

## التنبؤ باستهلاك الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الصين

### باستخدام عشرة حدوديات

أحمد حمد الله السمان<sup>(١)</sup>

منى محمد غريب أحمد<sup>(٢)</sup>

mona\_ghareeb@hotmail.com

### مستخلص

مشكلة الدراسة هي التنبؤ باستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية حتى العام ٢٠٣٠م. الدافع لهذه الدراسة هو وجود تفاوت كبير في التنبؤات واستخدام حدوديات حتى الدرجة الثالثة فقط في الدراسات السابقة. لحل المشكلة تم بناء عشرة نماذج رياضية هي الحدوديات من الدرجة الأولى إلى الدرجة العاشرة. حساب معلمات هذه النماذج اعتمد على بيانات الاستهلاك الفعلي في الفترة من ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨م حيث تم استخدام طريقة المربعات الصغرى بالاستعانة ببرامج Excel، xuru، php. تمت مقارنة النماذج العشرة بناء على أربعة معايير. الأول هو جذر متوسط مربع الفروق بين الاستهلاك الفعلي والمتنبأ RMSE، والثاني هو متمم معامل التحديد  $(R^2-1)$ ، والثالث هو معيار بيازيان لقلة المعلمات BIC، والرابع هو الفرق المطلق بين الاستهلاك الفعلي والمتنبأ في عام ٢٠١٩. وأسفرت عملية المقارنة عن اختيار نموذج حدودية الدرجة الخامسة حيث تم إخضاعه لاختبار حساسية واختبار معنوية وقد أجتازهما بنجاح. أخيرا تم استخدام النموذج المختار في التنبؤ بالاستهلاك في الفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠م، حيث جاءت قيمة التنبؤ ٣٧٨٨ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٣٠م.

الكلمات المفتاحية: التنبؤ، الطاقة الشمسية الكهروضوئية، الحدوديات.

<sup>(١)</sup> أستاذ دكتور بقسم الاقتصاد، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة القاهرة، مصر.

<sup>(٢)</sup> باحثة في الاقتصاد بكلية الدراسات الآسيوية العليا، جامعة الزقازيق، مصر.

## Forecasting China's Consumption of PV-Solar Energy using Ten Polynomials

### ABSTRACT:

The problem of this paper is to forecast China's consumption of PV-solar energy up to the year 2030. To solve this problem, ten polynomial models are built with degrees from first to tenth. 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, xuru, and php software. A comparison between the ten models is performed based on four measures; the root mean Square Residuals (RMSE), the complement of coefficient of determination ( $1-R^2$ ), the Bayesian Information Criterion (BIC) , and the absolute difference between the actual and forecasted consumption in 2019. The best model is the fifth-degree polynomial. This model is tested for sensitivity and significance and it passes the tests. The model is used for forecasting the consumptions for the period from 2019 to 2030. The forecasted consumption is 3788 TWh in the year 2030.

**Keywords:** Forecasting, PV-solar energy, Polynomials.

## ١ - مقدمة

### ١-١ مشكلة الدراسة

التنبؤ باستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية للفترة من عام ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠م وذلك اعتماداً على عينة حجمها ٣٠ مشاهدة تمثل الاستهلاك الفعلي للصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الفترة من عام ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨م. وبالرغم من توفر قيمة الاستهلاك الفعلي للعام ٢٠١٩م إلا أنه لم يتم استخدامها في بناء نماذج التنبؤ وتم تركها للمقارنة بالقيم المتنبأ بها. جاء الدافع لهذه الدراسة من وجود تفاوت كبير في القيم المتنبأ بها للاستهلاك في الدراسات السابقة وكذلك اعتمادها على حدوديات ذات درجات منخفضة لا تزيد عن الدرجة الثالثة.

### ٢-١ أهمية الدراسة

تتجلى أهمية هذه الدراسة في أن عملية التنبؤ بالاستهلاك هي عملية غاية في الأهمية للتخطيط المستقبلي لأي اقتصاد بشكل عام واقتصاد الطاقة بشكل خاص، كما أن هذه الدراسة سوف تتيح لنا إلقاء الضوء 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 الحدوديات من الدرجة الأولى إلى الدرجة العاشرة.
- ٢- استخدام النماذج في التنبؤ بالاستهلاك في الماضي لمعرفة درجة التقارب مع الاستهلاك الفعلي من عام ١٩٨٩ حتى عام ٢٠١٨م.
- ٣- تقييم درجة ثبات مخرجات النماذج باستخدام تحليل الحساسية.
- ٤- تقدير درجة الثقة في مخرجات النماذج باستخدام الاختبارات الإحصائية.
- ٥- التنبؤ بقيم الاستهلاك من الطاقة الشمسية الكهروضوئية باستخدام أفضل النماذج للفترة من عام ٢٠١٩ حتى نهاية عام ٢٠٣٠م.

## ٤-١ منهجية الدراسة

تم استخدام المنهج الاستقرائي باستخدام الأسلوب الوصفي التحليلي، حيث تم وصف استهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الفترة من ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨ م، ومن ثم تحليل هذه البيانات وإنشاء نماذج رياضية محددة للتنبؤ بالاستهلاك. تم تقييم النماذج المختلفة واختيار أفضلها. تم اختبار النماذج المختارة للتأكد من ثباتها ومعنوية نتائجها. وفي النهاية تم استخدام أفضل النماذج للتنبؤ بالاستهلاك للفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠ م.

## ٥-١ بنود الدراسة

البنود التالية في هذه الدراسة ستكون على النحو التالي:

٢: الدراسات السابقة، ٣: الصورة العامة للنماذج المستهدفة تطبيقها، ٤: حساب معلمات النماذج، ٥: المقارنة بين النماذج، ٦: تحديد النموذج الأفضل، ٧: اختبار الحساسية للنموذج الأفضل، ٨: اختبار معنوية النموذج الأفضل، ٩: استخدام النموذج الأفضل في التنبؤ بالاستهلاك، ١٠: الخلاصة، وأخيرا المراجع.

## ٢ - الدراسات السابقة

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

### المنظور الأول: التنبؤ بقيمة الاستهلاك عام ٢٠٣٠

الدراسة الأولى قدمها "بينج جيانج" وآخرين في أبريل ٢٠١٩ [١] عن التنبؤ بقيمة الاستهلاك من الطاقات المتجددة في الصين، وقد تنبأت الدراسة بأن قيمة الاستهلاك 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 استنتاج الاستهلاك

في ٢٠٣٠ ليكون ١٣١٩ تيرا وات ساعة وهي تمثل ١١.٥% من الاستهلاك الكلي للطاقة الكهربائية.

الدراسة الثالثة طرحها "شوزيا يانج" وآخرين في أبريل ٢٠٢٠ [٣] وتنبأ فيها بأن استهلاك 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 الاستهلاك المستقبلي مما يبرر الحاجة إلى مزيد من الدراسات للتقدير الدقيق للاستهلاك.

### المنظور الثاني: نماذج الحدوديات المستخدمة

استخدم "بي إس بودجر"، "تاي إتش إس" ١٩٨٦ [٤] الحدوديات من الدرجة الأولى إلى الثالثة للتنبؤ باستهلاك الكهرباء في نيوزيلندا في الفترة ١٩٨١ - ١٩٩٦. استخدم "دينش دبليو جواتر" وآخرين ٢٠١٦ [٥] نماذج الحدوديات ذات الدرجة المنخفضة للتنبؤ بعدد السكان في أحد المقاطعات الهندية. مما سبق نجد أن نماذج الحدوديات المستخدمة كانت من الحدوديات ذات الدرجة المنخفضة أي من الدرجة الأولى إلى الثالثة، مما يبرر الحاجة إلى دراسة نماذج الحدوديات من درجات أعلى، وهو ما تم عمله في هذه الدراسة حيث تم دراسة نماذج الحدوديات من الدرجة الأولى حتى الدرجة العاشرة.

### ٣ - الصورة العامة للنماذج المستخدمة

الصورة العامة لهذه النماذج هي [٦]:

$$y = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n$$

حيث "y" هو المتغير التابع ويعبر عن قيمة الاستهلاك من الطاقة الشمسية الكهروضوئية (الوحدة هي تيرا وات ساعة)، "t" هو المتغير المستقل ويعبر عن الزمن (الوحدة هي السنة) و  $a_0, a_1, a_2, \dots$  هي معلمات النموذج و n هي درجة الحدودية وسوف تكون من ١ إلى ١٠.

## ٤ - حساب معلمات النماذج

سوف يتم استخدام بيانات الاستهلاك الفعلي التالية [٧] في حساب معلمات النماذج وذلك بتطبيق طريقة المربعات الصغرى والاستعانة ببرنامج "إكسل" وبرنامج "xuru [8]". وبرنامج "php" [9].

جدول (١): السلسلة الزمنية للاستهلاك (عينة البحث)

الاستهلاك TWh	الفترة t	السنة	الاستهلاك TWh	الفترة t	السنة	الاستهلاك 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 [٧]. الجدول من إعداد الباحثان

وجاءت النتائج على الوجه التالي، حيث "ŷ" هو الاستهلاك المتنبأ به:

نموذج حدودية الدرجة الأولى:

$$\hat{y} = - 25.69517701 + 2.614594216 t$$

نموذج حدودية الدرجة الثانية:

$$\hat{y} = 30.17694286 - 7.86142826 t + 0.3379362089 t^2$$

نموذج حدودية الدرجة الثالثة:

$$\hat{y} = - 27.98683594 + 12.96566775 t - 1.314443871 t^2 + 0.03553505547 t^3$$

نموذج حدودية الدرجة الرابعة:

$$\hat{y} = 20.83379379 - 14.50137549 t + 2.522257299 t^2 - 0.1548305908 t^3 + 0.003070413649 t^4$$

نموذج حدودية الدرجة الخامسة:

$$\hat{y} = - 11.68144962 + 11.08879041 t - 2.88427131 t^2 + 0.2983280615 t^3 - 0.01323067763 t^4 + 0.0002103366617 t^5$$

نموذج حدودية الدرجة السادسة:

$$\hat{y} = 3.629369524 - 4.508936348 t + 1.665831881 t^2 - 0.2632904007 t^3 + 0.0200635611 t^4 - 0.0007278262972 t^5 + 0.00001008777375 t^6$$

نموذج حدودية الدرجة السابعة:

$$\hat{y} = 1.203235413 - 1.481228536 t + 0.5201375627 t^2 - 0.07123873598 t^3 + 0.00359711817 t^4 + 0.0000243736223 t^5 - 0.00000732286135 t^6 + 0.0000001604666828 t^7$$

نموذج حدودية الدرجة الثامنة:

$$\hat{y} = - 2.390141735 + 3.793929903 t - 1.952413728 t^2 + 0.4615048175 t^3 - 0.05763990155 t^4 + 0.0040186351 t^5 - 0.0001554554827 t^6 + 0.000003068768257 t^7 - 0.00000002345404501 t^8$$

نموذج حدودية الدرجة التاسعة:

$$\hat{y} = 1.187374495 - 2.197643891 t + 1.403560825 t^2 - 0.4308412857 t^3 + 0.07303389721 t^4 - 0.007295802905 t^5 + 0.0004380061309 t^6 - 0.00001543643083 t^7 + 0.0000002919211264 t^8 - 0.000000002260754313 t^9$$

نموذج حدودية الدرجة العاشرة:

$$\hat{y} = - 0.263122797 + 0.463060164 t - 0.3255498402 t^2 + 0.1191662624 t^3 - 0.02582343715 t^4 + 0.003529062438 t^5 - 0.0003099573945 t^6 + 0.00001730766048 t^7 - 0.0000005883332082 t^8 + 0.00000001099070969 t^9 - 0.00000000008549421826 t^{10}$$

## ٥- المقارنة بين النماذج

سوف تتم المقارنة بين النماذج العشرة على أساس الأربعة معايير الآتية:

أولاً: جذر متوسط مربع الانحرافات RMSE

ويتم حسابه بالعلاقة [10]

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

حيث " $y_t$ " هو الاستهلاك الفعلي و " $\hat{y}_t$ " هو الاستهلاك المقدر و " $T$ " هو حجم العينة. وكلما قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل.

جدول (٢): المقارنة بين النماذج على أساس جذر متوسط مربع الفروق RMSE

درجة الحدودية	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	31.805	22.372	13.298	6.42	2.46	1.287	1.263	1.237	<b>1.224</b>	1.233

المصدر: الباحثان

ومن جدول (٢) نتبين أن حدودية الدرجة التاسعة هي الأفضل.

ثانياً: معيار متمم معامل التحديد (R<sup>2</sup>-١)

ومعامل التحديد هو مربع معامل الارتباط بين سلسلة الاستهلاك الفعلي وسلسلة الاستهلاك المقدر. ويتم حسابه من العلاقة [١١]:

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

حيث " $y_t$ " هو الاستهلاك الفعلي و " $\hat{y}_t$ " هو الاستهلاك المقدر و " $T$ " هو حجم العينة و " $\bar{y}_t$ " هو متوسط قيم الاستهلاك الفعلي و " $\bar{\hat{y}}_t$ " هو متوسط قيم الاستهلاك المقدر. كلما اقتربت قيمة هذا المعيار من الواحد الصحيح كلما كان النموذج أفضل. ولتوحيد طبيعة كل المعايير بحيث تكون الأفضلية للنماذج التي تعطى قيمة صغيرة،



سوف يتم استخدام المعيار "١ - R<sup>2</sup>" بحيث كلما اقتربت قيمته من الصفر كلما كان النموذج أفضل.

جدول (٣): العلاقة بين درجة الحدودية ومتمم معامل التحديد R<sup>2</sup>-١

درجة الحدودية	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
1-R <sup>2</sup>	0.664	0.328	0.116	0.027	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

المصدر: الباحثان

ومن جدول (٣) نجد أن الحدوديات من الدرجة السادسة حتى العاشرة هي الأفضل.

ثالثاً: معيار BIC

معيار "بايزين" [١٢] (BIC) (the Bayesian Information Criterion) كلما

قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل، وهي كالآتي:

$$BIC = \ln\left(\frac{SSR}{T}\right) + \frac{(n+1) \ln(T)}{T}$$

حيث "SSR" هو مجموع مربع البواقي، "T" هو حجم العينة، "n" هو درجة

الحدودية، "n+1" هو عدد معاملات النموذج، "ln" هو اللوغاريتم الطبيعي. كلما قلت

قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل.

جدول (٤): العلاقة بين درجة الحدودية معيار بايزين BIC

درجة الحدودية	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BIC	7.146	6.556	5.629	4.286	2.481	1.298	1.374	1.445	1.538	1.666

المصدر: الباحثان

ومن جدول (٤) نجد أن حدودية الدرجة السادسة هي الأفضل.

رابعاً: معيار مطلق الفرق بين الاستهلاك المقدر والفعلي عام ٢٠١٩

البيانات التي تم استخدامها في بناء النماذج هي للفترة ١٩٨٩ - ٢٠١٨، ولم يتم

استخدام قيمة الاستهلاك الفعلي عام ٢٠١٩ بالرغم من أنها معلومة (٢٢٣.٨ TWh)،

وتم تركها عمداً حتى يتم مقارنة نتائج التنبؤ بها. وسوف يتم حساب الفرق المطلق لبيان

مدى القرب من الاستهلاك الفعلي، كلما صغرت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل. سنطلق على هذا المعيار أسم  $|\Delta|$ .

جدول (٥): درجة الحدودية والفرق بين الاستهلاك الفعلي والمتنبأ عام ٢٠١٩

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	درجة الحدودية
36.36	37.50	41.07	44.67	42.24	26.93	5.59	54.47	112.57	168.44	$ \Delta $

المصدر: الباحثان

ومن جدول (٥) نتبين أن حدودية الدرجة الرابعة هي الأفضل.

## ٦- تحديد النموذج الأفضل

نتيجة المعيار الأول، RMSE: حدودية الدرجة التاسعة هي الأفضل. نتيجة المعيار الثاني،  $R^2$ : حدوديات الدرجة السادسة حتى العاشرة متساوية في الأفضلية.

نتيجة المعيار الثالث، BIC: حدودية الدرجة السادسة هي الأفضل. نتيجة المعيار الرابع،  $|\Delta|$ : حدودية الدرجة الرابعة هي الأفضل.

ولتحديد النموذج الأفضل سوف يتم حساب القيم المعيارية لكل من المعايير السابقة وذلك حتى يمكن رسمها مجتمعة على شكل بياني واحد ومن ثم تحديد نقطة أو منطقة الأفضلية المشتركة وبالتالي تحديد النموذج الأفضل. ويتم حساب القيم المعيارية "Z" لقيمة "x" باستخدام العلاقة [١٣]:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

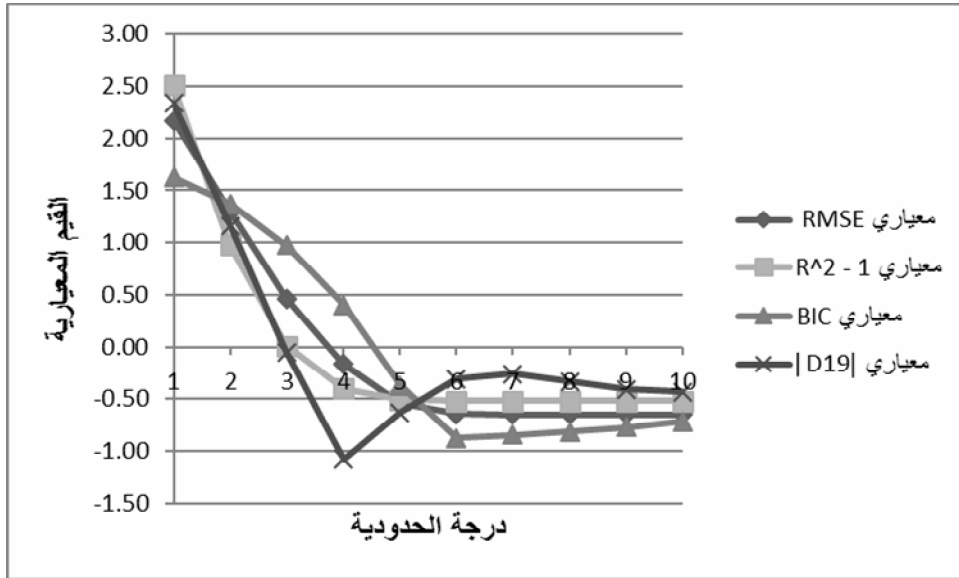
حيث "  $\bar{x}$  " هو متوسط قيم  $x$ ،  $s$  هو انحرافها المعياري.

جدول (٦): القيم المعيارية لمعايير المقارنة بين النماذج

١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١	درجة الحدودية	القيم المعيارية
-	-	-	-	-	-	-	0.46	1.30	2.17	RMSE	
0.65	0.65	0.65	0.64	0.64	0.53	0.17	0.01	0.98	2.51	1-R <sup>2</sup>	
-	-	-	-	-	-	-	0.40	0.98	1.62	BIC	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Δ19	
0.72	0.77	0.81	0.84	0.87	0.37	0.40	0.98	1.37	1.62		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
0.43	0.41	0.33	0.26	0.31	0.63	1.08	0.05	1.17	2.34		

المصدر: الباحثان

شكل (١): تحديد نقطة تلاقي معايير المقارنة بين النماذج



المصدر: الباحثان

ونلاحظ من شكل (١) أنه يوجد نقطتي التقاء لمعايير المقارنة الأربعة. النقطة الأولى هي بالقرب من القيم القصوى للمعايير وحدثت بالقرب من حدودية الدرجة الثانية. أما

النقطة الثانية فكانت بالقرب من القيم الصغرى للمعايير وحدثت بالقرب من حدودية الدرجة الخامسة. وحيث أننا نبحت عن الحدودية التي يتحقق بالقرب منها القيم الصغرى للمعايير الأربعة مجتمعة، تكون حدودية الدرجة الخامسة هي الحدودية المثلى وهي التي سوف يتم استخدامها في التنبؤ المستقبلي إذا ما اجتازت اختباري الحساسية والمعنوية.

### ٧- اختبار الحساسية لنموذج حدودية الدرجة الخامسة

تحليل الحساسية [١٤] هو دراسة تأثير التغير في مدخلات النموذج على مخرجاته. مدخلات النموذج هي قيم المتغيرات المستقلة ومخرجات النموذج هي قيم المتغيرات التابعة. ومفهوم الحساسية هو مرادف لمفهوم استقرار النموذج. إذا أدى تغير محدود في المدخلات إلى تغير محدود في المخرجات كان النموذج مستقراً. أما إذا أدى تغير محدود في المدخلات إلى تغير غير محدود في المخرجات فإن النموذج يكون مفرط الحساسية أي غير مستقر. محدود القيمة تعني أنها لا تصل إلى ما لا نهاية. غير محدود القيمة أي تصل إلى ما لا نهاية. إذا كان النموذج مستقراً أي غير مفرط الحساسية فإنه يكون صالح للاستخدام في عملية التنبؤ. الحدوديات بصفة عامة مستقرة. كمثال فقد تم عمل تغير محدود بمقدار ٠.١ في المتغير المستقل وكانت أكبر قيمة للتغير في المتغير التابع هي ٦.٧٤١ أي أنها محدودة وبالتالي فإن النموذج مستقر ويصلح للتنبؤ.

جدول (٧): حساب التغير  $\Delta \hat{y}$  في المتغير التابع  $\hat{y}$  نتيجة تغير  $\Delta t = 0.1$  في المتغير

المستقل t

t	$\hat{y}$	$\Delta t$	t+ $\Delta t$	$\hat{y}+\Delta \hat{y}$	$\Delta \hat{y}$	t	$\hat{y}$	$\Delta t$	t+ $\Delta t$	$\hat{y}+\Delta \hat{y}$	$\Delta \hat{y}$
1	- 3.1916	0.1	1.1	- 2.5957	0.5959	16	2.7858	0.1	16.1	2.7890	0.0033
2	1.1407	0.1	2.1	1.3995	0.2588	17	2.5679	0.1	17.1	2.5154	- 0.0525
3	2.6608	0.1	3.1	2.7018	0.0410	18	1.8039	0.1	18.1	1.7003	- 0.1036
4	2.4467	0.1	4.1	2.3641	- 0.0826	19	0.5951	0.1	19.1	0.4575	- 0.1375
5	1.3349	0.1	5.1	1.1999	- 0.1350	20	-0.8208	0.1	20.1	-0.9599	- 0.1391

t	$\hat{y}$	$\Delta t$	t+ $\Delta t$	$\hat{y}+\Delta\hat{y}$	$\hat{y}\Delta$	t	$\hat{y}$	$\Delta t$	t+ $\Delta t$	$\hat{y}+\Delta\hat{y}$	$\hat{y}\Delta$
6	- 0.0550	0.1	6.1	- 0.1913	- 0.1363	21	-2.0436	0.1	21.1	-2.1344	- 0.0908
7	- 1.2944	0.1	7.1	- 1.3987	- 0.1043	22	-2.4860	0.1	22.1	-2.4586	0.0275
8	- 2.1211	0.1	8.1	- 2.1753	- 0.0542	23	-1.3484	0.1	23.1	-1.1100	0.2384
9	- 2.4135	0.1	9.1	- 2.4122	0.0012	24	2.4068	0.1	24.1	2.9740	0.5672
10	- 2.1657	0.1	10.1	- 2.1139	0.0519	25	10.0802	0.1	25.1	11.1216	1.0414
11	- 1.4624	0.1	11.1	- 1.3723	0.0901	26	23.2605	0.1	26.1	24.9518	1.6913
12	- 0.4530	0.1	12.1	- 0.3423	0.1107	27	43.8500	0.1	27.1	46.3996	2.5497
13	0.6729	0.1	13.1	0.7840	0.1111	28	74.0895	0.1	28.1	77.7413	3.6517
14	1.7110	0.1	14.1	1.8023	0.0913	29	116.5841	0.1	29.1	121.6193	5.0352
15	2.4679	0.1	15.1	2.5216	0.0537	30	174.3277	0.1	30.1	181.0683	6.7406

المصدر: الباحثان

### ٨ - اختبار معنوية نموذج حدودية الدرجة الخامسة

في هذا الجزء سوف نقوم بإجراء اختبار F الإحصائي [١٢] لتحديد معنوية النموذج المختار ككل.

الصورة العامة للنموذج هي

$$y_t = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 + ft^5$$

والاختبار يهدف لتحديد ما إذا كانت هناك علاقة بين المتغير التابع  $y_t$  ومجموعة جزئية من المتغيرات  $t, t^2, t^3, t^4, t^5$ .

الفروض هي الفرض الصفري " $H_0$ " والفرض البديل " $H_1$ " وتكون كالآتي:

$$H_0: a = b = \dots = f = 0$$

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

رفض الفرض الصفري  $H_0$  يؤدي إلى أنه على الأقل واحدا من المتغيرات  $t$  و  $t^2$  و  $t^3$  و  $t^4$  و  $t^5$  يساهم بشكل معنوي في النموذج.

تتضمن إجراءات الاختبار 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 الانحدار) "SSF" والثاني هو مجموع مربع الأخطاء الناتجة عن البواقي "SSR". أي أن

$$SST = SSF + SSR$$

حيث

$$SSF = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = 45529.418$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = 181.595$$

إحصائية الاختبار لمعنوية النموذج هي:

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

حيث

$K$  هو عدد المتغيرات المستقلة في النموذج (يساوي ٥ في الحالة محل الدراسة)

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

$p$  هو عدد المعلمات في النموذج (يساوي ٦ في الحالة محل الدراسة)

وفي الحالة محل الدراسة تكون

$$F_0 = \frac{45529.418/5}{181.595/(30-6)} = 1203.454$$

وبمقارنة قيمة " $F_0$ " بالقيمة

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

المأخوذة من جدول التوزيع الاحتمالي "F" بمستوى معنوية  $\alpha=0.05$  ودرجات حرية للبيسط  $k=5$  ودرجات حرية للمقام  $n-p=24$ ، أي

$$F_{0.05, 5, 24} = 2.6207$$

بالمقارنة نجد أن

$$F_0 > F_{0.05, 5, 24}$$

وبالتالي يرفض الباحثان الفرضية الصفرية  $H_0$  بدرجة ثقة ٩٥% ونقبل الفرض البديل  $H_1$ . أي أنه توجد علاقة معنوية بين المتغير التابع ومجموعة جزئية من المتغيرات المستقلة وبالتالي نقبل النموذج.

بالإضافة إلى الاختبار 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 ٠.٩٩٦. ومعلوم أن قيمة "معامل التحديد" تقع بين "الصفر والواحد" وكلما اقتربت القيمة من الواحد الصحيح دل ذلك على أن النموذج يوفق بيانات العينة بشكل أفضل. ومن هذا نستنتج أن النموذج الذي تم اختياره يوفق البيانات بشكل ممتاز.

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

إذن يمكن الاعتماد على النموذج في عملية التنبؤ.

## ٩- استخدام نموذج حدودية الدرجة الخامسة في التنبؤ بالاستهلاك

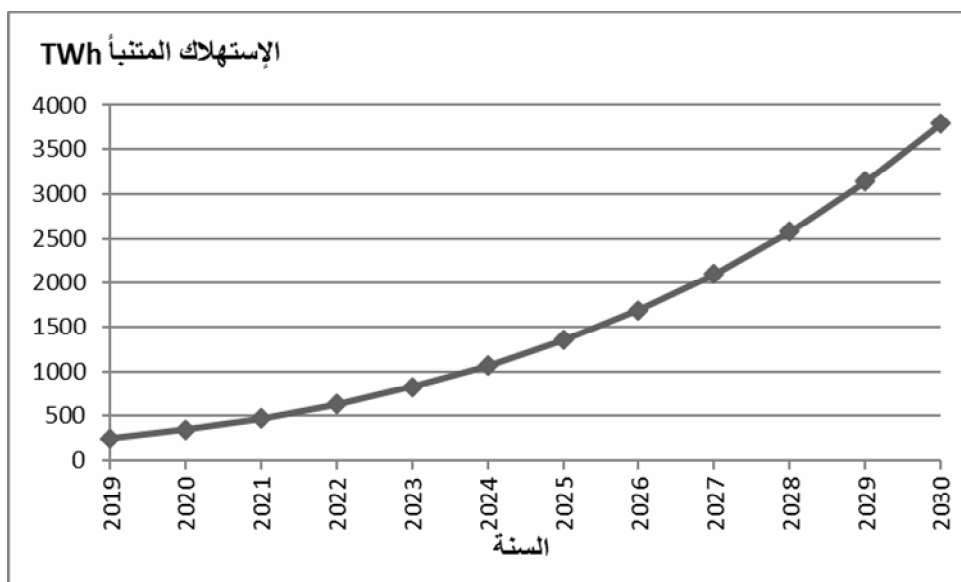
يوضح كلا من جدول (٨) وشكل (٢) كمية الاستهلاك المتنبأ باستخدام حدودية الدرجة الخامسة.

جدول (٨): الاستهلاك المتنبأ بحدودية الدرجة الخامسة في الفترة ٢٠١٩ - ٢٠٣٠

السنة	الاستهلاك المتنبأ	السنة	الاستهلاك المتنبأ
2019	250.729	2025	1350.404
2020	349.636	2026	1692.961
2021	475.362	2027	2099.392
2022	632.711	2028	2577.971
2023	827.000	2029	3137.641
2024	1064.089	2030	3788.033

المصدر: الباحثان

شكل (٢): الاستهلاك المتنبأ بحدودية الدرجة الخامسة في الفترة ٢٠١٩ - ٢٠٣٠



المصدر: الباحثان



## ١٠ - الخلاصة

تمثلت مشكلة الدراسة في التنبؤ باستهلاك الصين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية حتى العام ٢٠٣٠ م. جاء الدافع لهذه الدراسة من وجود تفاوت كبير في تنبؤات الدراسات السابقة وكذلك من استخدام نماذج حدوديات حتى الدرجة الثالثة فقط. ولحل هذه المشكلة تم بناء عشرة نماذج رياضية هي الحدوديات من الدرجة الأولى إلى الدرجة العاشرة. تم حساب معلمات هذه النماذج اعتماداً على بيانات الاستهلاك الفعلي في الفترة من ١٩٨٩ إلى ٢٠١٨ م وبتطبيق طريقة المربعات الصغرى بمساعدة برامج php, xuru, Excel. حيث تم تقليل مجموع مربع الانحرافات بين الاستهلاك الفعلي والمقدر في فترة العينة. تمت مقارنة النماذج العشرة بناءً على أربعة معايير. المعيار الأول هو جذر متوسط مربع الأخطاء RMSE أي جذر متوسط مربع الفروق بين الاستهلاك الفعلي والمقدر، كلما قلت قيمة هذا المعيار كلما كان النموذج أفضل. المعيار الثاني هو متمم معامل التحديد ( $1 - R^2$ ) ومعامل التحديد هو مربع معامل الارتباط بين الاستهلاك الفعلي والمنتبأ، قيمة متمم معامل التحديد تقع بين الصفر والواحد الصحيح وكلما قلت قيمته كلما كان النموذج أفضل، وقد تم اختياره بدلاً من معامل التحديد لكي يتفق مع باقي المعايير في أن القيمة المثلى هي الأقرب للصفر. أما المعيار الثالث فكان معيار بيازيان لقلة 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 مطلق الفرق بين الاستهلاك الفعلي والمنتبأ في عام ٢٠١٩، وكلما قلت قيمته كلما كان النموذج أفضل.

ونظراً لتباين أداء الحدوديات طبقاً لكل معيار فقد تم حساب القيم المعيارية للنتائج وتمثيلها بيانياً مجتمعة ومن ثم تحديد النموذج الأمثل بيانياً، وأسفرت عملية المقارنة عن اختيار نموذج حدودية الدرجة الخامسة. تم إخضاع النموذج المختار لاختبار حساسية للتأكد من استقراره، واختبار الحساسية مبني على أنه إذا أدى تغيير محدود في المتغير المستقل إلى تغيير محدود في المتغير التابع فإن النموذج يكون مستقرًا، وقد اجتاز النموذج هذا الاختبار بنجاح. كما تم إخضاع النموذج المختار لاختبار إحصائي للتأكد من

معنويته، حيث تم تطبيق اختبار  $F$  عند مستوى معنوية  $\alpha=0.05$ ، للمقارنة بين تباين مجموعتين من الأخطاء مرتبطين بالنموذج، وقد اجتاز النموذج هذا الاختبار أيضا بنجاح. أخيرا تم استخدام النموذج المختار في التنبؤ بالاستهلاك في الفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٠ م، حيث جاءت قيمة الاستهلاك المتوقع ٣٧٨٨ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٣٠ م، وقد جاءت هذه القيمة في نطاق قيم التنبؤ التي تم رصدها في الدراسات السابقة وهي ١٣١٩، ٣٨٩٦، ٤٦٠٠ تيرا وات ساعة، وذلك بالرغم من اختلاف النماذج المستخدمة.

## 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, 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, 1986.
- 5- Dinesh W. Gawatre et al., Comparative Study of Population Forecasting Methods, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 13, No. 4, 2016.
- ٦- عثمان علي شلبي، مبادئ الرياضيات للتجارين، الجزء الأول، كلية التجارة، الزقازيق، مصر ٢٠٠١.
- 7- BP, "Statistical Review of World Energy 2019", 68th edition.
- 8- <http://www.xuru.org/rt/TOC.asp>
- 9- <http://polynomialregression.drque.net/online.php>
- 10- Douglas C. Montgomery et al., *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*, John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- ١١- عبدالرحمن إسماعيل الصالحي، مقدمة في علم الإحصاء، كلية التجارة، الزقازيق، مصر ١٩٩٧.

12- Joe Chong, *Powerful Forecasting with MS Excel*, Published by XLPert Enterprise, 2010.

١٣- عزام عبدالرحمن صبري، الإحصاء التطبيقي بنظام SPSS، الدار المنهجية للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، ٢٠١٥.

14- Emanuele Borgonovo, *Sensitivity Analysis: An Introduction for the Management Scientist*, Springer International Publishing, 2017.