تصميم توليفة طاقة مثلى اقتصاديا لدولة الصين

أ.د/ فاطمة أحمد الشربيني
أستاذ الاقتصاد ورئيس قسم العلوم الاقتصادية والإدارية جامعة الزقازيق

أ/ منى محمد غريب أحمد
معهد البحوث والدراسات الأسيوية – جامعة الزقازيق - قسم دراسات وبحوث العلوم السياسية والاقتصادية

ملخص:

في هذا البحث تم تصميم توليفة طاقة مثلى اقتصادية لدولة الصين حيث تم بناء نموذج رياضي يتضمن دالة هدف خطية وقيود خطية. وقد تم بناء القيود الخطية لتعكس فلسفة الاستغلال الكامل للطاقات الإنتاجية المتاحة في الصين. تم حل مسألة الأمثلية باستخدام طريقة السمبلكس ذات المرحلتين حيث تم التوصل إلى توليفة مثلى اقتصادياً. تم إجراء مقارنة بين التوليفة المثلى اقتصاديا المقترحة والتوليفة المطبقة حالياً في الصين. وقد أظهرت المقارنة تفوق التوليفة المقترحة اقتصاديا على التوليفة المطبقة حاليا في الصين. وكذلك تم مقارنة تكلفة المليون وحدة حرارية بين التوليفة المقترحة وتوليفات الطاقة في كل من إيران والتشيك وأظهرت المقارنة تفوق التوليفة المقترحة.

الكلمات المفتاحية:

توليفة طاقة، أمثلية اقتصادية، طريقة السمبلكس.

ABSTRACT

In this article, an economically optimal energy mix is designed for China. A mathematical model is build consisting of a linear objective function and a linear set of constraints. The constraints are set to reflect philosophy of complete utilization of the available production capabilities in China. The model is solved using the simplex method of two stages and thus producing the sought for mix. A comparison is made between the designed mix and the already used mix in China. The comparison clarifies the superiority of the designed mix economically. Also, a comparison of the cost of a million British thermal unit between Iran, Czech, and the designed mix of China shows the superiority of the designed mix.

Key Words:

Energy mix, Economic optimality, The simplex method.

١. المقدمة:

١,١. عام

يمكن تقسيم الطاقات في العالم إلى نوعين رئيسين، الطاقات الأولية والطاقات الثانوية، ومن أمثلة الطاقات الأولية الفحم، البترول، الغاز الطبيعي ومن أمثلة الطاقات الثانوية الطاقة الكهربية وهي تكون مشتقة من الطاقات الأولية ولذلك تسمى طاقات ثانوية [١]. والطاقات الأولية بدورها يمكن تقسيمها إلى طاقات أحفورية وطاقات غير أحفورية. والطاقات الأحفورية هي المستخرجة من باطن الأرض مثل البترول والفحم والغاز الطبيعي ومن أمثلة الطاقات غير الأحفورية، الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

توليفة الطاقة (Energy Mix) [٢]،أحيانا يطلق عليه مزيج الطاقة، في دولة ما هو مصطلح يقصد به بيان مكونات كمية الطاقة المستهلكة في تلك الدولة من أنواع الطاقات الأولية المختلفة معبرا عنها كنسب مئوية بحيث يكون مجموع هذه النسب ١٠٠ %. فمثلا يمكن أن تكون توليفة الطاقة في دولة ما عبارة عن ٤٠ % فحم، ٣٠ % بترول، ٢٠ % غاز طبيعي، ١٠ % طاقة شمسية.

اختيار توليفة الطاقة في دولة ما يعتمد على ما يتوفر لديها من مصادر الطاقة الأولية وكذلك على اعتبارات اقتصادية وبيئية وأمنية. والتوليفة المثلى اقتصاديا هي التوليفة التي تحقق أقل تكلفة اقتصادية ضمن قيود معينة.

تكوّن الدافع لدينا في إجراء هذا البحث من منطلقين: الأول هو أن تكلفة الطاقة هي عنصر رئيسي في تكلفة الإنتاج لأي سلعة أو خدمة والثاني هو

أن الصين هي أكبر مستهلك للطاقة في العالم وهي ثاني أكبر اقتصاد في العالم. ومن ثم فإن استخدام الصين لتوليفة مثلى اقتصاديا للطاقة سوف يكون له انعكاسات كبيرة على أسعار السلع والخدمات في العالم من خلال آليات السوق المتبعة في العالم.

مشكلة البحث:

تصميم توليفة طاقة مثلى اقتصادياً للصين أي تحقق أقل تكلفة ممكنة. وهذا يتطلب تحديد الكميات اللازمة للاستهلاك في الصين من مصادر الطاقة الأولية الآتية: الفحم، البترول، الغاز الطبيعي، الطاقة النووية، الطاقة المائية، الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح. بحيث تكون تكلفة هذه التوليفة أقل ما يمكن وهو ما يسمى أمثلية اقتصادية.

حدود البحث:

الحدود المكانية: دولة الصين

الحدود الزمانية: عام ٢٠١٨م

الحدود الموضوعية: التوليفة المستهدفة تتكون من مصادر الطاقة الأولية في شكلها الخام أو الأولي وليست الطاقات الثانوية المشتقة من المصادر الأولية. كذلك فإن البحث معني بدراسة التكلفة لتوليفة الطاقة وغير معني بدراسة التلوث الناتج عن استخدام التوليفة.

أهداف البحث:

١. التعرف على توليفة الطاقة المستخدمة في الصين. ٢. التعرف على توليفات الطاقة في بعض الدول بغرض الإطلاع على أدبيات البحث في هذا المجال. ٣. صياغة مسألة أمثلية رياضية وبحلها نحصل على توليفة مثلى

اقتصاديا. ٤. مقارنة بين تكلفة التوليفة المقترحة والتوليفة المطبقة فعليا وكذلك مع التكلفة في بعض الدول الأخرى.

منهجية البحث:

سوف نستخدم المنهج الوصفي لوصف مصادر الطاقة المتاحة في الصين وتوليفة الطاقة المستخدمة فيها. ثم سوف نستخدم المنهج التحليلي لاستنباط توليفة طاقة مثلى اقتصاديا ومن ثم مقارنتها بالتوليفة المطبقة بالفعل في دولة الصين.

٣,١. الصياغة العامة لمسألة الأمثلية رياضياً [3]:

قلل دالة الهدف (تكلفة توليفة الطاقة)

$$f_0(x_1, \dots, x_n)$$

بالنسبة للمتغيرات $x_1, \dots, x_n$ والتي تمثل في حالتنا هذه كمية الاستهلاك من كل مصدر من مصادر الطاقة كالفحم والبترول،... إلخ. وتسمى هذه المتغيرات متغيرات القرار.

تحت القيود الآتية

$$f_i(x_1, \dots, x_n)(\leq, =, or \ \geq) b_i, \qquad i = 1, \dots, m$$

$$x_i \geq 0, \qquad i = 1, \dots, n$$

حيث n هو عدد المتغيرات، m هو عدد القيود ، b_i تمثل الحدود القصوى للإنتاج من كل مصدر من مصادر الطاقة.

والحل يكون بإيجاد قيم للمتغيرات $x_1, \dots, x_n$ تجعل قيمة دالة الهدف (التكلفة) أقل ما يمكن وتحقق القيود المعطاة.

دالة الهدف قد تكون خطية أو غير خطية وكذلك القيود قد تتكون من قيود خطية أو غير خطية. والدالة الخطية هي التي تكون على الصورة

$$f(x_1, \dots, x_n) = c_1 x_1 + \cdots + c_n x_n$$

حيث c_i معاملات عددية.

والقيد الخطي هو الذي يكون على الصورة

$$d_1 x_1 + \cdots + d_n x_n \ (\leq, =, \geq) b$$

حيث d_i معاملات عددية، b ثابت عددي.

٣,١. بنود البحث

في بند ٢ تم استعراض الدراسات السابقة، في بند ٣ تم تصميم توليفة مثلى اقتصاديا للطاقة في الصين، في بند ٤ تم إجراء مقارنة بين التوليفة المقترحة والتوليفة الحالية في الصين، بند ٥ تم مقارنة تكلفة المليون وحدة حرارية بين إيران والتشيك والصين، بند ٦ تم وضع خلاصة البحث، وأخيرا قائمة بالمراجع.

٢. الدراسات السابقة

1.2. النموذج الإيراني لتوليفة الطاقة [٤]:

وهو قائم على تقليل التكلفة تحت قيد تقليل المخاطر الناتجة عن تقلبات الأسعار. وقد تم استخدام دالة هدف خطية وقيد واحد غير خطي مما سيؤدي إلى الحل بالطرق التقريبية.

وقد نتج عن تطبيق هذا النموذج التوليفة التالية عند أقل مستوى من المخاطر:

جدول (١): توليفة الطاقة في إيران

مصدر الطاقة	فحم	بترول	غاز طبيعي	نووية	مائية	شمسية	رياح
النسبة المئوية	١ %	١٠ %	٣٠ %	١١ %	٢٠ %	٢٠ %	٨ %

المصدر: مرجع [٤]

وبلغت التكلفة ٢٦,٣٥ دولار أمريكي لكل ميجا وات ساعة. أي أن سعر المليون وحدة حرارية بريطانية هو ٧,٧٢ دولار أمريكي.

٣,٢. نموذج توليفة الطاقة في غانا [٥]:

يهدف إلى توفير احتياجات البلاد من الطاقة حتى سنة ٢٠٤٠ بأقل تكلفة. وقد استخدم دالة هدف خطية وقيود خطية.

وقد تم حل النموذج باستخدام طريقة السيمبلكس وأسفر عن توليفات الطاقة للسنوات من ٢٠١٦ إلى ٢٠٤٠ والجدول (٢) يبين الثلاث سنوات الأولى:

جدول (٢): توليفات الطاقة في غانا

المصدر / السنة	مائية	نووية	شمسية	حرارية (بترول+غاز)	رياح
٢٠١٦	%٤٣	%٠	%١	%٥٦	%٠
٢٠١٧	%٣٦	%٠	%٤	%٤٧	%١٢
٢٠١٨	%٣٢	%٠	%٣	%٥٧	%٩

المصدر: مرجع [٥]

ولم يذكر البحث تكلفة التوليفة.

٣,٣. نموذج توليفة الطاقة في جمهورية التشيك [6]:

يهدف إلى توفير الطاقة بأقل تكلفة وتقليل الإنبعاثات الكربونية لأقل مستوى. اعتمد على نموذج أمثلية خطي وتم حله بأسلوب البرمجة الخطية. وقد أنتج النموذج التوليفة التالية:

جدول (٣): توليفة الطاقة في التشييك

المصدر	فحم	طاقة نووية	طاقات متجددة	أخرى
النسبة	% ٤٠	% ٣٨	% ٢٠	% ٢

المصدر: مرجع [٦]

كمية الطاقة المنتجة سنويا ٩٠ تيرا وات ساعة. متوسط التكلفة للتوليفة ٥٦,٤٢ يورو لكل ميجا وات ساعة. أي أن سعر المليون وحدة حرارية بريطانية هو ١٨,٨٢ دولار أمريكي.

٤,٣. نموذج توليفة الطاقة في جمهورية مصر العربية [٧]:

في عام ٢٠١١ قدم المعهد القومي للتخطيط دراسة بعنوان "نحو مزيج أمثل للطاقة في مصر" قام بها فريق بحثي مكون من عشرة باحثين من داخل وخارج المعهد وقد تضمنت هذه الدراسة ما يلي:

تصنف نماذج الطاقة إلى ثلاثة أنواع من النماذج: نماذج الأمثلية (Optimization models)، ونماذج المحاكاة (Simulation models)، ونماذج الأطر المحاسبية (Accounting Frameworks).

وأشارت الدراسة إلى أن نماذج المحاكاة لا تعطي الحل الأمثل أما نماذج الأطر المحاسبية فإنها تكون سهلة الفهم ويتم تفسير النتائج بطريقة مباشرة على الرغم من أنها أيضا لا تعطي حلا أمثلا.

وقد أخذت الدراسة بأحد نماذج الأطر المحاسبية يسمى LEAP وطبقته على ثلاث سيناريوهات وكان أفضلها حسب الدراسة سيناريو التنمية المستدامة و الذي يتلخص في الآتي:

الطلب على الطاقة (الوحدة مليون طن):

جدول (٤): الطلب على الطاقة في مصر

السنة	٢٠١٠	٢٠١٥	٢٠٢٠	٢٠٢٥	٢٠٣٠
الكمية	٦٣.٨	٨٤.٤	١١٢.٩	١٥٢.٧	٢٠٨.٦

المصدر: مرجع [٧]

عرض الطاقة (الوحدة هي جيجا جول):

جدول (٥): عرض الطاقة في مصر

السنة	٢٠١٠	٢٠١٥	٢٠٢٠	٢٠٢٥	٢٠٣٠
الكمية	٢٦	٣٨	٥٧	٨٤	١٢٣

المصدر: مرجع [٧]

وكانت توليفة الطاقة المقترحة للعام ٢٠١٥ كالآتي:

جدول (٦): توليفة الطاقة في مصر

المصدر	فحم	بترول	غاز طبيعي	طاقة نووية	طاقة مائية	طاقة شمسية	طاقة رياح
النسبة	٠ %	١٠.٥ %	٧٤ %	٢.٥ %	١٠.٥ %	٠ %	٢.٥ %

المصدر: مرجع [٧]

ونلاحظ في جدول الطلب أن الوحدة المستخدمة هي المليون طن ولم توضح الدراسة هل هو مليون طن مكافئ بترول أم مليون طن مكافئ فحم أم ماذا؟

وفي جدول العرض لاحظنا الآتي:

- دخول كميات من الطاقة النووية في حين أن ذلك غير متوقع قبل مرور عدة سنوات.
- مساهمات محدودة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح والتي شهدت نموا كبيرا في الفترة الأخيرة.

- عدم ظهور أي مساهمات للفحم في توليفة الطاقة في حين أن محطات توليد الطاقة التي نفذتها شركة سيمنز مؤخرا في مصر تعتمد على الفحم.

ومن الملاحظات الأخرى أنه لم يتم حساب التكلفة ومقارنتها بالتكلفة الحالية.

وملاحظة أخيرة كيف لنا أن نقارن بين العرض والطلب إذا كان كلاً منهما معطى بوحدات مختلفة. ألم يكن من الأنسب توحيد الوحدات حتى تسهل المقارنة؟؟

٣. تصميم توليفة طاقة مثلى اقتصاديا لدولة الصين

١,٣. تعريف الوحدات المستخدمة والعلاقة بينها: [٨]، [٩ .]

أولا: تعريف الوحدة الحرارية البريطانية Btu:

هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة واحد باوند bound (رطل) من الماء بمقدار واحد درجة فهرنهايت. والمليون Btu نرمز لها ب MMBtu .

ثانيا: وحدات القياس وعلاقتها بالوحدة الحرارية البريطانية:

١ برميل بترول يعطي في المتوسط 5.722 مليون وحدة حرارية بريطانية.

١ طن متري (١٠٠٠ كجم) من الفحم يعطي في المتوسط 21.11 مليون وحدة حرارية بريطانية.

١ قدم مكعب من الغاز الطبيعي يعطي في المتوسط 1037 وحدة حرارية بريطانية.

١ متر مكعب من الغاز الطبيعي يعطي في المتوسط 36621.34 وحدة حرارية بريطانية.

١ كيلو وات ساعة (kwh) يعطي ٣٤١٢ وحدة حرارية بريطانية.

١ مليون طن مكافي نفطي (Mtoe) = 39683207.2 مليون وحدة حرارية بريطانية.

١ مليون طن مكافئ فحم (Mtce) = 27778245 مليون وحدة حرارية بريطانية.

٢,٣. متغيرات القرار المطلوب حسابها

x_1 هو كمية الطاقة من الفحم مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

x_2 هو كمية الطاقة من البترول مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

x_3 هو كمية الطاقة من الغاز الطبيعي مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

x_4 هو الكمية من الطاقة النووية مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

x_5 هو الكمية من الطاقة المائية مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

x_6 هو الكمية من الطاقة الشمسية مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

x_7 هو الكمية من طاقة الرياح مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية

٣,٣. الأسعار في العام ٢٠١٨:

الفحم [٩، ١٠]: ٢.٠٨ دولار أمريكي لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (MMBtu)

البترول [١١]: ١٣.٣٦ دولار أمريكي لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (MMBtu)

الغاز الطبيعي (الغير مسال) [١٢، ١٣، ١٤، ١٥]: ٣.٣٩ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية

الطاقة النووية [١٦]: ٢٦.٤١ دولار أمريكي لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (MMBtu)

الطاقة المائية [٩]: ١٤.٦٥ دولار أمريكي لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (MMBtu)

الطاقة الشمسية (نظام الألواح) [١٧، ١٨]: ٢٩.٣١ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (MMBtu)

طاقة الرياح (الشاطئية) [١٩]: ١٧.٥٨ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية (MMBtu)

٤,٣. حدود الإنتاج القصوى: مستنتجة من المرجع [٢٠، ٢١]

الحد الأقصى لإجمالي الطاقة المستهلكة في الصين عام ٢٠١٨ هو 124.7×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من الفحم 67.793×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من البترول 10.098×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من الغاز الطبيعي 5.205×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من الطاقة النووية 2.219×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من الطاقة المائية 10.679×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من الطاقة الشمسية 0.444×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

الحد الأقصى للإنتاج من طاقة الرياح 3.708×10^9 مليون وحدة حرارية بريطانية

٥,٣. صياغة دالة الهدف

$$Minimize:$$

$$C = 2.08x_1 + 13.36x_2 + 3.39x_3 + 26.41x_4 + 14.65x_5 + 29.31x_6 + 17.58x_7$$

بالنسبة للمتغيرات $x_1, \dots, x_7$

حيث C هي تكلفة الكلية للطاقة المستخدمة،

x_1 ،...، x_7 هي كمية الطاقة المطلوب حسابها من كل نوع (الفحم،...، طاقة الرياح) مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية،

المعاملات ٢.٠٨،...، ١٧.٥٨ هي سعر المليون وحدة حرارية بريطانية بالدولار الأمريكي من الفحم،...، طاقة الرياح.

٦.٣. صياغة القيود (الكميات مقدرة بالمليون وحدة حرارية بريطانية)
سيتم وضع القيود لتعكس فلسفة استغلال كامل الطاقات الإنتاجية للصين من مصادر الطاقة الموجودة لديها والاستيراد أو إضافة قدرات إنتاجية جديدة في حالة الاحتياج:

١. إجمالي المطلوب من مصادر الطاقة المختلفة يساوي إجمالي الاستهلاك

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 124.7 \times 10^9$$

٢. استهلاك الفحم أكبر من أو يساوي إنتاجه والفرق يتم توفيره بالاستيراد

$$x_1 \geq 67.793 \times 10^9$$

٣. استهلاك البترول أكبر من أو يساوي إنتاجه والفرق يتم توفيره بالاستيراد

$$x_2 \geq 10.098 \times 10^9$$

٤. استهلاك الغاز الطبيعي أكبر من أو يساوي إنتاجه والفرق يتم توفيره بالاستيراد

$$x_3 \geq 5.205 \times 10^9$$

٥. استهلاك الطاقة النووية أكبر من أو يساوي إنتاجها والفرق يتم توفيره بإضافة وحدات إنتاج جديدة

$$x_4 \geq 2.219 \times 10^9$$

٦. استهلاك الطاقة المائية أكبر من أو يساوي إنتاجها والفرق يتم توفيره بإضافة وحدات إنتاج جديدة

$$x_5 \geq 10.679 \times 10^9$$

٧. استهلاك الطاقة الشمسية أكبر من أو يساوي إنتاجها والفرق يتم توفيره بإضافة وحدات إنتاج جديدة

$$x_6 \geq 0.444 \times 10^9$$

٨. استهلاك طاقة الرياح أكبر من أو يساوي إنتاجها والفرق يتم توفيره بإضافة وحدات إنتاج جديدة

$$x_7 \geq 3.708 \times 10^9$$

٩. شرط عدم السلبية

$$x_1, \ldots, x_7 \geq 0$$

٧.٣. الحل بطريقة السيمبلكس ذات المرحلتين

تم الحل باستخدام برنامج كمبيوتر متاح online [٢٢]

وكانت النتائج كالتالي

The optimal solution value is C = 637887410000 ≈ 637.9 × 10^9 \$

$x_1 = 92.347 \times 10^9$ MMBtu

$x_2 = 10.098 \times 10^9$ MMBtu

$x_3 = 5.205 \times 10^9$ MMBtu

$x_4 = 2.219 \times 10^9$ MMBtu

$x_5 = 10.679 \times 10^9$ MMBtu

$x_6 = 0.444 \times 10^9$ MMBtu

$x_7 = 3.708 \times 10^9$ MMBtu

والجدول رقم (٧) يوضح التوليفة المثلى اقتصاديا المقترحة

جدول (٧): توليفة الطاقة المثلى اقتصاديا المقترحة للصين

مصدر الطاقة	فحم	بترول	غاز طبيعي	نووية	مائية	شمسية	رياح
الكمية MMBtu $\times 10^9$	92.347	10.098	5.205	2.219	10.679	0.444	3.708
النسبة المئوية %	74.055	8.098	4.174	1.779	8.564	0.356	2.974

حيث كانت أقل تكلفة لتوليفة الطاقة ضمن القيود الموضوعة هي $10^9 \times$ 637.9 $ (٦٣٨ مليار دولار أمريكي تقريبا) بواقع سعر ٥,١١٥ دولار للمليون وحدة حرارية.

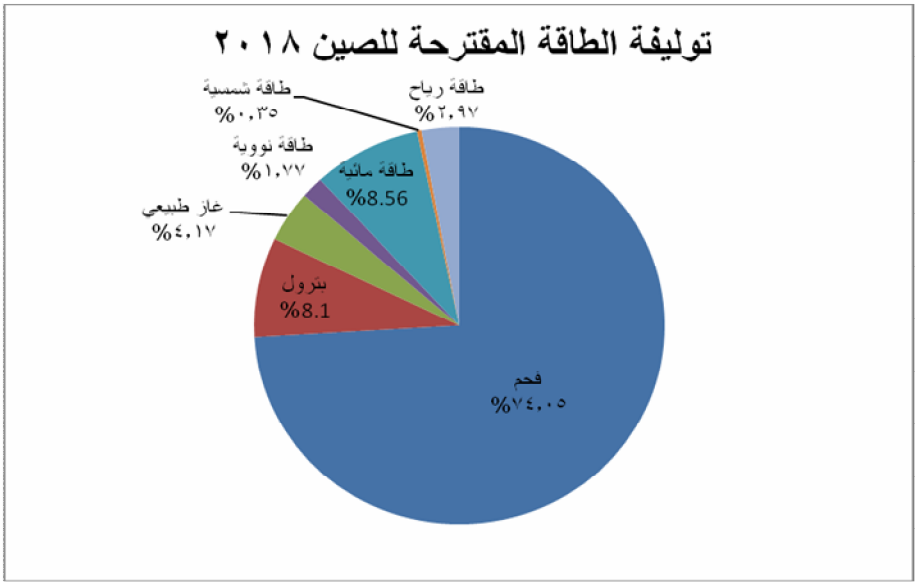
٤. مقارنة بين توليفة الطاقة المثلى المقترحة وتوليفة الطاقة المطبقة حاليا في الصين

جدول (٨): مقارنة بين التوليفتين

المتغيرات	توليفة الطاقة المثلى المقترحة		توليفة الطاقة المستخدمة حاليا	
	الكميات بالمليون وحدة حرارية بريطانية MMBtu	النسب المئوية %	الكميات بالمليون وحدة حرارية بريطانية MMBtu	النسب المئوية %
الفحم	92.347×10^9	74.055 %	74.25×10^9	59.543 %
البترول	10.098×10^9	8.098 %	25.20×10^9	20.209 %
الغاز	5.205×10^9	4.174 %	8.20×10^9	6.576 %
النووية	2.219×10^9	1.779 %	2.219×10^9	1.779 %
المائية	10.679×10^9	8.564 %	10.679×10^9	8.564 %
الشمسية	0.444×10^9	0.356 %	0.444×10^9	0.356 %
الرياح	3.708×10^9	2.974 %	3.708×10^9	2.974 %
الإجمالي	124.7×10^9	١٠٠ %	124.7×10^9	١٠٠ %
التكلفة $	637.9×10^9		811.9×10^9	

نستنتج من الجدول رقم (٨) تفوق التوليفة المقترحة اقتصاديا على التوليفة الحالية في الصين.

والشكل التالي يوضح نسب التوليفة المثلى المقترحة للصين ٢٠١٨:



شكل (١): توليفة الطاقة المثلى اقتصاديا المقترحة للصين

٥. مقارنة تكلفة المليون وحدة حرارية في توليفات إيران والتشييك والمقترحة للصين

جدول (٩): مقارنة تكلفة المليون وحدة حرارية

الدولة	إيران	التشيك	الصين (التوليفة المقترحة)	الصين (التوليفة الحالية)
التكلفة $	٧,٧٢	١٨,٨٢	٥,١٢	٦,٥١

ومن الجدول (٩) يتضح تفوق التوليفة المقترحة للصين.

٦. استنتاج توليفات مثلى اقتصاديا لسنوات تالية

نختتم هذا البحث بتقديم توليفة مثلى اقتصاديا للعام ٢٠١٩ كمثال لبيان إمكانية استنتاج توليفات لسنوات قادمة حسب الحاجة. وسوف نستخدم في ذلك متوسط معدلات التغير في الاستهلاك عن الفترة من ٢٠١٦ إلى ٢٠٤٠ كما وردت في [٢١] وهي كالتالي:

جدول (١٠): متوسط معدل التغير لمصادر الطاقة في الصين في الفترة ٢٠١٦ - ٢٠٤٠

نوع الطاقة	متوسط معدل التغير في الفترة ٢٠١٦ -٢٠٤٠
الفحم	- 0.8 %
البترول	+ 1.0 %
الغاز الطبيعي	+ 4.6 %
الطاقة النووية	+ 8.3 %
الطاقة المائية	+ 1.2 %
الطاقات المتجددة شمسية – رياح	+ 9.5 %

وباستخدام توليفة ٢٠١٨ كسنة أساس تكون توليفة ٢٠١٩ كالتالي:

جدول (١١): توليفة الطاقة المثلى اقتصاديا المقترحة للصين ٢٠١٩

مصدر الطاقة	فحم	بترول	غاز طبيعي	نووية	مائية	شمسية	رياح
الكمية MMBtu $\times 10^9$	٩١.٦٠٨	١٠.١٩٩	٥.٤٤٤	٢.٤٠٣	١٠.٨٠٧	٠.٤٨٦	٤.٠٦٠
النسبة المئوية %	٧٣.٢٨٢	٨.١٥٩	٤.٣٥٥	١.٩٢٢	٨.٦٤٥	٠.٣٨٩	٣.٢٤٨

٧. الخلاصة

استهدفنا في هذا البحث تصميم توليفة طاقة مثلى اقتصاديا لدولة الصين. قمنا بتعريف ماهية توليفة الطاقة وماهية أمثليتها. قدمنا النموذج الرياضي العام لمسألة الأمثلية. استعرضنا الدراسات السابقة لتصميم توليفات مثلى اقتصاديا في إيران وغانا والتشيك ومصر ووضعنا ملاحظاتنا عليها. قمنا بتعريف الوحدات المستخدمة والعلاقة بينها. عرضنا لأسعار المليون وحدة حرارية لكل نوع من أنواع الطاقة المزمع استخدامها في التوليفة. قمنا بإنشاء دالة الهدف الخطية التي تعبر عن التكلفة الكلية لتوليفة الطاقة. قمنا بإنشاء مجموعة القيود التي تعكس فلسفة الاستغلال الكامل للقدرات الإنتاجية المتاحة في الصين. تم حل النموذج الرياضي باستخدام طريقة السيمبلكس ذات المرحلتين عن طريق برنامج متاح على الشبكة الدولية للمعلومات. قمنا بمقارنة التوليفة الناتجة مع التوليفة المطبقة حاليا في الصين وأوضحنا التفوق الاقتصادي للتوليفة التي قمنا بتصميمها عن التوليفة المطبقة. كذلك تمت مقارنة تكلفة المليون وحدة حرارية بريطانية للتوليفة المقترحة مع تكلفتها في توليفة إيران وتوليفة التشييك وأظهرت المقارنة أيضا تفوق التوليفة المقترحة. واختتمنا ببيان كيفية استنتاج توليفات مثلى اقتصاديا لسنوات قادمة عند الحاجة.

المراجع

[١] إدوارد س. كاسيدي، بيتر ز. غروسمان، ترجمة صباح صديق الدملوجي،" مدخل إلى الطاقة: المصادر والتكنولوجيا والمجتمع"، المنظمة العربية للترجمة، الرياض ١٤٣١ هـ.

[٢] جون ر. فانشي، ترجمة عبدالباسط علي صالح كرمان،" الطاقة: التقنية والتوجهات للمستقبل"، المنظمة العربية للترجمة، بيروت ٢٠١١.

[3] Stephen Boyd and Lieven Vandenberghe, *Convex Optimization*, pp. 1, Cambridge university press, 2004.

[4] Arash Farnoosh, *On The Economic Optimization of National Power Generation Mix In Iran: A Markowitz' Portfolio-Based Approach*, Ifp Energies Nouvelles, Ifp School, University Of Montpellier, Creden, France, 7 Mars 2016.

[5] Ishmael Nii Adumoah Oku and Roy Tan, *Developing an Optimal Energy Mix: Eradication of Periodic Power Crisis In Ghana till 2030*, Master's Thesis in Energy Natural Resource and Environment, Norwegian School Of Economics, Bergen, Fall 2016.

[6] O. Gruenwald and D. Oprea, *Optimization Model of Energy Mix Taking Into Account The Environmental Impact,* 11th International Conference Energy – Ecology – Economy 2012, May 15-17, 2012 Tatranské Matliare, High Tatras, Slovak Republic.

[٧] نيفين كمال وآخرون، "نحو مزيج أمثل للطاقة في مصر"، معهد التخطيط القومي، فبراير ٢٠١١.

[8] U.S. Energy Information Administration إدارة معلومـــات الطاقة الأمريكية

https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=about_btu

[9] International Energy Agency (IEA) وكالـــة الطاقـــة الدوليـــة https://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter

[10] https://tradingeconomics.com/commodity/coal

[11] OPEC (أوبك) منظمة الدول المصدرة للبترول

https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opec-crude-oil-prices-since-1960/

[12] NASDAC مؤشر ناسداك ببورصة نيويورك

https://www.nasdaq.com/markets/natural-gas.aspx?timeframe=1y

[13] https://markets.businessinsider.com/commodities/natural-gas-price

[14] https://www.cnbc.com/2018/10/04/natural-gas-prices-have-surged-over-the-last-month-heres-why.html

[15] https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/n9100us3m.htm

[16] World Nuclear Association الرابطة النووية العالمية

http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx

[17]https://www.pv-magazine.com/2017/12/22/china-sets-lower-solar-fit-rates-for-2018/

[18]https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/renewable/china-says-no-current-plans-to-build-regular-solar-power-stations-in-2018/64417359

[19]https://www.forbes.com/sites/dominicdudley/2018/01/13/renewable-energy-cost-effective-fossil-fuels-2020/#7af0b8944ff2

[20] British Petroleum, *Statistical Review of World Energy*,67th edition, June 2018.

- China, BP 2018. British Petroleum (BP), Energy outlook 2018 **[21]**

[22] http://www.phpsimplex.com/simplex/solution2.php?1=en