

نمذجة الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية وفهم دوافعه

شهد العرينان وأنور قاسم ولستر هنت

عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحثاً مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بشتى أنواعها بالإضافة إلى الدراسات البيئية المرتبطة بها. وتتمثل مهمة كابسارك في تعزيز فهم تحديات الطاقة والفرص التي تواجه العالم اليوم وفي المستقبل من خلال بحوث غير منحازة ومستقلة وعالية الجودة لما فيه صالح المجتمع، ويقع كابسارك في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

إشعار قانوني

© حقوق النشر 2019 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبه بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية –سواء مباشرة أو غير مباشرة- تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند –أو أي جزء منه- أو أن يفسر ك نصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار.

بين عامي 1986 و2016 تضاعف استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي في المملكة العربية السعودية إلى عشرة أضعاف، مما جعله أحد أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة في المملكة. ومن خلال نمذجة الطلب على الطاقة في القطاع الصناعي في المملكة العربية السعودية وجدنا ما يلي :

تبلغ مرونة السعر للطلب على الطاقة في القطاع الصناعي -0.34 على المدى الطويل . ووفقاً لذلك، يتضح أن القطاع الصناعي في المملكة العربية السعودية أكثر استجابة للتغيرات في أسعار الطاقة مقارنة بالأسر، فمن خلال دراسات سابقة وجدنا أن مرونة السعر للطلب على الكهرباء والبنزين للأسر تتراوح بين -0.1 إلى -0.2 على المدى الطويل.

تسبب كل من النمو في النشاط الصناعي والتحول نحو التصنيع كثيف الاستهلاك للطاقة في تسارع نمو استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي في المملكة بين عامي 1986 و2016.

ولقد لوحظ اعتباراً من عام 2010 فصاعداً، إدخال الكثير من التحسينات على كفاءة استخدام الطاقة، الا ان كفاءة استخدام الطاقة بدأت في التحسن اعتباراً من عام 2010، مما أدى إلى تحقيق وفر تراكمي للطاقة بنحو سبعة ملايين طن نفط مكافئ بين عامي 2010 و2016.

كان لإصلاحات أسعار الطاقة في المملكة العربية السعودية لعام 2016 أثر كبير على نمو استهلاك الطاقة للصناعة في تلك السنة. وكشفت التحليل أن ارتفاع أسعار الطاقة للقطاع الصناعي قلل من استهلاكها في عام 2016 بحوالي ثلاثة ملايين طن نفط مكافئ؛ ويعادل ذلك انخفاضاً بنسبة 6.9% .

يمكن لواضعي السياسات الاستفادة من إصلاحات أسعار الطاقة وتدابير كفاءة استخدام الطاقة للمساعدة في خفض معدل نمو استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي المحلي على مدار السنوات القادمة.

من استهلاك الطاقة للصناعة بنسبة تصل إلى 6.7% على المدى الطويل، ولذلك نتوقع أن تتجه المملكة العربية السعودية نحو تصنيع المنتجات عالية القيمة على مدى العقود المقبلة مما سيساعد في تخفيف النمو في الطلب على الطاقة في القطاع الصناعي.

طبّقنا التحليل التقسيمي (decomposition analysis) على النموذج لقياس دوافع النمو في استهلاك الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية، وأظهرت نتائج التحليل التقسيمي أن عامل النشاط (أي النمو في ناتج القطاع الصناعي) كان الدافع الأساسي في النمو في استهلاك الطاقة للصناعة. بالإضافة إلى ذلك، كان العامل الهيكلي (أي التحول نحو التصنيع كثيف الاستهلاك للطاقة) دافعاً في نمو استهلاك الطاقة للصناعة. في المقابل، أدى عامل الكفاءة إلى تخفيف النمو في استهلاك الطاقة للصناعة بدءاً من عام 2010 فصاعداً. وأخيراً، كشفت نتائج التحليل التقسيمي أن أسعار الطاقة للقطاع الصناعي، التي لم تتغير بشكل كبير قبل عام 2016، كان لها أثر محدود على استهلاك الطاقة.

في نهاية ديسمبر 2015، طبّقت المملكة العربية السعودية المرحلة الأولى من الإصلاحات في أسعار الطاقة. ويهدف برنامج إصلاح أسعار الطاقة إلى رفع أسعار الطاقة المحلية بما يتناسب مع المعايير المرجعية الدولية، والتي لن تؤدي فقط إلى زيادة الإيرادات الحكومية، بل أيضاً ستحفز الإنتاجية وتشجع الاستثمارات، التي يمكن أن تساعد المملكة العربية السعودية في تنويع مزيج الطاقة لديها. وأظهر التحليل التقسيمي أن ارتفاع أسعار الطاقة للقطاع الصناعي في عام 2016 ساهم في تقليل استهلاكها بنسبة 6.9%، أي ما يعادل توفير ثلاثة ملايين طن نفط مكافئ.

أدت أسعار الطاقة المنخفضة نسبياً في المملكة العربية السعودية إلى توجيه الصناعات المحلية نحو إنتاج وتصدير سلع كثيفة الاستهلاك للطاقة، حيث أصبح لدى المملكة ميزة نسبية في هذه الصناعة، إلا أن أسعار الطاقة

في عام 2016، شكّل قطاع الصناعة في المملكة العربية السعودية نسبة 30.3% من إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة في المملكة العربية السعودية (منشور 2018(a) الخاص بالوكالة الدولية للطاقة). وترتفع هذه النسبة إلى أكثر من 50% عندما تشمل بيانات استهلاك الطاقة اللقيم المستخدم لصناعة البتروكيماويات وللصناعات الأخرى.

على الرغم من أهمية ذلك، لم نجد أي دراسات اقتصادية قياسية منشورة في مجال الطلب على الطاقة في القطاع الصناعي في المملكة العربية السعودية، وتعد هذه الورقة، على حد علمنا، الأولى لنمذجة الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية من الناحية الاقتصادية القياسية، وقياس مساهمات دوافع النمو الخاص به.

تم تصميم نموذج الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية باستخدام نموذج تسلسل زمني تركيبى (Structural Time Series Model)، ووجدنا أن مرونة السعر والدخل على المدى الطويل بلغت 0.34- و0.60 على الترتيب. وتشير مرونة الدخل على المدى الطويل إلى استمرار نمو الاستهلاك السعودي للطاقة في القطاع الصناعي خلال العقود المقبلة مع توسع النشاط الاقتصادي، وإمكانية تخفيف هذا النمو من خلال زيادة أسعار الطاقة. وتوضع مرونة السعر أيضاً مدى استجابة القطاع الصناعي مقارنةً باستجابة الأسر للتغيرات في أسعار الطاقة (حيث تتراوح تقديرات مرونة السعر للطلب على الكهرباء والبنزين للأسر حسب الدراسات السابقة من 0.1- إلى 0.2- على المدى الطويل).

كما أظهر النموذج الاقتصادي القياسي أن المملكة العربية السعودية يمكنها زيادة إنتاجيتها من الطاقة في الصناعة بشكل كبير عن طريق الابتعاد عن الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة. وتُظهر المرونة الهيكلية أن التحول بما يعادل 10 نقاط مئوية عن الصادرات كثيفة الاستهلاك للطاقة، على سبيل المثال، يمكن أن يقلل

وخلُصة القول، كشفت نتائج الاقتصَاد القياسي عن أثر أسعار الطاقة والدخل والهيكل الاقتصادي والكفاءة في استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي السعودي، في حين أظهرت نتائج التحليل التقسيمي دوافع النمو في استهلاك الطاقة للصناعة على مدار العقود القليلة الماضية. كذلك تبرز النتائج كيف كانت كفاءة استخدام الطاقة عاملاً رئيساً ساهم في خفض النمو السريع لاستهلاك الطاقة في القطاع الصناعي في العقد الماضي. علاوة على ذلك، ساعد ارتفاع أسعار الطاقة الذي شهده عام 2016م على تقليل الاستهلاك بدرجة ملحوظة في ذلك العام، مما يدل على أن بإمكان صنَّاع السياسة الاعتماد على السياسة الحالية لإصلاح أسعار الطاقة وتدابير كفاءة استخدام الطاقة للمساعدة في خفض معدل نمو استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي وزيادة الكفاءة الاقتصادية والحفاظ على القدرة التنافسية للقطاع الصناعي.

المرتفعة من المحتمل أن تؤدي إلى إضعاف هذه الميزة، لكنها ربما تدفع أيضاً الصناعات المحلية نحو إنتاج وتصدير سلع ذات قيمة مضافة أعلى. وقد أظهرت الدراسات أن صناعة البتروكيماويات في المملكة بدأت بالتحرك في هذا الاتجاه (Jadwa 2017).

ونظراً لأن ارتفاع أسعار الطاقة المحلية يرفع الإيرادات الحكومية، يمكن تقديم برنامج دعم لتعزيز كفاءة الطاقة في القطاع الصناعي، بهدف تقليل الأثر السلبي لارتفاع أسعار الطاقة في قدرة القطاع على التنافس. وقد كشف التحليل التقسيمي في هذه الدراسة أن التحسينات في كفاءة استخدام الطاقة بدءاً من عام 2010 فصاعداً قد حققت وفورات طاقة تراكمية بلغت سبعة (7) ملايين طن نفط مكافئ. فإن كفاءة استخدام الطاقة تنطوي على احتمالية تخفيف النمو السريع في استهلاك الطاقة للصناعة مع دعم القدرة التنافسية للشركات الصناعية.

القطاع الصناعي "أحد أصعب الاستخدامات النهائية للتحليل والنمذجة والتنبؤ". وسلط الضوء على الطرق المختلفة التي يستخدمها الباحثون لنمذجة الطلب على الطاقة للصناعة، مثل التحليل التقسيمي (decomposition analysis) أو النمذجة للاقتصادية القياسية (econometric modeling) أو النماذج الهندسية.

توفر النمذجة الاقتصادية القياسية للطلب على الطاقة للصناعة العديد من المزايا، فهي تشمل مجموعة واسعة من التقنيات الاقتصادية القياسية، وتسمح بتحديد وقياس الروابط السببية بين المتغيرات، وتنتج مخرجات مثل مرونة السعر التي تُستخدم لفهم كيف يستجيب القطاع للتغير في أسعار الطاقة، وأيضاً كمدخلات في نماذج أخرى (Greening et al. (2007). ويمكن أيضاً استخدام النماذج الاقتصادية القياسية لتوقع ومساعدة صناعات السياسات في التنبؤ بنمو الطلب على الطاقة للصناعة، وهو أمر أساسي لوضع السياسة الاقتصادية.

على الرغم من أهمية النمذجة الاقتصادية القياسية للطلب على الطاقة، لم نجد أي دراسات اقتصادية قياسية منشورة حول الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية، ووجدنا القليل جداً من الدراسات حول الشرق الأوسط. ويشكل عدم وجود تقديرات لمرونة الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية "فجوة" نهدف إلى سدها. وكما لوحظ سابقاً، فمن المحتمل أن هذه الفجوة تنبع من الصعوبات المرتبطة بنمذجة القطاع الصناعي، وفي حالة المملكة العربية السعودية فإنها تنبع أيضاً من محدودية توفر البيانات المتعلقة بالطاقة. وعلاوة على ذلك، لم نجد أي دراسات منشورة تقيس دوافع نمو الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية، وغالباً ما يتم ذلك باستخدام التحليل التقسيمي (decomposition analysis). وندن أيضاً، على حد علمنا، أول من طَبَّق نموذج التحليل التقسيمي على القطاع الصناعي السعودي.

في عام 2016، شكّل قطاع الصناعة في المملكة العربية السعودية نسبة 30.3% من إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة في المملكة العربية السعودية (منشور 2018a) الخاص بالوكالة الدولية للطاقة. وترتفع هذه النسبة إلى أكثر من 50% عندما تشمل بيانات استهلاك الطاقة اللقيم المستخدم لصناعة البتروكيماويات وللصناعات الأخرى.

شهد القطاع الصناعي في المملكة العربية السعودية نمواً سريعاً على مدار العقود الماضية. وارتفعت قيمة الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي لقطاع الصناعة من 29 مليار ريال سعودي في عام 1986 إلى 213 مليار ريال سعودي في عام 2016 (بالأسعار الثابتة، عام 2010)، وفقاً لمؤسسة النقد العربي السعودي (2018). ويعادل ذلك نمو سنوي يبلغ في المتوسط 7%، مما يسלט الضوء على وتيرة التنمية في الصناعة في المملكة العربية السعودية. وخلال هذه الفترة، نما استهلاك الطاقة للصناعة بمعدل أسرع، حيث سجل متوسط معدل النمو السنوي حوالي 8% (منشور 2018a الخاص بالوكالة الدولية للطاقة).

وسمحت وفرة النفط والغاز الطبيعي في المملكة العربية السعودية للحكومة بتوفير الطاقة للقطاع الصناعي بأسعار مُحددة منخفضة نسبياً. ويبدو أن أسعار الطاقة المنخفضة قد أثرت في كلٍّ من مستويات كفاءة الطاقة في الصناعة السعودية وهيكلها. وتنص نظرية هكشر أولين لتخصيص الدول، على أن كل دولة تخصص في تصدير السلع التي يتم إنتاجها باستخدام عنصر الإنتاج الذي تملكه هذه الدولة بوفرة (Heckscher 1919; Ohlin (1933). ووفقاً لهذه النظرية، فإن تخصص المملكة العربية السعودية في الصادرات كثيفة الاستهلاك للطاقة سيكون نتيجة طبيعية لثرواتها الطبيعية من الوقود الأحفوري.

ومن الضروري وجود فهم عميق للطلب على الطاقة في القطاع الصناعي ومحدداته لوضع الخطط الاقتصادية. ومع ذلك، كما لاحظ (Greening et al. (2007)، يُعد

النمذجة الاقتصادية القياسية للطلب على الطاقة للصناعة

SF_t = العامل الهيكلي.
 $UEDT_t$ = الاتجاه العام للطلب على الطاقة (underlying energy demand trend).

يشير الرمز المنخفض t إلى العام.

نستخدم نموذج التسلسل الزمني التركيبي (Structural Time Series Model) لنمذجة الطلب على الطاقة للصناعة في هذه الدراسة، ويمكن الاطلاع على المزيد من التفاصيل حول طريقة الاقتصاد القياسي في الملحق "أ".

التحليل التقسيمي للنموذج المقدر للطلب على الطاقة للصناعة

الهدف من التحليل التقسيمي هو تقسيم التغير في استهلاك الطاقة بين سنة الانتهاء وسنة الأساس إلى عوامل، ويشار إليها أيضاً بدوافع. (انظر مربع النص 1 لمزيد من التفاصيل).

يتم نمذجة إجمالي الطلب على الطاقة للصناعة بصفتها دالة على المتوسط لسعر الطاقة الحقيقي والقيمة المضافة الإجمالية الحقيقية و العامل الهيكلي الذي يُظهر مدى تخصص المملكة العربية السعودية في الصادرات كثيفة الاستخدام للطاقة، والاتجاه العام للطلب على الطاقة (underlying energy demand trend)، الذي يُظهر العوامل الخارجية التي تؤثر على استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي، وأهمها كفاءة الطاقة.

$$E_t = f(GVA_t, P_t, SF_t, UEDT_t) \quad (1)$$

حيثُ:

E_t = إجمالي استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي.
 GVA_t = القيمة المضافة الإجمالية الحقيقية للقطاع الصناعي، وتمثل أيضاً دخل القطاع.
 P_t = المتوسط المرجح لسعر الطاقة الحقيقي.

مربع النص 1: فهم التحليل التقسيمي

هناك أنواع مختلفة من التحليل التقسيمي، مثل التقسيم الإضافي والمضاعف. ويحلل التقسيم الإضافي التغير في متغير ما بين سنة الانتهاء وسنة الأساس إلى مجموعة من العوامل أو الدوافع. ونستخدم في هذه الورقة التحليل التقسيمي الإضافي لتقسيم التغير في استهلاك الطاقة بين سنة الانتهاء وسنة الأساس (المشار إليها باستخدام ΔE) إلى خمسة عوامل: النشاط والسعر والهيكل والاتجاه العام للطلب على الطاقة وحد الخطأ.

$$\Delta E = \text{عامل النشاط} + \text{عامل السعر} + \text{عامل الهيكل} + \text{عامل الاتجاه العام للطلب على الطاقة} + \text{عامل حد الخطأ}$$

يوضح عامل النشاط كيف أثرت التغيرات في الإنتاج بين سنة الانتهاء وسنة الأساس على التغير في استهلاك الطاقة. وبالمثل، توضح عوامل السعر والهيكل أثر التغيرات في الأسعار والهيكل الاقتصادي، على الترتيب. ويظهر عامل الاتجاه العام للطلب على الطاقة أثر التغيرات في عوامل خارجية مثل كفاءة الطاقة، وكذلك أثر التدخلات. على سبيل المثال، يتضمن الاتجاه العام للطلب على الطاقة تدخلًا في عام 1990 لتصحيح اضطراب في بيانات استهلاك الطاقة التي تم الحصول عليها من الوكالة الدولية للطاقة (2018a). ويمكن فصل هذه التدخلات عن الاتجاه العام للطلب على الطاقة، مما يتيح لها أن تُظهر إلى حد أكبر التغيرات في كفاءة الطاقة. وينتج عن ذلك معادلة التقسيم التالية:

$E\Delta =$ عامل النشاط + عامل السعر + عامل الهيكل + عامل الاتجاه العام للطلب على الطاقة + عامل التدخلات + عامل حد الخطأ

يوضح تأثير حد الخطأ حقيقة وجود خطأ صغير دائماً بين القيمة المقدرة أو المتوقعة لاستهلاك الطاقة في النموذج وقيمتها الفعلية.

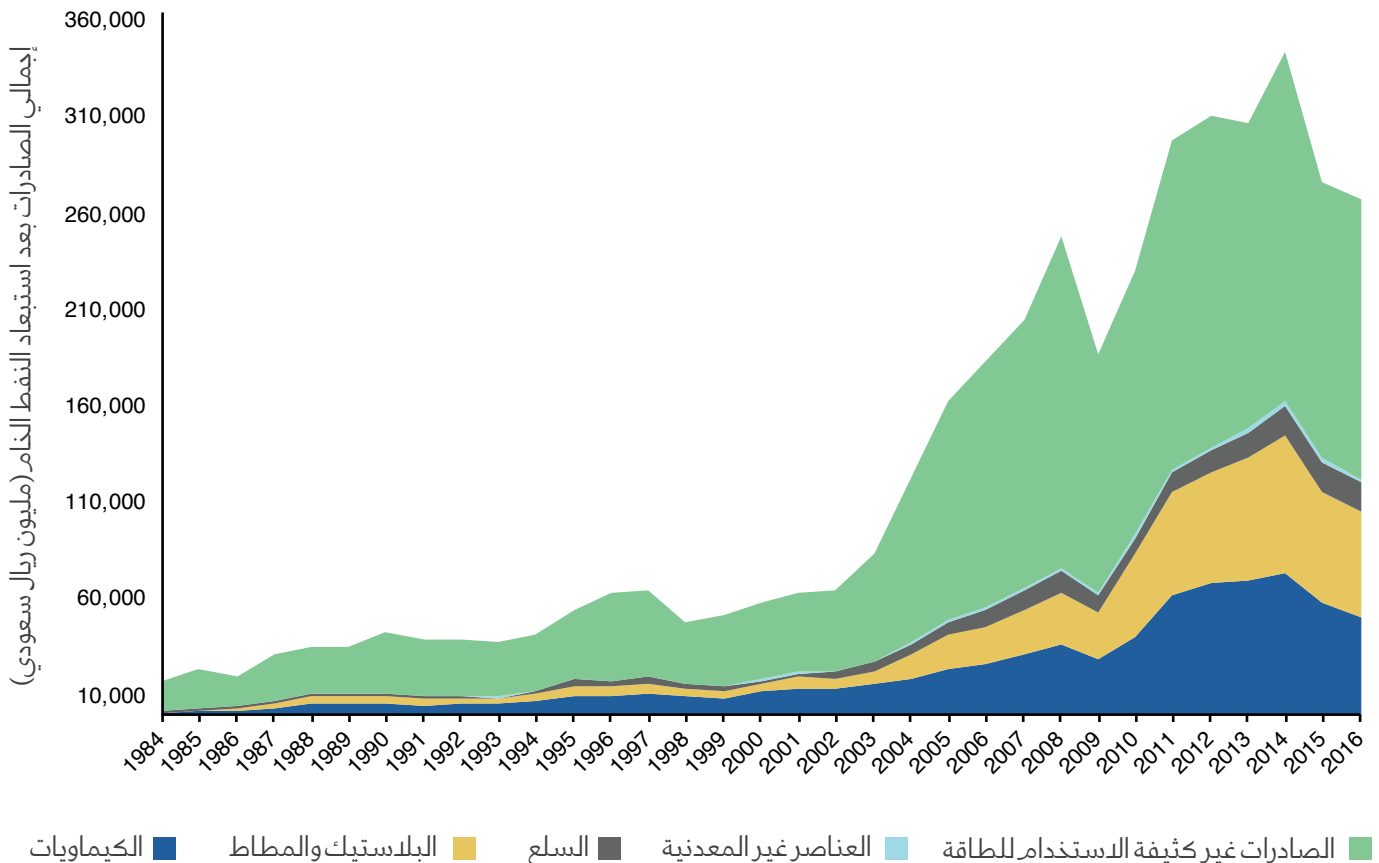
البيانات

تشمل البيانات المطلوبة لإجراء هذا التحليل استهلاك الطاقة للصناعة، والعامل الهيكلي، وأسعار الطاقة للصناعة الحقيقية، والنتائج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي الحقيقي.

شهدت المملكة العربية السعودية نموًا صناعيًا سريعًا خلال العقود القليلة الماضية، حيث أصبحت مُصدِّراً

رئيسياً للنفط والعديد من المنتجات غير النفطية. وبين عامي 1986 و2016، ارتفع إجمالي صادرات المنتجات غير النفطية من 20 مليار إلى أكثر من 260 مليار ريال سعودي، حيث سمحت وفرة النفط والغاز الطبيعي في المملكة العربية السعودية للحكومة بتوفير الطاقة للقطاع الصناعي بأسعار مُحددة منخفضة نسبياً، مما كان له تأثير في هيكل الصادرات السعودية. ويوضح الشكل 1 نمو إجمالي الصادرات بعد استبعاد النفط الخام، ويسلط الضوء

الشكل 1. الصادرات السعودية حسب نوع السلع.



في عام 1986 إلى 213.4 مليار ريال سعودي في عام 2016 (بالأسعار الثابتة، عام 2010)، وفقاً لمؤسسة النقد العربي السعودي (2018).

وفي أثناء الفترة نفسها، ارتفع إجمالي استهلاك الطاقة للصناعة من 4.4 مليون طن نفط مكافئ إلى 42.3 مليون طن نفط مكافئ، ويوضح الشكل 2 ارتفاع الناتج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي، واستهلاك الطاقة للصناعة، وإنتاجية الطاقة (النسبة بين القيمتين الأخيرتين) بين عامي 1986 و2016، مع تسليط الضوء على الوتيرة السريعة للتنمية.

لا توجد بيانات متسلسلة زمنية لاستهلاك الطاقة في القطاعات الفرعية مثل قطاع البتروكيمياويات (حتى الآن)، وينطبق الأمر نفسه على الناتج المحلي الإجمالي للقطاعات الفرعية. ومن هنا لا يمكن حالياً نمذجة الطلب على الطاقة للقطاعات الصناعية الفرعية أو تقسيمها حسب نوع الوقود، ومع ذلك فإن تقدير مرونة القطاعات الفرعية للصناعة السعودية حسب نوع الوقود سيكون على الأرجح مجالاً مهماً للبحث في المستقبل مع توفر البيانات.

ويوضح الشكل 2 أنه ربما تكون هناك مشكلة في بيانات استهلاك الطاقة في الوكالة الدولية للطاقة بين عامي 1989 و1990. ووفقاً لمذكرة البلدان (2018b) الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة حول المملكة العربية السعودية: "أصبحت البيانات الجديدة متوفرة في عام 2015، ما يسمح بتقدير استهلاك الغاز الطبيعي كلقيم في تصنيع الألمونيا والميثانول من 1990 إلى 2013، وتم تخصيص ما تبقى من استهلاك الغاز الطبيعي لقطاع الصناعة غير المخصص، ولهذا السبب حدث اضطراب في السلسلة الزمنية بين عامي 1989 و1990". واستخدام نهج نموذج التسلسل الزمني التركيبي (Structural Time Series Model) يتيح حل هذا الاضطراب في بيانات استهلاك الطاقة.

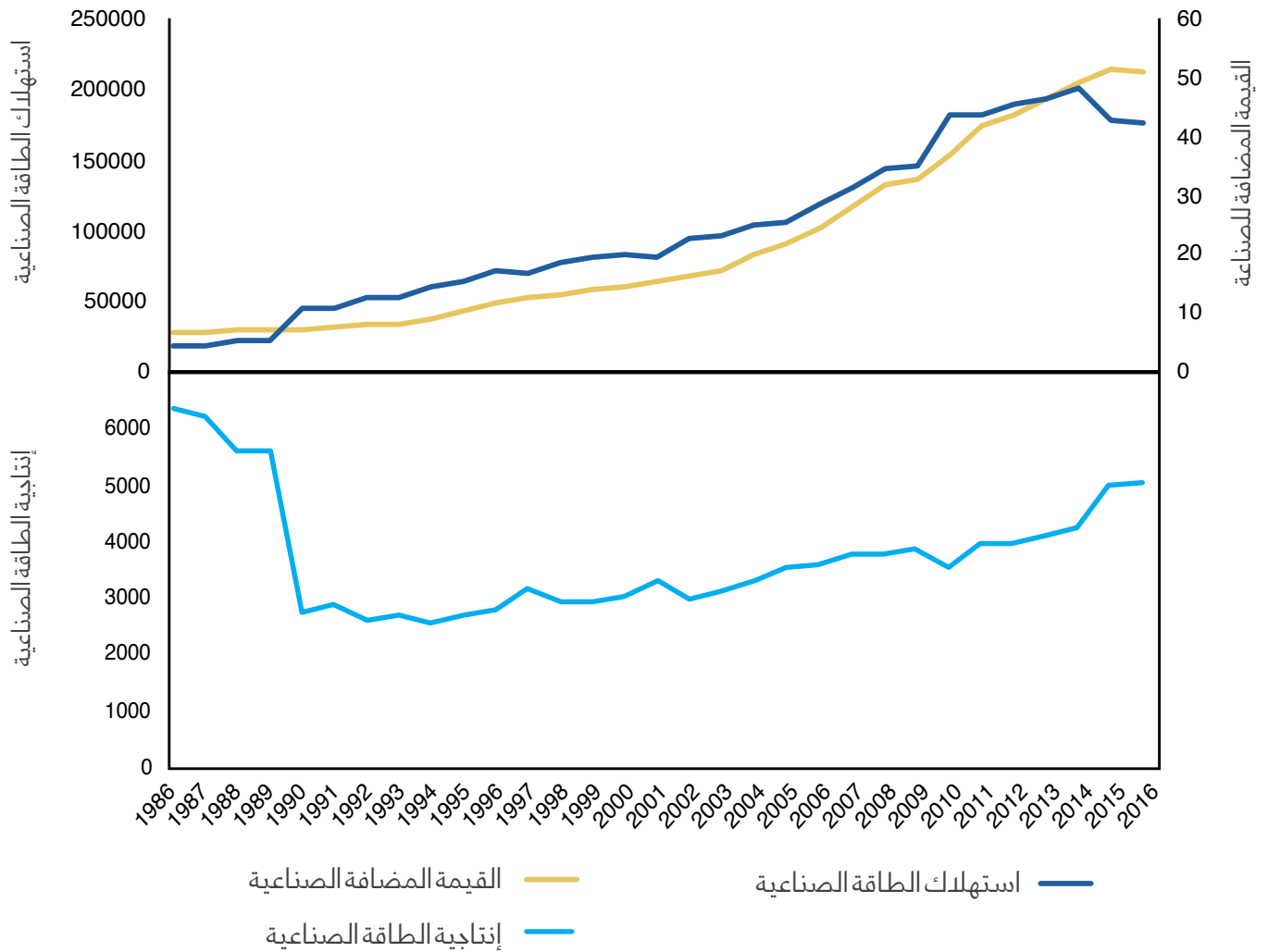
على التوسع في تصدير السلع كثيفة الاستهلاك للطاقة. و ندرج متغيراً نسميه العامل الهيكلي لتوضيح درجة التخصص في التصنيع كثيف الطاقة. تم حساب هذا العامل من خلال أخذ حصة الصادرات من المواد الكيميائية والبلاستيكية والمطاطية والفولاذية والمعدنية (لا فلزية) من إجمالي الصادرات (بعد استبعاد صادرات النفط الخام)، والتي تم الحصول عليها جميعاً من شركة CEIC (2018)

يتم تحديد أسعار الطاقة في المملكة العربية السعودية عند مستويات منخفضة، ويمكن أن تظل ثابتة لفترات طويلة، ولا يمكن أن تتغير هذه الأسعار إلا من خلال قرار من مجلس الوزراء، وغالباً ما تتغير أسعار الطاقة بشكل متزامن. وتم حساب سعر الطاقة التي تستهلكها الصناعة باستخدام المتوسط المرجح لأسعار الوقود، حيث مثلت هذه الترجيحات حصة الاستهلاك الصناعي من الوقود، كما تم بعد ذلك تخفيض المتوسط المرجح لسعر الطاقة باستخدام معامل انكماش القطاع، والذي تم الحصول عليه من الهيئة العامة للإحصاء (2018)، ليصبح سعر حقيقي.

وتشمل أنواع الوقود المستخدم في القطاع الصناعي في المملكة العربية السعودية النفط الخام والديزل وزيت الوقود الثقيل والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى الكهرباء وغيرها من المنتجات النفطية المكررة. وتم الحصول على جميع أسعار الوقود هذه من أرامكو (2018).

نحن نستخدم الناتج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي كمقياس للنشاط الاقتصادي، وعلى الرغم من أن إيرادات التصنيع والناتج المحلي الإجمالي مرتبطين ارتباطاً كبيراً، مختلفان، حيث يتم تعريف الناتج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي على أنه إجمالي الإيرادات مطروحاً منه الاستهلاك الوسيط. وتُظهر البيانات أنه خلال العقود القليلة الماضية ارتفع الناتج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي السعودي من 28.3 مليار ريال سعودي

الشكل 2. نمو استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي (بالمليون طن نفط مكافئ) والنتاج المحلي الإجمالي للقطاع (مليون ريال سعودي) وإنتاجيته من الطاقة (ريال سعودي لكل طن نفط مكافئ).



النتائج الاقتصادية القياسية

وفقًا لاستراتيجية التقدير الموضحة في قسم الطرق، قدرنا معادلة الطلب على الطاقة للفترة 2016-1986. ويوضح الجدول 1 المعاملات المقدرة، ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات حول نموذج الاقتصاد القياسي في الملحق "ب".

تدخل بيانات استهلاك الطاقة والدخل والسعر في المعادلة المقدرة في اللوغاريتمات الطبيعية، لذلك يمكن تفسير المعاملات المقدرة المرتبطة بالسعر والدخل بوصفها عوامل مرونة. وتعني مرونة الدخل بقيمة 0.60 أنه إذا زادت القيمة المضافة (أي الدخل) للتصنيع بنسبة 10٪، يزداد استهلاك الطاقة بنسبة 6.0٪، وبالمثل، تعني مرونة السعر بقيمة -0.34 أنه إذا زادت أسعار الطاقة بنسبة 10٪، ينخفض استهلاك الطاقة بنسبة 3.4٪.

يكشف النموذج المُقدَّر أن الطلب على الطاقة للصناعة يفقد مرونة الدخل إلى حد ما، مع مرونة قصيرة وطويلة الأجل بقيمة 0.60، بالإضافة إلى ذلك، تبين أن الطلب يفقد المرونة السعرية على المديين القصير والطويل.

وتُظهر المرونة السعرية قصيرة الأجل، بقيمة -0.18، استجابة القطاع لتغير أسعار الطاقة في العام نفسه. وتُظهر المرونة السعرية طويلة الأجل، بقيمة -0.34، الاستجابة الكاملة للقطاع لتغير أسعار الطاقة، وتأخذ الاستجابة الكاملة عامين. وتوضح مقارنة المرونة السعرية للصناعة طويلة الأجل بقيمة -0.34 في المملكة العربية السعودية بالمرونة السعرية للكهرباء المنزلية (-0.16 من Atalla and Hunt (2016) والمرونة السعرية للبنزين (-0.09 إلى -0.15) من Atalla et al. (2018) أن الطلب على الطاقة في القطاع الصناعي أكثر مرونة سعرية بشكل ملحوظ. بمعنى آخر: الشركات أكثر استجابة من الأسر للتغيرات السعرية.

ويكشف النموذج المقدر أيضًا أن الهيكل الاقتصادي له تأثير في الطلب على الطاقة، فوجدنا المعامل المرتبط به بقيمة 0.67 على المدى الطويل. ولا يتم تفسير هذا المعامل على أنه مرونة لأن العامل الهيكلي لا يدخل المعادلة في اللوغاريتمات، وعضوًا عن ذلك يمكن تفسير المعامل على النحو التالي: زيادة بقيمة 0.01 وحدة في العامل الهيكلي، وهو نسبة تتراوح بين 0 و1، تحقق زيادة قدرها 0.67٪ في الطلب على الطاقة للصناعة.

الجدول 1. المعاملات المقدرة حسب النموذج الاقتصادي القياسي المُفضل.

المتغير	المُعامل قصير الأجل	المُعامل طويل الأجل
الدخل	0.60	0.60
السعر	-0.18	-0.34
الهيكل	-	0.67

النتائج نمو استهلاك الطاقة للصناعة سنويًا في معظم الفترات، مع استثناءات قليلة (انظر النقاط السوداء في الشكل 4)، وتكشف نتائج التحليل التقسيمي أيضًا دوافع التغير في استهلاك الطاقة للصناعة من عام إلى آخر (انظر الأعمدة المكدسة في الشكل 4).

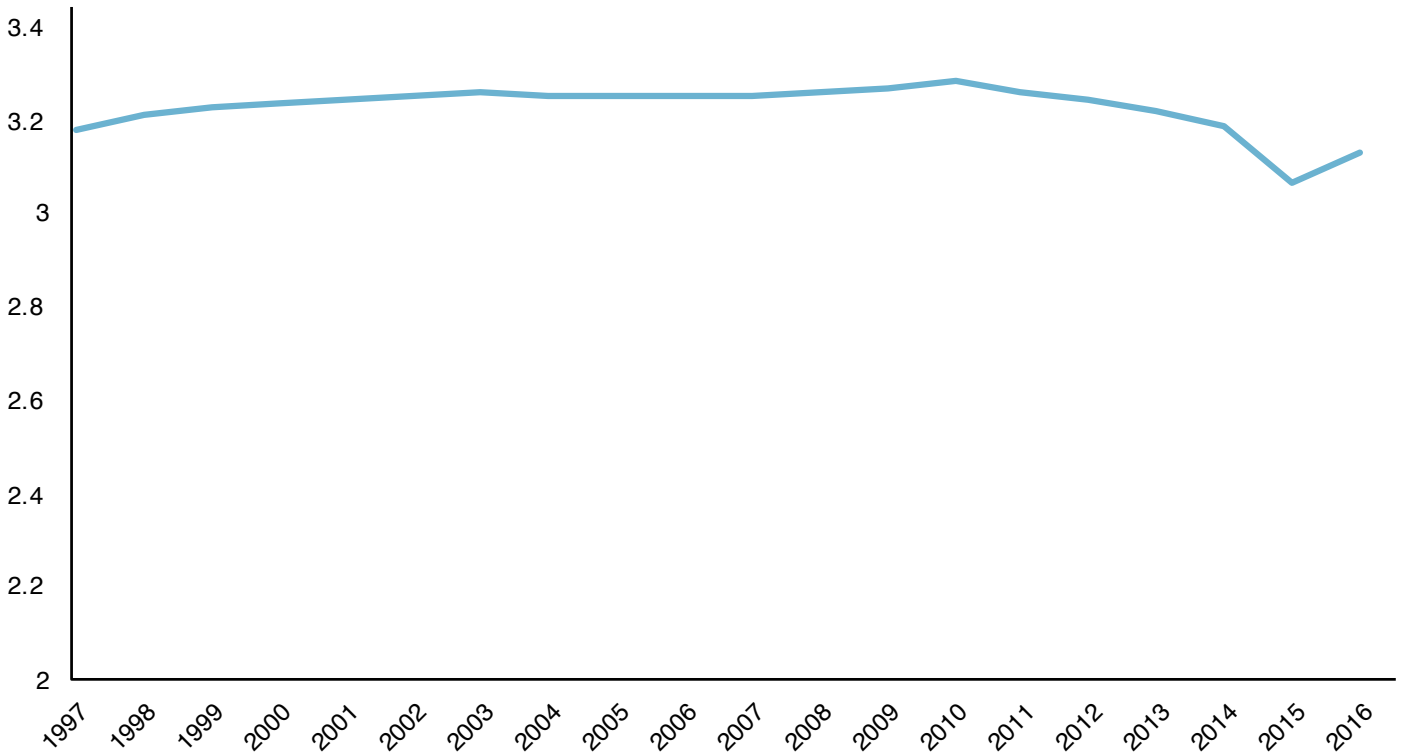
توضح النتائج أن عامل النشاط (أي النمو في الناتج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي) كان بشكل عام إيجابيًا بين عامي 1986 و2016، مما أدى إلى نمو استهلاك الطاقة، إلا في الأعوام 1986-1987 و1989-1990 و2015-2016 وهي الفترات الوحيدة التي شهدت خلالها المملكة انخفاض في الناتج المحلي الإجمالي للقطاع الصناعي. ومع ذلك يبدو أن عامل النشاط قد أدى الدور الأكبر في نمو استهلاك الطاقة للصناعة. كان عامل الهيكل الاقتصادي هو الدافع الآخر لنمو

ويبين الشكل 3 الاتجاه العام للطلب على الطاقة (underlying energy demand trend) المقدر للنموذج المفضل، ويوضح أنه حتى عام 2010 كان منحنى الاتجاه العام للطلب على الطاقة الأساسية متصاعدًا أو مستويًا، مما يشير إلى عدم وجود تحسن في كفاءة استخدام الطاقة خلال تلك الفترة. ومنذ عام 2010 فصاعدًا، أصبح الاتجاه العام للطلب على الطاقة منحنى منحدراً إلى الأسفل بمشتق سلبي، مما يشير إلى الدور المتزايد لكفاءة الطاقة في تقليل استهلاكها في المملكة.

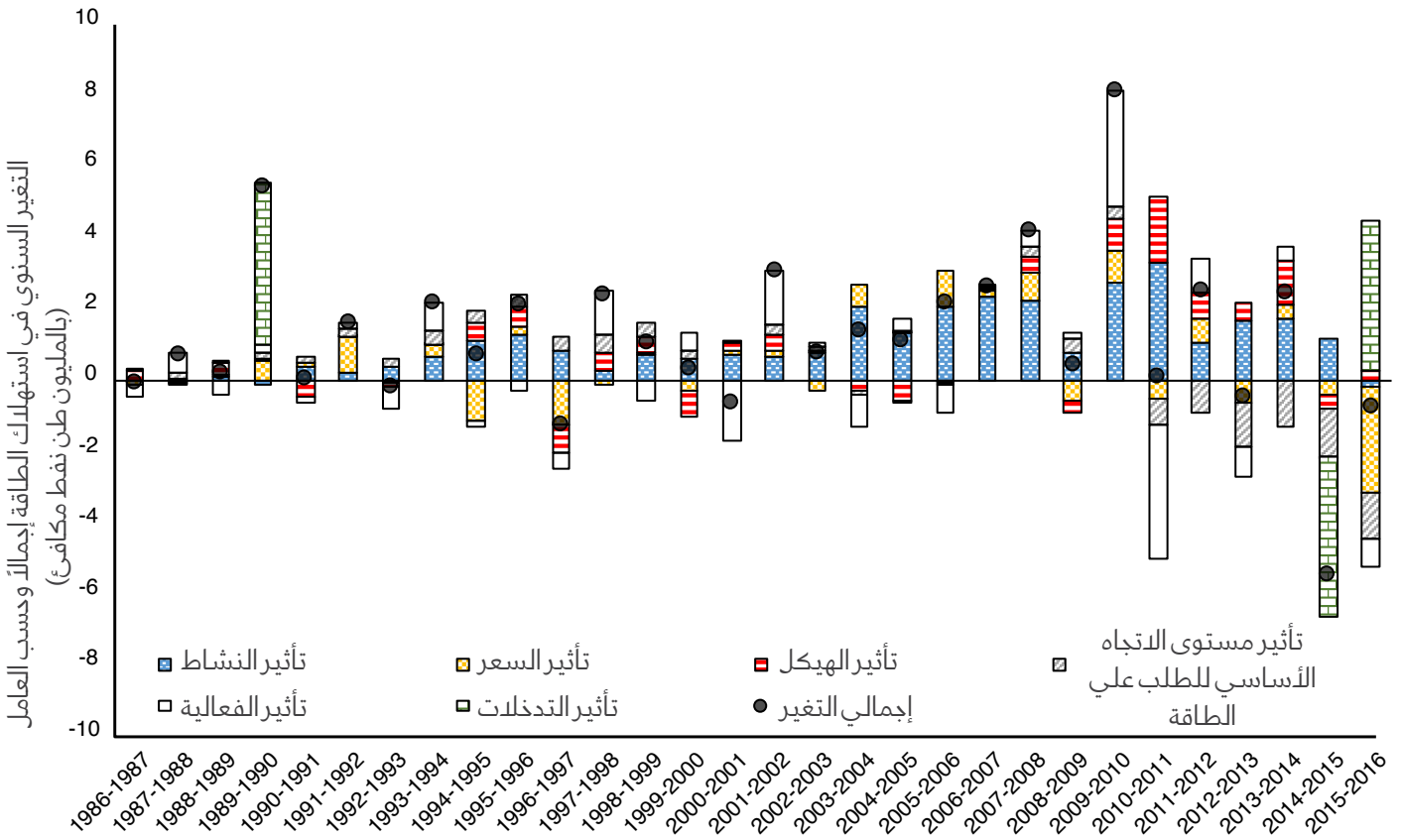
نتائج التحليل التقسيمي

تم استخدام التحليل التقسيمي لقياس مساهمات مختلف العوامل في النمو التاريخي في استهلاك الطاقة، ويبين الشكل 4 نتائج التحليل التقسيمي. وتوضح

الشكل 3. نمو الاتجاه العام للطلب على الطاقة المقدر للقطاع الصناعي (مع استبعاد التدخلات). (الاتجاه العام للطلب على الطاقة ليس له وحدة)



الشكل 4. تقسيم التغير في الاستهلاك للطاقة من سنة إلى أخرى إلى خمسة عوامل.



الطاقة في القطاع الصناعي، مما يُبرز الدور المحتمل الذي يمكن أن يؤديه إصلاح أسعار الطاقة في تخفيض نمو استهلاك الطاقة للصناعة. ويبدو أن عامل الاتجاه العام للطلب على الطاقة قد أدى دورًا محدودًا حتى عام 2010. ومع ذلك، منذ عام 2010 فصاعدًا، بدأ يبذل ضغطًا تنازليًا مستمرًا على الطلب على الطاقة للصناعة، مما يشير إلى تحسن كفاءة استخدام الطاقة في القطاع الصناعي. وأظهرت نتائج التحليل التقسيمي إلى أن تحسن كفاءة استخدام الطاقة أدى إلى انخفاض بمقدار سبعة ملايين طن نفط مكافئ في استهلاك الطاقة للصناعة بين عامي 2010 و2016. وفي هذه الفترة أبدت الحكومة السعودية اهتمامًا متزايدًا بكفاءة استخدام الطاقة، مما أدى إلى استحداث عددٍ من المبادرات في هذا المجال.

استهلاك الطاقة للصناعة، وتُظهر قيمه الإيجابية تأثير تحرك المملكة العربية السعودية نحو التصنيع الأكثر كثافة في استخدام الطاقة (على سبيل المثال صناعة البتروكيماويات) مما أدى إلى نمو الاستهلاك من سنة إلى أخرى. في المقابل أدى عامل السعر دورًا محدودًا، حيث لوحظت قيم سلبية وإيجابية صغيرة في النتائج. هذه النتائج غير مفاجئة نظرًا لثبات أسعار الطاقة إلى حد كبير، مع زيادات طفيفة متفرقة طوال فترة الدراسة (على سبيل المثال ارتفاع سعر الديزل للصناعة في عام 1995). كان لأسعار الطاقة في بعض الأحيان تأثيرًا إيجابيًا في زيادة استهلاك الطاقة، لأن أسعار الطاقة انخفضت وفقًا للقيم الحقيقية، حتى ولو بقيت ثابتة بالقيم الاسمية. ومع ذلك، أدت الإصلاحات في أسعار الطاقة بين عامي 2015 و2016 إلى انخفاض كبير بمقدار ثلاثة ملايين طن نفط مكافئ في استهلاك

الاستهلاك للطاقة، بقيمة 3.6 مليون طن نفط مكافئ في تحقيق هذا النمو. وساهم تأثير السعر أيضًا بقيمة 0.7 مليون طن نفط مكافئ في هذا النمو، على الرغم من إصلاح أسعار الطاقة في عام 2016، وذلك لسببين:

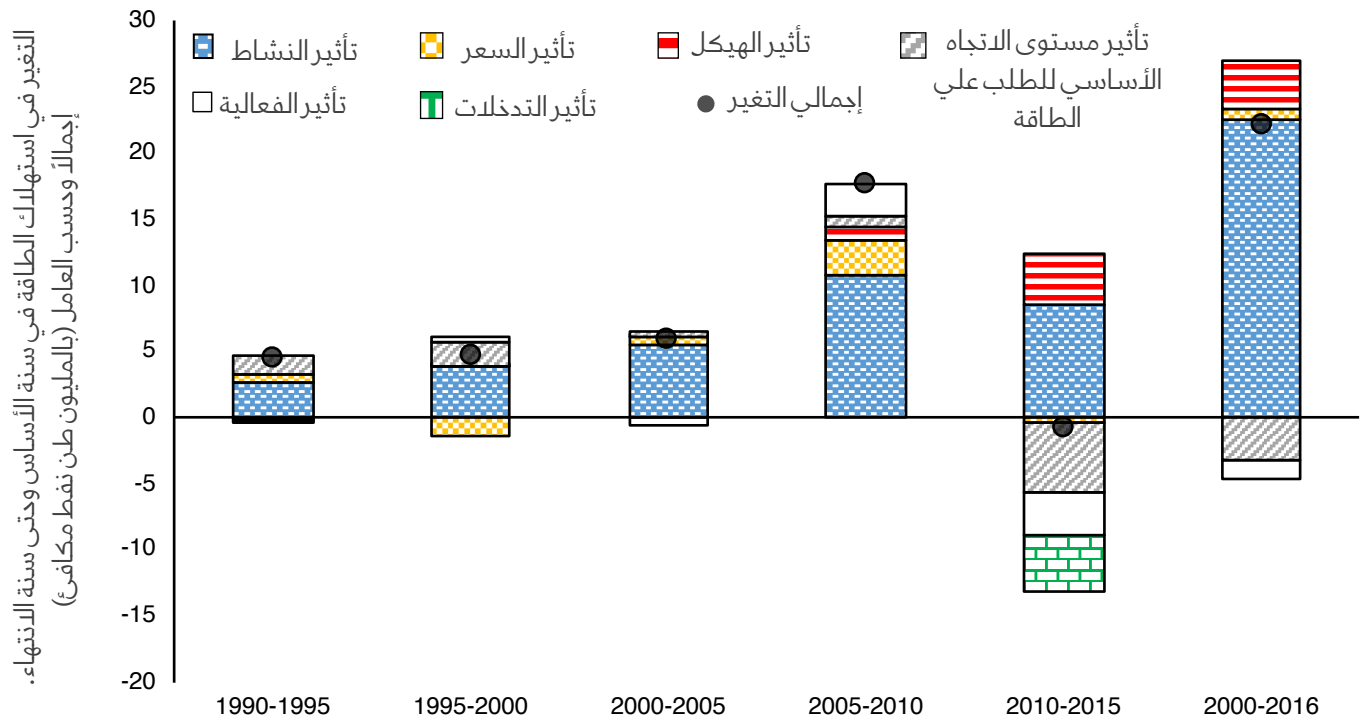
أولاً- ظلت أسعار الوقود الصناعي ثابتة إلى حد كبير منذ عام 2000، ما يعني أن أسعارها تتناقص كل عام بالقيمة الحقيقية بسبب تأثير التضخم. لذلك، حتى بعد المرحلة الأولى من إصلاح الأسعار، كان متوسط السعر الصناعي للطاقة الحقيقي في عام 2016 أعلى قليلاً فقط من عام 2000 بعدما تم تعديله لمراعاة نسبة التضخم.

ثانياً- عامل السعر يجسد كلاً من الفروق في الأسعار المعاصرة (2000-2016) والفروق في الأسعار المتأخرة (1998-2014)، وتشير البيانات إلى أن السعر المتأخر في عام 2014 كان أقل بكثير من عام 1998، مما أدى إلى نتيجة تُقدَّر بقيمة 1.3 مليون طن نفط مكافئ.

يظهر عامل التدخلات أثر التدخلات المضافة إلى نموذج الاقتصاد القياسي في نتائج التحليل التقسيمي، وتم إضافة هذه التدخلات إلى النموذج لتحسين ملاءمته، وأيضاً لتصحيح بعض الإضطرابات في البيانات، مثل الإضطراب في بيانات الوكالة الدولية للطاقة الذي حصل بين عامي 1989 و1990. وكان التدخل في عام 1990 هو التدخل الدائم الوحيد الذي أُضيف إلى النموذج، وكانت التدخلات الأربعة المتبقية عابرة، لذلك لا يظهر عامل التدخلات إلا في عدد قليل من السنوات ويمكن تجاهله.

يبين الشكل 5 نتائج التحليل التقسيمي على مدى فترات أطول، وهذه النتائج تسمح برؤية دوافع نمو الطلب على الطاقة على مدى فترات طويلة. ومع التركيز على نتائج التحليل التقسيمي للفترة 2000-2016، يمكننا ملاحظة نمو الاستهلاك للطاقة بمقدار 22.2 مليون طن نفط مكافئ، وكان عامل النشاط هو الدافع الأساسي، حيث ساهم بقيمة 22.6 مليون طن نفط مكافئ في تحقيق هذا النمو. وساهم عامل الهيكل، الذي يُظهر تحول المملكة العربية السعودية نحو التصنيع كثيف

الشكل 5. تقسيم التغير في الاستهلاك للطاقة بين سنة الانتهاء وسنة الأساس إلى خمسة عوامل.



في نهاية ديسمبر 2015، طبقت المملكة العربية السعودية المرحلة الأولى من الإصلاحات في أسعار الطاقة. ويهدف برنامج إصلاح أسعار الطاقة إلى رفع أسعار الطاقة المحلية بما يتناسب مع المعايير المرجعية الدولية، والتي لن تؤدي فقط إلى زيادة الإيرادات الحكومية، بل أيضاً ستحفز الإنتاجية وتشجع الاستثمارات، التي يمكن أن تساعد المملكة العربية السعودية في تنويع مزيج الطاقة لديها. وأظهر التحليل التقسيمي أن ارتفاع أسعار الطاقة للقطاع الصناعي في عام 2016 ساهم في تقليل استهلاكها بنسبة 6.9٪، أي ما يعادل توفير ثلاثة ملايين طن نفط مكافئ.

ونظراً لأن ارتفاع أسعار الطاقة المحلية يرفع الإيرادات الحكومية، يمكن تقديم برنامج دعم لتعزيز كفاءة الطاقة في القطاع الصناعي، بهدف تقليل الأثر السلبي لارتفاع أسعار الطاقة في قدرة القطاع على التنافس. وقد كشف التحليل التقسيمي في هذه الدراسة أن التحسينات في كفاءة استخدام الطاقة بدءاً من عام 2010 فصاعداً قد حققت وفورات طاقة تراكمية بلغت سبعة (7) ملايين طن نفط مكافئ. فإن كفاءة استخدام الطاقة تنطوي على احتمالية تخفيف النمو السريع في استهلاك الطاقة للصناعة مع دعم القدرة التنافسية للشركات الصناعية.

وخلص القول، كشفت نتائج الاقتصاد القياسي عن أثر أسعار الطاقة والدخل والهيكل الاقتصادي والكفاءة في استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي السعودي، في حين أظهرت نتائج التحليل التقسيمي دوافع النمو في استهلاك الطاقة للصناعة. كما تبرز النتائج أيضاً كيف كانت كفاءة استخدام الطاقة عاملاً رئيساً ساهم في خفض النمو السريع لاستهلاك الطاقة في القطاع الصناعي في العقد الماضي. علاوة على ذلك، ساعد ارتفاع أسعار الطاقة الذي شهده عام 2016م على تقليل الاستهلاك بدرجة ملحوظة في ذلك العام، مما يدل على أن بإمكان صناعات السياسة الاعتماد على سياسة المملكة العربية السعودية الحالية لإصلاح أسعار الطاقة وتدابير كفاءة استخدام الطاقة لخفض معدل نمو استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي وزيادة الكفاءة الاقتصادية والحفاظ على القدرة التنافسية الصناعية.

وتعد هذه الدراسة، على حد علمنا، هي الأولى لنمذجة إجمالي الطلب على الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية من الناحية الاقتصادية القياسية. وكشف النموذج المقدر عن مرونة دخل و مرونة سعر تبلغ 0.60 و-0.34 على المدى الطويل على الترتيب، وتشير مرونة الدخل إلى استمرار نمو الاستهلاك السعودي للطاقة في القطاع الصناعي خلال العقود المقبلة مع توسع النشاط الاقتصادي، مع إمكانية تخفيف هذا النمو من خلال زيادة أسعار الطاقة. وتوضح مرونة السعر أيضاً أن الشركات الصناعية أكثر استجابة للتغيرات في أسعار الطاقة مقارنة بالأسر.

كما أظهر النموذج الاقتصادي القياسي أن المملكة العربية السعودية يمكنها زيادة إنتاجيتها من الطاقة في الصناعة بشكل كبير عن طريق الابتعاد عن الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة. وتُظهر المرونة الهيكلية أن التحول بما يعادل 10 نقاط مئوية عن الصادرات كثيفة الاستهلاك للطاقة، على سبيل المثال، يمكن أن يقلل من استهلاك الطاقة للصناعة بنسبة تصل إلى 6.7٪ على المدى الطويل، ولذلك نتوقع أن تتجه المملكة العربية السعودية نحو تصنيع المنتجات عالية القيمة على مدى العقود المقبلة مما سيساعد في تخفيف النمو في الطلب على الطاقة في القطاع الصناعي (Jadwa 2017).

طبّقنا التحليل التقسيمي (decomposition analysis) على النموذج لقياس دوافع النمو في استهلاك الطاقة للصناعة في المملكة العربية السعودية، وأظهرت نتائج التحليل التقسيمي أن عامل النشاط (أي النمو في ناتج القطاع الصناعي) كان الدافع الأساسي في النمو في استهلاك الطاقة للصناعة. بالإضافة إلى ذلك، كان العامل الهيكلي (أي التحول نحو التصنيع كثيف الاستهلاك للطاقة) دافعاً في نمو استهلاك الطاقة للصناعة. في المقابل، أدى عامل الكفاءة إلى تخفيف النمو في استهلاك الطاقة للصناعة بدءاً من عام 2010 فصاعداً. وأخيراً، كشفت نتائج التحليل التقسيمي أن أسعار الطاقة للقطاع الصناعي، التي لم تتغير بشكل كبير قبل عام 2016، كان لها أثر محدود على استهلاك الطاقة.

- Adeyemi, Olutomi I. and Lester C. Hunt. 2007. "Modelling industrial energy demand: Asymmetric price responses and energy-saving technical change." *Energy Economics* 29: 673-709. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.007>
- Agnolucci, Paolo. 2009. "The energy demand in the British and German industrial sectors: Heterogeneity and common factors." *Energy Economics* 31: 175-187. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.08.005>
- Agnolucci, Paolo. 2010. "Stochastic Trends and Technical Change: The Case of Energy Consumption in the British Industrial and Domestic Sectors." *The Energy Journal* 31(4): 111-135. <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol31-no4-5>
- Agnolucci, Paolo, Vincenzo De Lipsis, and Theodoros Arvanitopoulos. 2017. "Modelling UK sub-sector industrial energy demand." *Energy Economics* 67: 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.08.027>
- Alriyadh, 2015. "Council of Ministers Raises Energy Prices" (translated from Arabic). *Alriyadh Newspaper*, Riyadh, Saudi Arabia. <http://www.alriyadh.com/1114224>
- Ang, Beng W., Fuqiang Q. Zhang, and Ki-Hong Choi. 1998. "Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition." *Energy* 23(6): 489-495. [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(98\)00016-4](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(98)00016-4)
- Ang, Beng W. and Fuqiang Q. Zhang. 2000. "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies." *Energy* 25: 1149-1176. [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(00\)00039-6](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(00)00039-6)
- Ang, Beng W. 2005. "The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide." *Energy Policy* 33: 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>
- Ang, Beng W. 2015. "LMDI decomposition approach: A guide for implementation." *Energy Policy* 86: 233-238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.007>
- Atalla, Tarek N. and Lester C. Hunt. 2016. "Modelling residential electricity demand in the GCC countries." *Energy Economics* 59: 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.07.027>
- Atalla, Tarek N., Anwar A. Gasim, and Lester C. Hunt. 2018. "Gasoline demand, pricing policy, and social welfare in Saudi Arabia: A quantitative analysis." *Energy Policy* 114: 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.047>
- Beenstock, Michael, Ephraim Goldin, and Dan Nabot. 1999. "The demand for electricity in Israel." *Energy Economics* 21: 168-183. [https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(98\)00005-x](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(98)00005-x)
- Bernstein, Ronald and Reinhard Madlener. 2015. "Short- and long-run electricity demand elasticities at the subsectoral level: A cointegration analysis for German manufacturing industries." *Energy Economics* 48: 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.019>
- Berndt, Ernst R. and David O. Wood. 1975. "Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy." *Review of Economics and Statistics* 57(3): 259-268. <https://doi.org/10.2307/1923910>
- Berndt, Ernst R. and David O. Wood. 1979. "Engineering and econometric interpretations of energy-capital complementarity." *The American Economic Review* 69(3): 342-354.
- Bose, Ranjan K. and Megha Shukla. 1999. "Elasticities of electricity demand in India." *Energy Policy* 27: 137-146. [https://doi.org/10.1016/s0301-4215\(99\)00011-7](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(99)00011-7)
- Broadstock, David C and Lester C. Hunt. 2010. "Quantifying the impact of exogenous non-economic factors on UK transport oil demand." *Energy Policy* 38: 1559-1565. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.039>
- Caloghirou, Yannis D., Alexi G. Mourelatos, and Henry Thompson. 1997. "Industrial energy substitution during the 1980s in the Greek economy." *Energy Economics* 19: 476-491. [https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(97\)01026-8](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(97)01026-8)
- CEIC Data. 2018. Global Database. <https://www.ceicdata.com/en/products/global-economic-database>
- Chang, Yoosoon and Eduardo Martinez-Chombo. 2003. "Electricity Demand Analysis Using Cointegration and Error-Correction Models with Time Varying Parameters: The Mexican Case." Working Papers 2003-08, Rice University, Houston, Texas, Department of Economics.

- Chang, Yoosoon, Chang S. Kim, J. Isaac Miller, Joon Y. Park, and Sungkeun Park. 2014. "Time-varying Long-run Income and Output Elasticities of Electricity Demand with an Application to Korea." *Energy Economics* 46: 334-347. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.10.003>
- Chishti, Salim and Fakhre Mahmood. 1991. "The Energy Demand in the Industrial Sector of Pakistan." *The Pakistan Development Review* 30(1): 83-88. <https://doi.org/10.30541/v30i1pp.83-88>
- Chitnis, Mona and Lester C. Hunt. 2011. "Modelling UK household expenditure: economic versus noneconomic drivers." *Applied Economics Letters* 18(8): 753-767. <https://doi.org/10.1080/13504851.2010.496721>
- Christopoulos, Dimitris K. 2000. "The demand for energy in Greek manufacturing." *Energy Economics* 22: 569-586. [https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(99\)00041-9](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(99)00041-9)
- Dahl, Carol and Meftun Erdogan. 2002. "Energy and interfactor substitution in Turkey." *OPEC Energy Review* 24(1): 1-22. <https://doi.org/10.1111/1468-0076.00072>
- Dilaver, Zafer and Lester C. Hunt. 2011. "Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis." *Energy Economics* 33: 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.001>
- Dimitropoulos, John, Lester C. Hunt, and Guy Judge. 2005. "Estimating underlying energy demand trends using UK annual data." *Applied Economics Letters* 12(4): 239-244. <https://doi.org/10.1080/1350485052000337789>
- El-Shazly, Alaa. 2013. "Electricity demand analysis and forecasting: A panel cointegration approach." *Energy Economics* 40: 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.07.003>
- Endsloven, Martin K., Anders V. Ryelund, and Mikael Skou Andersen. 2007. "Decoupling of industrial energy consumption and CO₂-emissions in energy-intensive industries in Scandinavia." *Energy Economics* 29(4): 665-692. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.016>
- Floros, Nikolaos and Andriana Vlachou. 2005. "Energy demand and energy-related CO₂ emissions in Greek manufacturing: Assessing the impact of a carbon tax." *Energy Economics* 27(3): 387-413. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.12.006>
- General Authority for Statistics (GaStat). 2018. Saudi Arabia.
- Greening, Lorna A., Gale Boyd, and Joseph M. Roop. 2007. "Modeling of industrial energy consumption: an introduction and context." *Energy Economics* 29: 599-608. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.02.011>
- Griffin, James M. and Paul R. Gregory. 1976. "An intercountry translog model of energy substitution responses." *The American Economic Review* 66(5): 845-867.
- Halvorsen, Robert. 1977. "Energy Substitution in U.S. Manufacturing." *The Review of Economics and Statistics* 59(4): 381-388. <https://doi.org/10.2307/1928702>
- Harvey, Andrew C., 1989. *Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107049994>
- Harvey, Andrew C. and Siem Jan Koopman. 1992. "Diagnostic checking of unobserved-components time series models." *Journal of Business & Economic Statistics* 10(4): 377-389. <https://doi.org/10.1080/07350015.1992.10509913>
- Harvey, Andrew C. and Niel Shephard. 1993. "Structural Time Series Models." In *Handbook of Statistics* 11, edited by Maddala, G.S., Rao, C.R., and Vinod, H.D. 203-261. Elsevier Science Publishers. [https://doi.org/10.1016/s0169-7161\(05\)80045-8](https://doi.org/10.1016/s0169-7161(05)80045-8)
- Heckscher, Eli. 1919. "The effect of foreign trade on the distribution of income." *Ekonomisk Tidskrift* 21: 1-32. <https://doi.org/10.2307/3437610>
- Hoekstra, Rutger and Jeroen C. J. M. van den Bergh. 2003. "Comparing structural and index decomposition analysis." *Energy Economics* 25(1): 39-64. [https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(02\)00059-2](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(02)00059-2)
- Hunt, Lester C. 1986. "Energy and capital: substitutes or complements? A note on the importance of testing for non-neutral technical progress." *Applied Economics* 18(7): 729-735. <https://doi.org/10.1080/00036848600000088>

- Hunt, Lester C. and Edward Lynk. 1992. "Industrial energy demand in the UK: a cointegration approach." In *Energy Demand: Evidence and Expectations*, 143-162. London: Academic Press.
- Hunt, Lester. C., Guy Judge, and Yasushi Ninomiya. 2003. "Underlying trends and seasonality in UK energy demand: A sectoral analysis." *Energy Economics* 25(1): 93-118. [https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(02\)00072-5](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(02)00072-5)
- International Energy Agency (IEA). 2018a. World Extended Energy Balances. International Energy Agency, Paris, France.
- International Energy Agency (IEA). 2018b. Private communication.
- Jadwa Investment, 2017. "Petrochemicals and the Vision 2030." Jadwa Investment, Saudi Arabia.
- Jones, Clifton T. 1995. "A dynamic analysis of interfuel substitution in US industrial energy demand." *Journal of Business and Economic Statistics* 13(4): 459-465. <https://doi.org/10.2307/1392391>
- Jones, Clifton T. 1996. "A pooled dynamic analysis of interfuel substitution in industrial energy demand by the G-7 countries." *Applied Economics* 28(7): 815-821. <https://doi.org/10.1080/000368496328254>
- Kamerschen, David R. and David V. Porter. 2004. "The demand for residential, industrial and total electricity." *Energy Economics* 26(1): 87-100. [https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(03\)00033-1](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(03)00033-1)
- Koopman, Siem Jan, Andrew C. Harvey, Jurgen A. Doornik, and Niel Shephard. 2007. STAMP Version 8 Econometric Software International Timberlake Consultants. London, UK.
- Medlock III, Kenneth B. and Ronaldo Soligo. 2001. "Economic Development and End-Use Energy Demand." *The Energy Journal* 22(2): 77-105. <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol22-no2-4>
- Møller, Niels F. 2017. "Energy demand, substitution and environmental taxation: An econometric analysis of eight subsectors of the Danish economy." *Energy Economics* 61: 97-109. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.10.004>
- Ohlin, Bertil. 1933. *Interregional and International Trade*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Pindyck, Robert S. 1979. "Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison." *The Review of Economics and Statistics* 61(2): 169-179. <https://doi.org/10.2307/1924584>
- Polemis, Michael L. 2007. "Modeling industrial energy demand in Greece using cointegration techniques." *Energy Policy* 35(8): 4039-4050. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.02.007>
- Saudi Arabian Monetary Agency (SAMA). 2018. Annual Statistics 2018. Saudi Arabian Monetary Authority, Riyadh, Saudi Arabia.
- Saudi Aramco. 2018. Private Communication.
- Truong, Truong P. 1985. "Inter-Fuel and Inter-Factor Substitution in NSW Manufacturing Industry." *Economic Record* 61(3): 644-653. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1985.tb02019.x>
- Turnovsky, Michelle, Michael Folie, and Alistair Ulph. 1982. "Factor Substitutability in Australian Manufacturing with Emphasis on Energy Inputs." *Economic Record* 58(1): 61-72. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1982.tb00349.x>
- Woodland, Alan D. 1991. "A Micro-Econometric Analysis of the Industrial Demand for Energy in NSW." *The Energy Journal* 14(2): 57-89. <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol14-no2-4>

أ.1 النمذجة الاقتصادية القياسية للطلب على الطاقة للصناعة:

قمنا بتوصيف علاقة رياضية بين متغير استهلاك الطاقة للصناعة والمتغيرات الأخرى على النحو التالي:

$$e_t = \alpha_1 e_{t-1} + \alpha_2 e_{t-2} + \beta_0 gva_t + \beta_1 gva_{t-1} + \beta_2 gva_{t-2} + \gamma_0 p_t + \gamma_1 p_{t-1} + \gamma_2 p_{t-2} + \delta_0 SF_t + \delta_1 SF_{t-1} + \delta_2 SF_{t-2} + UEDT_t + \varepsilon_t \quad (1أ)$$

المتغيرات e_t و gva_t و p_t هي اللوغاريتمات الطبيعية لكل من E_t و GVA_t و P_t في عام t على الترتيب، و ε_t عبارة عن خطأ عشوائي. وتم استخدام فاصل زمني مدته سنتان، وهي فترة معقولة بالنظر إلى أن الأفق الزمني للدراسة 30 عامًا، لتسجيل أي آثار ديناميكية محتملة. وتمثل المعاملات β_0 و γ_0 مرونة الدخل والسعر على المدى القصير، على الترتيب. ويوضح المعامل δ_0 تأثير الهيكل الاقتصادي في الطلب على الطاقة على المدى القصير، ولا يمثل هذا العامل مرونة لأن العامل الهيكلي هو المتغير الوحيد الذي لا يدخل المعادلة باللوغاريتمات. ويتم التعريف عن معاملات الدخل والسعر والهيكل على

$$\text{المدى الطويل من خلال } B = \frac{\beta_0 + \beta_1 + \beta_2}{1 - \alpha_1 - \alpha_2} \text{ و } \Gamma = \frac{\gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2}{1 - \alpha_1 - \alpha_2} \text{ و } \Delta = \frac{\delta_0 + \delta_1 + \delta_2}{1 - \alpha_1 - \alpha_2} \text{ على الترتيب.}$$

الاتجاه العام للطلب على الطاقة هو اتجاه عشوائي يتم تقديره من خلال نموذج التسلسل الزمني التركيبي على النحو التالي:

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \rho_{t-1} + \eta_t ; \quad \eta_t \sim NID(0, \sigma_\eta^2) \quad (2أ)$$

$$\rho_t = \rho_{t-1} + \xi_t ; \quad \xi_t \sim NID(0, \sigma_\xi^2) \quad (3أ)$$

المعاملات μ_t و ρ_t هي مستوى ومنحدر الاتجاه العام للطلب على الطاقة، على التوالي، و تحدد معًا شكل الاتجاه العام للطلب على الطاقة (Harvey and Shephard 1993). المعاملات η_t و ξ_t هي اضطرابات غير مرتبطة ببعضها، وتكون متوسطاتها صفر و تبايناتها σ_η^2 و σ_ξ^2 على الترتيب.

يتم تقييم المعادلات (1أ) و (2أ) و (3أ) من خلال تطبيق أقصى الاحتمالات (maximum likelihood) ومرشح كالمان (kalman filter) باستخدام الحزمة البرمجية (STAMP 8.30 (Koopman et al. 2007)). وعند الضرورة، يتم إضافة التدخلات إلى النموذج لتحسين الملاءمة والمساعدة في ضمان اجتيازها لمجموعة من الاختبارات التشخيصية. علاوة على ذلك، توفر التدخلات معلومات حول الاضطرابات المهمة والتغيرات الهيكلية في البيانات خلال فترة التقدير (Harvey and Koopman 1992). لذلك تتضمن استراتيجية التقييم تقديرًا مبدئيًا للنموذج العام، الذي تقدمه المعادلات (1أ) و (2أ) و (3أ)، ثم التخلص من المتغيرات غير المهمة وإضافة التدخلات مع ضمان اجتياز النموذج لمجموعة من الاختبارات التشخيصية حتى يتم الحصول على أفضل نموذج.

يمكن أن تغير التدخلات شكل الاتجاه العام للطلب على الطاقة، وفي وجودها، يتم التعبير عن الاتجاه العام للطلب على الطاقة بالمعادلة التالية وفقاً لـ Dilaver and Hunt 2011:

$$(4أ) \quad \mu_t = UEDT_t + \text{التدخلات غير المنتظمة} + \text{تدخلات المستوى} + \text{التدخلات المنحدر}$$

كما لاحظ (Hunt et al. (2003)، الاتجاه العام للطلب على الطاقة هو اتجاه عشوائي غير خطي يوضح العوامل الخارجية التي تؤثر في الطلب على الطاقة، مثل كفاءة الطاقة والتغيرات في أذواق المستهلك وتفضيلاته، والتي غالباً ما تتغير بطرق غير خطية على مدار الوقت.

أ.2 تطبيق التقسيم التحليلي على النموذج الاقتصادي القياسي

تتطلب الخطوة الأولى في النهج الذي نتبعه تحويل النسخة المقطرة من المعادلة (1أ)، وهي دالة الطلب على الطاقة، إلى صيغة مضاعفة من خلال استخدام الدالة الأسية:

$$(5أ) \quad E_t = E_{t-1}^{\hat{\alpha}_1} E_{t-2}^{\hat{\alpha}_2} GVA_t^{\hat{\beta}_0} GVA_{t-1}^{\hat{\beta}_1} GVA_{t-2}^{\hat{\beta}_2} P_t^{\hat{\gamma}_0} P_{t-1}^{\hat{\gamma}_1} P_{t-2}^{\hat{\gamma}_2} \\ * \exp(\hat{\delta}_0 SF_t) \exp(\hat{\delta}_1 SF_{t-1}) \exp(\hat{\delta}_2 SF_{t-2}) \exp(\widehat{UEDT}_t) \exp(\hat{\varepsilon}_t)$$

فبالتالي يصبح الطلب على الطاقة في سنة الأساس المشار إليه من خلال الرمز "r" بهذه التوصيفة:

$$(6أ) \quad E_r = E_{r-1}^{\hat{\alpha}_1} E_{r-2}^{\hat{\alpha}_2} GVA_r^{\hat{\beta}_0} GVA_{r-1}^{\hat{\beta}_1} GVA_{r-2}^{\hat{\beta}_2} P_r^{\hat{\gamma}_0} P_{r-1}^{\hat{\gamma}_1} P_{r-2}^{\hat{\gamma}_2} \\ * \exp(\hat{\delta}_0 SF_r) \exp(\hat{\delta}_1 SF_{r-1}) \exp(\hat{\delta}_2 SF_{r-2}) \exp(\widehat{UEDT}_r) \exp(\hat{\varepsilon}_r)$$

الهدف من التحليل التقسيمي المضاف هو تقسيم التغير في استهلاك الطاقة بين سنة الانتهاء t وسنة الأساس r إلى مكونات إضافية، نسميها العوامل. وبالنظر إلى أن معادلة الطلب المقدر على الطاقة في صيغتها العامة هي حاصل ضرب 13 عاملاً، فإستخدام المتوسط اللوغاريتمي للتقسيم (logarithmic mean divisia index (LMDI)) سيولد 13 عاملاً على النحو التالي:

$$(7أ) \quad E_t - E_r = \Delta E_{E_{t-1}} + \Delta E_{E_{t-2}} + \Delta E_{GVA_t} + \Delta E_{GVA_{t-1}} + \Delta E_{GVA_{t-2}} + \Delta E_{P_t} + \Delta E_{P_{t-1}} + \Delta E_{P_{t-2}} \\ + \Delta E_{SF_t} + \Delta E_{SF_{t-1}} + \Delta E_{SF_{t-2}} + \Delta E_{UEDT} + \Delta E_{\varepsilon}$$

حيث:

$$\Delta E_{E_{t-1}} = w_i \ln \left(\frac{E_{t-1} \widehat{\alpha}_1}{E_{r-1} \widehat{\alpha}_1} \right) \quad (8أ)$$

$$\Delta E_{E_{t-2}} = w_i \ln \left(\frac{E_{t-2} \widehat{\alpha}_2}{E_{r-2} \widehat{\alpha}_2} \right) \quad (9أ)$$

$$\Delta E_{GVA_t} = w_i \ln \left(\frac{GVA_t \widehat{\beta}_0}{GVA_r \widehat{\beta}_0} \right) \quad (10أ)$$

$$\Delta E_{GVA_{t-1}} = w_i \ln \left(\frac{GVA_{t-1} \widehat{\beta}_1}{GVA_{r-1} \widehat{\beta}_1} \right) \quad (11أ)$$

$$\Delta E_{GVA_{t-2}} = w_i \ln \left(\frac{GVA_{t-2} \widehat{\beta}_2}{GVA_{r-2} \widehat{\beta}_2} \right) \quad (12أ)$$

$$\Delta E_{P_t} = w_i \ln \left(\frac{P_t \widehat{\gamma}_0}{P_r \widehat{\gamma}_0} \right) \quad (13أ)$$

$$\Delta E_{P_{t-1}} = w_i \ln \left(\frac{P_{t-1} \widehat{\gamma}_1}{P_{r-1} \widehat{\gamma}_1} \right) \quad (14أ)$$

$$\Delta E_{P_{t-2}} = w_i \ln \left(\frac{P_{t-2} \widehat{\gamma}_2}{P_{r-2} \widehat{\gamma}_2} \right) \quad (15أ)$$

$$\Delta E_{SF_t} = w_i \ln \left(\frac{\exp(\widehat{\delta}_0 SF_t)}{\exp(\widehat{\delta}_0 SF_r)} \right) \quad (16أ)$$

$$\Delta E_{SF_{t-1}} = w_i \ln \left(\frac{\exp(\widehat{\delta}_1 SF_{t-1})}{\exp(\widehat{\delta}_1 SF_{r-1})} \right) \quad (17أ)$$

$$\Delta E_{SF_{t-2}} = w_i \ln \left(\frac{\exp(\widehat{\delta}_2 SF_{t-2})}{\exp(\widehat{\delta}_2 SF_{r-2})} \right) \quad (18أ)$$

$$\Delta E_{UEDT} = w_i \ln \left(\frac{\exp(\widehat{UEDT}_t)}{\exp(\widehat{UEDT}_r)} \right) \quad (19أ)$$

$$\Delta E_\varepsilon = w_i \ln \left(\frac{\exp(\widehat{\varepsilon}_t)}{\exp(\widehat{\varepsilon}_r)} \right) \quad (20أ)$$

$$w_i = \frac{E_t - E_r}{e_t - e_r} \quad (21أ)$$

من هنا يصبح كل متغير على الجهة اليمنى في المعادلة (1أ) عاملاً أو دافعاً للتغيير في استهلاك الطاقة بين السنة t والسنة $t-1$. ومن خلال الجمع بين المصطلحات المتشابهة، يمكن تخفيض العوامل الثلاثة عشر إلى ستة: عامل تأثيرات المتغيرات المتأخرة ΔE_{lag} ، عامل النشاط ΔE_{act} ، عامل السعر ΔE_{pri} ، عامل الهيكل الاقتصادي ΔE_{str} ، عامل الاتجاه العام للطلب على الطاقة UEDT، وعامل حد الخطأ ΔE_{err} . وفيما يلي تعريفاً لهذه المصطلحات:

$$\Delta E_{lag} = \Delta E_{E_{t-1}} + \Delta E_{E_{t-2}} \quad (22أ)$$

$$\Delta E_{act} = \Delta E_{GVA_t} + \Delta E_{GVA_{t-1}} + \Delta E_{GVA_{t-2}} \quad (23أ)$$

$$\Delta E_{pri} = \Delta E_{P_t} + \Delta E_{P_{t-1}} + \Delta E_{P_{t-2}} \quad (24أ)$$

$$\Delta E_{str} = \Delta E_{SF_t} + \Delta E_{SF_{t-1}} + \Delta E_{SF_{t-2}} \quad (25أ)$$

$$\Delta E_{eff} = \Delta E_{UEDT} \quad (26أ)$$

$$\Delta E_{err} = \Delta E_{\varepsilon} \quad (27أ)$$

الملحق ب: النموذج الاقتصادي القياسي المقدر

وفقًا لاستراتيجية التقدير الموضحة في قسم "الطرق"، تم الحصول على المعادلة المقدرة للطلب على الطاقة عن الفترة من 1986 إلى 2016، وهي موضحة في الجدول ب1، إلى جانب التدخلات اللازمة لضمان اجتيازها لجميع الاختبارات. ويعرض الجدول ب1 أيضًا نتائج الإحصاءات واختبارات التشخيص.

الجدول ب1. نموذج الاقتصاد القياسي المفضل للطلب على الطاقة في القطاع الصناعي.

Estimated Coefficients	
α_1	N/A
α_2	N/A
β_0	0.60022***
β_1	N/A
β_2	N/A
γ_0	-0.18325*
γ_1	N/A
γ_2	-0.15669**
δ_0	N/A
δ_1	0.67164**
δ_2	N/A
Estimated Long-Run Coefficients	
Income (Elasticity)	0.60
Price (Elasticity)	-0.34
Structure	0.67
Hyper-Parameters	
Level	0.000352050
Slope	6.97848e-005
Irregular	0.00137767
Interventions	LVL1990*** IRR2015*
Goodness of Fit	
<i>p.e.v.</i>	0.0023648
<i>AIC</i>	-5.4664
R^2	0.99639
R^2_d	0.90482

الملحق ب: النموذج الاقتصادي القياسي المُقدر

وتشمل هذه النتائج تباين خطأ التنبؤ (prediction error variance)، ومعيار أكايكي للمعلومات (Akaike information criterion)، و R^2 (معامل التحديد)، و R_d^2 (معامل التحديد على أساس الاختلافات). وتستند جميع اختبارات التوزيع الطبيعي إلى اختبار بومان-شينتون الموزع تقريباً بوصفه X^2_2 ، في حين أن $H(h)$ هو اختبار اختلاف التباين، الموزع تقريباً بوصفه $F_{(h,h)}$. ويعرض الجدول ب1 إحصائية ديرين واتسون (DW)، ومعاملات الارتباط السلسلي الذاتي (serial correlation) $r(q)$ عند التأخير q ، و هي موزعة تقريباً عند $N(0, 1/T)$ ، و $Q_{(p,d)}$ وهو إحصاء بوكس-ليانج استناداً إلى الارتباطات السلسلية الذاتية للمتبقيات p ويوزع تقريباً بوصفه χ^2_d . وأخيراً اختبار التنبؤ بالفشل χ^2_f للأعوام السبعة الأخيرة من فترة التقييم موزعة تقريباً بوصفها χ^2_8 . ويوضح الجدول ب1 أن النموذج المفضل اجتاز كل هذه الاختبارات التشخيصية.

Residual Diagnostics

Std Error	0.0023648
Normality	1.0847
$H(h)$	$H(6) = 2.1168$
$r(1)$	-0.063756
$r(2)$	-0.010035
$r(3)$	-0.22444
DW	1.9385
$Q(p, d)$	$\chi^2_{5,3} = 2.0977$
$r(q)$	$r(5) = 0.12556$
Auxiliary residuals:	
Normality – Irregular	0.62668
Normality – Level	2.6622
Normality – Slope	1.1162
Prediction failure	$\chi^2_7 = 9.9265$

ملاحظة: توضع *, **, و*** الأهمية الإحصائية عند مستوى 10% و5% و1%، على الترتيب

نبذة عن المؤلفين

شاهد العرينان

عملت سابقاً في مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) بمسمى محلل بحوث أول ضمن فريق أنظمة الطاقة والاقتصاد الكلي. وركزت في أبحاثها على نمذجة الطلب على الطاقة باستخدام نماذج الاقتصاد القياسية



أنور قاسم

زميل باحث متخصص في الطلب على الطاقة وكفاءة استخدامها. وهو حاصل على شهادة الماجستير في الهندسة الكهربائية من جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية بالمملكة العربية السعودية.



ليستر هنت

أستاذ ورئيس قسم الاقتصاد والمالية بجامعة بورتسموث في المملكة المتحدة. عمل سابقاً زميل باحث أول ومديراً لأحد برامج كابسارك. ويعمل حالياً باحثاً زائراً.



عن المشروع

يعتبر جزءاً من مشروع بعنوان " نمذجة الطلب النهائي على الطاقة باستخدام نموذج السلاسل الزمنية الهيكلية". ويبحث في كيفية تأثير عدة عوامل مثل النمو الاقتصادي والدخل وأسعار الطاقة والهيكل الاقتصادي وكفاءة استخدام الطاقة على طلبها على المستوى القومي والقطاعي والأسري. كما يقيس أثر سياسات الطاقة المختلفة، مثل إصلاح أسعار الطاقة، على الطلب على الطاقة والعائدات الحكومية ورفاهية المجتمع في المملكة العربية السعودية.



www.kapsarc.org