استخدام المحاكاة للمفاضلة بين بعض الطرائق الحديثة لنموذج GM(1,1) لايجاد القيم المفقودة و تقدير المعلمات مع تطبيق عملي

أ. م. د. فراس احمد محمد/ كلية الادارة والاقتصاد / جامعة بغداد
الباحث / نور سليم

تاريخ التقديم: 2017/4/10
تاريخ القبول: 2017/5/31

المستخلص

نموذج النظام الرمادي GM(1,1) هو نموذج التنبؤ للسلسلة الزمنية وأساس النظرية الرمادية ويعرض هذا البحث طرائق تقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) وهي الطريقة التراكمية (ACC)، الطريقة الأسية (EXP)، الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) وطريقة سرب الجسيمات (PSO) وتمت المقارنة بين هذه الطرائق استنادا إلى مقياس متوسط مربع الخطأ (MSE) ومقياس متوسط مطلق الخطأ النسبي (MAPE) كأساس للمقارنة وتم اعتماد أسلوب المحاكاة وذلك للحصول على الأفضل من بين الطرق الأربعة حيث تم الحصول على أفضل طريقة وهي طريقة سرب الجسيمات الامثل (PSO) وبعد ذلك تم تطبيقها على بيانات حقيقية وهذه البيانات تمثل معدل الاستهلاك لنوعين من الزيوت الوقود الثقيل (HFO) ووقود الديزل (D.O) إضافة إلى انه تم استخدام اختبارات للتأكد من دقة النموذج الرمادي وبعد الحصول على النتائج تبين إن أفضل طريقة في تقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) هي طريقة سرب الجسيمات الأمثل (PSO) حيث تم استخدامها في معالجة القيم المفقودة في البيانات وفي التنبؤ حيث أثبتت حصولها على أفضل النتائج.

المصطلحات الرئيسة للبحث/ النموذج الرمادي GM(1,1)، الطريقة التراكمية (ACC)، الطريقة الأسية (EXP) ، الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP)، طريقة سرب الجسيمات (PSO)، الوقود الثقيل (HFO) ، وقود الديزل (D.O).

*البحث مستل من رسالة ماجستير

مجلة العلوم
الاقتصادية والإدارية
العدد 102 المجلد 24
الصفحات 404- 422

1-1 المقدمة Introduction

هناك عدة طرائق تنبؤية متاحة تستخدم للتنبؤ ولكن معظم الطرائق تتطلب قدرا كبيرا من البيانات لدعم عملية التنبؤ وللتغلب على ذلك اقترح البروفيسور الصيني Julong Deng في عام 1982 نظرية النظام الرمادي والتي تعد طريقة جديدة لدراسة حالة عدم اليقين من النظام على كمية صغيرة من البيانات ولهذه النظرية القدرة على التعامل مع المشاكل التي تظهر بوجود العينات الصغيرة والمعلومات الفقيرة ومعالجتها [4]، وهذه النظرية تتم من خلال عملية التوليد الرمادية التي تستخدم لتبييض سلسلة الأرقام عن طريق معالجة البيانات لغرض إكمال المعلومات من خلال النمذجة الرمادية التي تستخدم لتبييض النموذج عن طريق تطوير نموذج ديناميكي مع مجموعة من المعادلات التفاضلية ومن خلال التنبؤ الرمادي وذلك للتنبؤ بالقيم المستقبلية للسلسلة الزمنية [2]، إن أساس وجوهر نظرية تنبؤ النظام الرمادي هو النموذج الرمادي GM(1,1) من الرتبة الأولى (أي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى) وبمتغير واحد، ويستخدم هذا النموذج في التنبؤ للسلسلة الزمنية وذلك للحصول على أفضل أسلوب للتنبؤ [3]. يوضح هذا البحث بناء نموذج التنبؤ الرمادي GM(1,1) وتم استخدام أربعة طرائق لتقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) وهي الطريقة التراكمية (ACC)، الطريقة الأسية (EXP)، الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) وطريقة سرب الجسيمات (PSO) ومقارنة هذه الطرائق باستخدام معيار متوسط مربع الخطأ (MSE) ومعيار متوسط مطلق الخطأ النسبي (MAPE) للحصول على أفضل النتائج .

2-1 مشكلة البحث

من المشاكل التي تواجه الباحث وجود مشكلة في وضوح البيانات أو هناك شك في مصداقيتها خصوصا عندما تكون حجوم العينات صغيرة فأن هذه البيانات تكون فقيرة أو غير مؤكدة وقد يصاحبها فقدان في بعض البيانات رغم صغر حجم العينة وهذه المشاكل من أصعب المشاكل التي تواجه الباحث ولاسيما عندما تكون الظاهرة تخضع لسلسة زمنية لذا فنحتاج إلى الحل الأمثل للوصول إلى أفضل نموذج ووجود أكثر من طريقة لتقدير المعالم وعدم وضوح أي منها يكون سلوكها أفضل .

3-1 هدف البحث

يعد النموذج الرمادي واحد من أهم النماذج التي تتعامل مع مشكلة المعلومات الفقيرة أو غير المؤكدة لعينات صغيرة حيث يستخدم هذا النموذج لتمثيل هذه البيانات لغرض التنبؤ بقيم هذه الظاهرة لذلك فأن الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة مجموعة من طرائق التقدير للنموذج الرمادي GM(1,1) وهي كل من الطريقة التراكمية (ACC)، الطريقة الأسية (EXP)، الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) وطريقة سرب الجسيمات (PSO) باستخدام المحاكاة للوصول إلى أفضل طريقة والتي سوف يتم تطبيقها على بيانات حقيقية لغرض استخدامها لحل مشكلة هذه البيانات وكذلك الاستعانة بها لمعالجة بعض القيم المفقودة والتنبؤ لقيم مستقبلية .

2- نموذج التنبؤ الرمادي GM(1,1) Grey Forecasting Model GM(1,1)

نموذج التنبؤ الرمادي GM(1,1) هو أهم جزء في النظرية الرمادية ولهذا النموذج استخدامات واسعة في العديد من المجالات منها في مجال الهندسة، استراتيجية الري، الارصاد الجوية والاقتصاد وغيرها، ومن خصائص هذا النموذج انه لا يحتاج كمية كبيرة من البيانات وإنما يحتاج عادة من أربعة فما فوق من بيانات العينة ولديه عملية حساب بسيطة ودقة تنبؤ عالية، يتم بناء هذا النموذج من خلال عملية تراكم البيانات الأصلية الموجبة حيث يتم تحويل هذه البيانات بواسطة مشغل التوليد التراكمي (AGO) إلى سلسلة جديدة ونفرض أنه يتم التعبير عن السلسلة الأصلية $\mathbf{X}^{(0)}$ مع $(\mathbf{n})$ التي تمثل حجم العينة في البيانات وكما يأتي [5]:

$$X^{(0)} = \left(\mathbf{x}^{(0)}(1), \mathbf{x}^{(0)}(2), \dots, \mathbf{x}^{(0)}(\mathbf{n}) \right) \quad , n \geq 4 \qquad \dots\dots(1)$$

وباستخدام مشغل التوليد التراكمي (AGO) [2]:

$$AGO:\ x^{(0)} \rightarrow x^{(1)}$$

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^{k} x^{(0)}(m) \quad , k = 1,2,3,\dots,n$$

وتمثل $X^{(1)}$ السلسلة الجديدة بعد الإضافة التراكمية :

$$X^{(1)} = \left[\ x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\right] \quad , n \geq 4 \qquad \dots\dots(2)$$

ويعرف التسلسل الجديد لقيمة الوسط المتولد من $X^{(1)}$ كالآتي :

$$Z^{(1)} = \left(\ z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)\right) \qquad \dots\dots(3)$$

وتمثل المعادلة التالية قيمة الوسط المتجاورة $z^{(1)}(k)$:

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}\left(\ x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)\right) \quad , \ k = 2,3,\dots,n \qquad \dots\dots(4)$$

اما مرحلة انشاء المعادلة التفاضلية الرمادية فتكون من خلال نمذجة التسلسل $x^{(1)}$ بواسطة المعادلة التفاضلية الرمادية من الدرجة الأولى وكما يلي [11]:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + a x^{(1)} = b \qquad \dots\dots(5)$$

حيث إن معلمات النموذج الرمادي GM(1,1) هي : a يمثل معامل التطوير و b تمثل الكمية الرمادية الفعلية معلمات النموذج الرمادي .

إن الصيغة الرياضية للمعادلة التفاضلية الرمادية للنموذج الرمادي GM(1,1) تمثل سلسلة زمنية متقطعة وكما يلي [5]:

$$x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b \qquad \dots\dots(6)$$

ولتقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) تم استخدام طرائق للتقدير وذلك للحصول على أفضل النتائج والتي سيتم تناولها لاحقا وبالتفصيل .

ثم يتم حساب قيم التنبؤ $\hat{x}^{(1)}(k)$ والتي تسمى دالة استجابة الزمن (Time Response Function) للنموذج :

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \qquad \dots\dots(7)$$

ثم يتم اتخاذ معكوس عملية التوليد التراكمية (IAGO) للحصول على القيم المستقبلية من $x^{(1)}(k)$ (القيم التنبؤية) من المعادلة الآتية :

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad , k = 1,2,\dots,n$$

$$= \left(1 - e^{\hat{a}}\right)\left(x^{(0)}(1) - \frac{\hat{b}}{\hat{a}}\right) e^{-\hat{a}k} \qquad \dots\dots(8)$$

2-1 طرائق التقدير المستخدمة لتقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1)

2-1-1 الطريقة التراكمية Accumulating Method

وهي طريقة تحسين لتقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) ويمكن أن تعوض النقص من طريقة المربعات الصغرى (LS) وأن تقلل من كمية الحساب ولديها دقة عالية . عملية النمذجة لهذه الطريقة تكون بالخطوات الاتية [13]:

1- يتم وضع مشغلي التراكم على جانبي المعادلة التفاضلية الرمادية ونفرض أن أعلى رتبة من المشغل يرمز لها r ، ولوجود معلمتين اثنتين في النموذج فمن المؤكد أن $r \geq 2$ ولنأخذ $r = 2$ ، وبذلك ستتكون معادلات للنموذج كالآتي :

$$\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(k) + a\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(k) = b\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}$$
$$\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(k) + a\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(k) = b\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}$$

ويعرف :

$$, \ X_r = \begin{bmatrix} \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(k) & -\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)} \\ \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(k) & -\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)} \end{bmatrix} \hat{a} = (a,b)^T$$

$$Y_r = \begin{bmatrix} -\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(k) \\ -\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(k) \end{bmatrix}$$

يمكن التعبير عن المعادلة على شكل مصفوفة كالأتي :

$$X_r \ \hat{a} = Y_r$$

والصيغة الجديدة لتقدير المعلمة يمكن الحصول عليها :

$$\hat{a} = X_r^{-1} . Y_r \qquad \dots\dots(9)$$

وما ذكر آنفاً هو عملية تقدير المعلمة بواسطة هذه الطريقة .

2- يمكن لهذه الطريقة أن تقوم بتقدير المعالم استنادا إلى تحليل المصفوفة لأن هذه المصفوفة تبين العلاقة بين المعالم والسلسلة الخام الأصلية للنموذج ويتم تقدير المعالم على شكل مصفوفة بعد إجراء تحويل البيانات في السلسلة الخام [14]:

$$X^{(0)} = \left(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n) \right)$$

فان شكل المصفوفة الخاص بها هو :

$$= \left(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n) \right) \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 0 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$
$$= X^{(0)} A_1$$

إذ أن المصفوفة الثانية في الخطوة الثانية تسمى A_1.

ويكون شكل المصفوفة الخاص بتسلسل الوسط المتولد من $X^{(1)}$ والذي يسمى $Z^{(1)}$ كما يأتي :

$$Z^{(1)} = \left(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n) \right) \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 0 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0.5 \end{bmatrix}_{n\times(n-1)}$$

$$Z^{(1)} = X^{(0)} A_1 A_2$$

إذ أن المصفوفة الثالثة في الخطوة الثالثة تسمى A_2.

ويسمى $A = A_1 A_2$ ، $Z^{(1)} = X^{(0)} A$.

إذن ستكون الصيغة لتقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) بواسطة الطريقة التراكمية على شكل مصفوفة كالآتي :

$$a = \frac{X^{(0)}\alpha}{X^{(0)}\beta} \quad \dots\dots (11)$$

$$b = \frac{X^{(0)} B X^{(0)T}}{X^{(0)}\beta} \quad \dots\dots (10) \quad ,$$

إذ أن B , β , α مصفوفات ثابتة ومستقلة للسلسلة الأصلية $X^{(0)}$ والتي تم الحصول عليها من المعادلات الآتية:

$$\alpha_{n\times1} = \frac{n(n-1)}{2} e_1 - (n-1) f_1$$

$$\beta_{n\times1} = (n-1)\left(A f_2 - \frac{n}{2} A e_2\right)$$

$$B_{n\times n} = A\left(f_2 e_1^T - e_2 f_1^T\right)$$

إذ أن : $e_1 = (0, 1, 1, \cdots, 1)_{1\times n}^T$; $e_2 = (1, 1, \cdots, 1)_{1\times(n-1)}^T$

$f_1 = (0, n-1, n-2, \cdots, 1)^T$ ، $f_2 = (n-1, n-2, \cdots, 1)^T$

ونقوم بإجراء الخطوات السابقة نفسها وذلك بتحويل معادلات النموذج الرمادي GM(1,1) عن طريق مشغل التوليد التراكمي وتحديد أعلى رتبة من المشغل r وبسبب وجود أثنين من المعالم في نموذج GM(1,1) نفرض أن r = 2 وذلك لتشكيل المعادلات الاتية [14]:

$$\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(k) + a \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(k) = b \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}$$

$$\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(k) + a \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(k) = b \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}$$

إذ أن :

$$x^{(1)}(\mathrm{k}) = \sum_{m=1}^{k} x^{(0)}(\mathrm{m})$$
$$z^{(1)}(\mathrm{k}) = 0.5(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k))$$
$$\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(\mathrm{k}) = \sum_{k=2}^{n} z^{(1)}(\mathrm{k})$$
$$\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(\mathrm{k}) = \sum_{k=2}^{n} C_{n-k+1}^{1} z^{(1)}(\mathrm{k})$$

$$, \quad \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(\mathrm{k}) = \sum_{k=2}^{n} C_{n-k+1}^{1} x^{(0)}(\mathrm{k}) \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(\mathrm{k}) = \sum_{k=2}^{n} x^{(0)}(\mathrm{k})$$
$$, \quad \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)} = C_{n+2-1}^{2} - n = \frac{n(n-1)}{2} \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)} = C_{n}^{1} - 1 = n - 1$$

ومن المصفوفات الآتية :

$$X_r = \begin{bmatrix} \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(\mathrm{k}) & -\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)} \\ \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(\mathrm{k}) & -\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)} \end{bmatrix} , \quad Y_r = \begin{bmatrix} -\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(k) \\ -\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(k) \end{bmatrix} , \hat{a} = (a, b)^T$$

يمكن كتابة المعادلات بالشكل الاتي : $X_r\hat{a} = Y_r$ ، $\hat{a} = X_r^{-1}Y_r$.

وبهذا فان الصيغ لمعالم النموذج الرمادي GM(1,1) هي :

$$a = \frac{\frac{n(n-1)}{2} \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(k) - (n-1) \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(k)}{|X_r|} \quad \ldots\ldots (12)$$

$$b = \frac{\sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(k) \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}x^{(0)}(k)}{|X_r|} - \frac{\sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(k) \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}x^{(0)}(k)}{|X_r|} \quad \ldots\ldots (13)$$

إذ أن :

$$|X_r| = -\frac{(n+1)(n-1)}{2} \sum_{k=2}^{n} {}^{(1)}z^{(1)}(k) + (n-1) \sum_{k=2}^{n} {}^{(2)}z^{(1)}(k)$$

2-1-2 الطريقة الأسية Exponential Method

حساب هذه الطريقة لنموذج GM(1,1) يكون كالآتي [9]:

جعل دالة الهدف :

$$Z = \sum_{k=2}^{n} [\, (x^{(0)}(k) + a\, z^{(1)}(k) - b\,)]^2 \quad \ldots\ldots (14)$$

ولأن نموذج تقدير GM(1,1) يعد العنصر الأساسي فنستطيع تكوين :

$$x^{(0)}(\mathrm{k}) = c\,.e^{-ak} \quad \ldots\ldots (15)$$

حيث ان : c تمثل ثابت التناسب .

وللحصول على الدالة الأسية يكون بالشكل الاتي :

$$\lambda = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)} = \frac{c \cdot e^{-a(k-1)}}{c \cdot e^{-ak}} = e^{a}$$

وتمثل λ تكوين الدالة الاسية .

وثم يتم تكوين :

$$M = \max_{2\le k\le n}\left\{\frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}\right\} > 0 \quad , \quad N = \min_{2\le k\le n}\left\{\frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}\right\} > 0$$

$\lambda \in [N, M]$ ، تقسم $[N, M]$ لتكون في t مناطق صغيرة ، $N \le \lambda_1 < \cdots < \lambda_t \le M$

ولكل $a_i = \ln\lambda_i$:

نجعل :

$$\frac{dz}{db} = -2\sum_{k=2}^{n} \left(x^{(0)}(k) + a\, z^{(1)}(k) - b \right) = 0$$

$$b = \frac{\sum_{k=2}^{n} \left(x^{(0)}(k) + a\, z^{(1)}(k) \right)}{n-1}$$

ولكل من a_i نستطيع حساب b_i حسب القانون الاتي :

$$a_i , b_i = \frac{\sum_{k=2}^{n} \left(x^{(0)}(k) + a_i\, z^{(1)}(k) \right)}{n-1} \qquad \ldots\ldots(16)$$

نبحث عن قيم a_{i0} ,b_{i0} التي تجعل دالة الهدف تساوي اقل قيمة إذ إن من خلال القيم التي تم الحصول عليها يمكن إيجاد ما يأتي :

$$Z_i = \sum_{k=2}^{n} \left[\left(x^{(0)}(k) + a_i\, z^{(1)}(k) - b_i \right) \right]^2 \qquad \ldots\ldots(17)$$

للحصول على معلمة a_{i0} ,b_{i0} عن طريق الصيغة الآتية :

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b_{i0}}{a_{i0}} \right)\left(1 - e^{-a_{i0}} \right) . e^{-a_{i0}(k-1)} \qquad \ldots\ldots(18)$$

3-1-2 الطريقة الأسية المعدلة The Modified Exponential Method

وهي طريقة تستند الى نهج الطريقة الأسية حيث نقوم هنا بالبحث عن قيم المعالم التي تجعل متوسط مربع الخطأ يساوي أقل قيمة بدلا من البحث عن قيم المعالم التي تجعل دالة الهدف تساوي أقل قيمة، حيث يتم اعتماد دالة الهدف في المعادلة (14) والمعادلة (15) ونقوم بإعادة نفس الخطوات السابقة للطريقة الأسية، ثم نبحث عن قيم a_i و b_i التي تجعل $RMSE_i$ تساوي أقل قيمة [9]:

$$RMSE_i = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(obs_i - pre_i)^2} \quad \ldots\ldots(19)$$

4-1-2 طريقة سرب الجسيمات الأمثل Particle Swarm Optimization (PSO)

تستخدم هذه الخوارزمية للحصول على الحل الأمثل في تقدير معالم النموذج الرمادي GM(1,1) والتي أقترحها عالم النفس الاجتماعي (Kennedy) والمهندس الالكتروني (E-berhart) من الولايات المتحدة عام 1995 ، يتم تهيئة الخوارزمية بمجموعة من العناصر العشوائية (سرب) كل عنصر فيها يدعى جسيم (particle) وثم يتم البحث عن الحل الأمثل عن طريق تحديث كل عنصر من العناصر وفي كل تكرار إلى أن يصل إلى الحل الأمثل ضمن هذا السرب ، ويمكن كتابة الخوارزمية لهذه الطريقة كالآتي [8] :

الخطوة 1 : يتم توليد عدد من المجاميع الأرقام العشوائية بقدر n من المجاميع ، حجم كل مجموعة هو (n-1) والذي يمثل c1 ثم جعل العمود الأول لc1 مساوي للنصف .

الخطوة 2 : استخدام هذه المجاميع c1 للحصول على قيم z الجديدة إذ إن :

$$z = c1x1_{i=2,\dots,n} + (1 - c1)x1_{i=1,\dots,n-1}$$

ثم تستخدم قيم z لتقدير كل من قيم a و b .

الخطوة 3 : يتم احتساب مقياس مقارنة RMSE لكل عملية تقدير .

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{obs}_i - \mathrm{pre}_i)^2} \qquad \dots\dots(20)$$

الخطوة 4 : نحدد أصغر مقياس مقارنة ومن ثم نحدد نسب الخلط c1 التي تقابله وأفضل تقديرات لكل من a و b والقيمة التقديرية $\hat{x}^{(0)}$ و عليه سوف نحصل على x_{pbest} .

الخطوة 5 : يتم احتساب مقدار الخطأ بين القيمة التقديرية x_{pbest} والقيمة الحقيقية $x^{(0)}$

$$v_1 = x^{(0)} - x_{\mathrm{pbest}}$$

الخطوة 6 : يتم تكرار الخطوات السابقة لـ m من المرات للحصول على تقديرات معدلة اعتماداً على مقدار الخطأ $v_i(\mathrm{t})$ وللحصول على تقدير جديد x_{gbest} والمقارنة بين التقديرات لتحديد أفضل مقدر بينها من خلال مقياس المقارنة RMSE .

$$v_i(\mathrm{t}) = \mathrm{v_i}(\mathrm{t}-1) + \rho_1\left(x_{pbest_i} - x_i(\mathrm{t})\right) + \rho_2\left(x_{gbest_i} - x_i(\mathrm{t})\right) \qquad \dots\dots(21)$$

إذ أن ρ_1 ، ρ_2 هي قيم عشوائية .

يتم نقل الجسيمات إلى مواقف جديدة

$$x_i(\mathrm{t}) = x_i(\mathrm{t}-1) + \mathrm{v_i}(\mathrm{t}) \qquad \dots\dots(22)$$

$$t = t + 1$$

2-2 مقاييس المقارنة

تم استخدام متوسط مربع الخطأ MSE وذلك لتقييم دقة التنبؤ للنموذج الرمادي GM (1,1) والذي يعد مقياس جودة المقدر ويقوم بتربيع الفرق فبذلك يزيل امكانية التعامل مع الارقام السالبة وان أصغر متوسط مربع خطأ تعد قيمته هي الاقرب والانسب لصالح البيانات وهذا المقياس عبارة عن متوسط مربعات الفرق بين المشاهدات الفعلية والمتوقعة [10]:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{obs}_i - \mathrm{pre}_i)^2 \qquad \dots\dots(23)$$

ونستخدم متوسط مطلق الخطأ النسبي (MAPE) و الذي هو مقياس لدقة التنبؤ إذ يقيس حجم الخطأ من حيث النسبة المئوية و يتم احتسابها كمعدل لخطأ نسبي [10] :

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{\mathrm{obs}_i - \mathrm{pre}_i}{\mathrm{obs}_i}\right| \times 100\% \qquad \dots\dots(24)$$

3-2 اختبار دقة النموذج

هنالك ثلاثة اختبارات تتعلق بنموذج GM(1,1) وهي اختبار البواقي، اختبار الارتباط واختبار التباين اللاحق، في اغلب الأوقات إذا تحقق اختبار واحد منها فانه يكفي لإثبات إن نموذج M(1,1) يمكن استخدامه والاختبارات هي [7] :

1-3-2 اختبار البواقي Residual Test

يتم حساب هذا الاختبار من خلال حساب $\hat{x}^{(1)}(\mathbf{k})$ بواسطة معادلة (7) وحساب $\hat{x}^{(0)}(\mathbf{k})$ بواسطة معادلة (8) ثم حساب المتبقي المطلق (Absolute Residual):

$$\Delta^{(0)}(\mathbf{k}) = |\mathbf{x}^{(0)}(\mathbf{k}) - \hat{\mathbf{x}}^{(0)}(\mathbf{k})| \;, \mathbf{k} = 1, 2, 3, \dots, \mathbf{n} \qquad \dots\dots (25)$$

وحساب المتبقي النسبي (Relative Residual) :

$$\Phi(k) = \frac{\Delta^{(0)}(\mathbf{k})}{\mathbf{x}^{(0)}(\mathbf{k})} \times 100\% \;, k = 1, 2, 3, \dots, n \qquad \dots\dots (26)$$

2-3-2 اختبار درجة الارتباط Correlation Degree Test

يتم حساب معامل الارتباط ودرجة الارتباط لكل من $x^{(0)}(\mathbf{k})$ و $\hat{x}^{(0)}(\mathbf{k})$ وكالآتي[7] :

معامل الارتباط (Correlation Coefficient) :

$$\eta(k) = \frac{min\{\Delta^{(0)}(k)\} + \rho max\{\Delta^{(0)}(k)\}}{\Delta^{(0)}(k) + \rho max\{\Delta^{(0)}(k)\}} \;, (\; k = 1, 2, \dots, \rho = 0.5)$$

ودرجة الارتباط :

$$\mathbf{r} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} \eta(k) \;, k = 1, 2.3, \dots, n \;\;, r > 0.6 \qquad \dots\dots (27)$$

فاذا كانت قيمة درجة الارتباط (r) اكبر من 0.6 فان هذا الاختبار سيتحقق من خلال هذا الشرط .

3-3-2 اختبار التباين اللاحق Posterior-variance-test

يجب حساب ما يأتي :

1- حساب المتوسط للتسلسل الأصلي $x^{(0)}$:

$$\bar{x}^{(0)} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x^{(0)}(k) \qquad \dots\dots (28)$$

2- حساب التباين للتسلسل الأصلي $x^{(0)}$:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum[\mathbf{x}^{(0)}(\mathbf{k}) - \bar{x}^{(0)}]^2}{n-1}}$$

3- حساب متوسط المتبقي :

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n}[\Delta^{(0)}(\mathbf{k})] \qquad \dots\dots (29)$$

4- حساب متوسط مربع الخطأ المتبقي :

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum[\Delta^{(0)}(\mathbf{k}) - \bar{\Delta}^{(0)}]^2}{n-1}}$$

5- حساب نسبة التباين :

$$C = \frac{S_2}{S_1} \qquad \dots\dots (30)$$

6-حساب احتمال الخطأ المتبقي الصغير :

$$P = P\{|\Delta^{(0)}(k) - \bar{\Delta}^{(0)}| < 0.6745 S_1\} \qquad \dots\dots (31)$$

وإن الجدول الآتي يوضح مراحل دقة النموذج [1]:

جدول (1) دقة و جودة النموذج

احتمال الخطأ المتبقي الصغير P	نسبة التباين C	الدقة
$P \geq 0.95$	$C \leq 0.35$	جيد
$0.80 \leq P < 0.95$	$0.35 < C \leq 0.5$	مؤهل
$0.70 \leq P < 0.80$	$0.5 < C \leq 0.65$	يجتاز
$P < 0.70$	$C > 0.65$	غير مؤهل

4-2 المحاكاة Simulation

تعد المحاكاة واحدة من أهم الوسائل لغرض الإثبات التجريبي لأفضلية طرائق على طرائق أخرى في حالة عجزنا عن إثباتها نظريا حيث تقوم هذه المحاكاة ببناء نموذج باستخدام الأرقام العشوائية له صفات تقارب النموذج المستهدف، في هذا البحث عمدنا على توليد نموذج خاص وهو النموذج الرمادي GM(1,1) واستخدمنا اربع طرائق للتقدير وهي (PSO, Mod EXP, EXP, ACC) في كل عملية توليد لهذا النموذج وتمت المقارنة بين الطرائق باستخدام المقياس MSE والمقياس MAPE ، تم تكرار هذه التجارب 500 مرة ، يتم توليد البيانات بواسطة الخطأ العشوائي حيث تم استخدام مجموعة قيم افتراضية وحجوم عينات مختلفة و موضحة في الجدول الاتي :

جدول (2) يمثل حجم العينة و المعالم الافتراضية

N	A	B
8	-0.012	196.7
15	0.00277	535.23337

يوضح الجدول رقم (2) حجوم العينات والمعالم الافتراضية التي تم اعتمادها على أساس بحوث منشورة [12] وعلى أساس (اعتماد معدل القيم التقديرية للطرائق المستخدمة عند تطبيقها على بيانات حقيقية) وتم الحصول على النتائج الآتية :

اولا: استخدام المعالم الافتراضية a=-0.012 و b=196.7 و لحجم عينة n= 8

جدول (3) يمثل المعدل وأفضل تكرار لمقياس MSE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MSE	0.638559062679	0.638559279502	0.632630730871	0.623294333954
No. Of Best Of MSE	0	0	12	488

تم في الجدول رقم (3) حساب المعدل لمعيار MSE للطرائق الأربعة وفي هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بمقدار 0.62329 حسب معيار MSE والتي تعد أفضل طريقة من بين هذه الطرائق وهذه الطريقة حصلت على أعلى تكرار بمقدار 488 مرة Fحسب هذا المقياس .

جدول (4) يمثل المعدل وأفضل تكرار لمقياس MAPE للطرائق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MAPE	0.00303009418407	0.00303008073993	0.00301583877568	0.00299296351651
No. Of Best Of MAPE	66	80	116	238

تم في الجدول رقم (4) حساب المعدل لمعيار MAPE للطرائق المستخدمة وفي هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بمقدار 0.00299 بحسب معيار MAPE والتي تعد الأفضل من بين هذه الطرائق وهذه الطريقة أيضا حصلت على أعلى تكرار بمقدار 238 مرة حسب هذا المقياس .

جدول (5) يمثل المعدل و تقدير المقاييس MSE و MAPE للمعالم a و b

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of a	-1.72713806730e-05	-1.72210036994e-05	-1.36566287337e-05	-9.54592605551e-06
Average Of b	196.701687135	196.701731816	196.704743543	196.719794897
MSE Of a	0.000144461071967	0.000144462289781	0.000144232619075	0.000144548200678
MSE Of b	0.855748728620	0.855762561357	0.607430869797	0.900066478960
MAPE Of a	0.998560718277	0.998564916358	0.998861947605	0.999204506162
MAPE Of b	0.00379193972198	0.00379204636158	0.00319398737932	0.00381934683842

تم في جدول رقم (5) الحصول على تقدير كل من معالم النموذج الرمادي a و b وعلى مقياس MSE و MAPE لكل منهما، إن أقل تقدير للمعلمة a حسب مقياس MSE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) بمقدار 0.00014 أما حسب المقياس MAPE فان اقل تقدير للمعلمة a حصلت عليها الطريقة التراكمية (ACC) بمقدار 0.99856 ، وإن أقل تقدير للمعلمة b حسب مقياس MSE والمقياس MAPE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) وبمقدار مساوي إلى 0.60743 و 0.00319 على التوالي .

ثانيا: استخدام المعالم الافتراضية (a=-0.012 , b=196.7) ولحجم عينة n=15

جدول (6) يمثل المعدل و أفضل تكرار لمقياس MSE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MSE	0.807769581956	0.807769054370	0.807513260785	0.806297407669
No. Of Best Of MSE	0	0	4	496

تم في هذا الجدول رقم (6) حساب المعدل لمقياس MSE للطرق و في هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل حسب مقياس MSE بمقدار 0.80629 والتي تعد أفضل طريقة من بين الطرق الأربعة وهذه الطريقة حصلت على تكرار بمقدار 496 مرة حسب هذا المقياس .

جدول (7) يمثل المعدل و أفضل تكرار لمقياس MAPE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MAPE	0.00351933108588	0.00351932786032	0.00351860812110	0.00351540809698
No. Of Best Of MAPE	73	78	136	213

تم في هذا الجدول (7) حساب المعدل لمقياس MAPE للطرائق الأربعة وفي هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بمقدار 0.00351 بحسب هذا المقياس وتعد هذه الطريقة أفضل من بين الطرائق الأربعة وحصلت على أعلى تكرار أيضا بمقدار 213 مرة .

جدول (8) يمثل المعدل و تقدير المقاييس MSE و MAPE للمعالم a و b

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of a	1.22274792629e-05	1.22270725157e-05	1.15254242629e-05	1.18723102113e-05
Average Of b	196.718827006	196.718826342	196.717699463	196.718647816
MSE Of a	0.000144415741286	0.000144415717710	0.000144385116334	0.000144401538557
MSE Of b	0.367799394500	0.367764270378	0.334361089590	0.367242475325
MAPE Of a	1.00101895660	1.00101892270	1.00096045202	1.00098935918
MAPE Of b	0.00247801478249	0.00247789499673	0.00236213266003	0.00247301542857

تم في هذا الجدول (8) الحصول على تقدير كل من معالم النموذج الرمادي a و b وعلى مقياس MSE و MAPE لكل منهما ، وإن أقل تقدير للمعلمة a وللمعلمة b حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) بحسب مقياس MSE بمقدار 0.00014 و0.33436 على التوالي وإن الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) أيضا حصلت على أقل تقدير للمعالم a و b بحسب مقياس MAPE بمقدار 1.00096 و 0.00236 على التوالي .

ثالثا: استخدام المعالم الافتراضية (a=0.00277 , b=535.23337) عند حجم عينة n=8

جدول (9) يمثل المعدل و أفضل تكرار لمقياس MSE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MSE	0.638562075685	0.638562160441	0.632637433607	0.623311111348
No. Of Best Of MSE	0	0	15	485

تم في هذا الجدول (9) حساب المعدل لمعيار MSE للطرائق المستخدمة وفي هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بمقدار 0.62331 بحسب هذا المعيار إذ تعد الأفضل من بين الطرائق الأربعة وهذه الطريقة أيضا حصلت على أعلى تكرار بمقدار 485 مرة .

جدول (10) يمثل المعدل وأفضل تكرار لمقياس MAPE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MAPE	0.00111350037712	0.00111349850325	0.00110827742819	0.00109985688169
No. Of Best Of MAPE	60	80	119	241

تم في هذا الجدول (10) حساب المعدل لمعيار MAPE للطرق وفي هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بحسب هذا المقياس بمقدار 0.00109 وعلى أعلى تكرار بمقدار 241 مرة.

جدول (11) يمثل المعدل و تقدير المقاييس MSE و MAPE للمعالم a و b

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of a	-6.44214721823e-06	-6.43526987186e-06	-5.13626508913e-06	-3.62484593696e-06
Average Of b	535.226990243	535.227006819	535.230082828	535.244940623
MSE Of a	7.82676947827e-06	7.82673176069e-06	7.77699004875e-06	7.79788375314e-06
MSE Of b	0.854981064173	0.854985437795	0.606766658939	0.898294270827
MAPE Of a	1.00232568491	1.00232320211	1.00185424732	1.00130860864
MAPE Of b	0.00139384624137	0.00139386030328	0.00117393544437	0.00140358839623

تم في هذا الجدول (11) الحصول على تقدير كل من المعالم للنموذج الرمادي a و b وعلى مقياس MSE ومقياس MAPE لكل منهما وإن أقل تقدير للمعلمة a بحسب مقياس MSE كان لطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) بمقدار7.77699 أما حسب مقياس MAPE فأن طريقة سرب الجسيمات (PSO) حصلت على أقل معدل بمقدار 1.00130، وإن اقل تقدير للمعلمة b حسب مقياس MSE ومقياس MAPE فأن الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) حصلت على أقل معدل بمقدار 0.60676 و 0.00117 على التوالي من بين الطرائق الأربعة .

رابعا: استخدام المعالم الافتراضية (a=0.002777 , b=535.23337) ولحجم عينة n=15

جدول (12) يمثل المعدل و أفضل تكرار لمقياس MSE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MSE	0.807788305384	0.807788132029	0.807531639262	0.806315092452
No. Of Best Of MSE	0	0	7	493

تم في هذا الجدول (12) حساب المعدل لمقياس MSE للطرائق المستخدمة وفي هذا الجدول حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بمقدار 0.80631 بحسب هذا المقياس وعلى أعلى تكرار من بين هذه الطرائق بمقدار 493 مرة .

جدول (13) يمثل المعدل و أفضل تكرار لمقياس MAPE للطرق الأربعة

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of MAPE	0.00129330953604	0.00129330907413	0.00129304413504	0.00129186544272
No. Of Best Of MAPE	76	76	135	213

تم في هذا الجدول (13) حساب معدل مقياس MAPE للطرائق الأربعة و حصلت طريقة سرب الجسيمات (PSO) على أقل معدل بحسب هذا المقياس بمقدار 0.00129 وعلى أعلى تكرار بمقدار 213 مرة من بين الطرائق الأربعة .

جدول (14) يمثل المعدل و تقدير المقاييس MSE و MAPE للمعالم a و b

Method	ACC	EXP	Mod EXP	PSO
Average Of a	4.50352108075e-06	4.50317799140e-06	4.22551004668e-06	4.40315754472e-06
Average Of b	535.244532649	535.244531178	535.243333900	535.244492328
MSE Of a	7.66447102826e-06	7.66447229386e-06	7.66415073877e-06	7.66426096178e-06
MSE Of b	0.367577128030	0.367565352459	0.334180063760	0.367037918884
MAPE Of a	0.998374180115	0.998374303974	0.998474545109	0.998410412438
MAPE Of b	0.000909736979264	0.000909722303616	0.000867161214527	0.000907842093521

في هذا الجدول (14) تم الحصول على التقدير لكل من معالم النموذج الرمادي a و b وعلى مقياس MSE و MAPE لكل منهما ، إن أقل تقدير للمعلمة a بحسب مقياس MSE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) بمقدار 7.66415 في حين إن الطريقة التراكمية حصلت على أقل تقدير للمعلمة a حسب مقياس MAPE بمقدار 0.99837 ، وإن أقل تقدير للمعلمة b بحسب مقياس MSE و MAPE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) بمقدار 0.33418 و 0.00086 على التوالي .

2-5 التطبيق العملي Application

الطاقة المحصلة من خلال محرك الديزل تعتمد بالأساس على العنصر الأساس و هو الوقود لذلك فأن عملية استهلاك هذا الوقود في محرك الديزل يجب ان تراعى بها كثير من العوامل الأخرى منها درجة الحرارة و نوع الوقود المستخدم والضغط الجوي و اختلاف النسب المعدنية عندما نقيس معدلات الاستهلاك للزيوت و كذلك الحال معدل وقت الخدمة مع مراعاة التغيرات الغير مؤكدة والغير معروفة في هذا الاستهلاك أو قطع الغيار التي تؤثر على خصائص هذه الزيوت ومن ثم فمن المستحيل استخدام طرق تقليدية للتنبؤ باستهلاك الوقود لمولدات الديزل [12]. البيانات التي سيتم دراستها تمتد من المدة 2014/9 إلى 2015/11 أي (15) شهر وهي للمحرك الخامس والتي تمثل بيانات معدل الاستهلاك لنوعين من الوقود (الوقود الثقيل HFO والوقود الخفيف D.O) من محطة كهرباء ديزلات الجادرية (شركة هيونداي الكورية) والتي تقع على ضفاف نهر دجلة و في داخل الحرم الجامعي لجامعة بغداد وهذه المحطة تتكون من 24 محرك بسعة (2.5MW) وبواقع إنتاج كلي قدره (60MW) وتستخدم هذه المحطة لتوليد الكهرباء ، في هذه المحطة الوقود المستخدم فيها لغرض التشغيل المستمر هو الوقود الثقيل (HFO) فعند بداية التشغيل يستخدم الوقود الخفيف (D.O) الذي تتميز نواتج التقطير بالزوجية منخفضة وله سرعة عالية ويمتاز باقل مقاومة للسريان وبنافورة جيدة اثناء الحقن داخل المحرك ، وإثناء التشغيل يستخدم الوقود الثقيل وتقاس وحدة الزيوت باللتر . تحتوي هذه البيانات للنوعين من الزيوت على بيانات مفقودة لشهرين فقط و هي شهر 7 و 8 .

جدول (15) يمثل بيانات معدل الاستهلاك لنوعين من الزيوت

Months	D.O	HFO
September	110.165	572.221
October	128.778	426.607
November	217.526	565.865
December	174.029	437.323
January	55.582	491.802
February	20.301	557.618
March	105.829	494.300
April	20.845	540.534
May	93.425	509.069
June	115.017	574.091
July	Missing Data	Missing Data
August	Missing Data	Missing Data
September	246.5	782.8
October	22.521	552.586
November	6.874	201.246

باستخدام المعادلة (7) و (8) فأننا سنقوم بعملية تقدير القيم المفقودة لكل من الشهر السابع والشهر الثامن وأدراج هذه القيم ضمن العينة الكلية بعد إتمام العينة المتبقية ليصبح لدينا 15 قيمة، قبل تطبيق النموذج الرمادي GM(1,1) يجب تحقيق اختبار بيانات النموذج وذلك لمعرفة إن هذه البيانات هل يمكن استخدامها في تقدير معالم النموذج الرمادي والتنبؤ بها أم لا وذلك يتم ذلك عن طريق الاختبارات الآتية [6] :

- يتم اختبار المشاهدات باستخدام مقياس (Quasi-Smoothness) وهذا المقياس مهم إذ يستخدم للتحقق من البيانات لبناء النموذج والقانون لهذا الاختبار هو الآتي :

$$\rho(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k)} < 0.5 \quad , k \geq 3 \qquad \ldots\ldots(32)$$

- يتم استخدام مقياس (Quasi- Exponentiality) لبيانات هذه السلسلة والقانون لهذا الاختبار هو الآتي:

$$\sigma^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k)}{x^{(1)}(k-1)} \quad , \sigma^{(1)}(k) \in [1, 1.5] \quad \ldots\ldots (33)$$

بواسطة استخدام هذه المقاييس لأول عشر قيم من بيانات معدل الاستهلاك لنوعين من الزيوت (HFO,D.O) وذلك لوجود قيم مفقودة في تسلسل البيانات يتبين هنا إن أول قيمة لكلا النوعين من الزيوت لا تصلح لإدخالها في بناء النموذج أما باقي القيم فأنها حققت هذا شروط هذه المقاييس لذا سيتم إدخال 14 قيمة والتي يتم استخدامها في تقدير معالم النموذج الرمادي والتنبؤ للحصول على أفضل النتائج . يتم تطبيق نموذج النظام الرمادي GM(1,1) على البيانات الحقيقية باستخدام برنامج الماتلاب (Matlab) حيث تم كتابة برنامج للطرق الأربعة (ACC ,EXP ,Mod EXP , PSO) والمقارنة بينها من خلال استخدام مقياس MSE ومقياس MAPE وتم الحصول على النتائج التالية بواسطة تطبيق أفضل طريقة التي تم الحصول عليها من نتائج المحاكاة وهي طريقة سرب الجسيمات (PSO) :

- النتائج الآتية لبيانات معدل الاستهلاك للوقود الثقيل (HFO) :

جدول (16) يمثل القيم التنبؤية للمشاهدات (HFO) لطريقة (PSO)

Observations	Method (PSO)
1	426.607
2	531.275
3	529.827
4	528.383
5	526.943
6	525.507
7	524.075
8	522.647
9	521.223
10	519.802
11	518.385
12	516.973
13	515.564
14	514.159

تم الحصول في جدول رقم (16) على القيم التنبؤية لنموذج التنبؤ الرمادي GM(1,1) لطريقة سرب الجسيمات (PSO) و (14) مشاهدة لمعدل الاستهلاك للوقود الثقيل (HFO) إذ يمثل العمود الطريقة والصفوف تمثل عدد المشاهدات وتم الحصول على القيم التنبؤية المفقودة للشهر السابع والثامن والتي تمثل المشاهدة (10) و (11) بمقدار 519.802 و 518.385 على التوالي .

جدول (17) يمثل القيم التقديرية للمعالم و قيم المقاييس المستخدمة

Method	MSE	MAPE	a hat	b hat
PSO	0.97311010 5651	0.29952852 1059	0.00272904 104584	534.6191 51474

تم الحصول في جدول رقم (17) على القيم التقديرية لمعالم نموذج التنبؤ الرمادي GM(1,1) باستخدام طريقة سرب الجسيمات (PSO) والتي تمثل الصف في هذا الجدول وعلى القيم لكل من المقاييس المستخدمة ، وبذلك يصبح النموذج بعد تقدير المعالم حسب الطريقة الأفضل LS كالآتي :

$$x^{(0)}(k) + 0.00272\, z^{(1)}(k) = 534.61915$$

جدول (18) اختبار دقة النموذج

Test	PSO
Cord r	1.18485095212
C	0.322118408618
P	0.222222222222

تم الحصول من جدول رقم (18) على نتائج الاختبارات التي تستخدم في لاختبار دقة النموذج الرمادي GM(1,1) وبمقارنة هذه النتائج مع جدول رقم (1) تبين إن اختبار درجة الارتباط (r) تحقق وهو شرط كافي لإثبات إن نموذج GM(1,1) يمكن استخدامه ، وهذا النموذج يجتاز عند اختبار نسبة التباين (C) أي من الممكن استخدامه أما عند اختبار احتمال الخطأ المتبقي الصغير يوضح فشل النموذج عند الاختبار ، ولكن يكفي تحقيق اختبار واحد لإثبات استخدام النموذج .

- النتائج الآتية لبيانات معدل الاستهلاك لوقود الديزل (D.O) :

جدول (19) يمثل القيم التنبؤية للمشاهدات (D.O) لطريقة (PSO)

Observations	Method (PSO)
1	128.778
2	132.445
3	120.398
4	109.447
5	99.491
6	90.441
7	82.215
8	74.736
9	67.938
10	61.759
11	56.141
12	51.034
13	46.392
14	42.172

في جدول رقم (19) تم الحصول على القيم التنبؤية للنموذج الرمادي GM(1,1) لطريقة سرب الجسيمات (PSO) و (14) مشاهدة لمعدل الاستهلاك لوقود الديزل (D.O) وتم الحصول على القيم التنبؤية المفقودة للشهر السابع والثامن والتي تمثل المشاهدة (10) و (11) بمقدار 61.759 و 56.141 على التوالي.

جدول (20) يمثل القيم التقديرية للمعالم و قيم المقاييس المستخدمة

Method	MSE	MAPE	a hat	b hat
PSO	0.967316048758	2.00475050007	0.0953666345142	165.037624685

في جدول رقم (20) تم الحصول على القيم التقديرية لمعالم النموذج الرمادي GM(1,1) باستخدام طريقة سرب الجسيمات (PSO) وعلى القيم لكل من المقاييس المستخدمة، وبذلك يصبح النموذج بعد تقدير المعالم بحسب الطريقة الأفضل PSO كالآتي :

$$x^{(0)}(k) + 0.09536z^{(1)}(k) = 165.03762$$

جدول (21) اختبار دقة النموذج

Test	PSO
Cord r	1.08889948646
C	0.595182964911
P	0.333333333333

تم الحصول من جدول رقم (21) على نتائج الاختبارات التي تستخدم في لاختبار دقة النموذج الرمادي GM(1,1) وبمقارنة هذه النتائج مع جدول رقم (1) تبين إن اختبار درجة الارتباط (r) تحقق وهو شرط كافي لإثبات إن نموذج GM(1,1) يمكن استخدامه ، وهذا النموذج يجتاز عند اختبار نسبة التباين (C) أي من الممكن استخدامه أما عند اختبار احتمال الخطأ المتبقي الصغير تبين انه النموذج فشل عند هذا الاختبار ، ولكن يكفي تحقق اختبار واحد لإثبات استخدام النموذج .

2-6 الاستنتاجات

نستنتج إن معظم التقديرات ذات كفاءة عالية على الرغم من صغر حجم العينة استنادا على نتائج المحاكاة والنتائج التطبيقية و كانت نتائج طريقة سرب الجسيمات (PSO) الأفضل من بين الطرق الأربعة حيث سجلت أقل معدل حسب مقياس MSE و مقياس MAPE عند اختلاف حجوم العينات .

عند استخدام المعالم الافتراضية (a=-0.012,b=196.7) :

- باستخدام حجم عينة n=8 فان أقل تقدير للمعلمة a حسب مقياس MSE حصلت عليها الطريقة الأسية (Mod EXP) أما بحسب مقياس MAPE فأن الطريقة التراكمية (ACC) حصلت على أقل تقدير. وأقل تقدير للمعلمة b بحسب مقياس MSE و مقياس MAPE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) .
- باستخدام حجم عينة n=15 فأن أقل تقدير للمعلمة a و للمعلمة b حسب مقياس MSE ومقياس MAPE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) .

عند استخدام المعالم الافتراضية (a=0.00277,b=535.23337) :

- باستخدام حجم العينة n=8 فأن أقل تقدير للمعلمة a بحسب مقياس MSE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) أما حسب مقياس MAPE فأن طريقة سرب الجسيمات (PSO) حصلت على أقل تقدير . وأن أقل تقدير للمعلمة b حسب مقياس MSE و مقياس MAPE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) .
- باستخدام حجم العينة n=15 فأن أقل تقدير للمعلمة a حسب مقياس MSE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) أما حسب مقياس MAPE فأن الطريقة التراكمية (ACC) حصلت على أقل تقدير . وان أقل تقدير للمعلمة B حسب مقياس MSE ومقياس MAPE حصلت عليها الطريقة الأسية المعدلة (Mod EXP) .

وتعد طريقة سرب الجسيمات (PSO) الأفضل من حيث التكرار حيث سجلت أعلى تكرار من بقية الطرق الأخرى وعند تطبيقها على بيانات معدل الاستهلاك لكلا الزيوت أثبتت حصولها على أفضل النتائج .

2-7 التوصيات

- استخدام هذا النموذج في حالة وجود بيانات مفقودة إذ انه اثبت دقته و كفاءته في الحصول على النتائج .
- دراسة النموذج في حالة رتب أعلى باستخدام هذا النموذج .
- العمل على إيجاد طرق حصينة لتقدير معالم هذا النموذج .
- محاولة استخدام هذا النموذج في عملية التنبؤ للخلف .

2-8 المصادر

1- Guihong, P. ; Xianguo, D.; (2011); " Application of Time Series Equal-Space GM(1,1) On Slope Displacement Prediction"; Physical and Numerical Simulation of Geotechnical Engineering .

2- Julong , D. ; (1989); "Introduction to Grey System Theory "; The Journal of Grey System ; pp.(1-24).

3- Kayacan, E. ;Ulutas , B. ; Kaynak ,O.; (2010); "Grey system theory-based models in time series prediction" ; Expert Systems with Applications ; Vol.73 ; pp.(1784-1789).

4- Liu, S. ; Forrest, J.; Yang, Y.; (2012) ; "A Brief Introduction to Grey Systems Theory" ; Grey Systems : Theory and Application , Vol.2 ; pp.(89-104).

5- Liu , S. ; Lin , Y. ; (2010); "Grey Systems : Theory and Applications"; Book ,Springer.

6- Liu, S. ; Yang, Y. ; Forrest, J.; (2016) ; " Grey Data Analysis Method , Models and Application " ; Book ; Springer .

7- Liu, X. ; Jiang , W. ; Xie , J. ; (2009) ; " An Improved Single Variable First-order Grey Model " ; International Conference on Industrial Mechatronics and Automation ; IEEE.

8- Ma, D. ; Zhang, Q. ; Peng, Y. ; Liu, S. ; (2011) ; "A Particle Swarm Optimization Based Grey Forecast Model of Underground Pressure for Working Surface " ; The Electronic Journal of Geotechnical Engineering ; Vol.16 .

9- Mao-lin , L. ; Yong , W. ; Yan-qiu , D. ; (2007); " A New Method to Estimate Parameter of Grey Model" ; IEEE.

10- Pedrycz , W. ; Chen , S. ; (2013) ; "Time Series Analysis , Modeling and Application" ; Book ; Springer .

11- Shang, W. ; Pie, G. ; (2009) ; " Research on Chinese Rural GDP Forecasting Using Grey Model Optimized by PSO Method " ; International Conference on Industrial and Information Systems ; IEEE.

2- Weiqiang , Y.; Honggui, L. ; (2013) ; "Application of Grey Theory to the Prediction of Diesel Consumption of Diesel Generator Set" ; IEEE.

13- Zeng , X. ; Xiao , X. ; (2009); " A New Method of Building Grey Forecasting Model" ; IEEE.

14- Zeng ,X. ; Xiao, X. ; (2008); "A Research on Parameters of Accumulating Method GM(1,1) Model by Matrix Analysis" ; IEEE.

Use Simulation To Differentiate Between Some Modern Methods To the Model GM(1,1) To Find Missing Values And Estimate Parameters With A Practical Application

Abstract

The grey system model GM(1,1) is the model of the prediction of the time series and the basis of the grey theory. This research presents the methods for estimating parameters of the grey model GM(1,1) is the accumulative method (ACC), the exponential method (EXP), modified exponential method (Mod EXP) and the Particle Swarm Optimization method (PSO). These methods were compared based on the Mean square error (MSE) and the Mean Absolute percentage error (MAPE) as a basis comparator and the simulation method was adopted for the best of the four methods, The best method was obtained and then applied to real data. This data represents the consumption rate of two types of oils a heavy fuel (HFO) and diesel fuel (D.O) and the use of tests to confirm the accuracy of the grey model. After obtaining the results, the best method to estimate the parameters of the grey model GM(1,1) is the method of the Particle Swarm Optimization method (PSO) It has been used to treatment the missing values in the data and in the prediction where it has been shown to have the best results .

Keywords-**GM(1,1) ; ACC ; EXP ; Mod EXP ; PSO ; HFO ; D.O .**