Y_{t-r} ذا الرتبة r. b: رتبة زمن التأخير الزمن الميت.

وان:

$$V(B) = V_0 + V_1B + V_2B^2 + \qquad (3)$$

2.3 منهجية بوكس جنكنز في تشخيص نماذج دالة التحويل Box Jenkins Methodology for Identification Transfer Function Models

هناك ثلاثة مراحل لتشخيص نماذج دالة التحويل وذلك من خلال الخوارزمية التي وضعها العالم Box-Jenkins لتشخيص نماذج السلاسل الزمنية اعتمادا على سلسلتي المدخلات والمخرجات ويمكن ملاحظة هذه الخطوات بالمراحل الآتية (Box-Jenkins,2016)

1- التعرف على نموذج دالة التحويل من خلال مايلي:
   - أ) تهيئة سلسلتي المدخلات والمخرجات.
   - ب) تنقية سلسلتي المدخلات والمخرجات
   - ت) حساب الارتباط المتقاطع بين السلاسل التي تم تنقيتها للمدخلات والمخرجات.
   - ث) تقدير اوزان دالة التحويل بالاعتماد على دالة الارتباط المتقاطع .
   - ج) تحديد رتب متعددات الحدود (s,r,b) لنموذج دالة التحويل وذلك للربط بين سلسلة المدخلات والمخرجات من خلال دالة الارتباط المتقاطع او استخدام طريقة جدول الزاوية.
   - ح) تحديد نموذج حد الازعاج المتمثل بنموذج ARMA.
2- تقدير معلمات نموذج دالة التحويل باستخدام احدى طرق التقدير وسيتم استخدام طريقة المربعات الصغرى.
3- اجراء الفحوص التشخيصية من خلال فحص دالتي الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي لسلسلة البواقي وفحص دالة الارتباط المتقاطع بين المدخلات التي تم تنقيتها والبواقي.
4- استخدام النموذج الذي تم الحصول عليه في التنبؤ.

3. معايير اختبار دقة التنبؤ Prediction Accuracy Criteria

ان التنبؤ المستقبلي لأي ظاهرة يحتوي على قدر معين من عدم التنبؤ ويتم معالجة ذلك من خلال فحص اخطاء التنبؤ المتتالية ومعرفة مدى ملائمة اسلوب التنبؤ المستخدم ويتم ذلك من خلال بعض معايير اختبار دقة التنبؤ كثيرا ما يطلق على الدقة Accuracy كلمة حسن المطابقة Goodness of Fit والتي تشير إلى كيفية جعل نموذج التنبؤ قادراً على توليد بيانات ذات كفاءة ، وهناك عدة معايير يمكن من خلالها ضبط دقة النموذج في التنبؤ منها: (Makridakis,1998) .

3.1 معيار متوسط الخطأ Mean Error

ويحسب بالصيغة الآتية (Najm,2001):

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t) \qquad (4)$$

اذ أن: Y_t : تمثل القيم الحقيقية للسلسلة، $\hat{Y}_t$: تمثل القيم المتنبأ بها للسلسلة، n : تمثل فترة التكهن.

3.2 متوسط مربعات الأخطاء Mean Square Error

ويعرف بالصيغة الآتية:

$$\mathrm{MSE} = \frac{\sum_{t=1}^{n}(Y_t - \hat{Y}_t)}{n} \qquad (5)$$

3.3 معيار الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ Root Mean Square Error

يسمى ايضاً بالمعيار الخطأ المعياري للتقدير حيث يسمح هذا المعيار بإلغاء اثر القيم الكبيرة والتضخيم الناجم على متوسط مربع الخطأ, وان الصيغة الرياضية لهذا المعيار هي(Najm,2001):

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)^2} \qquad (6)$$

4 نماذج فضاء الحالة State-Space Models

فضاء الحالة هو نهج رياضي خاص لتمثيل الأنظمة الحركية المختلفة يعتمد أساسا على فكرة الخاصية الماركوفية. إن تمثيل فضاء الحالة هو عبارة عن نموذج رياضي لتمثيل نظام فيزياوي باعتباره مجموعة من المدخلات input والمخرجات output بوساطة زوج من المعادلات التفاضلية الفرقية من المرتبة الأولى ، تصف الأولى متجه المدخلات عند الزمن $(t+1)$ ويرمز له x_{t+1} بدلالة x_t وكذلك المدخلات u_t وتسمى معادلة الحالة State Equation في حين تصف الثانية المخرجات y_t بدلالة كل من المدخلات x_t والمدخلات u_t وتسمى هذه المعادلة معادلة المشاهدة Observation Equation ويمكن توضيح هاتين المعادلتين في حالة وجود مدخل ومخرج واحد SISO (Single Input Single Output) وهي: (Jose ,et.ac.,2016)

$$X_{t+1} = AX_t + BU_t \qquad (7)$$

$$Y_t = CX_t + DU_t \qquad (8)$$

إذ أن:-

A : تمثل الديناميكية المستقلة للنظام ببعد $(n * n)$. B : يمثل تأثير أفعال السيطرة ببعد $(n * n)$.

C : يمثل الإسقاط على المتغيرات المشاهدة ببعد $(n * 1)$, D : يمثل قيمة حقيقية.

وتؤدي هاتان المعادلتان دوراً مهماً في دراسة النظم الديناميكية إذ يعبر عن المدخلات والمخرجات من خلال معادلة فرقية عند وجود نظام محدد في الزمن المتقطع وتكون هناك عادةً اضطرابات غير مسيطر عليها تعامل كمتغيرات عشوائية أو تشويش يؤثر في المخرجات (Nelles,2001).

5 المنطق المضبب: *Fuzzy Logic*

عرف المنطق المضبب من قبل المهندس لطفي زادة من خلال نظرية المجموعات المضببة Fuzzy Set Theory في عام 1965 اذ اكتشف طريقة لمعالجة الانظمة المعقدة وبين ان زيادة التعقيد في النظم تزيد من عدم التأكد Uncertainty وبالتالي يحث نقص في المعلومات المطلوبة عن النظم مما دفعه الى استخدام اسلوب التضبيب الذي اعتبره الحل في نظرة العالم الحقيقي لمثل هكذا مشاكل قد تواجه الباحثين ومن خلاله طبق المنطق المضبب Fuzzy Logic المبني على نظرية المجموعات المضببة بشكل واسع في مختلف النظم وحقق نجاحات واسعة ومن ضمنها في المجال الاحصائي.(حميد واخرون،2018) تبدأ

تخوم المنطق المضبب عندما تبرز المجموعات المضببة Fuzzy Set بديلا عن المجموعات التقليدية، وتعرف المجموعة المضببة بأنها تعميم للمجموعات التقليدية ذات الحدود غير الدقيقة ،وانها امتداد لنظرية المجموعات الكلاسيكية التي تتمتع بصفة اساسية وهي أن حدودها تأخذ درجة عضوية اما (1 or 0) اي انها تتمتع بصفة الانتماء التام او غير التام (Bandemer , 2006), اذ ان فكرة الانتماء تلك لا تكون مناسبة دائماً للتعامل في العديد من التطبيقات ،اذ ان كل مجموعة مضببة ولتكن A تعرف بدلالة المجموعة الشاملة المناسبة لها ولتكن X متابعة للدالة المميزة للمجموعات البينية والتي تعرف بالدالة العضوية ويرمز لها بالرمز M وان كل عنصر من المجموعة X له درجة عضوية في الفترة المغلقة [0,1] والذي يمثل درجة عضوية العنصر X الى الدالة العضوية المضببة $\mu_A(X)$ لذا فان الدالة العضوية للمجموعة المضببة A يعبر عنها بـ: $\mu_A : x \to [0,1]$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & if \quad x \notin A \\ 1 & if \quad x \in A \end{cases} \tag{9}$$

اذ تلعب الدالة العضوية دوراً اساسياً في نظرية المجموعة المضببة وان اختيار الدالة العضوية يعتمد على طبيعة المسألة قيد الدراسة.(Espinosa et al, 2005) .

1.5 الدالة العضوية : Membership Function

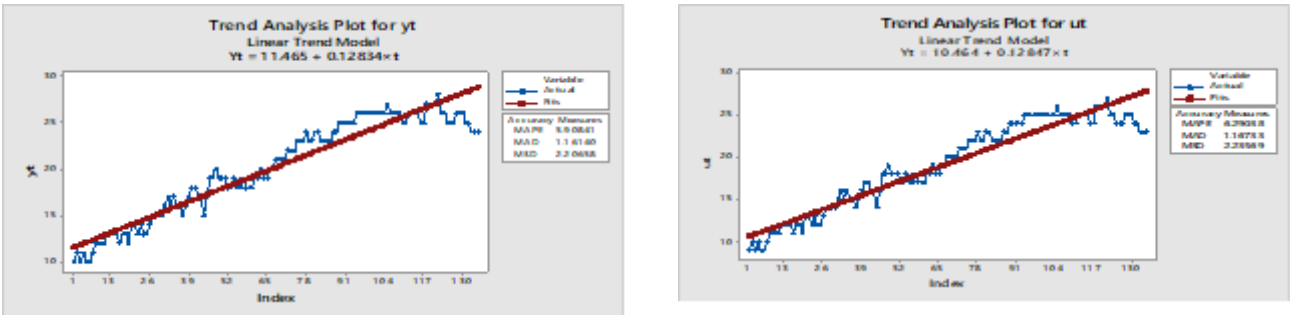
يقال ان العضوية تعبير عن درجة الارتباط، اذ عندما نأخذ مجموعة (الطول) فان درجة انتماء العنصر إلى هذه المجموعة مرتبط بدرجة تحقق مفهوم الطول ويمكننا القول بطريقة أخرى إن درجة العضوية للفرد في المجموعة المضببة تعبر عن درجة توافقه مع مفهوم تلك المجموعة المضببة . تقع درجة الانتماء اليها في الفترة [0,1] ويكون الانتماء اليها كاملا او جزئيا" وربما تكون مسالة المنطقية صحيحة بدرجة معينة فيمكن التعبير عن المجموعات المضببة من تعيين درجة العضوية Degree of Membership (حميد واخرون،2018) إن المنطق المضبب هو الأسلوب المناسب لمعالجة الغموض والادقة الموجودة في حياتنا إذ أن الاستنتاج المضبب هو تطبيق للمنطق المضبب وهو الضبابية الموجودة في قراراتنا وفي طريقة تفكيرنا أو في طريقة معالجة للمعلومات فمن المعروف أن المنطق الكلاسيكي يعتمد على قيمتين حقيقيتين (الصح، الخطأ) لكن ذلك المنطق يشوبه بعض القصور خصوصا عند وصف الأفكار البشرية، وهنا تظهر أهمية المنطق المضبب في التعامل مع أسلوب التفكير الإنساني، حيث يستخدم فترة ما بين الصفر (الخطأ) والواحد (الصح)، ويقوم المنطق المضبب على وجود تابع قيمته عند عنصر معين هي قيمة حقيقية تقع بين [0,1] هذه القيمة تعبر عن انتماء هذا العنصر الى مجموعة ما. فإذا كانت قيمة هذا التابع واحدا فان العنصر ينتمي اليها تماما وإذا كانت قيمته صفرا فالعنصر لا ينتمي الى هذه المجموعة أبداً. إما إذا كانت قيمته بين[0,1] فيشير إلى مدى انتماء العنصر الى هذه المجموعة.

6 الجانب العملي Application Side

تمر عملية بناء النماذج الحركية بعدة خطوات او عدة مراحل لكي نحصل بعدها على نموذج ملائم يصف البيانات بشكل كامل بحيث يصبح النموذج جاهزا للاستخدام والتطبيق ومن ضمنها عملية التنبؤ، وهذه الخطوات التي اتبعها بوكس–جنكيز لبناء النماذج في السلاسل الزمنية وهذه الخطوات هي التشخيص او ما يسمى التعريف (identification) وعملية التقدير (Estimation) ومن ثم اجراء الفحوص التشخيصية (Diagnostic Checking) ويجب على النموذج اجتياز هذه الخطوات جميعها ليصبح من نموذج تجريبي الى نموذج جاهز بشكل نهائي ليستخدم في التطبيقات ومن ضمنها التنبؤ بالظاهرة قيد الدراسة. في هذا البحث تم الحصول على بيانات لفحوصات يومية طبيعية في كل ماء ولكن تختلف في الزيادة والنقصان حسب طبيعة الماء ، اذ يحتوي الماء بطبيعته او تركيبه على شوائب عالقة ومواد مذابة ويحتاج الى بعض المعالجات وتتمثل الفحوصات بتحويل الماء الخام الى ماء صالح للشرب بعد مروره بعدة مراحل يتم من خلالها تصفيته ، تم الحصول على بعض القياسات لفحوصات الماء من احدى محطات تصفية المياه وبالتحديد محطة تصفية ماء الايسر الجديد في مدينة الموصل ، اذ تم اخذ بعض العينات لفحوصات الماء الخام الغير صالح للشرب قبل عملية التصفية وتم معالجتها وهنالك العديد من الفحوصات التي تجرى على الماء منها العكورة (Turbidity) والرقم الهيدروجيني (PH-Value) والتوصيل الكهربائي (Electrical Conductivity) ودرجة الحرارة (Temperature) وتم الحصول على نفس الفحوصات بعد عملية التصفية للماء للتأكد من صلاحية الماء للشرب وللتأكد ايضا من وقوع هذه الفحوصات ضمن المدى المسموح به للمواصفات القياسية العراقية للماء قبل اضافة الكلور للماء بالنسب المحددة ، تم اخذ متغير واحد كمدخلات وهو درجة الحراة قبل عملية التصفية وايضا درجة الحرارة للماء بعد عملية التصفية كمتغير اخراج. تهدف هذه الرسالة الى بناء نماذج حركية متمثلة بدالة التحويل لمتغير ادخال منفرد ومتغير اخراج منفرد ، اذ يتمثل متغير الادخال بدرجات الحرارة للمياه قبل عملية التصفية ويرمز له u_t ومتغير الاخراج يتمثل بدرجات الحرارة للماء بعد عملية التصفية اي بعد تحويله الى ماء صالح للشرب ويرمز له y_t ، اذ سيتم بناء نموذج دالة تحويل لمتغير ادخال منفرد ومتغير اخراج منفرد.

اولا": ايجاد نموذج دالة التحويل في حالة أ خذ البيانات الاصلية والمضببة:

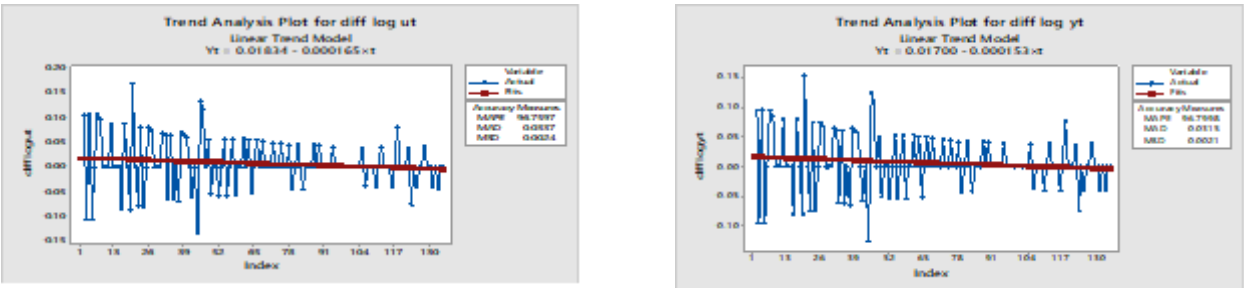
تم بناء نموذج دالة التحويل بعد التحليل المتبع او المتعارف عليه في تحليل اي بيانات سلسلة زمنية من ناحية اختبار البيانات ومعالجتها اي نظام تحليل السلاسل الزمنية ومنهجية بوكس –جنكيز في بناء نماذج دالة التحويل ، اذ تم الاعتماد على بعض البرمجيات الجاهزة في تحليل ومعالجة واختبار بيانات السلسلة الزمنية وكانت البداية في عملية ادخال البيانات في نظام ال MINITAB 16 اذ تم ادخال البيانات لسلسلتي الادخال والاخراج المتمثلة بـ 135 مشاهدة لكل متغير من المدخلات والمخرجات وتم اتباع الخطوات الاساسية من خلال رسم مشاهدات السلسلة الزمنية ، اذ تم رسم سلسلة المدخلات والمخرجات وكما موضحة في الشكل الآتي:



الشكل (1): يمثل الرسم الزمني لسلستي الادخال والاخراج

A: يمثل سلسلة المدخلات B: يمثل سلسلة المخرجات

نلاحظ من الشكل (1) اعلاه ان سلسلتي المدخلات والمخرجات غير مستقرة في الوسط والتباين اذ نلاحظ مقدار تشتت البيانات مما يدل على عدم استقراريتها بالتباين اذ تم تقسيم السلسلة الى عدة اجزاء ولاحظنا مقدار الانحراف المعياري لهذه الاجزاء منسجم بشكل نسبي مما يدل على عدم الاستقرارية بالتباين عليه تم اجراء التحويل للبيانات وهو التحويل اللوغاريتمي وايضا تم ايجاد مقدار الوسط الحسابي للأجزاء التي قسمت اليها السلسلة ولاحظنا انسجامها بشكل نسبي المتوسطات لهذه الاجزاء مما دل على عدم استقرارية السلاسل في الوسط عليه تم اخذ الفرق الاول للسلسلتين المدخلات والمخرجات بعد اجراء التحويل للسلستين وكانت النتيجة موضحة في الشكل الآتي:



الشكل (2): يوضح سلسلتي الادخال الاخراج بعد اجراء التحويل اللوغاريتمي واخذ الفرق الاول للبيانات

A: سلسلة المدخلات بعد ان اصبحت مستقرة بالوسط والتباين ، B: سلسلة المخرجات بعد ان اصبحت مستقرة بالوسط والتباين

ان اولى خطوات بناء نموذج دالة التحويل لسلستي الادخال والاخراج هو تنقية السلسلتين ، اذ تم تنقية سلسلة الادخال من اخذ اول 130 مشاهدة وترك 4 مشاهدات لعملية التنبؤ. وبأتباع الخطوات الاساسية في بناء نماذج دالة التحويل الموضحة في الجانب النظري تم الحصول على نموذج دالة التحويل بالشكل الآتي:

$$y_t = \left(\frac{\omega_0}{1-\delta_1 q^{-1}-\delta_2 q^{-2}}\right) u_t + \left(\frac{1-\theta_1 q^{-1}-\theta_2 q^{-2}-\theta_3 q^{-3}}{1-\emptyset_1 q^{-1}-\emptyset_2 q^{-2}}\right) e_t \qquad (10)$$

وبعد التبسيط نحصل على نموذج دالة التحويل بالشكل الآتي:

$$y_t = (\emptyset_1 + \delta_1)y_{t-1} - (\emptyset_2 + \delta_2 + \delta_1)y_{t-2} + (\delta_1\emptyset_2 + \delta_2\emptyset_1)y_{t-3} + \delta_2\emptyset_2 y_{t-4} + \omega_0 u_t - \emptyset_1\omega_0 u_{t-1} - \emptyset_2\omega_0 u_{t-2} + e_t - (\theta_1 + \delta_1)e_{t-1} - (\theta_2 - \delta_1\theta_1 + \delta_2)e_{t-2} - (\theta_3 - \delta_1\theta_2 + \delta_2\theta_1)e_{t-3} + (\delta_1\theta_3 + \delta_2\theta_2)e_{t-4} + \delta_2\theta_3 e_{t-5} \quad (11)$$

وتم التأكد من دقة النموذج الذي تم الحصول عليه من خلال فحص بواقي النموذج اذ كانت عشوائية تماما مما يدل على صحة اختيار النموذج وكما مبين في الشكل الآتي:

الشكل (3):يوضح بواقي افضل نموذج تم الحصول عليه

بعد معالجة البيانات باستخدام اسلوب المنطق المضبب تم استخدام الدالة العضوية الكاوزيان Gauss في تمثيل البيانات بنوعيها المدخلات والمخرجات اذ تم تضبيبها حيث تم تضبيب المدخلات بمتوسط مقداره (0.0069) وتباين مقداره(0.0024) ومتوسط مقداره (0.0067) للمخرجات وتباين مقداره (0.0021) بعد ذلك تم الحصول على بيانات مضببة تتراوح قيمها بين [0,1] وبأتباع نفس الخطوات السابقة في بناء نموذج دالة التحويل تم الحصول على افضل نموذج دالة التحويل وكما موضح في المعادلة الآتية:

$$y_t = \left(\frac{\omega_0 - \omega_1 B}{1 - \delta_1 q^{-1}}\right)u_t + \left(\frac{1 - \theta_1 q^{-1} - \theta_2 q^{-2}}{1 - \emptyset_1 q^{-1}}\right)e_t$$

وبعد التبسيط نحصل على نموذج دالة التحويل بالشكل الآتي:

$$y_t = \delta_1 y_{t-1} + \emptyset_1 y_{t-1} - \delta_1\emptyset_1 y_{t-2} + \omega_0 u_t - \omega_1 u_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2}$$

والجدول الآتي يوضح القيم التنبؤية لنماذج دالة التحويل للبيانات الحقيقية البيانات المضببة:

جدول (1): القيم التنبؤية للبيانات الحقيقية والمضببة مع المعايير الاحصائية لنموذج دالة التحويل

ت	القيم الاصلية		القيم التنبؤية	
	المنطق المضبب	دالة التحويل	المنطق المضبب	دالة التحويل
131	0	0	-0.1020	-0.0381
132	-0.053	-0.0408	-0.0788	0.3655
133	0	0	-0.0399	0.0526
134	0	0	-0.0327	0.3979
ME			0.0500	-0.2046
MSE			0.0034*	0.0819
RMSE			0.0585*	0.2861

ثانيا": تشخيص نماذج فضاء الحالة للبيانات الاصلية والبيانات المضببة

تشخيص عدة نماذج لفضاء الحالة وبنفس الاسلوب المتبع في تشخيص نموذج دالة التحويل من حيث تهيئة البيانات من ناحية الاستقرارية للمدخلات والمخرجات وبأستخدام نظام الماتلاب 2020 والاسلوب الذي اتبع من قبل العالم Ljung 1999 اذ تم دمج البيانات في كائن سمي Z وهو عبارة عن مصفوفة بأبعاد تضم عدد المتغيرات في الاعمدة وعدد المشاهدات في الصفوف اي انها في هذا المبحث سيتضمن متغيرين في الاعمدة اولهما المدخلات $U(t)$ والعمود الثاني يضم المخرجات $Y(t)$ وبعدد مشاهدات في الصفوف بـ 135 مشاهدة، بعد ذلك تم تقسيم هذا الكائن الذي يضم البيانات الى جزأين او كائنين اولهما يرمز له Ze ويسمى بكائن التقدير الذي يتم من خلاله تقدير نماذج فضاء الحالة ويضم 130 مشاهدة ، اما الكائن الثاني ويرمز له Zv الذي

يطلق عليه كائن الشرعية او ما يسمى المقارنة، عليه فقد تم تشخيص عشرة نماذج لفضاء الحالة برتب من 1 الى 10 وايجاد قيم بعض المعايير الاحصائية والهندسية وايجاد افضل نموذج فضاء الحالة الذي يقابل اقل قيم لهذه المعايير وكانت النتائج موضحة في الجدول الآتي:

جدول(2) :نماذج فضاء الحالة مع المعايير الاحصائية والهندسية

Models	Aic	Fpe	Mse	Fitt	Zpplot	Resid
S1	-6.149	0.0021	0.0020	-21.8%	Stable	Random
S2	-6.235	0.0020	0.0017	35.3%	Non-Stable	Random
S3	-6.119	0.0022	0.0019	32.6%	Non-Stable	Random
S4	-6.182	0.0021	0.0016	100%	Non-Stable	Random
S5	-6.337	0.0018	0.0013	100%	Stable	Random
S6	-6.056	0.0024	0.0016	100%	Non-Stable	Random
S7	-5.993	0.0025	0.0016	100%	Non-Stable	Random
S8	-6.165	0.0021	0.0012	100%	Non-Stable	Random
S9	-6.159	0.0021	0.0012	100%	Non-Stable	Random
S10	-6.018	0.0025	0.0013	100%	Non-Stable	Random

نلاحظ من الجدول اعلاه وبعد تشخيص نماذج فضاء الحالة برتب مختلفة من 1 الى 10 ان افضل نموذج فضاء الحالة هو الذي يقابل اقل قيم للمعايير الاحصائية ومنها معيار اكاكي الذي كانت قيمته(-6.337) ومعيار خطأ التنبؤ النهائي الذي تبلغ قيمته (0.0018) ومعيار متوسط مربعات الخطأ وقيمته (0.0013) فضلا عن استقرارية النموذج من حيث مطابقة البيانات لأفضل نموذج وهي 100% مع ملاحظة ان البواقي لهذا النموذج كانت عشوائية تماما ويمكن ملاحظة تفاصيل افضل نموذج باستخدام متعددات الحدود وكما موضح في المعادلة الآتية: ويمكن اعادة صياغة نموذج فضاء الحالة من الرتبة الخامسة لغرض ايجاد القيم التنبؤية بالشكل الآتي:

$$\begin{aligned} Y(t) = {} & 0.4674Y(t-1) - 0.6099Y(t-2) - 0.2278Y(t-3) + 0.7841Y(t-4) - 0.5598Y(t-5) + 0.4683U(t-1) \\ & - 0.0568U(t-2) + 0.5468U(t-3) - 0.6227U(t-4) + 0.532U(t-5) + e(t) - 1.232e(t-1) \\ & + 0.9082e(t-2) - 0.5291e(t-3) - 0.3903e(t-4) + 0.4383e(t-5) \end{aligned}$$

وبنفس الاسلوب وبعد معالجة البيانات باستخدام المنطق المضبب وباستخدام الدالة الكاوسية والتي تم الاشارة اليها في الجانب النظري عند تشخيص نماذج دالة التحويل وتم ايضا ايجاد نماذج فضاء الحالة من الرتبة1 الى الرتبة 10 وكانت النتائج موضحة في الجدول الآتي:

جدول(3) :نماذج فضاء الحالة مع المعايير الاحصائية والهندسية للبيانات المضببة

Models	Aic	Fpe	Mse	Fitt	Zpplot	Resid
S1	-6.158	0.0021	0.00202	-323.8%	Stable	Random
S2	-6.115	0.0022	0.00201	-174.4%	Non-Stable	Random
S3	-6.125	0.0022	0.00190	-50.2%	Non-Stable	Random
S4	-6.155	0.0021	0.00176	100%	Non-Stable	Random
S5	-6.341	0.0018	0.00129	100%	Stable	Random
S6	-6.265	0.0019	0.00131	100%	Non-Stable	Random
S7	-6.184	0.0021	0.00134	100%	Non-Stable	Random
S8	-6.157	0.0021	0.00129	100%	Non-Stable	Random
S9	-6.333	0.0018	0.00102	100%	Non-Stable	Random
S10	-6.095	0.0023	0.00121	100%	Non-Stable	Random

نلاحظ من الجدول اعلاه وبعد تشخيص نماذج فضاء الحالة برتب مختلفة من 1 الى 10 للبيانات بعد معالجتها باستخدام الاسلوب المضبب ان افضل نموذج فضاء الحالة هو الذي يقابل اقل قيم للمعايير الاحصائية ومنها معيار اكاكي الذي كانت قيمته(-6.341) ومعيار خطأ التنبؤ النهائي الذي تبلغ قيمته (0.0018) ومعيار متوسط مربعات الخطأ وقيمته (0.0013) فضلا عن استقرارية النموذج من حيث مطابقة البيانات لأفضل نموذج وهي 100% مع ملاحظة ان البواقي لهذا النموذج كانت عشوائية تماما. ويمكن صياغة نموذج فضاء الحالة من الرتبة الخامسة لغرض ايجاد القيم التنبؤية بالشكل الآتي:

$$Y(t) = 0.7413Y(t-1) - 0.2174Y(t-2) - 0.1241Y(t-3) + 0.8617Y(t-4) - 0.4156Y(t-5) + 0.00964U(t-1) - 0.1139U(t-2) + 0.3562U(t-3) - 0.5085U(t-4) + 0.394U(t-5) + e(t) - 0.913e(t-1) + 0.2494e(t-2) + 0.0176e(t-3) - 0.8758e(t-4) + 0.541e(t-5)$$

والجدول (4): يوضح معايير ضبط دقة التنبؤ لنموذج دالة التحويل ونموذج فضاء الحالة الذين تم الحصول عليهما من القيم الاصلية للبيانات والقيم المضببة.

جدول (4): معايير ضبط دقة التنبؤ

	نموذج دالة التحويل		نموذج فضاء الحالة	
المعايير	البيانات الاصلية	البيانات المضببة	البيانات الاصلية	البيانات المضببة
ME	-0.2046	0.0500	-0.0262	-0.0339*
MSE	0.0819	0.0034*	0.00098	0.0028
RMSE	0.2861	0.0585*	0.0313	0.0534*

الاستنتاجات والتوصيات Conclusion and Recommendations

ان استخدام الاسلوب الكلاسيكي لبناء نماذج دالة التحويل ونماذج فضاء الحالة وتوظيف اسلوب المنطق المضبب ، ثم استخدام النموذجين في الحالتين للتنبؤ ، نستنتج ان التنبؤ باستخدام اسلوب المنطق المضبب كان متفوقا على الاسلوب الكلاسيكي لنموذج دالة التحويل ونموذج فضاء الحالة وتبين ذلك من خلال نتائج معايير ضبط دقة التنبؤ لحساب اخطاء التنبؤ اظهرت ان نموذج دالة التحويل بأسلوب المنطق المضبب اعطى اقل قيم للمعايير المستخدمة ، وكذلك فان نموذج فضاء الحالة اعطى قيم اقل لهذه المعايير عند استخدام الاسلوب المضبب ، وفضلا عن كل ذلك فقد تفوق نموذج فضاء الحالة في اعطاء افضل قيم للتنبؤ بأستخدام الاسلوب الكلاسيكي واستخدام الاسلوب المضبب لذلك تعد النماذج الحركية هي الافضل في اعطاء قيم تنبؤية عليه يعد هذا الاسلوب الافضل والاكثر دقة للتنبؤ بالقيم المستقبلية لنموذج دالة التحويل ونموذج فضاء الحالة.

References

1. Hamid, Shilan Amin, Salim, Raed, Imran, Hassan Ali (2018), "**Estimating the productivity of road construction equipment using fuzzy logic and artificial neural networks**", Journal of Engineering and Technology, Volume 36, Special Issue, University of Technology, Iraq.
2. Abraham, Bovas & Ledolter, Johannes(2005).:"**Statistical Methods for Forecasting"**, John Wily and Sons ,United tates of America.
3. Bandemer, H.W.(2006). "**Mathematics of Uncertainty: Ideas, Methods, Application, Problems** ", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Printed in The Netherlands.
4. Box, G., Jenkins, G., Reinsel ,G. and Ljung G., (2016) ," **Time Series Analysis Forecasting and control**", John wiley & Sons , Inc . Hoboken,New Jersey.
5. Espinosa, J., Vandewalle, J. and Wertz, V. (2005). "**Fuzzy Logic: Identification and Predictive Control** ", Springer-Verlag London, Printed in the United States of America.
6. Jose Casals, Alferdo Garcia –Hiernaux, Miguel Jerez, Sonia Sotoca, A.Alexandre Trindade,(2016)."**State-Space Methods for Time Series Analysis :Theory Applications and Software** ",1st Edition ,Chapman and Hall/CRC.
7. Makridakis, S. WheelWright, S. and Hydman, R. (1998). **"Forecasting: Methods and Applications"**, 3rd ed., John-Wiley and Sons, New York, USA.
8. Makridakis, S., Wheelwright, S., & Mcgee, E.,(1983):"**Fore-casting :Methods and Application**s ",2nd ed. John Wiley & Sons New York U.S.A.
9. Najm Abboud Najm,2001." **Operations Department: Modern Systems, Methods, and Trends**", Part One, General Administration of Printing and Publishing in Mohid Public Administration, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.
10. Nelles, O.,(2001):"**Nonlinear System Identification from Classical Approach to Neural Network and Fuzzy Models**", Springer Verlag Belin Heidelberg Germany.

Comparison Prediction of Transfer Function Models and State Space Models Using Fuzzy Method

Fahd Samer Sobhi & Hayam Abdel-Majid Hayawi
College of Computer Science and Mathematics, University of Mosul

Abstract: The research aims to build dynamic models represented by the transfer function and State Space Models of a single input variable and a single output variable, The input and output variables are represented by the temperatures of the water before the filtration process and after the filtration process to convert it into potable water As a transfer function model will be built for a single input variable and a single output variable for real data and Fuzzy data, building transfer function models and state space models, finding predictive values and comparing results.

Keyword: Dynamic System ,Transfer Function ,Time Series