

التنبؤ بإستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين

باستخدام خمسة نماذج أسية

أحمد حمدالله السمان

أستاذ الإقتصاد بكلية الإقتصاد والعلوم السياسية – جامعة القاهرة - مصر

منى محمد غريب أحمد

باحثة في الإقتصاد بكلية الدراسات الآسيوية العليا – جامعة الزقازيق - مصر

mona_gareeb@hotmail.com

المخلص: مشكلة البحث هي التنبؤ بإستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية حتى العام ٢٠٣٠ م. الدافع هو وجود تفاوت كبير في التنبؤات السابقة مما يدعو إلى مزيد من الدراسة للمشكلة. في هذا البحث تم عمل تنبؤ جديد يركز على خمسة نماذج أسية. حساب معلمات هذه النماذج إعتد على بيانات الإستهلاك الفعلي في الفترة من ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨ م حيث تم استخدام طريقة المربعات الصغرى بالإستعانة ببرامج Excel، xuru، CFAPP. تمت مقارنة النماذج الخمسة بناء على أربعة معايير. المعيار الأول هو مجموع مربع البواقي SSR والمعيار الثاني هو معامل التحديد R^2 ، أما المعيار الثالث فكان معيار بيازيان لقلة المعلمات BIC، والمعيار الرابع هو الفرق المطلق بين الإستهلاك الفعلي والمتنبأ عام ٢٠١٩. وأسفرت عملية المقارنة عن إختيار النموذج الآسي ذو الأس الكسري والنموذج اللوجيستي. تم إخضاع النموذجين لإختبار حساسية وإختبار معنوية وقد إجتازا الإختبارين بنجاح. أخيرا تم استخدام متوسط النموذجين في التنبؤ بالإستهلاك في الفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠ م، حيث جاءت قيمة الإستهلاك المتنبأ ٤٨٠٠ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٣٠ م.

الكلمات المفتاحية: التنبؤ، الطاقة الشمسية الكهروضوئية، النماذج الآسية.

Forecasting the China's Consumption of PV-Solar Energy Using Five Exponential Models

ABSTRACT: The problem of this paper is to forecast China's consumption of PV-solar energy up to the year 2030, since there are large variations between previous forecasts. To solve this problem, five exponential models are built. Computing the model's parameters is based on the actual consumption in the period from 1989 to 2018 and applying the method of least-squares with the aid of Excel, CFAPP, and xuru software. A comparison between the four models is performed based on four measures; the Sum of Square Residuals (SSR), the coefficient of determination (R^2), the Bayesian Information Criterion (BIC), and the absolute difference between the forecasted and actual consumptions for the year 2019. The best models are the exponential model with fractional exponent and the logistic model. These model are tested for sensitivity and significance and they passed the tests. The average of the two models is used for forecasting the consumptions for the period from 2019 to 2030. The forecasted consumption is 4800 TWh in the year 2030.

Keywords: Forecasting, PV-solar energy, Exponential Models.

١- مقدمة

١-١ مشكلة الدراسة

التنبؤ باستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية للفترة من عام ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠ م وذلك اعتماداً على عينة حجمها ٣٠ مشاهدة تمثل الإستهلاك الفعلي للصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الفترة من عام ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨ م. وبالرغم من توفر قيمة الإستهلاك الفعلي للعام ٢٠١٩ م إلا أنه لم يتم إستخدامها في بناء نماذج التنبؤ وتم تركها للمقارنة بالقيم المتنبأ بها. جاء الدافع لهذه الدراسة من وجود تفاوت كبير في القيم المتنبأ بها للإستهلاك في الدراسات السابقة.

٢-١ أهمية الدراسة

تتجلى أهمية هذه الدراسة في أن عملية التنبؤ بالإستهلاك هي عملية غاية في الأهمية للتخطيط المستقبلي لأي إقتصاد بشكل عام ولإقتصاد الطاقة بشكل خاص ، كما أن هذه الدراسة سوف تتيح التعرف على نماذج التنبؤ المختلفة وبيان كيفية التأكد من ثبات ودرجة الثقة في مخرجات هذه النماذج باستخدام الأساليب العلمية المناسبة.

٣-١ أهداف الدراسة

- ١- التعرف على نماذج التنبؤ المبنية على الدوال الأسية.
- ٢- إستخدام النماذج في التنبؤ بالإستهلاك في الماضي لمعرفة درجة التقارب مع الإستهلاك الفعلي من عام ١٩٨٩ حتى عام ٢٠١٨ م.
- ٣- تقييم درجة ثبات مخرجات النماذج باستخدام تحليل الحساسية.
- ٤- تقدير درجة الثقة في مخرجات النماذج باستخدام الإختبارات الإحصائية.
- ٥- التنبؤ بقيم الإستهلاك من الطاقة الشمسية الكهروضوئية باستخدام أفضل النماذج الأسية وذلك للفترة من عام ٢٠١٩ وحتى عام ٢٠٣٠ م.

٤-١ منهجية الدراسة

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم وصف إستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الفترة من ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨ م، ومن ثم تحليل هذه البيانات وإنشاء نماذج رياضية أسية للتنبؤ بالإستهلاك. تم تقييم النماذج المختلفة واختيار أفضلها. تم إختبار النماذج المختارة للتأكد من ثباتها ومعنوية نتائجها. وفي النهاية تم استخدام أفضل النماذج الأسية للتنبؤ بالإستهلاك للفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠ م.

٥-١ بنود الدراسة

البنود التالية في هذه الدراسة ستكون على النحو التالي:

بند ٢ : الدراسات السابقة، بند ٣: الصورة العامة للنماذج الأسية الخمسة، بند ٤: حساب معلمات النماذج، بند ٥: المقارنة بين النماذج، بند ٦: إختبار الحساسية للنماذج المختارة، بند ٧: إختبار معنوية النماذج المختارة، بند ٨: استخدام النماذج المختارة في التنبؤ بالإستهلاك، بند ٩: الخلاصة، ثم قائمة المراجع وأخيرا الملاحق.

٢- الدراسات السابقة

في هذا الجزء سوف نستعرض أهم الدراسات السابقة من منظورين. المنظور الأول هو قيم التنبؤ بإستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين للعام ٢٠٣٠. أما المنظور الثاني فسوف يتم إستعراض نماذج الحدوديات المستخدمة في التنبؤ.

المنظور الأول: التنبؤ بقيم الإستهلاك عام ٢٠٣٠

الدراسة الأولى قدمها بينج جيانج وآخرين في أبريل ٢٠١٩ [١] عن التنبؤ بقيم الإستهلاك من الطاقات المتجددة في الصين، وقد تنبأت الدراسة بأن قيمة الإستهلاك ستكون ٣٣٨٧٥ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٣٠ من بينها ١١.٥% طاقة شمسية كهروضوئية بقيمة حوالي ٣٨٩٦ تيرا وات ساعة. الدراسة الثانية طرحها سيشنج

وانج في مارس ٢٠٢٠ [٢] قدم فيها التنبؤ الرسمي للطاقة الشمسية الكهروضوئية للأعوام ٢٠٢٠، ٢٠٣٥، ٢٠٥٠ وقد تم إستنتاج الإستهلاك في ٢٠٣٠ ليكون ١٣١٩ تيرا وات ساعة وهي تمثل ١١.٥ % من الإستهلاك الكلي للطاقة الكهربية. الدراسة الثالثة طرحها شوزيا يانج وآخرين في أبريل ٢٠٢٠ [٣] وتنبأ فيها بأن إستهلاك الصين من الطاقة النظيفة سيبلغ ٤٠٠٠٠ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٣٠ وهي تتضمن ١١.٥ % من الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمقدار ٤٦٠٠ تيرا وات ساعة. مما سبق يتضح التباين الشديد في تقديرات الإستهلاك المستقبلي مما يبرر الحاجة إلى مزيد من الدراسات للتقدير الدقيق للإستهلاك.

المنظور الثاني: النماذج الأسية المستخدمة

إستخدم بي إس بودجر ، تاي إتش إس ١٩٨٦ [4] نماذج أسية للتنبؤ باستهلاك الكهرباء في نيوزيلاندا. إستخدم جي راماشاندران ١٩٨٦ [5] نماذج أسية للتنبؤ بمعدل نمو الحرائق في المملكة المتحدة. إستخدم بي سيروفاتكا ٢٠٠٧ [٦] النموذج الأسى ذو الأس الكسري للتنبؤ بالإستهلاك المنزلي للحوم في جمهورية التشيك. إستخدم كازماين في إم وآخرين ٢٠١٦ [٧] نموذج أسى للتنبؤ بتعداد السكان في الولايات المتحدة. دين هاثأوت ٢٠١٣ [٨] إستخدم نموذجا أسيا للتنبؤ بتعداد سكان العالم. ومن بين النماذج الأسية يتمتع النموذج اللوجيستي بوجود مستوى للتشبع بحيث لا يمكن للإستهلاك أن يتجاوزه وقد تم إستخدم هذا النموذج في التنبؤ في مواضع عديدة كما في هارفي ١٩٨٤ [٩]، زيد و بودجر ٢٠٠٥ [١٠]، كاشارفي و جيو ٢٠١٥ [١١]. مما سبق نجد أن النماذج الأسية تعد من أهم النماذج المستخدمة في التنبؤ وفي هذه الدراسة سيتم التنبؤ باستخدام متوسط أفضل نموذجين.

٣- الصورة العامة للنماذج الأسية الخمسة

في هذه النماذج y_t هو الإستهلاك بالتيراوات ساعة، t هو الزمن بالسنوات، a و b و c هي معلمات النموذج، e هو عدد حقيقي قيمته التقريبية ٢.٧.

النموذج الأول: النموذج الأسى العادي $y_t = a e^{bt}$

النموذج الثاني: النموذج الأسى ذو الأس الكسري $y_t = a e^{\frac{b}{t}}$

النموذج الثالث: $y_t = a(e^{bt} + 1)$

النموذج الرابع: النموذج الأسى ذو الثلاث معلمات $y_t = a e^{bt} + c$

النموذج الخامس: نموذج المنحنى اللوجستي

$$y_t = \frac{y_{sat}}{1 + e^{(a+bt)}}$$

حيث:

y_{sat} هو الحد الأقصى للإستهلاك (مستوى التشبع).

Δt عدد السنوات بين سنة الأساس t_0 والسنة المطلوب حساب الإستهلاك عندها t .

٤- حساب معلمات النماذج

سوف يتم استخدام بيانات الإستهلاك الفعلي التالية، شركة برينتش بتروليوم ٢٠١٩ [١٢]، في حساب معلمات النماذج وذلك بتطبيق طريقة المربعات الصغرى والإستعانة ببرامج Excel ، xuru [١٣] ، CFAPP [١٤].

التنبؤ بإستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين باستخدام خمسة نماذج أسية

منى محمد تريبج أحمد

جدول (١): إستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين في الفترة ١٩٨٩-٢٠١٨ (عينة البحث)

الإستهلاك TWh	الفترة t	السنة	الإستهلاك TWh	الفترة t	السنة	الإستهلاك TWh	الفترة t	السنة
0.279	21	2009	0.017	11	1999	0	1	1989
0.701	22	2010	0.022	12	2000	0.002	2	1990
2.61	23	2011	0.031	13	2001	0.002	3	1991
3.595	24	2012	0.048	14	2002	0.003	4	1992
8.374	25	2013	0.064	15	2003	0.004	5	1993
23.512	26	2014	0.076	16	2004	0.005	6	1994
43.6	27	2015	0.084	17	2005	0.007	7	1995
66.2	28	2016	0.095	18	2006	0.009	8	1996
117.8	29	2017	0.114	19	2007	0.011	9	1997
177.5	30	2018	0.152	20	2008	0.014	10	1998

مصدر البيانات: مرجع [١٢] . الجدول من إعداد الباحثان

وجاءت النتائج على الوجه التالي، حيث \hat{y} هو الإستهلاك المتنبأ به:

النموذج الأول:

$$\hat{y} = 0.00001177186938 e^{0.5534912892t}$$

النموذج الثاني (النموذج الأسّي ذو الأس الكسري):

$$\hat{y}_t = 108675733.3 e^{-\frac{399.4304421}{t}}$$

النموذج الثالث:

$$y_t = 0.00005640627922 (e^{0.4994680586 t} + 1)$$

النموذج الرابع:

$$y_t = 0.00006833880802 e^{0.4931700835 t} - 0.7533311124$$

النموذج الخامس:

$$\hat{y}_t = \frac{1570.686}{1 + e^{(4.186674391 - 0.5315741316 \Delta t)}}$$

ملحق (١) يوضح الإستهلاك المتوقع في الفترة من ١٩٨٩ - ٢٠١٨ باستخدام النماذج الخمسة.

٥- المقارنة بين النماذج

سوف تتم المقارنة بين النماذج الأربعة على أساس الأربعة معايير الأتية:

أولاً: معيار مجموع مربع الانحرافات SSR

ويتم حسابه بالعلاقة [١٥]

$$SSR = \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{y}_t)^2$$

حيث y_t هو الإستهلاك الفعلي و \hat{y}_t هو الإستهلاك المقدر و T هو حجم العينة.

ثانياً: معيار معامل التحديد R^2

وهو مربع معامل الارتباط بين سلسلة الإستهلاك الفعلي وسلسلة الإستهلاك المقدر.

ويتم حسابه من العلاقة [١٦]

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y}_t)(\hat{y}_t - \bar{\hat{y}}_t)}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y}_t)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - \bar{\hat{y}}_t)^2}} \right)^2$$

حيث y_t هو الإستهلاك الفعلي و \hat{y}_t هو الإستهلاك المقدر و T هو حجم العينة و \bar{y}_t هو متوسط قيم الإستهلاك الفعلي و $\bar{\hat{y}}_t$ هو متوسط قيم الإستهلاك المقدر.

ثالثاً: معيار BIC

معيار بايزين [١٧] (the Bayesian Information Criterion) BIC ، كلما قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل، وهي كالاتي:

$$BIC = \ln \left(\frac{SSR}{T} \right) + \frac{(n) \ln(T)}{T}$$

حيث SSR هو مجموع مربع البواقي، T هو حجم العينة، n هو عدد معاملات النموذج.

رابعاً: معيار الفرق المطلق بين الإستهلاك المتنبأ به والإستهلاك الفعلي عام ٢٠١٩

تم تقدير معاملات النماذج بإستخدام الإستهلاك الفعلي في الفترة من عام ١٩٨٩ إلى عام ٢٠١٨ ولم يتم إستخدام الإستهلاك الفعلي للعام ٢٠١٩ بالرغم من أنه معلوم (٢٢٣.٨ TWh) وذلك لإستخدامه في مقارنة الإستهلاك المتنبأ به ومعرفة مدي قرب القيمة الفعلية والقيمة المتنبأة. وكلما كان الفرق المطلق بين الإستهلاك الفعلي والمتنبأ صغيراً كلما كان النموذج أفضل. وقد تم حساب الإستهلاك المتنبأ للخمسة نماذج وجاء كالاتي: النموذج الأول ٣٣٣.٠٩٦ ، النموذج الثاني ٢٧٥.٦٢١ ، النموذج الثالث ٢٩٩.٠٤١ ، النموذج الرابع ٢٩٧.٢٩٠ ، النموذج الخامس ٢٧٩.٨. والفرق المطلق موضح بالجدول التالي.

وجاءت نتيجة حساب المعايير الأربعة للنماذج كالاتي:

جدول (٢): المقارنة بين النماذج الأسيية الخمسة

مسلل	إسم النموذج	معيار مجموع مربع الفروق RSS	معيار معامل التحديد R^2	معيار بيازيان BIC	الفرق المطلق بين تنبؤ ٢٠١٩ والفعلي (٢٢٣.٨)
١	النموذج الأول	352.797	0.993	2.691	١٠٩.٢٩٦
٢	النموذج الثاني	66.766	0.999	1.027	٥١.٨٢١
٣	النموذج الثالث	178.584	0.996	2.011	٧٥.٢٤١
٤	النموذج الرابع	166.045	0.996	2.051	٧٣.٤٩٠
٥	النموذج الخامس	١٥٠.٦٤٩	٠.٩٩٧	١.٩٥٤	٥٦

المصدر: الباحثان

ومن المقارنة نتبين أن النموذج الأسي ذو الأس الكسري هو الأفضل يليه النموذج اللوجستي.

٦- إختبار الحساسية للنموذج الأسي ذو الأس الكسري والنموذج اللوجستي

تحليل الحساسية هو دراسة تأثير التغير في مدخلات النموذج على مخرجاته [١٨]. مدخلات النموذج هي قيم المتغيرات المستقلة ومخرجات النموذج هي قيم المتغيرات التابعة. ومفهوم الحساسية هو مرادف لمفهوم إستقرار النموذج. إذا أدى تغير محدود في المدخلات إلى تغير محدود في المخرجات كان النموذج مستقرا. أما إذا أدى تغير محدود في المدخلات إلى تغير غير محدود في المخرجات فإن النموذج يكون مفرط الحساسية أي غير مستقر. محدود القيمة تعنى أنها لا تصل إلى مالانهاية. غير محدود القيمة أي تصل إلى مالانهاية. إذا كان النموذج مستقرا أي غير مفرط الحساسية فإنه يكون صالح للإستخدام في عملية التنبؤ.

بالنسبة للنموذج الأسّي ذو الأس الكسري فإن قيمة المتغير التابع تكون محدودة عند جميع قيم المتغير المستقل في فترة الدراسة. وعلى سبيل المثال فقد تم عمل تغير محدود بمقدار ٠.١ في المتغير المستقل وكانت أكبر قيمة للتغير في المتغير التابع هي ٨.١١٢ أي أنها محدودة وبالتالي فإن النموذج مستقر ويصلح للتنبؤ. أنظر التفاصيل بالملحق (٢).

وبالنسبة للنموذج اللوجستي فإن قيمة المتغير التابع تكون محدودة عند جميع قيم المتغير المستقل في فترة الدراسة. وعلى سبيل المثال فقد تم عمل تغير محدود بمقدار ٠.١ في المتغير المستقل وكانت أكبر قيمة للتغير في المتغير التابع هي ٨.٥٤٣ أي أنها محدودة وبالتالي فإن النموذج مستقر ويصلح للتنبؤ. أنظر التفاصيل بالملحق (٢).

٧- إختبار معنوية النموذج الأسّي ذو الأس الكسري والنموذج اللوجستي

أولاً: النموذج الأسّي ذو الأس الكسري

الصورة العامة للنموذج هي

$$y_t = a e^{\frac{b}{t}}$$

والإختبار هو لتحديد ما إذا كانت هناك علاقة معنوية بين المتغير التابع y_t والمتغير المستقل t .

الفروض هي الفرض الصفري H_0 والفرض البديل H_1 وتكون كالاتي:

$$H_0 : a = b = 0$$

$$H_1 : \text{at least one of } a, b \neq 0$$

رفض الفرض الصفري H_0 يؤدي إلى أن النموذج معنوي.

والإختبار المستخدم هو إختبار F [١٥] ، [١٦] ويتضمن تحليل للتباين (متوسط مجموع مربع الأخطاء) وذلك بتقسيم مجموع مربع الخطأ الكلي SST إلى جزئين. الجزء الأول هو مجموع مربع الأخطاء الناتجة عن النموذج (عملية الإنحدار) SSF والثاني هو مجموع مربع الأخطاء الناتجة عن البواقي SSR . أي أن

$$SST = SSF + SSR$$

حيث

$$SSF = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = 45479.836$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = 66.766$$

إحصائية الإختبار هي

$$F_0 = \frac{SSF/k}{SSR/(n-p)}$$

حيث

k هو عدد المتغيرات المستقلة في النموذج (يساوي ١ في الحالة محل الدراسة)

n هو عدد المشاهدات (يساوي ٣٠ في الحالة محل الدراسة)

p هو عدد المعلمات في النموذج (يساوي ٢ في الحالة محل الدراسة)

وفي الحالة محل الدراسة تكون

$$F_0 = \frac{45479.836/1}{66.766/(30 - 2)} = 19073.146$$

وبمقارنة قيمة F_0 بالقيمة

$$F_{\alpha,k,n-p}$$

المأخوذة من جدول التوزيع الإحتمالي F بمستوى معنوية $\alpha=0.05$ ودرجات حرية للسط $k=1$ ودرجات حرية للمقام $n-p=28$ ، أي

$$F_{0.05,1,28} = 4.196$$

وبالمقارنة نجد أن

$$F_0 > F_{0.05,1,28}$$

وبالتالي نرفض الفرض الصفري H_0 بدرجة ثقة ٩٥% ونقبل الفرض البديل H_1 . أي أنه توجد علاقة معنوية بين المتغير التابع والمتغير المستقل على الصورة المبينة في النموذج.

بالإضافة إلى الإختبار السابق يمكننا أيضا استخدام معامل التحديد R^2 والذي يقيس مدي جودة توفيق النموذج لبيانات العينة محل الدراسة. وقد تم حساب معامل التحديد مسبقاً وكانت قيمته ٠.٩٩٩ . ومعلوم أن قيمة معامل التحديد تقع بين الصفر والواحد وكلما إقتربت القيمة من الواحد الصحيح دل ذلك على أن النموذج يوفق بيانات العينة بشكل أفضل. ومن هذا نستنتج أن النموذج الذي تم إختياره يوفق البيانات بشكل ممتاز.

ومما سبق نستخلص أن النموذج ككل معنوي بدرجة ثقة ٩٥% . ويوفق البيانات بدرجة ممتازة.

إذن يمكن الإعتماد على النموذج في عملية التنبؤ.

ثانياً: النموذج اللوجستي

الصورة العامة للنموذج هي

$$\hat{y}_t = \frac{y_{sat}}{1 + e^{(a+b\Delta t)}}$$

الفروض هي الفرض الصفري (العدمي) H_0 والفرض البديل H_1 وتكون كالاتي:

$$H_0 : a = b = 0$$

$$H_1 : \text{at least } a \text{ or } b \neq 0$$

$$\begin{aligned} SSF &= \sum_{i=1}^{30} (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2 = \sum_{i=1}^{30} (\hat{y}_i - 15.00152633)^2 \\ &= 43524.6484 \\ SSR &= \sum_{i=1}^{30} (y_i - \hat{y}_i)^2 = 150.6546 \end{aligned}$$

$$SST = SSF + SSR = 43524.6484 + 150.6546 = 43675.303$$

إحصائية الإختبار

$$F_0 = \frac{SSF/k}{SSR/(n-p)} = \frac{43524.6484/1}{150.6546/(30-3)} = 7800.395785$$

لاحظ أن k هو عدد المتغيرات المستقلة في النموذج ، p هو عدد معاملات النموذج ، n هو عدد البيانات.

ومن جدول توزيع F نوجد لمستوى معنوية $\alpha=0.05$ ودرجة حرية للبسط $k=1$ ودرجة حرية للمقام $n-p=27$ نجد

$$F_{\alpha,k,n-p} = F_{0.05,1,27} = 4.210$$

بالمقارنة نجد أن

$$F_0 > F_{0.05,1,27}$$

إذن نرفض الفرض الصفري ونقبل الفرض البديل ويكون النموذج معنوي بمستوى ثقة ٩٥ % أي أنه توجد علاقة معنوية بين المتغير التابع والمتغير المستقل على الصورة المبينة في النموذج.

بالإضافة إلى الإختبار السابق يمكننا أيضاً استخدام معامل التحديد R^2 والذي يقيس مدى جودة توفيق النموذج لبيانات العينة محل الدراسة، وقد تم حساب معامل التحديد مسبقاً وكانت قيمته ٠.٩٩٧٢٤٤٥٥١ وهي قيمة قريبة جداً من الواحد الصحيح مما يدل على أن النموذج يوفق بيانات العينة بشكل ممتاز.

ومما سبق نستخلص أن النموذج ككل معنوي بدرجة ثقة ٩٥ % ويوفق البيانات بدرجة ممتازة.

إذن يمكن الإعتماد على النموذج في عملية التنبؤ.

التنبؤ بإستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين باستخدام خمسة نماذج أسية

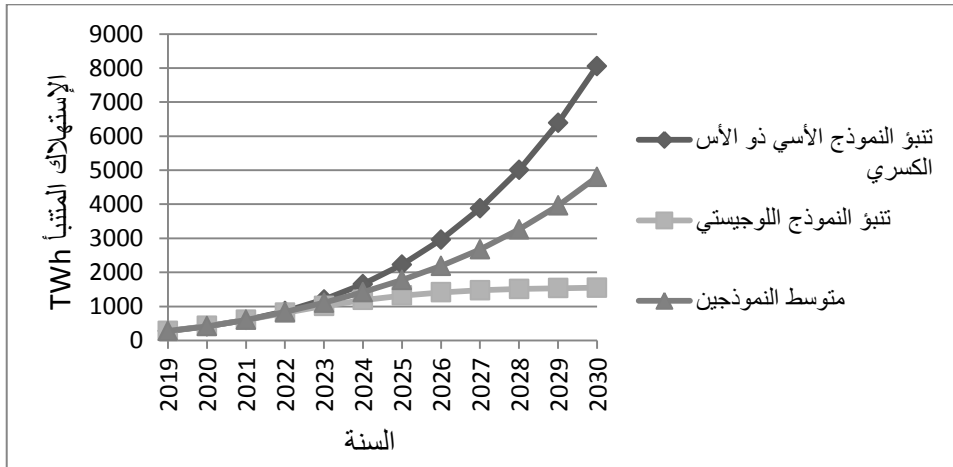
منى محمد تريبج أحمد

٨- التنبؤ بإستخدام النموذج الأسي ذو الأس الكسري والنموذج اللوجيستي ومتوسطهما

جدول (٣): قيم الإستهلاك المتنبأ بإستخدام النموذجين ومتوسطهما

السنة	تنبؤ النموذج الأسي ذو الأس الكسري	تنبؤ النموذج اللوجيستي	متوسط النموذجين
2019	275.621	279.847	277.734
2020	412.27	423.279	417.774
2021	601.801	605.727	603.764
2022	859.134	811.218	835.176
2023	1201.806	1013.222	1107.514
2024	1650.096	1186.915	1418.506
2025	2227.114	1319.885	1773.500
2026	2958.837	1412.908	2185.872
2027	3874.116	1473.957	2674.036
2028	5004.626	1512.359	3258.493
2029	6384.786	1535.876	3960.331
2030	8051.635	1550.040	4800.837

المصدر: الباحثان



شكل (١): مقارنة الإستهلاك المتنبأ بالنموذجين ومتوسطهما. المصدر: الباحثان

٩- الخلاصة

مشكلة الدراسة هي التنبؤ بإستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية حتى العام ٢٠٣٠ م. الدافع لدراسة هذه المشكلة هو وجود تفاوت كبير بين التنبؤات السابقة مما يستدعي مزيد من الدراسة لها. في هذه الدراسة تم تقديم تنبؤ جديد يركز على خمسة نماذج أسية. تم حساب معاملات هذه النماذج اعتماداً على بيانات الإستهلاك الفعلي في الفترة من ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨ م وبتطبيق طريقة المربعات الصغرى بمساعدة برامج Excel، xuru، CFAPP حيث تم تقليل مجموع مربع الانحرافات بين الإستهلاك الفعلي والمقدر في فترة العينة. تمت مقارنة النماذج الخمسة بناءً على أربعة معايير. المعيار الأول هو مجموع مربع البواقي SSR أي مجموع مربع الفروق بين الإستهلاك الفعلي والمقدر، كلما قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل. المعيار الثاني هو معامل التحديد R^2 وهو مربع معامل الارتباط بين الإستهلاك الفعلي والمقدر، كلما إقتربت قيمة معامل التحديد من الواحد الصحيح كلما كان النموذج أفضل. أما المعيار الثالث فكان معيار بيازيان لقلّة المعلمات BIC وقيمته

ترتبط بعدة عناصر من بينها عدد معلمات النموذج حيث يعطي أفضلية للنماذج التي تحتوي على عدد معلمات أقل، وكلما قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل، أما المعيار الرابع فهو الفرق المطلق بين الإستهلاك الفعلي والمتنبأ للعام ٢٠١٩ وكلما قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل. وأسفرت عملية المقارنة عن إختيار النموذج الأسّي ذو الأس الكسري والنموذج اللوجيستي. تم إخضاع النموذجين المختارين لإختبار حساسية للتأكد من إستقرارهما، وإختبار الحساسية مبنى على أنه إذا أدى تغير محدود في المتغير المستقل إلى تغير محدود في المتغير التابع فإن النموذج يكون مستقرا، وقد إجتاز النموذجين هذا الإختبار. كما تم إخضاع النموذجين المختارين لإختبار إحصائي للتأكد من معنويتهما، حيث تم تطبيق إختبار F عند مستوى معنوية $\alpha=0.05$ ، للمقارنة بين تباين مجموعتين من الأخطاء مرتبطين بالنموذج، وقد إجتاز النموذجين هذا الإختبار أيضا. أخيرا تم إستخدام متوسط النموذجين المختارين في التنبؤ بالإستهلاك في الفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠ م، حيث جاءت قيمة الإستهلاك المتوقع ٤٨٠٠ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٣٠ م.

المراجع :

- [1] Peng et al., Forecasting China's Renewable Energy Terminal Power Consumption Based on Empirical Mode Decomposition and an Improved Extreme Learning Machine Optimized by a Bacterial Foraging Algorithm, *Energies*, Vol. 12, No. 7, 2019.
- [2] Sicheng Wang, Current Status of PV in China and Its Future Forecast, *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 72-72, 2020.
- [3] Shuxia Yang et al., Prospect Prediction of Terminal Clean Power Consumption in China via LSSVM Algorithm Based on Improved Evolutionary Game Theory, *Energies*, Vol. 13, 2020.
- [4] P.S. Bodger and Tay H. S. , Trend Extrapolation in Long-Term Forecasting: An Investigation Using New Zealand Electricity

- Consumption Data, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 30, pp. 167-188, 1986.
- [5] G. Ramachandran, Exponential Model of Fire Growth, Fire Safety Science-Proceedings of The First International Symposium, editors: , Patrick J. Pagni and Cecile Grant, pp. 657-666, CRC Press, 1986.
- [6] P. Syrovátka, Exponential model of the Engel curve: Application within the income elasticity analysis of the Czech households' demand for meat and meat products, *Agric. Econ. – Czech*, Vol. 53, No. 9, pp. 411-420, 2007.
- [7] Kuzmyn V.M. et al., Approximation of The Exponential Type Time Series In Terms of The USA Population Growth Rate, *Problems of Informatization and Management*, Vol. 3, No. 55, pp. 52-55. 2016.
- [8] Dean Hathout, Modeling Population Growth: Exponential and Hyperbolic Modeling, *Applied Mathematics*, Vol. 4, pp. 299-304, 2013.
- [9] A. C. Harvey, "Time Series Forecasting Based on the Logistic Curve", *Journal of the Operational Research Society* Vol. 35, No. 7, pp. 641-646, 1984.
- [10] Zaid Mohamed and Pat S. Bodger, "A variable asymptote logistic (VAL) model to forecast electricity consumption", *Int. J. Computer Applications in Technology*, Vol. 22, No. 2, pp. 65-72, 2005.
- [11] Dmitry Kucharavy and Roland De Guio, "Application of Logistic Growth Curve", *Procedia Engineering*, Vol. 131, pp. 280 – 290, 2015.
- [12] BP, "Statistical Review of World Energy 2019", 68th edition.
- [13] <http://www.xuru.org/rt/TOC.asp>
- [14] <https://curvefit.tu-chemnitz.de/>
- [15] Douglas C. Montgomery et al., *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*, John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [١٦] عبدالرحمن إسماعيل الصالحي ، مقدمة في علم الإحصاء ، ص ١٧٦- ١٧٧ ، كلية التجارة ، جامعة الزقازيق ، ١٩٩٧ .

[17] Joe Chong, *Powerful Forecasting with MS Excel*, Published by XLPert Enterprise, 2010.

[18] Emanuele Borgonovo, *Sensitivity Analysis: An Introduction for the Management Scientist*, Springer International Publishing, 2017.

ملحق (١):

جدول (٤): الإستهلاك المتوقع به في فترة العينة باستخدام النماذج الأسية الخمسة

t الفترة الزمنية	y الإستهلاك الفعلي	\hat{y} الإستهلاك المتوقع به				
		النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث	النموذج الرابع	النموذج الخامس
1	0.001	0.0000	0.0000	0.0001	-0.7532	0.0000
2	0.002	0.0000	0.0000	0.0002	-0.7531	0.0001
3	0.002	0.0001	0.0000	0.0003	-0.7530	0.0001
4	0.003	0.0001	0.0000	0.0005	-0.7528	0.0002
5	0.004	0.0002	0.0000	0.0007	-0.7525	0.0003
6	0.005	0.0003	0.0000	0.0012	-0.7520	0.0006
7	0.007	0.0006	0.0000	0.0019	-0.7512	0.0010
8	0.009	0.0010	0.0000	0.0031	-0.7498	0.0017
9	0.011	0.0017	0.0000	0.0051	-0.7475	0.0028
10	0.014	0.0030	0.0000	0.0084	-0.7439	0.0048
11	0.017	0.0052	0.0000	0.0138	-0.7378	0.0082
12	0.022	0.0090	0.0000	0.0227	-0.7279	0.0140
13	0.031	0.0157	0.0000	0.0373	-0.7117	0.0238
14	0.048	0.0273	0.0000	0.0615	-0.6852	0.0405
15	0.064	0.0475	0.0003	0.1012	-0.6418	0.0689
16	0.076	0.0826	0.0016	0.1668	-0.5707	0.1173
17	0.084	0.1436	0.0068	0.2748	-0.4543	0.1995
18	0.095	0.2498	0.0251	0.4528	-0.2636	0.3395
19	0.114	0.4345	0.0806	0.7461	0.0485	0.5776
20	0.152	0.7558	0.2305	1.2293	0.5597	0.9827
21	0.279	1.3146	0.5965	2.0257	1.3968	1.6714
22	0.701	2.2865	1.4162	3.3380	2.7675	2.8419

التنبؤ بإستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين باستخدام خمسة نماذج أسية

منى محمد تريبج أحمد

23	2.61	3.9769	3.1185	5.5005	5.0121	4.8297
24	3.595	6.9171	6.4298	9.0640	8.6875	8.2006
25	8.374	12.0310	12.5117	14.9360	14.7061	13.9033
26	23.512	20.9256	23.1309	24.6122	24.5615	23.5120
27	43.6	36.3963	40.8603	40.5570	40.6996	39.5924
28	66.2	63.3046	69.3042	66.8316	67.1259	66.2000
29	117.8	110.1066	113.3427	110.1281	110.3988	109.4111
30	177.5	191.5101	179.3844	181.4739	181.2581	177.5000

المصدر: الباحثان

ملحوظة: لدواعي حسابية تم إستبدال $y=0$ بـ $y=0.001$

ملحق (٢):

جدول (٥): قيم التغير $\Delta \hat{y}$ في المتغير التابع \hat{y} نتيجة تغير Δt في المتغير المستقل t للنموذج الأسي ذو الأس الكسري

t	\hat{y}	Δt	t+ Δt	$\hat{y}+\Delta \hat{y}$	$\Delta \hat{y}$
1	0.0000	0.1	1.1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.1	2.1	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.1	3.1	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.1	4.1	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.1	5.1	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.1	6.1	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.1	7.1	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.1	8.1	0.0000	0.0000
9	0.0000	0.1	9.1	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.1	10.1	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.1	11.1	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.1	12.1	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.1	13.1	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.1	14.1	0.0001	0.0000
15	0.0003	0.1	15.1	0.0004	0.0001
16	0.0016	0.1	16.1	0.0018	0.0003
17	0.0068	0.1	17.1	0.0078	0.0010
18	0.0251	0.1	18.1	0.0283	0.0033

التنبؤ بإستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين باستخدام خمسة نماذج أسية

منى محمد تريبج أحمد

19	0.0806	0.1	19.1	0.0899	0.0094
20	0.2305	0.1	20.1	0.2545	0.0241
21	0.5965	0.1	21.1	0.6528	0.0563
22	1.4162	0.1	22.1	1.5374	0.1213
23	3.1185	0.1	23.1	3.3619	0.2435
24	6.4298	0.1	24.1	6.8895	0.4597
25	12.5117	0.1	25.1	13.3340	0.8223
26	23.1309	0.1	26.1	24.5333	1.4024
27	40.8603	0.1	27.1	43.1528	2.2925
28	69.3042	0.1	28.1	72.9134	3.6092
29	113.3427	0.1	29.1	118.8363	5.4937
30	179.3844	0.1	30.1	187.4974	8.1129

المصدر: الباحثان

جدول (٦): قيم التغير $\Delta \hat{y}$ في المتغير التابع \hat{y} نتيجة تغير Δt في المتغير المستقل t للنموذج اللوجستي

t	\hat{y}	Δt	t+ Δt	$\hat{y}+\Delta \hat{y}$	$\Delta \hat{y}$	t	\hat{y}	Δt	t+ Δt	$\hat{y}+\Delta \hat{y}$	$\Delta \hat{y}$
1	0.0000	0.1	1.1	0.0000	0.0000	16	0.1173	0.1	16.1	0.1237	0.0064
2	0.0001	0.1	2.1	0.0001	0.0000	17	0.1995	0.1	17.1	0.2104	0.0109
3	0.0001	0.1	3.1	0.0001	0.0000	18	0.3395	0.1	18.1	0.3581	0.0185
4	0.0002	0.1	4.1	0.0002	0.0000	19	0.5776	0.1	19.1	0.6092	0.0315
5	0.0003	0.1	5.1	0.0004	0.0000	20	0.9827	0.1	20.1	1.0363	0.0536
6	0.0006	0.1	6.1	0.0006	0.0000	21	1.6714	0.1	21.1	1.7625	0.0911
7	0.0010	0.1	7.1	0.0010	0.0001	22	2.8419	0.1	22.1	2.9968	0.1549
8	0.0017	0.1	8.1	0.0018	0.0001	23	4.8297	0.1	23.1	5.0926	0.2628
9	0.0028	0.1	9.1	0.0030	0.0002	24	8.2006	0.1	24.1	8.6459	0.4453
10	0.0048	0.1	10.1	0.0051	0.0003	25	13.9033	0.1	25.1	14.6553	0.7520
11	0.0082	0.1	11.1	0.0087	0.0004	26	23.5120	0.1	26.1	24.7754	1.2634
12	0.0140	0.1	12.1	0.0148	0.0008	27	39.5924	0.1	27.1	41.6966	2.1042
13	0.0238	0.1	13.1	0.0251	0.0013	28	66.2000	0.1	28.1	69.6540	3.4540
14	0.0405	0.1	14.1	0.0427	0.0022	29	109.4111	0.1	29.1	114.9473	5.5362
15	0.0689	0.1	15.1	0.0727	0.0038	30	177.5000	0.1	30.1	186.0429	8.5429

المصدر: الباحثان