

توقع الطلب القطاعي السعودي على الكهرباء في عام 2030 باستخدام نموذج التوازن العام القابل للحساب

صلاح الدين سومان، فريديريك غيرسي

عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) مركز عالمي غير ربحي يجري بحوثاً 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 2021 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبته 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 كنصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدي الدراسة. ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.

يشهد الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية تغيرات غير مسبوقه بعد تنفيذ تدابير الكفاءة وإصلاحات أسعار الطاقة. فهو يشهد ركودًا لأول مرة منذ عقود، مما يشير إلى أن سلوك المستهلك قد تغير بشكل هيكلي. تثير هذه التغييرات شكوكًا حول المسار المحتمل للطلب على الكهرباء على المدى البعيد. وبالتالي، تستخدم هذه الدراسة نموذج توازن عام قابل للحساب لتوقع الطلب القطاعي على الكهرباء في المملكة العربية السعودية حتى عام 2030. ونتوقع أن النمو في إجمالي الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية سيتباطأ بشكل كبير خلال العقد القادم مقارنة بالاتجاهات السابقة. في السيناريو المرجعي الخاص بنا، يصل هذا الطلب إلى 365.4 تيراواط في الساعة (TWh) بحلول عام 2030. ومع ذلك، يُظهر تحليلنا القطاعي تباينات كبيرة عبر القطاعات. ومن المتوقع أن ينمو الطلب بسرعة أكبر في قطاعي الصناعة والخدمات مقارنة بالقطاع السكني. ومع ذلك، سيظل القطاع السكني يمثل الحصة الأكبر من إجمالي الاستهلاك في عام 2030. كما أننا نحكي أربعة سيناريوهات إضافية لإصلاحات أسعار الكهرباء المحلية وسياسات الكفاءة. قد يؤدي تنفيذ هذه الإجراءات بنجاح إلى توفير كبير في الطاقة. يمكن أن تؤدي مواءمة أسعار الكهرباء السعودية مع متوسط سعر الكهرباء بين دول مجموعة العشرين إلى خفض إجمالي الطلب على الكهرباء بما يصل إلى 71.6 تيراواط في الساعة في عام 2030. ويمكن أن يؤدي التنفيذ المستقل لسياسات الكفاءة إلى خفض إجمالي الطلب على الكهرباء بما يصل إلى 118.7 تيراواط في الساعة. بالإضافة إلى ذلك، تقترح سيناريوهات السياسة البديلة أن مكاسب الاقتصاد الكلي من توفير الطاقة يمكن أن تخفف بعض عبء نظام الطاقة السعودي على المالية العامة.

نستخدم نموذج توازن عام قابل للحساب لتوقع الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية حتى عام 2030.

من المتوقع أن ينمو الطلب على الكهرباء في السعودية بشكل أبطأ خلال العقد القادم بالنسبة لاتجاهه السابق.

يمكن أن يؤدي توقيت المشاريع الكبيرة التي تم الإعلان عنها مؤخرًا وحجمها إلى زيادة توقعات الطلب لدينا، ويمكن تحليل هذه التأثيرات في الأبحاث المستقبلية.

نحكي مختلف السيناريوهات الافتراضية لإصلاحات الأسعار ومكاسب الكفاءة في استخدامات كثافة الكهرباء.

يمكن أن تؤدي إصلاحات الأسعار وتدابير الكفاءة إلى خفض إجمالي الطلب بنسبة 11% إلى 32% في عام 2030، مع تحقيق وفورات أعلى نتيجة لتدابير كفاءة الطاقة.

مكاسب الاقتصاد الكلي من سيناريوهات كفاءة الطاقة أكبر من مكاسب سيناريوهات إصلاح الأسعار.

1. المقدمة

بدأت المملكة في دعم العديد من مبادرات الكفاءة لترشيد استهلاك الطاقة مع إنشاء المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC 2018). بالإضافة إلى ذلك، نفذت الحكومة السعودية الجولة الأولى من إصلاحات أسعار الطاقة الوطنية (EPR) في عام 2016، مع جولة ثانية في عام 2018.

يعد حجم إصلاحات أسعار الطاقة وإجراءات الكفاءة التي تم تنفيذها مؤخرًا غير مسبوق في المملكة العربية السعودية. وبالتالي، لا يمكن تقييم التأثيرات المحتملة لهذه السياسات على الطلب المستقبلي بناءً على التجارب السابقة. بدلاً من ذلك، من الضروري تعزيز الجوانب المنهجية لتوقعات الطلب على الطاقة. يمكننا أن نتوقع بشكل أفضل مسارات الطلب على الكهرباء باستخدام أدوات تحليلية متقدمة لرصد تحولات السوق والتعديلات السلوكية والاعتماد المتبادل عبر الوكلاء الاقتصاديين. وذلك بناءً على عمل Soummane وآخرون (2022). حيث قاموا بتطوير نموذج توازن عام هجين قابل للحساب للاقتصاد والطاقة (CGE) يراعي صفات محددة للاقتصاد السعودي. تتضمن هذه الصفات أسعار الطاقة المحلية المُدارة وربط العملة بالدولار الأمريكي.

ويتم تنظيم ما تبقى من هذه الدراسة على النحو التالي. في القسم 2، نستعرض الدراسات السابقة المتعلقة بالطلب السعودي على الكهرباء وتطبيقات نماذج التوازن العام في الدراسات المتعلقة بالطاقة. في القسم 3، نصف منهجية توقعاتنا ونعرض المكونات القطاعية للطلب السعودي على الكهرباء. يلخص القسم 4 السيناريوهات والافتراضات الأساسية لتوقعات الطلب. ويعرض القسم 5 النتائج الرئيسية لتحليلنا حتى عام 2030، ويختتم القسم 6 الدراسة.

يعد توقع الطلب المستقبلي على الكهرباء أمرًا أساسيًا لتخطيط قطاع الطاقة، حيث إن هذه التوقعات تحدد متطلبات الاستثمار في السعة وتوسعات البنية التحتية ذات الصلة. كما أن الكهرباء غير قابلة للتخزين للاقتصادي بكميات كبيرة في الوقت الحالي. وبالتالي، يجب مراعاة المحفزات الأساسية للطلب على الكهرباء والتحولت المحتملة في السوق بعناية لتقليل تكاليف نظام الطاقة.¹

نما الطلب على الكهرباء بسرعة في المملكة العربية السعودية منذ تطور قطاع الكهرباء في أوائل السبعينيات. كان هذا النمو مدفوعاً بالزيادة السريعة في عدد السكان، والنمو الاقتصادي الديناميكي، وانخفاض أسعار الطاقة المنظمة. بلغ إجمالي الطلب السعودي في عام 2018 على الكهرباء 299.2 تيراواط في الساعة.² وتأتي المملكة العربية السعودية في المرتبة 14 بين الدول الأكثر استهلاكاً للكهرباء في العالم. حيث يتشابه استهلاكها مع استهلاك الدول الأكثر كثافة سكانية (على سبيل المثال، المكسيك، التي بلغ عدد سكانها 127.5 مليون في عام 2019، مقارنة بـ 34.2 مليون في المملكة العربية السعودية). كما أنه يتساوى مع الاقتصادات الأكثر تقدماً (على سبيل المثال، إيطاليا، التي بلغ ناتجها المحلي الإجمالي 2151.4 مليار دولار لعام 2019، مقابل 704 مليار دولار للمملكة العربية السعودية)، وفقاً للبنك الدولي.

عالجت الحكومة السعودية الاستهلاك المتزايد للوقود في السنوات الأخيرة في قطاع الطاقة من خلال التوسع في استخدام محطات الغاز ذات الكفاءة. أدت هذه الخطوة إلى تقليل اعتماد الدولة على النفط والمنتجات المكررة لتوليد الكهرباء. كما أن صناعات السياسة في السعودية فرضوا بعض الإجراءات المتعلقة بجانب الطلب. في عام 2010،

2. نظرة على الدراسات السابقة

1.2. دراسات عن الطلب السعودي على الكهرباء

على حد علمنا، (2019) Hasanov هي الدراسة الوحيدة المنشورة التي تقدم توقعات جزئية للطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية. على عكس دراستنا، يركز (2019) Hasanov على الطلب الصناعي ويستخدم أفقًا زمنيًا لعام 2025. ينمذج المؤلف الطلب السنوي على الكهرباء الصناعية من عام 1984 إلى عام 2016. ويستخدم السعر الحقيقي للكهرباء والقيمة الصناعية المضافة والسكان في سن العمل وتكلفة رأس المال كمتغيرات توضيحية. يوضح النموذج أن الطلب على الكهرباء الصناعية غير مرن نسبيًا من حيث السعر والدخل، مع مرونة طويلة المدى تبلغ -0.1 وضمن 0.2-0.3 على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، تُظهر التقديرات أن ديناميكيات السكان النشطين وتكلفة رأس المال من المحركات الرئيسية للطلب الصناعي على الكهرباء.

بالإضافة إلى ذلك، تهدف العديد من الدراسات الاقتصادية القياسية السابقة إلى تحديد محركات الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية، مع التركيز على استجابتها للأسعار والدخل. وقدّر كل من (1990) Al-Sahlawi و (1998) Diabi إجمالي الطلب السعودي على الكهرباء كدالة على الدخل (يشير إليه الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي) وأسعار الكهرباء الحقيقية. وتستنجد الدراسات أن الطلب على الكهرباء السعودية غير مرن من حيث الدخل والسعر. وبالمثل، فإن (2002) Al-Faris يقوم بنمذجة إجمالي الطلب السعودي على الكهرباء من عام 1970 إلى 1997³ كدالة للدخل (يشير إليه الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي) وأسعار الكهرباء الحقيقية. كما يدرج سعر غاز البترول المسال، وهو وقود بديل، لرصد آثار التبديل. وجد أن الطلب على الكهرباء في السعودية غير حساس لتغيرات الأسعار ولكنه مرن للدخل، مع مرونة دخل تبلغ 0.05 على المدى القصير و 1.65 على المدى البعيد.

نمذج Atalla و (2016) Hunt الطلب السكني على الكهرباء في دول مجلس التعاون الخليجي باستخدام البيانات السنوية من عام 1985 إلى 2012. وتشمل الدراسة السعر الحقيقي للكهرباء والناتج المحلي الإجمالي الحقيقي كمؤشر للدخل في النموذج. وتشمل أيضًا السكان والظروف الجوية، التي يتم رصدها من خلال درجات التدفئة والتبريد اليومية. وجدوا أن الطلب على الكهرباء غير مرن نسبيًا للدخل والأسعار على المدى القصير والبعيد. والقيم المطلقة للمرونة المقابلة أقل من 0.5. ومع ذلك، فإن السكان والظروف الجوية لها تأثيرات أكثر أهمية على المدى القصير والبعيد.

أخيرًا، قامت دراستان بعد إصلاحات أسعار الطاقة بنمذجة الطلب على الكهرباء السكنية السعودية لتقدير مرونة السعر والدخل. يشمل نموذج Aldubyan و (2020) Gasim أسعار الكهرباء ونصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي كمؤشر للدخل ودرجات التبريد اليومية لرصد تأثيرات الطقس. ويؤكدون أن الطلب على الكهرباء السكنية غير مرن من حيث السعر والدخل، حيث يقدر مرونة على المدى البعيد بـ -0.09 و 0.22 على التوالي. ومع ذلك، يُظهر تحليلهم للتحلل أن ارتفاع أسعار الكهرباء في عام 2018 كان المساهم الرئيسي في الانخفاض الملحوظ في الطلب في ذلك العام.

وبالمثل، يستخدم Mikayilov وآخرون (2020) الأسعار والدخل والطقس لشرح الطلب على الكهرباء السكنية في أربع مناطق بالمملكة العربية السعودية. تؤكد نتائجهم أن الطلب السكني الكلي غير مرن لتغيرات الأسعار والدخل. ومع ذلك، فإن النتائج تختلف اختلافًا كبيرًا عبر المناطق. على سبيل المثال، تتراوح مرونة السعر على المدى البعيد ما بين -0.2 في المنطقة الوسطى إلى -0.5 في المنطقة الشرقية. وبالمثل، تتراوح مرونة الدخل على المدى البعيد ما بين 0.3 في المنطقة الشرقية إلى 1.0 في المنطقة الغربية.

الأسعار في مصفوفة المدخلات والمخرجات والتعديلات المتتالية لمقايضات المدخلات. وفي النهاية، يمكنهم رصد الاستهلاك المنزلي.

تُقدّر معظم الدراسات الحديثة التي تطبق أطر التوازن العام القابل للحساب في سياق الطاقة استجابة الطلب على الطاقة لتحولات الأسعار وتطورات مزيج الإنتاج وإصلاحات الدعم. يدرس كل من Lin و Liu Jiang (2011) و Chi Li (2011) وآخرون (2014) آثار إصلاحات الدعم على الطلب على الطاقة ومؤشرات الاقتصاد الكلي في الصين. يستخدم Kat وآخرون (2018) إطار عمل التوازن العام القابل للحساب لتحليل فرص سيناريوهات الطاقة المختلفة في تركيا ومسارات الانبعاثات الأساسية. وينظر Böhringer و Rutherford (2013) في سيناريوهات الطاقة والانبعاثات لبولندا. تُظهر إحدى التطبيقات الحديثة لنموذج التوازن العام القابل للحساب في الكويت، أن إصلاحات دعم الطاقة لها آثار مفيدة على التنوع الاقتصادي (Shehabi 2020). وجدت دراسة أخرى من هذا القبيل أن استخدام التحويلات المباشرة للتعويض عن إصلاحات دعم الكهرباء يمكن أن يعوض خسائر الرفاهية (Gelan 2018).

يطبق Holmøy و He و آخرون (2011) نماذج التوازن العام القابل للحساب لدراسة الطلب على الكهرباء. وبالتحديد، قاموا بتقدير حساسية الطلب على الكهرباء للتغيرات في أسعار الكهرباء في النرويج والصين، على التوالي. تؤكد هذه الدراسات الدور المهم لمرونة الاستبدال لوظائف الطلب. يوضح Beckman وآخرون (2011) أن نموذج التوازن العام القابل للحساب ذو المعاملات الكافية يكرر الطلب المتعارف عليه على الطاقة ومسارات العرض جيداً.

تستخدم العديد من الدراسات إطار التوازن العام القابل للحساب لدراسة قضايا سياسات محددة تتعلق بالمملكة. وتشمل هذه القضايا السلوك

يمكننا استخلاص استنتاجين من هذه الدراسات. أولاً، تطور معظم الدراسات السابقة تقديرات اقتصادية قياسية للطلب السعودي على الكهرباء. بالإضافة إلى ذلك، تركز بشكل عام على إجمالي الطلب أو على شريحة واحدة من إجمالي الطلب (على سبيل المثال، الطلب السكني أو الصناعي). على حد علمنا، لم تقم أي دراسة سابقة بنمذجة أو توقع الطلب على الكهرباء السعودية لعدة قطاعات في الوقت ذاته.⁴ ثانيًا، هناك دراسات قليلة تدرس فترة ما بعد إصلاح أسعار الطاقة. ومع ذلك، كما هو موضح أعلاه، بدأت إصلاحات أسعار الطاقة تحولات أساسية في أنماط الطلب على الكهرباء، ومن المرجح أن تستمر هذه التحولات في المستقبل. ويجب مراعاة هذه التغييرات عند نمذجة الطلب المستقبلي.

وبالتالي، فإن هذه الدراسة تملأ فجوتين في الدراسات السابقة حول الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية. أولاً، ينمذج الطلب القطاعي ويتوقعه في إطار متسق، ويرصد الترابط عبر القطاعات من خلال نهج التوازن العام. ثانيًا، يراعي التغييرات الأخيرة في أنماط الطلب على الكهرباء المدفوعة بإصلاحات الأسعار وتدابير الكفاءة.

2.2. نمذجة الطاقة والكهرباء باستخدام إطار عمل نموذج التوازن العام القابل للحساب

منذ دراسة Johansen (1960) المهمة، تم استخدام نمذجة التوازن العام على نطاق واسع لتقييم المسارات الاقتصادية والطاقة والبيئية في سياق التغييرات المهمة. الغرض من نموذج التوازن العام القابل للحساب هو توفير تقدير شامل لتأثيرات السياسة. إن دمج وظائف الاستهلاك والإنتاج في إطار متعدد القطاعات ومتعدد الأسواق يسمح بتقديرات أفضل للعرض والطلب بالنسبة لنماذج التوازن الجزئي. يمكن لنماذج التوازن العام القابل للحساب رصد تفاعلات السوق وتحولات اختراقات

2. نظرة على الدراسات السابقة

(2022) نموذج التوازن العام القابل للحساب للمملكة يبرز بعض ميزات الاقتصاد السعودي. ويتضمن هذا النموذج أسعار الطاقة المدارة ضمن تمثيل مفصل لقطاع الطاقة لتقييم نتائج التنوع الاقتصادي.

داخل سوق النفط (De Santis 2003)، وإلغاء التعريفات التجارية (Al-Hawwas 2010) وسياسات سعر الصرف (Al-Thumairi 2012). طور مؤخرًا Soummane وآخرون (2019) و Soummane وآخرون

3. المنهجية

1.3. نموذج التوازن العام القابل للحساب مع الخصائص المحسنة للطلب على الكهرباء

تستخدم هذه الدراسة IMACLIM-SAU، وهو نموذج ديناميكي للتوازن العام القابل للحساب على مستوى الاقتصاد الذي يجسد ميزات محددة للاقتصاد السعودي. نتوسع في دراسة Soummane وآخرون (2019) و Soummane وآخرون (2022) من

خلال تحسين تمثيل النموذج للطلب على الكهرباء. يغطي النموذج 13 قطاعًا، كما ورد في الجدول 1. ولإيجاز، نصف فقط ميزات النموذج المتعلقة بقطاع الكهرباء في هذا القسم. في الملحق A، نلخص المحركات الاجتماعية الاقتصادية الرئيسية للسيناريوهات التي ندرسها. يوفر Soummane وآخرون (2022) وصفًا جبريًا تفصيليًا وإجراءات المعايير ومعالجات البيانات للنموذج.

الجدول 1. التغطية القطاعية لـ IMACLIM-SAU.

الرمز المختصر	القطاع
الطاقة	
OIL	النفط الخام
GAS	الغاز الطبيعي
RFN	التكرير
ELE	الكهرباء
Non-energy	
AGR	الزراعة والصيد والغابات وصيد الأسماك
MIN	عمليات التعدين الأخرى (باستثناء استخراج النفط والغاز)
CHM	الكيمائيات والبتروكيمائيات
NMM	المعادن غير المعدنية (بما في ذلك الأسمدة)
MAN	التصنيع
PRV	خدمات القطاع الخاص
PUB	الخدمات العامة
TRA	النقل الجوي والبحري
OTP	وسائل النقل الأخرى

تشير σ_{CPI} إلى مرونة السعر و σ_{CRI} مرونة الدخل. وتشير p_{Ci} و R_c إلى سعر المستهلك لسلعة الطاقة i والدخل المستهلك على التوالي. ويشير المؤشر 0 إلى قيمة معايرة متغير، أي قيمة 2013.

بالنسبة للأسر، يكون استهلاك النفط والغاز صفرًا بشكل أساسي، وبالتالي، نحتاج فقط إلى قيم مرونة السعر والدخل للكهرباء والتكرير. نستمد هذه القيم من تقديرات Hasanov وآخرون (2020) و Mikayilov وآخرون (2019)، على التوالي. وبالتالي، بالنسبة للكهرباء، يتم تعيين مرونة الدخل والسعر عند 0.33 و -0.13 على التوالي، وبالنسبة للتكرير، يتم تعيينها على 0.13 و -0.27 على التوالي. نحسب دخل الأسر باستخدام الافتراضات المتعلقة بتوزيع دخل الاقتصاد الكلي الموضحة في الملحق A.2 من Soummane وآخرون (2022).

تأخذ دالة إنتاج السلع والخدمات، بما في ذلك الكهرباء،⁷ شكلًا متداخلًا. لمحاكاة السيناريوهات المميزة لإصلاحات الأسعار ومكاسب الكثافة، يتضمن النموذج اثنين من مواصفات الإنتاج البديلة. في (المواصفات 1) الأولى، يعتبر رأس المال والعمالة والكهرباء مدخلات قابلة للاستبدال في المرحلة الدنيا من دالة الإنتاج. يتم تضمينها في مرونة ثابتة لدالة الاستبدال لإنشاء قيمة مضافة مكهربة.⁸ في المرحلة العليا، يتم دمج القيمة المضافة المكهربة مع جميع منتجات الطاقة باستثناء الكهرباء لإنتاج سلعة مركبة (VA_E) بناءً على دالة Leontief. ثم يتم دمج VA_E مع المواد (أي، المنتجات غير مستهلكة للطاقة، والمشار إليها بالرمز M) لإنتاج الناتج المحلي Y . في هذه المواصفات، يتم تحديد كثافة استخدام الكهرباء (أي وحدات الكهرباء لكل وحدة من Y) داخليًا من الأسعار النموذجية للكهرباء وعوامل أخرى. هذه المواصفات مشتركة في جميع القطاعات.

يحافظ نموذجنا على ثلاث مواصفات مهمة لـ Soummane وآخرون (2019) و Soummane وآخرون (2022). ونحافظ على حدود النموذج والعلاقة بين الميزان التجاري وسعر الصرف الفعلي الحقيقي. كما نحافظ على العلاقة بين متوسط الأجر ومعدل البطالة.

على أي حال، يختلف نموذجنا عن نموذج Soummane وآخرون (2022) بطريقتين لتمثيل الطلب على الكهرباء بشكل أفضل. أولاً، نقوم بتعديل التعريفات القطاعية لفصل الخدمات الحكومية والخاصة. حيث تستهلك الأخيرة كمية كبيرة من الكهرباء، تشكل 13.2% من إجمالي الطلب في المتوسط بين عامي 2013 و 2018. ثانيًا، نفترض أن استهلاك الأسر لسلع الطاقة (أي المنتجات المكررة والكهرباء) مرّن من حيث الدخل والسعر. يعامل النموذج الأصلي هذا الاستهلاك على أنه خارجي (مستورد من الخبرة التصاعديّة). بالنسبة للسلع غير المولدة للطاقة، نحافظ على صياغة Soummane وآخرون (2022) للحصص الثابتة لبقيّة الميزانية (أي صافي الميزانية من نفقات الطاقة).

تساعد دالة الاستهلاك التي نتبناها للطلب على الكهرباء السكنية في معالجة أوجه القصور في استخدام الناتج المحلي الإجمالي كبديل للدخل. في الواقع، قام Atalla و Hunt (2016) في التركيز على أن دخل الأسرة أكثر ملاءمة من الناتج المحلي الإجمالي للفرد في هذه الحالة. في دول مجلس التعاون الخليجي، يرتبط نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ارتباطًا وثيقًا بأسعار النفط.⁵ وكما ذكر في Le Treut (2017)، نقوم بصياغة استهلاك الأسرة لسلع الطاقة C_i على النحو التالي:⁶

$$(1) \quad \forall i \in \{OIL, GAS, REF, ELE\} \quad C_i = \left(\frac{p_{C_i}}{CPI} \frac{1}{p_{C_{i_0}}} \right)^{\sigma_{CPI}} \left(\frac{R_c}{CPI} \frac{1}{R_{c_0}} \right)^{\sigma_{CRI}} C_{i_0}$$

على الكهرباء)، فإننا نطبق المواصفات الموصوفة في القسم الفرعي السابق. في المواصفات الأولى، يتم تكييف كثافات الكهرباء مع الأسعار المنظمة لتعكس مدخلات المقايضات للمنتجين. في المواصفات الثانية، حددنا كثافات الكهرباء خارجياً لتعكس استهلاك الكهرباء في 2014-2018 لكل وحدة من الناتج القطاعي، وفقاً لمؤسسة النقد العربي السعودي (2019). وبالتالي، يشير اختبار هذه المواصفات إلى قدرة نموذجنا على تكرار مستويات النشاط القطاعي.⁹ بالنسبة للزراعة، نحافظ على ثبات كثافة الكهرباء على مدار سنوات المعايير في كل المواصفات نظراً لحصتها الصغيرة من استهلاك الكهرباء (2% في عام 2013). أسعار الكهرباء هي متوسط الأسعار القطاعية بناءً على التعريفات المنظمة الملحوظة والمرجحة حسب فئات الاستهلاك، كما يوضح (Soummane 2021).

يكون متوسط إجمالي الطلب الذي تمت محاكاته في كل المواصفات في حدود 2.8% من إجمالي الطلب الملحوظ. يرصد الطلب السكني، الذي يتم محاكاته باستخدام دالة الاستهلاك مع مرونة السعر والدخل، آثار الزيادة البطيئة في الدخل وإصلاحات أسعار الطاقة. تتقلب المسارات المقدره مرة أخرى حول القيم الملحوظة بنسبة 2.8% في المتوسط. للاستخدام الصناعي والتجاري والحكومي والزراعي، تكرر قيم الاستهلاك النموذجية القيم الفعلية بشكل وثيق إلى حد ما. الانحرافات عن القيم الفعلية أقل من 11% في المتوسط في جميع القطاعات تحت كل المواصفات. يتم تعويض المبالغة الطفيفة في تقدير الطلب الصناعي والتجاري عن طريق التقليل من تقدير الطلب الحكومي (الشكل 1).

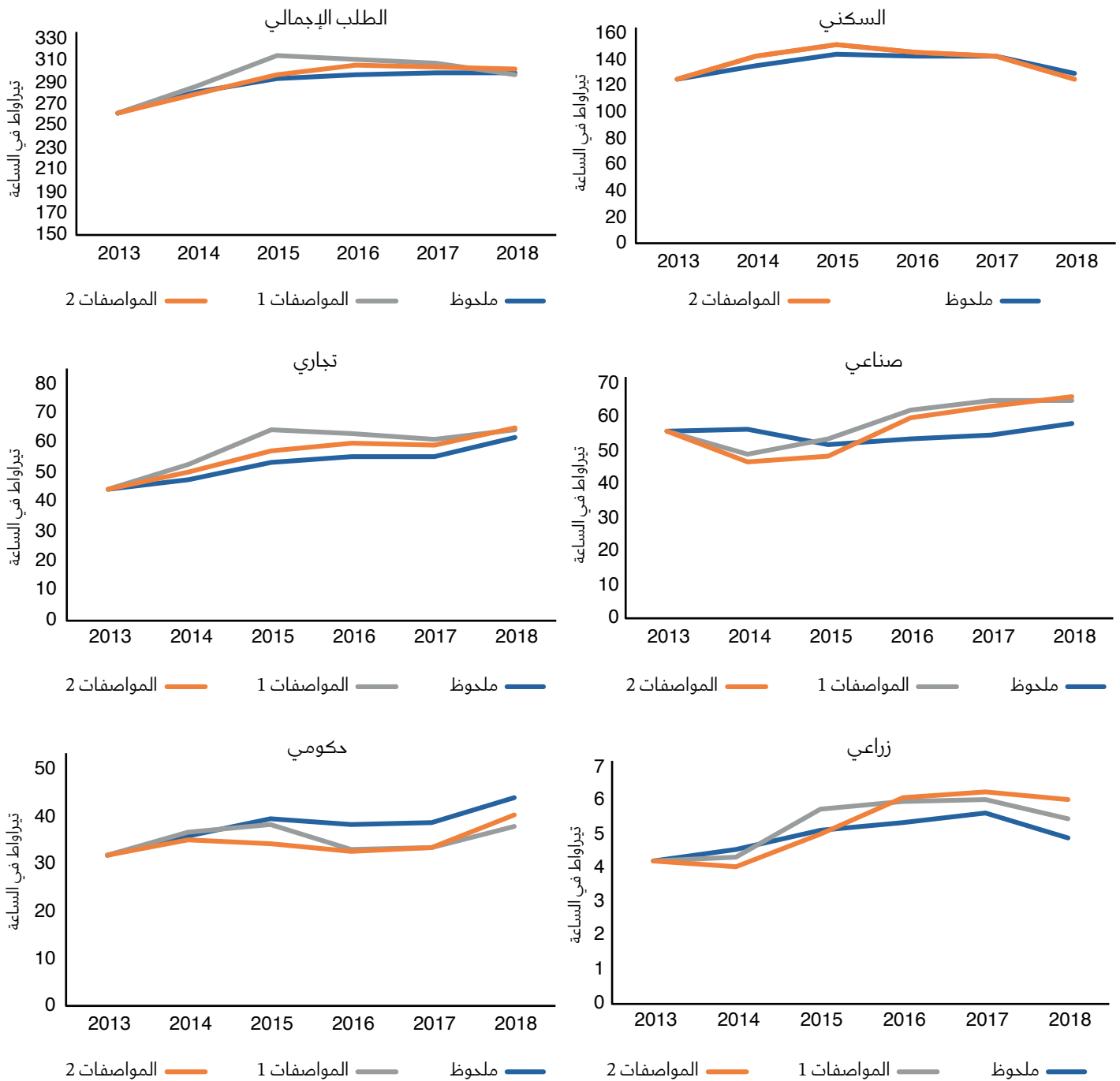
تستخدم المواصفات الثانية (المواصفات 2) دالة إنتاج متداخلة مماثلة. على أي حال، في هذه المواصفات، يتم تحديد كثافات الكهرباء، مثل كثافات سلع الطاقة الأخرى، خارجياً. تظل كثافات سلع الطاقة الأخرى ثابتة عند مستويات سنة المعايير. في كل المواصفات، يتم تنفيذ أسعار الطاقة المنظمة (بما في ذلك أسعار الكهرباء) باستخدام هوامش خاصة بالوكيل لتعكس الاختلافات في التعريفات الخاصة بالوكيل باستخدام تكاليف الإنتاج. ويتم عرض ذلك في الملحق 6B. في دراسة Soummane وآخرون (2022).

2.3. محاكاة طلب الكهرباء السعودي 2018-2014

تتمثل إحدى طرق التحقق من صحة نماذج التوازن العام القابل للحساب وزيادة مصداقيتها في اختبار أدائها مقابل البيانات السابقة (Devarajan and Robinson 2002). وبالتالي، نختبر في هذا القسم قدرة نموذجنا على تكرار الطلب على الكهرباء القطاعية للفترة 2014-2018. كما وصف Soummane وآخرون (2022)، تمت معايرة IMACLIM-SAU على سنة الأساس 2013. بالإضافة إلى ذلك، تُستخدم الفترة من 2014 إلى 2017 لمعايرة متغيرات الاقتصاد الكلي (أي الناتج المحلي الإجمالي، وديناميكيات رأس المال، ومعدل البطالة، والميزان التجاري). في هذه الدراسة، نحافظ على هذه المواصفات.

بالنسبة للطلب على الكهرباء السكنية، نقوم بتنفيذ دالة الطلب المرنة للسعر والدخل الموضحة في المعادلة 1. بالنسبة لاستخدامات الكهرباء الوسيطة (أي الطلب الصناعي والتجاري والحكومي

الشكل 1. الطلب على الكهرباء الذي تمت نمذجته مقابل الطلب الملحوظ عبر القطاعات، 2013-2018.



المصادر: هيئة تنظيم المياه والكهرباء (2018) للطلب الملحوظ ونتائج IMACLIM-SAU للمسارات النموذجية. تستخدم المواصفات 1 كثافات داخلية للكهرباء، وتستخدم المواصفات 2 كثافات خارجية للكهرباء. الأنشطة القطاعية المقدره مقابل الملحوظة هي المصادر المتبقية للاختلاف في المواصفات 2.

4. سيناريوهات الطلب على الكهرباء حتى عام 2030

عند متوسطها في الأعوام 2013-2018 حتى عام 2030. هذا الافتراض يتجنب وضع وزن أعلى بشكل مبالغ على الكثافة في أي سنة محددة.

2.4. سيناريوهات إصلاح الأسعار

في هذا السيناريو، نأخذ في الاعتبار إصلاحات إضافية للأسعار تتجاوز جولتي إصلاحات أسعار الطاقة اللتين تم إجراؤهما بالفعل. يخطط برنامج التوازن المالي للحكومة السعودية لزيادة أسعار الطاقة بشكل تدريجي لتلبية "مستويات السوق". وتم تسليط الضوء على هذه الخطة باعتبارها أهم مبادرة للمملكة العربية السعودية (Kingdom of Saudi Arabia 2017; Kingdom of Saudi Arabia 2019).

يعتمد هذا السيناريو على المواصفات 1 لدالة الإنتاج (انظر القسم 1.3). تعمل هذه المواصفات على رصد كثافة الكهرباء داخلياً للسماح بالمقايضات ذات القيمة المضافة إذا ارتفعت أسعار الكهرباء. ندرس نوعين مختلفين من زيادات الأسعار بناءً على مراجع دولية مختلفة. في المتغير الأول، الذي يُشار إليه باسم PR-EM، تتقارب أسعار الكهرباء مع متوسط السعر في الدول الناشئة في مجموعة العشرين، وهي مجموعة من الدول الغنية والنامية الرائدة. في المتغير الثاني، الذي يُشار إليه بـ PR-AVG، تتقارب أسعار الكهرباء مع متوسط السعر في جميع دول مجموعة العشرين.¹¹

في المتغير الأول (PR-EM)، تنمو الأسعار السكنية بنسبة 72% أعلى من مستويات ما بعد إصلاحات أسعار الطاقة. ويقتربون في النهاية من الأسعار الحالية في الصين وجنوب إفريقيا. ومع ذلك، فإنها تظل أقل بمرتين من الأسعار في الدول ذات الدخل المماثل (أي نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي) للمملكة العربية السعودية. ومن الأمثلة على هذه الدول جمهورية التشيك وبولندا

يصف هذا القسم سيناريوهات التوقعات والدوافع والافتراضات الأساسية لها. بالنسبة لتوقعات الطلب القطاعي، فإننا نأخذ في الاعتبار ثلاثة سيناريوهات تعكس مسارات الطلب على الكهرباء السعودية في إطار إصلاحات الأسعار وتدابير كفاءة الطاقة لتقليل كثافات الكهرباء. نقوم بمحاكاة سيناريو مرجعي (REF) وسيناريو هين بديلين. تسمى هذه السيناريوهات البديلة سيناريو إصلاح الأسعار (PR) وسيناريو كفاءة الطاقة (EE). تستخدم السيناريوهات الثلاثة مسارات متشابهة للمؤشرات الاجتماعية والاقتصادية (أي السكان النشطون، وإنتاجية العمل، وأسعار النفط، وإنتاج النفط، والاستثمار، والصادرات غير الطاقية). وهي تختلف فقط في الجوانب المتعلقة بقطاع الكهرباء، كما توضح الأقسام الفرعية التالية. يصف الملحق A المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية بمزيد من التفصيل.

1.4. السيناريو المرجعي

في هذا السيناريو، تظل أسعار الكهرباء الوسيطة والنهائية عند مستوياتها لعام 2018 حتى عام 2030. وبالنسبة للقطاع السكني، ارتفعت الأسعار بنسبة 139% عن مستويات ما قبل إصلاحات أسعار الطاقة. بالنسبة للصناعة (IND)، والتي تتوافق مع MIN و CHM و NMM و MAN في التسميات الخاصة بنا (الجدول 1)، تكون الأسعار أكبر بنسبة 20% من مستويات ما قبل إصلاحات أسعار الطاقة. وبالنسبة إلى PRV و PUB و AGR، تكون الأسعار أعلى بنسبة 20% و 30% و 50% من مستويات ما قبل إصلاحات أسعار الطاقة، على التوالي. يعتمد السيناريو المرجعي المتوقع على المواصفات 2، أي المواصفات ذات كثافات الكهرباء الخارجية. تنحرف هذه المواصفات بدرجة أقل عن طلب 2013-2018 الملحوظ مقارنة بالمواصفات 1 (انظر القسم 2.3).¹⁰ في هذا السيناريو، نفترض أن مستويات الكثافة المفروضة للصناعة و PRV و PUB و AGR تظل ثابتة

بمستوياتها لعام 2018. يلخص الجدول 2 افتراضاتنا لسيناريو إصلاح الاسعار.

أخيراً، نسلط الضوء على إحدى السمات المهمة لنموذجنا لقطاع الكهرباء في هذا السيناريو. يتم التعامل مع الكهرباء في نموذجنا باعتبارها سلعة واحدة متجانسة. بمعنى آخر، يعد إنتاجها دالة تنازلية، مما يعني أننا لا نفرق بين تقنيات التوليد المنفصلة من منظور تصاعدي. يوفر هذا النهج مؤشرات قيمة لردود فعل المستهلكين على تغيرات الأسعار. ومع ذلك، فإنه لا يمكن أن يوضح بشكل شامل تطور المزيج من جانب العرض أو التكاليف التي تواجه القيود التقنية. يصف كل من (2006) Wing و Cai و (2015) Kat Arora وآخرين (2018) طرق تكامل تقنيات قطاع الكهرباء في إطار نموذج توازن عام قابل للحساب بالتفصيل. نعتبر هذا التكامل اتجاهًا محتملاً للعمل في المستقبل في سوق الكهرباء السعودية.

3.4. سيناريوهات كفاءة الطاقة

في هذا السيناريو، التغييرات في الطلب القطاعي بالنسبة للسيناريو المرجعي مدفوعة بالانخفاض في كثافات الكهرباء لأنواع الإنتاج المختلفة. وضعت السلطات السعودية تدابير لكفاءة الطاقة تستهدف مختلف القطاعات المستهلكة للطاقة لاحتواء نمو الطلب على الكهرباء.¹³ أنشأت الحكومة المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC) لوضع وتنسيق البرامج الوطنية لترشيد استهلاك الطاقة في المباني والصناعة والنقل. حيث إن هذه القطاعات مسؤولة عن 90% من استهلاك الطاقة المحلي (SEEC 2018). بالإضافة إلى ذلك، اتخذت شركة المرافق الوطنية، الشركة السعودية للكهرباء (SEC)، إجراءات مختلفة لترشيد استهلاك الكهرباء في قطاعي الصناعة والخدمات. هذه الإجراءات هي تطبيق للإستراتيجية الوطنية لإصلاح قطاع الطاقة¹⁴ (Kingdom of Saudi Arabia 2017).

وسلوفاكيا. يعد إصلاح أسعار الطاقة في القطاع الصناعي مسألة حساسة. تمتلك المملكة العربية السعودية قاعدة صناعية كبيرة (كثيفة الاستخدام للطاقة بشكل أساسي) تتكامل مع سلسلة القيمة للنفط الخام والغاز الطبيعي. ومع ذلك، فإن الإصلاحات المعتدلة الإضافية ضرورية لدعم الجدوى الاقتصادية لنظام الكهرباء في الدولة (Anouti et al. 2020).

نسعى إلى عكس هذا التوتر بين إصلاح أسعار الكهرباء والحفاظ على التنافسية الصناعية المحلية. وبالتالي، فإننا نستبعد الدولتين اللتين لهما أعلى أسعار الكهرباء الصناعية، البرازيل والهند، من حساب السعر الصناعي السائد في متغير PR-EM. ونتيجة لذلك، فإن سعر الكهرباء الصناعية في عام 2030 أعلى بنسبة 43% من سعر ما بعد إصلاحات أسعار الطاقة، والذي يتم الحفاظ عليه في السيناريو المرجعي. يطبق (2019) Hasanov زيادة مماثلة في الأسعار على القطاع الصناعي السعودي بناءً على مطابقة أسعار الكهرباء الصناعية في الولايات المتحدة للفترة 2008-2017. بالنسبة للقطاعات المتبقية، أي PRV و PUB و AGR، نفترض زيادة محافظة مماثلة في أسعار الكهرباء بنسبة 43% عن مستويات ما بعد إصلاحات أسعار الطاقة بحلول عام 2030.

يفترض المتغير الثاني (PR-AVG) أن أسعار العقارات السكنية تتضاعف ثلاث مرات من مستوياتها لعام 2018 بحلول عام 2030. كما هو الحال في متغير PR-EM، فإننا نستثنى الدول ذات أعلى سعر للكهرباء (الآن إيطاليا واليابان) من حساب الأسعار الصناعية. تتضاعف الأسعار الصناعية في ظل هذا الافتراض بحلول عام 2030 عن مستوياتها الحالية. تشبه هذه الزيادة في الأسعار مرة أخرى السعر الصناعي المستهدف في السيناريو البديل في دراسة¹² (2019) Hasanov. أخيراً، نفترض أن الأسعار القطاعية الأخرى تتضاعف بحلول عام 2030 مقارنة

4. سيناريوهات الطلب على الكهرباء حتى عام 2030

الجدول 2. افتراضات سيناريوهات إصلاح الأسعار (ريال سعودي / كيلو واط في الساعة).

المتغير	القطاع	2013	2018	2025	2030	Δ 2030-2018
PR-EM	سكني	0.08	0.19	0.25	0.32	%72+
	صناعي	0.15	0.18	0.22	0.26	%43+
	تجاري	0.22	0.26	0.32	0.37	%43+
	حكومي	0.26	0.32	0.39	0.46	%43+
	زراعي	0.11	0.17	0.21	0.24	%43+
PR-AVG	سكني	0.08	0.19	0.35	0.56	%200+
	صناعي	0.15	0.18	0.27	0.36	%100+
	تجاري	0.22	0.26	0.39	0.52	%100+
	حكومي	0.26	0.32	0.48	0.64	%100+
	زراعي	0.11	0.17	0.25	0.34	%100+

المصادر: تستند حسابات المؤلفين لبيانات 2013 و 2018 إلى Nacet و Aoun (2015) و Kingdom of Saudi Arabia (2017)، و APICORP (2018) و Hasanov (2019). تستند افتراضات القيم المتوقعة إلى بيانات من ENERDATA (2021).

المتوسطة أن كثافة الكهرباء للصناعة تنخفض بنسبة 14% مقارنة بعام 2018 بحلول عام 2030. وبعبارة أخرى، تنخفض بنسبة 1.2% سنويًا في المتوسط خلال هذه الفترة. يتوافق هذا الانخفاض مع نصف تحسين كثافة الكهرباء الذي تم تحقيقه بين عامي 2013 و 2018. وخلال هذه الفترة، قام المركز السعودي لكفاءة الطاقة بمراقبة تنفيذ تدابير الكفاءة في المحطات القائمة والجديدة (SEEC 2018). ولا نفترض أن هذا الاتجاه يستمر على نفس المستوى في متغير سيناريو كفاءة الطاقة المتوسطة. القاعدة الصناعية السعودية، التي يهيمن النفط والغاز على مزيج طاقتها، لديها بالفعل أقل كثافة كهرباء بين دول مجموعة العشرين.¹⁵

يستخدم سيناريو كفاءة الطاقة (EE) المواصفات 2 لدالة الإنتاج (انظر القسم 1.3)، أي أننا نفترض أن كثافات استخدام الكهرباء خارجية. نقوم بمحاكاة نوعين مختلفين من سيناريو كفاءة الطاقة: متوسط (EE-Mod) وعالي (EE-High). في هذه المتغيرات، نقوم بتعديل كثافات الكهرباء الخارجية للقطاعات (أي الطلب على الكهرباء لكل وحدة إنتاج). وبالتالي تشمل هذه المواصفات القطاعات الصناعية (RFN و MIN و CHM و NMM و MAN) والتجارية (PRV) والحكومة (PUB) والزراعية (AGR). نحدد استهلاك الكهرباء للسكن بناءً على الافتراضات الموضحة أدناه.

نفترض في متغير سيناريو كفاءة الطاقة

4. سيناريوهات الطلب على الكهرباء حتى عام 2030

في متغير سيناريو كفاءة الطاقة العالية، نفترض أن مكاسب الكفاءة الملحوظة للصناعة في الفترة 2013-2018 البالغة 2.4٪ سنويًا تستمر حتى عام 2030. نفترض أن الكثافة تنخفض بالنسبة لـ PRV و PUB و AGR، بنسبة 50٪ من 2018 إلى 2030 (أي بمعدل 5.6٪ سنويًا). يتوافق هذا الافتراض مع تحسينات كفاءة المستوى 3 المقدره بواسطة Krarti وآخرون (2017).¹⁶ أخيرًا، نفترض أن الطلب على الكهرباء السكنية ينخفض بنسبة 26٪ من 2018 إلى 2030 (أي بمعدل 2.5٪ سنويًا). يعتمد هذا الافتراض على مكاسب الكفاءة الأعلى المقدره بواسطة Krarti وآخرون (2017). يلخص الجدول 3 افتراضات الكثافة لسيناريوهات كفاءة الطاقة.

نفترض أن شدة الكهرباء لـ PRV و PUB و AGR انخفضت بنسبة 23٪ بين 2018 و 2030 (أي 2.2٪ سنويًا). تتوافق هذه المكاسب في الكفاءة مع الوفورات المقدره في دراسة Krarti وآخرون (2017) للمباني السعودية بما في ذلك المباني التجارية والحكومية. يقدر هذه الوفورات بناءً على الإجراءات ذات التكلفة المنخفضة، مثل تعديلات منظم الحرارة أو استبدال الإضاءة الحالية. أخيرًا، نفترض أن استهلاك الكهرباء السكنية ينخفض بنسبة 10٪ بين 2018 و 2030 (أي 0.9٪ سنويًا). يعتمد هذا الافتراض على المكاسب المجانية في المباني السكنية السعودية المقدره بواسطة Krarti وآخرون (2017).

الجدول 3. كثافة الكهرباء في سيناريوهات كفاءة الطاقة (المؤشر = 1 في عام 2013).

المتغير	القطاع	2013	2018	2025	2030	Δ 2030-2018
EE-Mod	سكني ^a	1.00	1.14	1.08	1.03	-10%
	صناعي	1.00	0.85	0.72	0.64	-25%
	تجاري	1.00	1.23	1.05	0.94	-24%
	حكومي	1.00	1.25	1.07	0.95	-24%
	زراعي	1.00	1.00	0.85	0.76	-24%
EE-High	سكني ^a	1.00	1.14	0.96	0.84	-26%
	صناعي	1.00	0.85	0.57	0.43	-50%
	تجاري	1.00	1.23	0.84	0.64	-48%
	حكومي	1.00	1.25	0.85	0.65	-48%
	زراعي	1.00	1.00	0.68	0.52	-48%

المصدر: تقديرات المؤلفين بناءً على (2018) ECRA و (2021) ENERDATA و (2019) SAMA لعامي 2013 و 2018. افتراضات المؤلفين للقيم المتوقعة.

(^a) سيناريوهات القطاع السكني هي لاستهلاك القطاع الإجمالي.

أخيراً، نسلط الضوء على جانب واحد مهم من سرد هذا السيناريو. نقوم بنمذجة متغيرات الكفاءة فقط لتقييم وفورات الطاقة المحتملة التي يمكن تحقيقها في ظل أهداف كثافة مختلفة. على الرغم من أن تدابير الكفاءة قد تحمل بعض التكاليف، مثل الاستثمار في الأجهزة الجديدة أو تعديلها، فإننا نعتبر هذه التكاليف غير مهمة. تعد كثافة الكهرباء السائدة في المملكة العربية السعودية عالية مقارنة بالدول الأخرى. قد تكون هذه المقارنة متحيزة للاستهلاك الصناعي، حيث يهيمن الوقود الأحفوري على مزيج الطاقة في المملكة. ومع ذلك، يمكن خفض الطلب السعودي على الكهرباء بشكل

كبير من خلال سياسات غير مكلفة أو منخفضة التكلفة جداً ذات جدوى فورية نسبية. قد تتضمن هذه السياسات حملات توعية، وتحديثات للأنظمة لتحسين القوانين والمعايير للمباني الجديدة، وإدخال التسعير الديناميكي (Faruqi et al. 2011). بالإضافة إلى ذلك، فإن الاستخدام الحالي للعدادات الذكية في المملكة سيساعد في تتبع وتقليل الاستخدام غير الفعال للكهرباء.¹⁷ وأخيراً، تشير فترة التوقعات على المدى المتوسط إلى إمكانية تحقيق تخفيضات في كثافة الطاقة من خلال تدابير إدارة جانب الطلب، كما نفترض في متغيرات الكفاءة.

في 2018 إلى 39.0% في 2030 في هذا السيناريو. أثرت جولتا الإصلاح في أسعار الطاقة بشكل كبير على الطلب السكني. في عام 2016، بدأ الطلب السكني في الاستقرار لأول مرة، ثم انخفض بنسبة 9.1% في عام 2018. وبالتالي انخفض متوسط معدل النمو بين عامي 2009 و 2018 إلى 3.2%.¹⁸ في ظل افتراضنا أن الأسعار الحقيقية لا تزال عند مستويات 2018، يتعافى الطلب السكني ببطء بمعدل متوسط يبلغ 1.1% سنويًا بين عامي 2019 و 2030، وينتهي عند 142.4 تيراواط في الساعة.

في القطاعات الأخرى، ينمو الطلب على الكهرباء بشكل أسرع من القطاع السكني. وبالفعل، يؤدي الحفاظ على استقرار كثافة الكهرباء إلى زيادة الطلب على الكهرباء بما يتماشى مع مخرجات القطاع. ينمو الإنتاج الصناعي بمعدل 1.8% حتى عام 2030، ويزيد طلبه على الكهرباء من 58.2 تيراواط في الساعة في 2018 إلى 81.9 تيراواط في الساعة في 2030. يشمل القطاع الصناعي 22.4% من إجمالي الطلب على الكهرباء في 2030 في السيناريو المرجعي، وهي زيادة بمعدل 3.0 نقطة مئوية (pp) عن حصته في 2018.

في قطاع PRV، وصل الطلب على الكهرباء إلى 82.1 تيراواط في الساعة في عام 2030، ارتفاعًا من 61.8 تيراواط في الساعة في عام 2018. ومن المتوقع أن ينمو الطلب على الكهرباء في هذا القطاع بمعدل 1.9%. ويمثل 22.5% من إجمالي الطلب على الكهرباء في السيناريو المرجعي في عام 2030، بزيادة قدرها 6.8 نقطة مئوية عن عام 2018. وفي قطاع PUB، يصل الطلب على الكهرباء إلى 51.5 تيراواط في الساعة في عام 2030، ارتفاعًا من 43.9 تيراواط في الساعة في عام 2018. بلغ معدل النمو السنوي للطلب على الكهرباء في هذا القطاع 2.1% بين عامي 2019 و 2030، وهو ما يتماشى مع نمو الإنتاج المتوقع. يمثل طلب هذا القطاع 14.2% من إجمالي الطلب على الكهرباء في السيناريو المرجعي في عام 2030. وتعكس هذه الحصة انخفاضًا من 19.7% في عام 2018، لكنها

نبدأ مناقشتنا للنتائج من خلال تقديم الطلب على الكهرباء في السيناريو المرجعي. في هذا السيناريو، يصل إجمالي الطلب على الكهرباء إلى 365.4 تيراواط في الساعة في عام 2030، ارتفاعًا من 299.2 تيراواط في الساعة في عام 2018. في الفترة التي لا توجد بها بيانات إحصائية، أي من 2019 إلى 2030 (انظر القسم 2.3)، يكون نمو الطلب المتوقع أقل بكثير من اتجاهاته السابقة. بين عامي 2009 و 2018، نما إجمالي الطلب على الكهرباء بنسبة 5.3% سنويًا في المتوسط. في المقابل، نتوقع نمو متوسط الطلب على الكهرباء بنسبة 1.6% سنويًا بين عامي 2019 و 2030.

قبل مناقشة النتائج طويلة المدى حسب القطاع، نسلط الضوء على ملاحظتين تتعلقان بالنتائج الإجمالية للسنوات المتوقعة المبكرة. أولًا، ينخفض الطلب الذي تمت نمذجته بنسبة 1.5% في عام 2019. وتحدث هذه النتيجة لأننا نفترض أن كثافة الكهرباء لقطاعات IND و PRV و PUB تحافظ على متوسطها للأعوام 2013-2018 طوال فترة التوقعات (انظر القسم 1.4). هذه النتيجة ليس لها آثار كبيرة على أهمية نتائجنا. وبالفعل، تشير البيانات الأولية لعام 2019 إلى انخفاض إجمالي مبيعات الكهرباء السعودية بنحو 1% (Soummane 2020).

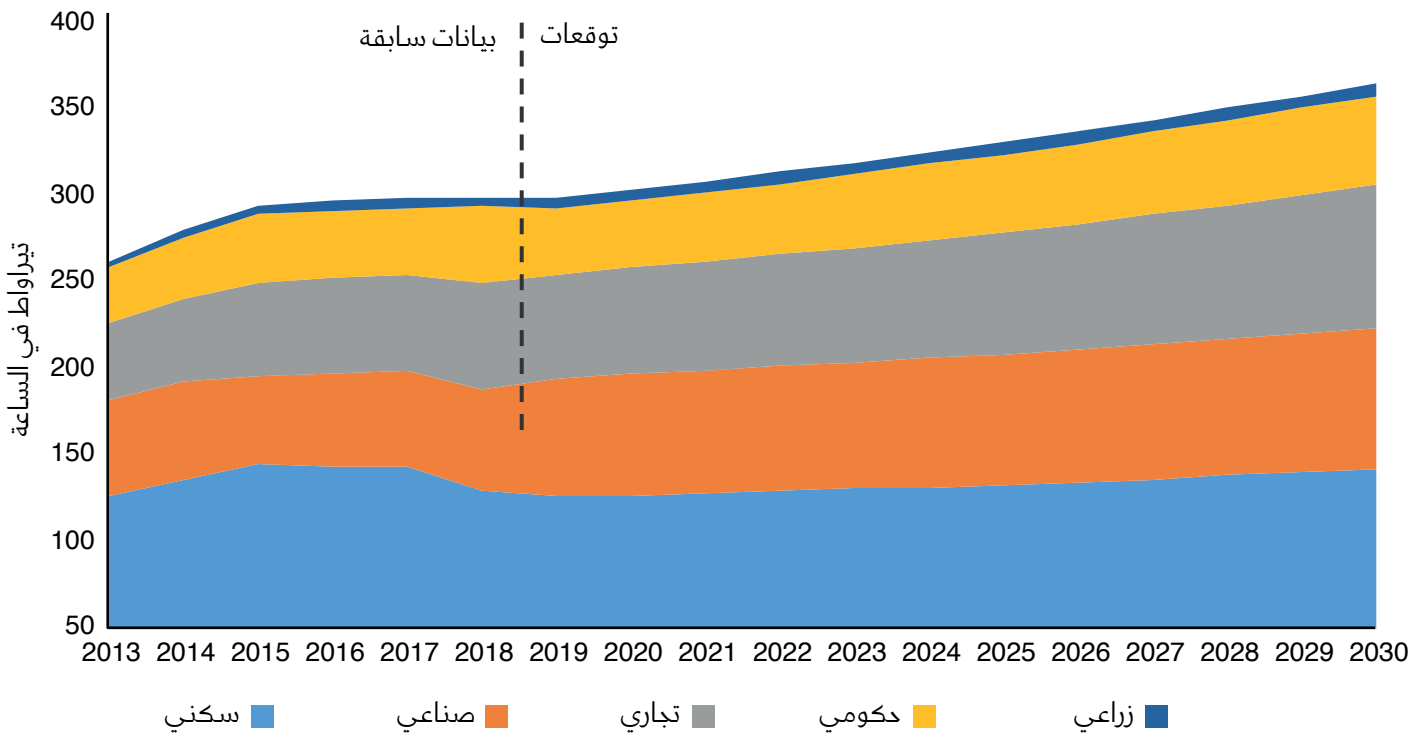
ثانيًا، ننظر في آثار جائحة كوفيد-19 لعام 2020 وتدابير الإغلاق المرتبطة بها على الطلب على الكهرباء. انخفض الطلب على الكهرباء بشكل كبير في العديد من المناطق حول العالم. ومع ذلك، تشير بيانات استهلاك الكهرباء السعودية إلى أن الطلب ظل مستقرًا تقريبًا في المملكة. قد تكون المساهمات الأعلى للقطاع السكني والطقس الأكثر دفئًا قد عوضت عن آثار الوباء (Soummane and Peerbocus 2020).

نأخذ الآن في الاعتبار الانهيار القطاعي للطلب في السيناريو المرجعي. يظل القطاع السكني المستهلك الرئيسي للكهرباء. ومع ذلك، تنخفض حصته من 43.6% من إجمالي الطلب على الكهرباء

الطلب على الكهرباء في قطاع AGR بمتوسط معدل سنوي يبلغ 1.7٪، ومن المتوقع أن يصل إلى 7.4 تيراواط في الساعة بحلول عام 2030، ارتفاعاً من 4.9 تيراواط في الساعة في عام 2018. ويبلغ طلب هذا القطاع 2.0٪ فقط من إجمالي الطلب في عام 2030، بارتفاع طفيف عن 1.6٪ في عام 2018 (الشكل 2).

مماثلة لحصة PUB لعام 2013 من إجمالي الطلب. بلغ متوسط كثافة الكهرباء في قطاع PUB نسبة 12.8٪ خلال 2013-2018، أعلى من مستوى معايير 2013. إذا حافظ قطاع PUB على كثافة الكهرباء هذه خلال الفترة المتوقعة، سينمو الطلب على الكهرباء في هذا القطاع بشكل أسرع قليلاً مما هو عليه في قطاعي IND و PRV. أخيراً، من المتوقع أن يزداد

الشكل 2. الطلب على الكهرباء حسب القطاع في السيناريو المرجعي.



المصادر: (2018) ECRA لبيانات 2013-2018. IMACLIM-SAU للقيم المتوقعة.

1.6٪ سنوياً للسيناريو المرجعي. بلغ إجمالي الطلب 40.5 تيراواط في الساعة في عام 2030 في متغير PR-EM أقل من السيناريو المرجعي (أي أقل بنسبة 11.1٪). تؤدي الزيادات الإضافية في التعريفات لتلبية متوسط مستويات أسعار مجموعة العشرين (متغير PR-AVG) إلى استقرار إجمالي الطلب تقريباً على مدى فترة التوقعات. يبلغ في متوسط معدل النمو -0.1٪ سنوياً حتى عام 2030.

بعد ذلك، نقوم بتحليل سيناريوهات الطلب البديلة. يوضح الشكل 3 آثار إصلاحات الأسعار وتدابير الكفاءة على الطلب على الكهرباء. إن مواءمة أسعار الكهرباء المحلية مع أسعار دول مجموعة العشرين الناشئة (متغير PR-EM) يقلل من نمو الطلب السنوي بمقدار النصف مقارنة بالسيناريو المرجعي. على وجه التحديد، يبلغ نمو الطلب 0.7٪ سنوياً بين 2019 و 2030 في متغير PR-EM، مقارنة بـ

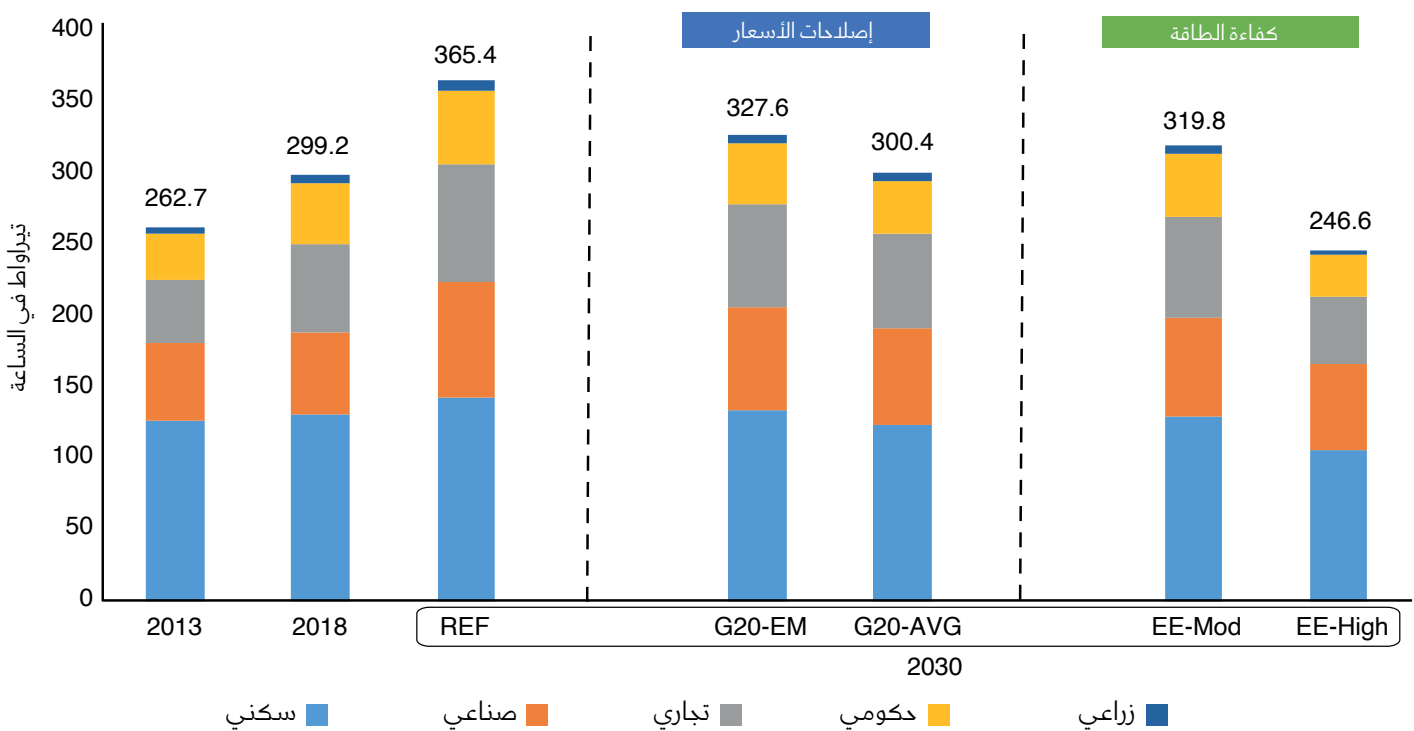
5. النتائج

الطلب على الكهرباء بمقدار 45.6 تيراواط في الساعة في عام 2030 في متغير EE-Mod مقارنةً بالسيناريو المرجعي (أي أقل بنسبة 12.5٪). تؤدي المكاسب الأكبر في الكفاءة لمتغير EE-High إلى تقليل متوسط إجمالي الطلب على الكهرباء بنسبة 2.2٪ سنويًا. ويعادل هذا الانخفاض حوالي 6 تيراواط في الساعة سنويًا حتى عام 2030. انخفض إجمالي الطلب في عام 2030 بمقدار 118.7 تيراواط في الساعة مقارنةً بالسيناريو المرجعي (أي أقل بنسبة 32.5٪).

ويبلغ إجمالي الطلب في هذا السيناريو 71.6 تيراواط في الساعة أقل من السيناريو المرجعي (أي أقل بنسبة 19.6٪).

تؤدي الجهود المبذولة لتقليل كثافة الكهرباء في قطاعات IND و PRV و PUB، إلى جانب انخفاض الطلب السكني، إلى زيادة توفير الطاقة في سيناريوهات كفاءة الطاقة. بحلول عام 2030، يؤدي تحقيق أهداف متغير EE-Mod إلى استقرار الطلب على الكهرباء خلال فترة التوقعات. انخفض إجمالي

الشكل 3. إجمالي الطلب على الكهرباء حسب السيناريو.



المصادر: (2018) ECRA لعامي 2013 و 2018. نتائج IMACLIM-SAU للقيم المتوقعة.

41.3٪ من إجمالي الطلب في متغيرات PR-EM و PR-AVG، في عام 2030، على التوالي. وبالمقارنة، فهو يمثل 39.0٪ من إجمالي الطلب في السيناريو المرجعي. تتشابه حصص معظم القطاعات الأخرى

تتشابه أنماط استهلاك الكهرباء في السيناريوهين البديلين مع الأنماط في السيناريو المرجعي. يظل القطاع السكني أكبر مستهلك للكهرباء في جميع السيناريوهات. يمثل الطلب السكني 40.7٪ و

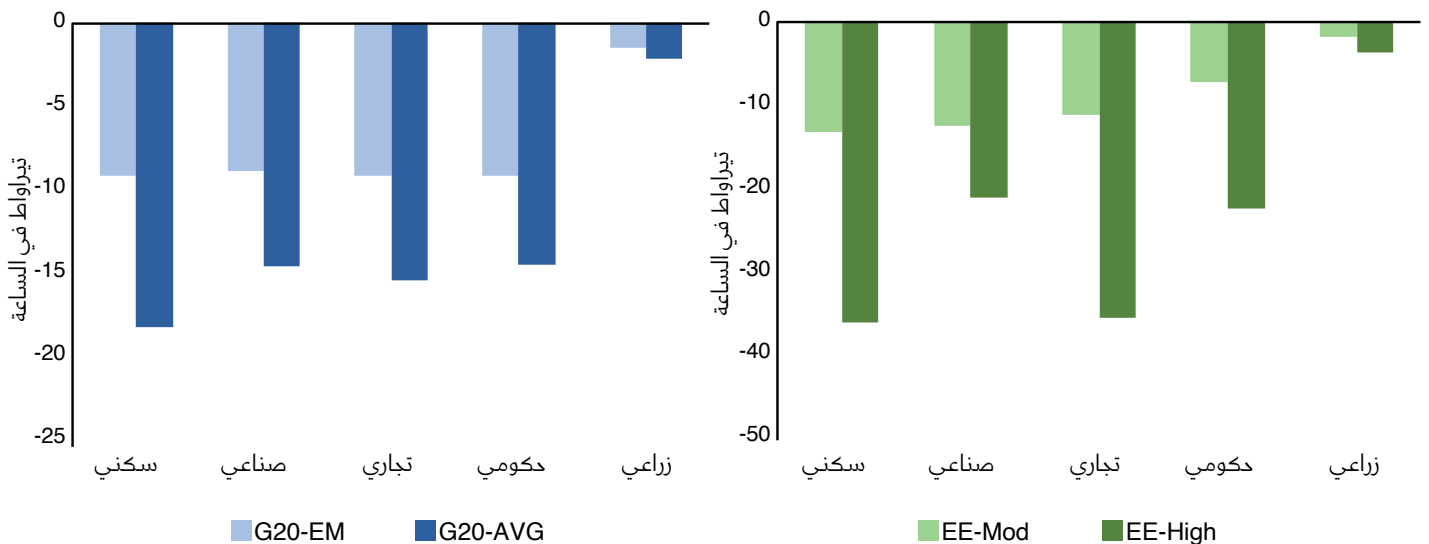
تيراواط في الساعة على التوالي في عام 2030 (الشكل 4). في متغير PR-EM، تقلل القطاعات الرئيسية المستهلكة للكهرباء من استهلاكها بحوالي 10 تيراواط في الساعة لكل منها. يساهم قطاع AGR، الذي يكون استهلاكه هامشيًا نسبيًا، في توفير 1.6 تيراواط في الساعة. في هذا المتغير، يقلل القطاع السكني من استهلاكه بنسبة 7.0٪ مقارنةً بالسيناريو المرجعي بحلول عام 2030. خفضت قطاعات IND و PRV استهلاكها النسبي بحوالي 12٪، وانخفض الاستهلاك النسبي لقطاع PUB بنسبة 18.4٪. في متغير PR-AVG، يقل الطلب السكني بنسبة 14.3٪ عن السيناريو المرجعي في عام 2030، وهو ما يمثل توفيرًا قدره 20.4 تيراواط في الساعة. تساهم قطاعات IND و PRV بما قدره 16.2 تيراواط في الساعة و 17.3 تيراواط في الساعة على التوالي من وفورات الطلب. تتوافق هذه الانخفاضات مع انخفاضات بنسبة 19.8٪ و 21.1٪، على التوالي، مقارنةً بالسيناريو المرجعي في عام 2030.

في متغيرات PR-EM و PR-AVG مع الحصص في السيناريو المرجعي. الاستثناء هو طلب قطاع PUB، الذي ينخفض قليلاً من 14.4٪ في السيناريو المرجعي إلى 12.9٪ و 12.3٪ في متغيرات PR-EM و PR-AVG، على التوالي.

في المتغيرات EE-Mod و EE-High، يمثل الطلب السكني 40.4٪ و 43.1٪ من إجمالي الطلب في عام 2030 على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، فإن حصص قطاع IND في إجمالي الطلب في عام 2030 هي 21.7٪ و 24.7٪ في متغيرات EE-Mod و EE-High، على التوالي. وتعد هذه الحصص مماثلة للحصص في السيناريو المرجعي. تتشابه حصص القطاعات المتبقية في إجمالي الطلب تقريبًا مع متغير EE-Mod والسيناريو المرجعي. وهي أقل قليلاً في متغير EE-High مقارنةً بالسيناريو المرجعي.

تحقق متغيرات PR-EM و PR-AVG توفيرًا في الكهرباء بمقدار 40.5 تيراواط في الساعة و 71.6

الشكل 4. الاختلافات القطاعية في سيناريوهات إصلاح الأسعار وكفاءة الطاقة مقارنةً بالسيناريو المرجعي في عام 2030.



المصادر: نتائج محاكاة IMACLIM-SAU.

في عام 2030، انخفضت الإيرادات الحقيقية للأسر بنسبة 0.6% (10.0 مليار ريال سعودي) في متغير PR-EM مقارنة بالسيناريو المرجعي. والرقم المقابل لمتغير PR-AVG هو 3.2% (50.4 مليار ريال سعودي). علاوة على ذلك، تؤثر الزيادات في السعر في سيناريو اصلاح الاسعار بشكل إيجابي على التوازن العام لأنها تخفف عبء الدعم الحكومي. في عام 2030، يكون رصيد الموازنة العامة (كحصة من الناتج المحلي الإجمالي) أعلى بمقدار 1.7 نقطة مئوية في متغير PR-EM مما هو عليه في السيناريو المرجعي. وهي أعلى بنسبة 4.1 نقطة مئوية في متغير PR-AVG مقارنة بالسيناريو المرجعي. تحقق مكاسب رصيد الميزانية المتراكمة لكل من المتغيرات PR-EM و PR-AVG مكاسب صافية للديون (كحصة من الناتج المحلي الإجمالي) تبلغ 16.3 نقطة مئوية و 41.9 نقطة مئوية، على التوالي، في عام 2030 مقارنة مع السيناريو المرجعي.

تسمح لنا نمذجة الطلب على الكهرباء في إطار التوازن العام بحساب الآثار المترتبة على السيناريوهات المحاكاة من منظور الاقتصاد الكلي. في النهاية، فإن التأثيرات الإيجابية الإجمالية على الناتج المحلي الإجمالي البالغة 0.72% في PR-EM و 0.75% في PR-AVG مدفوعة بشكل أساسي بزيادة الإنفاق العام. تعتبر التوقعات المالية للحكومة في هذه السيناريوهات أفضل منها في السيناريو المرجعي. ومع ذلك، فإن الزيادة الطفيفة في إيرادات الأسر في هذه السيناريوهات تُترجم إلى طلب محلي أضعف. وبالتالي، على الرغم من أن التأثير الصافي على الناتج المحلي الإجمالي إيجابي، إلا أن معدل البطالة أعلى في سيناريو اصلاح الاسعار مقارنة بالسيناريو المرجعي. تبلغ معدلات البطالة في متغيرات PR-EM و PR-AVG 0.2 نقطة مئوية و 1.1 نقطة مئوية، أعلى مما هي عليه في السيناريو المرجعي، على التوالي. وتتوافق هذه الأرقام مع 31000 و 172000 من الوظائف المفقودة، على التوالي.

تعد وفورات الطلب على الكهرباء لسيناريوهات كفاءة الطاقة أكبر من وفورات سيناريوهات اصلاح الاسعار. مقارنة بالسيناريو المرجعي، يبلغ الطلب على الكهرباء 45.6 تيراواط في الساعة و 118.7 تيراواط في الساعة أقل في عام 2030 في المتغيرات EE-Mod و EE-High، على التوالي. يمثل القطاع السكني انخفاضاً قدره 13.1 تيراواط في الساعة و 36.1 تيراواط في الساعة على التوالي. وتؤدي مكاسب الكفاءة للمستخدمين المتوسطين إلى انخفاض كبير في الطلب. يبلغ الاستهلاك في قطاع IND 12.5 تيراواط في الساعة (-15.3%) و 21.1 تيراواط في الساعة (25.7%) أقل في ظل سيناريوهات EE-Mod و EE-High، على التوالي، مقارنة بالسيناريو المرجعي في عام 2030. وبالمثل، يبلغ الطلب في القطاعات PRV و PUB أقل بمقدار 11.2 تيراواط في الساعة و 7.2 تيراواط في الساعة تحت متغير EE-Mod، على التوالي. في كلا القطاعين، يعد الطلب منخفض بحوالي 14% عن السيناريو المرجعي. في متغير EE-High، تحقق القطاعات PRV و PUB توفيراً في الكهرباء بمقدار 35.6 تيراواط في الساعة و 22.3 تيراواط في الساعة على التوالي. ويكون الطلب في هذه القطاعات أقل بحوالي 43% في هذا السيناريو مقارنة بالسيناريو المرجعي.

يوضح الجدول 4 مؤشرات الاقتصاد الكلي الرئيسية لسيناريوهاتنا. النتائج الإجمالية لسيناريوهاتنا البديلة إيجابية مقارنة بالسيناريو المرجعي. في الواقع، الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي أعلى في جميع المتغيرات الأربعة مقارنة بالسيناريو المرجعي، وهو الأعلى في سيناريو كفاءة الطاقة. تأتي الاختلافات في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي في السيناريوهات لدينا من الآثار المتناقضة لانخفاض الطلب على الكهرباء على عائدات الأسر والميزانية العامة.

في سيناريو اصلاح الاسعار، تؤثر ارتفاعات الأسعار لتلبية المعايير الدولية سلباً على القوة الشرائية للأسر، وفي نهاية المطاف على أرباحها الحقيقية.

الجدول 4. مؤشرات الاقتصاد الكلي حسب السيناريو.

الاختلاف عن REF في عام 2030				REF 2030	2013	المتغير
EE-High	EE-Mod	PR-AVG	PR-EM			
+2.5%	+0.9%	+0.8%	+0.7%	4,177.2	2,773.3	الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي (مليار بقيمة الريال لعام 2013)
-0.8 pp	-0.3 pp	+1.1 pp	+0.2 pp	7.4%	5.6%	معدل البطالة
+0.2 pp	+0.1 pp	+1.2 pp	+0.4 pp	8.7%	24.6%	الميزان التجاري (% من الناتج المحلي الإجمالي)
+0.7 pp	+0.3 pp	+4.1 pp	+1.7 pp	2.9%	8.8%	رصيد الميزانية الحكومية (% من الناتج المحلي الإجمالي)
-4.8 pp	-2.0 pp	-41.9 pp	-16.3 pp	-108.0%	-95.9%	صافي الدين العام (% من الناتج المحلي الإجمالي)

المصدر: محاكاة PP. IMACLIM-SAU = نقاط مئوية.

ويوفر متغير EE-High بعض مكاسب الإيرادات. في عام 2030، تختلف الإيرادات الحقيقية للأسر بنسبة +0.8% و -0.4% في ظل متغيرات EE-Mod و EE-High، على التوالي، مقارنةً بالسيناريو المرجعي. وبالتالي، يرتفع الاستهلاك المحلي في سيناريوهات كفاءة الطاقة، مما يؤدي إلى تحسن توقعات التوظيف. كانت معدلات البطالة أقل بمقدار 0.3 نقطة مئوية و 0.8 نقطة مئوية في ظل المتغيرات EE-Mod و EE-High في عام 2030، على التوالي، مقارنةً بالسيناريو المرجعي. تتوافق هذه الأرقام مع 42000 و 126000 فرصة عمل مستحدثة، على التوالي. يرتفع إجمالي الناتج المحلي بنسبة +0.9% و +2.5% في المتغيرات EE-Mod و EE-High في عام 2030، على التوالي، مقارنةً بالسيناريو المرجعي. وتأتي هذه النتيجة من مزيج من التوقعات المالية الإيجابية وزيادة إيرادات الأسرة.

كما ذكر أعلاه، يحقق سيناريو كفاءة الطاقة مكاسب أعلى من منظور الاقتصاد الكلي. وبالفعل، فإن تعزيز الكفاءة يفيد كلاً من إيرادات الأسرة والميزانية العامة. يؤدي خفض كثافة استخدام الكهرباء إلى خفض الاستهلاك الكلي للكهرباء في القطاعات المستهدفة، وبالتالي تقليل الإنفاق العام على الحوافز المالية. ويتحسن الرصيد الحكومي بمقدار 0.3 نقطة مئوية و 0.7 نقطة مئوية في متغيرات EE-Mod و EE-High، على التوالي. يبلغ صافي الدين كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي 2.0 نقطة مئوية و 4.8 نقطة مئوية أقل في متغيرات EE-Mod و EE-High مقارنةً بالسيناريو المرجعي، على التوالي.

بالإضافة إلى ذلك، يقلل متغير EE-Mod من خسارة الإيرادات بالنسبة لسيناريوهات اصلاح الطاقة،

يمر قطاع الكهرباء السعودي بتغييرات هيكلية. نما بسرعة على مدى عقود، مدعومة بحوافز حكومية من خلال الأسعار المنخفضة المنظمة لاستهلاك الكهرباء. واعتبرت مسارات الطلب هذه غير مستدامة، مما يهدد الاستدامة المالية للحكومة ويزاحم صادرات الوقود الأحفوري القيمة اقتصادياً. أطلقت السلطات في السنوات الأخيرة برامج طموحة للحد من نمو الطلب وتقليل الإسراف في استخدامات الكهرباء. حيث قامت خطط العمل العامة هذه بإصلاح الأسعار وتعزيز تدابير الكفاءة أيضاً.

بالنظر إلى هذه التغييرات الهيكلية، تقدم هذه الدراسة مسارات للطلب السعودي على الكهرباء في المستقبل حتى عام 2030. وناقش الخيارات المتاحة لخفض الطلب على الكهرباء في مختلف القطاعات مع الحفاظ على النمو الاقتصادي. يمكن لنتائج سيناريوهات إصلاح الأسعار وكفاءة الطاقة ان توفر رؤى لصناع السياسات السعوديين حول النتائج المحتملة للسياسات المختلفة.

نقوم بتعديل نموذج التوازن العام القابل للحساب الديناميكي، (Soummane et al.، 2022) IMACLIM-SAU) ليعكس ميزات قطاع الكهرباء. ثم نستخدم هذا النموذج لاستكشاف ثلاثة سيناريوهات مستقبلية للطلب على الكهرباء. لا يحتوي السيناريو المرجعي الخاص بنا على إصلاحات إضافية لأسعار الكهرباء ولا فرض لتدابير الكفاءة. في متغيرات سيناريو إصلاح الأسعار، نقوم بمحاكاة الأسعار المنظمة التي تتقارب مع متوسط الأسعار لدول مجموعة العشرين الناشئة وجميع دول مجموعة العشرين. وأخيراً، نقوم باستخدام متغيران اثنان من سيناريو كفاءة الطاقة حيث يتم تنفيذ تحسينات في كفاءة كثافة الكهرباء، بافتراض مكاسب متوسطة أو عالية.

يكون نمو الطلب في السيناريو المرجعي الخاص بنا أقل بكثير من اتجاهاته السابقة، عند 1.6% سنوياً في المتوسط بين عامي 2019 و 2030. يصل الطلب إلى 365.4 تيراواط في الساعة بحلول عام

2030، ارتفاعاً من 299.2 تيراواط في الساعة في عام 2018. تظهر السيناريوهات البديلة لدينا إمكانية تحقيق وفورات كبيرة مقارنة بالسيناريو المرجعي. تؤدي موازنة أسعار الكهرباء مع أسعار دول مجموعة العشرين الناشئة إلى خفض الطلب الكلي بمقدار 40.5 تيراواط في الساعة (11.1%) في عام 2030. ويؤدي الوصول إلى متوسط السعر لجميع دول مجموعة العشرين إلى خفض الطلب الإجمالي على الكهرباء بنسبة 71.6 تيراواط في الساعة (19.6%) في نفس العام. ومع ذلك، فإن اختيار تدابير الكفاءة لترشيد استخدام الكهرباء قد يوفر وفورات أكبر. في متغير كفاءة الطاقة المعتدلة، قد يكون إجمالي الطلب على الكهرباء 45.6 تيراواط في الساعة (12.5%) أقل من السيناريو المرجعي. وقد يصل هذا الاختلاف إلى 118.7 تيراواط في الساعة (32.5%) في ظل أهداف كفاءة الطاقة الطموحة لمتغير كفاءة الطاقة العالية.

نقوم أيضاً بتحليل التأثيرات الاقتصادية الكلية المحتملة لسيناريوهاتنا. في المتغيرات الأربعة البديلة، يتحسن الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي بشكل عام في عام 2030 مقارنة بالسيناريو المرجعي. تأتي هذه النتيجة من الآثار الإيجابية لإصلاحات الأسعار وتدابير الكفاءة على الميزانية العامة. يؤدي انخفاض الطلب على الكهرباء إلى تحسين الرصيد المالي للحكومة لأنه يخفف العبء المالي المرتبط بدعم توليد الكهرباء. تكون الآثار على الميزانية العامة والديون أكبر في ظل سيناريو إصلاح الأسعار منها في سيناريو كفاءة الطاقة. ومع ذلك، فإن المكاسب في السيناريو السابق تقوضت قليلاً بسبب الانخفاض في الإيرادات الحقيقية للأسر والقدرة التنافسية للمنتجين بسبب ارتفاع أسعار الكهرباء.

أحد المحركات المهمة للطلب على الكهرباء والتي لا تأخذها تحليلاتنا بشكل صريح هو المشاريع المستقبلية واسعة النطاق. في الواقع، على الرغم من أن نموذجنا يرصد الترابط القطاعي، إلا أنه لا

وقد تولد هذه المشاريع طلبًا متزايدًا على الكهرباء خلال العقد القادم. تركز هذه الدراسة على توقع الطلب الهيكلي القطاعي على الكهرباء حتى عام 2030. يجب أن تأخذ الأبحاث المستقبلية في الحسبان هذه المشاريع الكبيرة وتوسع أفق التوقع لدينا.

يتضمن إعلانات الحكومة عن العديد من المشاريع الكبيرة التي يتم إنشاؤها في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية. تشمل هذه المشاريع تطوير صناعة السياحة، مع توسيع قدرة الحج، والعديد من المبادرات الصناعية (على سبيل المثال، برنامج التنمية الصناعية الوطنية والخدمات اللوجستية).

1 تخزين الطاقة الكهرومائية بالضغط هي حل لتخزين الكهرباء بأحجام كبيرة. ومع ذلك، فإننا لا نأخذ هذا الخيار في الاعتبار كثيراً في هذا التحليل. أرجع إلى Matar و Shabaneh (2020) للحصول على تفاصيل حول إمكانيات تخزين الطاقة الكهرومائية بالضغط في المملكة.

2 يتوافق هذا الرقم (أي 299.2 تيراواط في الساعة) مع الاستهلاك النهائي المفوتر. ولا يشمل استخدام الطاقة داخل المحطة أو خسائر النقل والتوزيع.

3 كما أنه ينمذج الطلب الكلي على الكهرباء في دول مجلس التعاون الخليجي الأخرى (أي البحرين والكويت وعمان وقطر والإمارات العربية المتحدة).

4 قام Eltony و Mohammad (1993) بنمذجة الطلب القطاعي على الكهرباء بشكل إجمالي عبر دول مجلس التعاون الخليجي.

5 قارن Atalla وآخرون (2018) إجمالي الناتج المحلي الإجمالي وغير النفطي كمؤشرات للدخل. ويؤدي المؤشران إلى تقديرات مختلفة بشكل كبير لمرونة الدخل للطلب السعودي على البنزين تبلغ 0.09 و 0.61 على التوالي.

6 بنمذج Le Treut (2017) استهلاك الأسر لسلع الطاقة كمجموع للاحتياجات الأساسية الخارجية والاستخدامات المرنة للسعر. هذا التمييز يفتقر إلى تقييم قابل للاستخدام في حالة المملكة العربية السعودية.

7 يعامل Soummane وآخرون (2022) إنتاج الكهرباء والأنواع الثلاثة الأخرى لإنتاج الطاقة على أنها خارجية.

8 نستخدم تقديرات منشورة لدول أخرى وذلك لعدم وجود مرونة الاستبدال المقدر للإنتاج السعودي (انظر الملحق A). نقوم بتحليل حساسية نتائجنا لهذه المعاملات الرئيسية والمتغيرات الاجتماعية والاقتصادية الأخرى في الملحق B.

9 تتوافق الصناعة مع قطاعات مؤسسة النقد العربي السعودي (2019) لأنشطة التعدين واستغلال المحاجر الأخرى؛ تصنيع؛ والكهرباء والغاز والمياه. تتوافق الخدمات الخاصة مع البناء؛ تجارة الجملة والتجزئة والمطاعم والفنادق؛ والنقل والتخزين والاتصالات؛ والتمويل والتأمين والعقارات وخدمات الأعمال؛ والخدمات المجتمعية والاجتماعية والشخصية. ويتوافق القطاع الحكومي مع منتجي الخدمات الحكومية.

10 لا يؤثر اختيار المواصفات بشكل كبير على الطلب المتوقع. على سبيل المثال، ينحرف الطلب المتوقع في سيناريو REF في ظل المواصفات 1 عن الطلب المتوقع في ظل المواصفات 2 بنسبة 1.8% في عام 2030 (365.4 تيراواط في الساعة مقابل 359.0 تيراواط في الساعة).

11 تتكون عينة الدول الناشئة في مجموعة العشرين من الأرجنتين والبرازيل والصين والهند وإندونيسيا والمكسيك وروسيا والمملكة العربية السعودية وجنوب إفريقيا وتركيا. تضم مجموعة العشرين أيضاً أستراليا وكندا وفرنسا وألمانيا وإيطاليا واليابان وكوريا الجنوبية والمملكة المتحدة والولايات المتحدة. تم الحصول على أسعار الكهرباء للدول المختارة من قاعدة بيانات (2021) ENERDATA.

12 على الرغم من أن أهدافنا للسعر مشابهة لدراسة Hasanov (2019)، إلا أنه يفترض أنه سيتم الوصول إلى الأهداف في عام 2025.

13 بالنظر إلى نطاق هذه الدراسة، فإننا نركز على تدابير كفاءة الطاقة في جانب الطلب. يمكن أيضًا تحقيق وفورات كبيرة في الطاقة من حيث المواد الأولية للنفط والغاز من خلال التحول إلى وحدات توليد فعالة أو بديلة (Alyousef and Abu-Ebid 2012; Matar et al. 2017).

14 تتوفر تدابير ترشيد الاستهلاك في الشركة السعودية للكهرباء على <https://www.se.com.sa/en-us/Pages/IndustrialSector.aspx> للصناعة، <https://www.se.com.sa/en-us/Pages/CommercialSector.aspx> للقطاع التجاري و <https://www.se.com.sa/en-us/Pages/GovernmentalSector.aspx> للقطاع الحكومي.

15 نحسب كثافة الكهرباء كنسبة القيمة المضافة من الصناعة (بالدولار الأمريكي الحقيقي) إلى استهلاك الكهرباء للقطاع (بالجيجاوات في الساعة) باستخدام بيانات من ENERDATA (2021).

16 بالإضافة إلى التدابير المذكورة لمتغير EE-Mod، فإن الإجراء الرئيسي الذي تقوم عليه هذه المكاسب هو استبدال وحدات تكييف الهواء.

17 <https://www.se.com.sa/en-us/customers/Pages/SmartMeters.aspx>

18 نما الطلب على الكهرباء السكنية بمعدل 6.6% سنويًا بين عامي 1999 و 2008.

- Al-Faris, Abdul Razak. 2002. "The Demand for Electricity in the GCC Countries." *Energy Policy* 30(2):117–24. DOI: [10.1016/s0301-4215\(01\)00064-7](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(01)00064-7)
- Al-Hawwas, Abdullah. 2010. "Policy Experiments for the Saudi Economy Using a Computable General Equilibrium Model (CGE): Oil Demand and Tariff Liberalisation Effects on the Saudi Economy." PhD diss., University of Dundee.
- Al-Sahlawi, Mohammed. 1990. "Forecasting the Demand for Electricity in Saudi Arabia." *The Energy Journal* 11(1):119–25. DOI: [10.5547/issn0195-6574-ej-vol11-no1-10](https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol11-no1-10)
- Al-Thumairi, Imtithal A. 2012. "Fixed Exchange Rate or Flexible Exchange Rate for Saudi Arabia: Optimal Solution of CGE Model." *International Journal of Basic and Applied Sciences* 1(2):67–87. DOI: [10.14419/ijbas.v1i2.29](https://doi.org/10.14419/ijbas.v1i2.29)
- AlDubyan, Mohammad, and Anwar Gasim. 2021. "Energy Price Reform in Saudi Arabia: Modeling the Economic and Environmental Impacts and Understanding the Demand Response." *Energy Policy* 148:111941. DOI: [10.1016/j.enpol.2020.111941](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111941)
- Alkhareif, Riyadh. M., William A. Barnett, and Nayef Alsadoun. 2017. "Estimating the Output Gap for Saudi Arabia." *International Journal of Economics and Finance* 9(3):81–90. DOI: [10.5539/ijef.v9n3p81](https://doi.org/10.5539/ijef.v9n3p81)
- Alyousef, Y., and M. Abu-Ebid. 2012. "Energy Efficiency Initiatives for Saudi Arabia on Supply and Demand Sides." In *Energy Efficiency-A Bridge to Low Carbon Economy*, edited by Zoran Morvaj, 297–308. IntechOpen. DOI: [https://10.5772/38660](https://doi.org/10.5772/38660)
- Anouti, Y., S. Elborai, R. Kombargi and H. Hage (2020). Electricity Pricing Reform: A Bitter Pill for GCC Industries, Strategy&. <https://www.strategyand.pwc.com/m1/en/reports/2020/electricity-pricing-reform/electricity-pricing-reform.pdf>
- Arab Petroleum Investments Corporation (APICORP) 2018. "Saudi Energy Price Reform Getting Serious." *APICORP Energy Research* 3(5):1–3.
- 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* 114:123–33. DOI: [10.1016/j.enpol.2017.11.047](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.047)
- Atalla, Tarek N., and Lester C. Hunt. 2016. "Modelling Residential Electricity Demand in the GCC Countries." *Energy Economics* 59:149–58. DOI: [10.1016/j.eneco.2016.07.027](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.07.027)
- Beckman, Jayson, Thomas Hertel, and Wallace Tyner. 2011. "Validating Energy-oriented CGE Models." *Energy Economics* 33(5):799–806. DOI: [10.1016/j.eneco.2011.01.005](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.01.005)
- Billmeier, Andreas, and Dalia Hakura. 2008. "Trade Elasticities in the Middle East and Central Asia: What is the Role of Oil?" *International Monetary Fund Working Papers* 2008(216). DOI: [10.5089/9781451870749.001](https://doi.org/10.5089/9781451870749.001)
- Böhringer, Christoph, and Thomas F. Rutherford. 2013. "Transition Towards a Low Carbon Economy: A Computable General Equilibrium Analysis for Poland." *Energy Policy* 55:16–26. DOI: [10.1016/j.enpol.2012.11.056](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.056)

- Cai, Yiyong, and Vipin Arora. 2015. "Disaggregating Electricity Generation Technologies in CGE Models: A Revised Technology Bundle Approach with an Application to the U.S. Clean Power Plan." *Applied Energy* 154:543–55. DOI: [10.1016/j.apenergy.2015.05.041](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.041)
- Chi, Yuanying, Zhengquan Guo, Yuhua Zheng, and Xingping Zhang. 2014. "Scenarios Analysis of the Energies' Consumption and Carbon Emissions in China Based on a Dynamic CGE Model." *Sustainability* 6(2):487–512. DOI: [10.3390/su6020487](https://doi.org/10.3390/su6020487)
- De Santis, Roberto A. 2003. "Crude Oil Price Fluctuations and Saudi Arabia's Behaviour." *Energy Economics* 25(2):155–73. DOI: [10.1016/s0140-9883\(02\)00106-8](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(02)00106-8)
- Devarajan, Shantayanan, and Sherman Robinson. 2002. "The Impact of Computable General Equilibrium Models on Policy." Presented at a conference on "Frontiers in Applied General Equilibrium Modeling" sponsored by the Cowles Foundation and held at Yale University, New Haven, CT, April.
- Diabi, Ali. 1998. "The Demand for Electric Energy in Saudi Arabia: An Empirical Investigation." *OPEC Review* 22(1):13–29. DOI: [10.1111/1468-0076.00039](https://doi.org/10.1111/1468-0076.00039)
- Eltony, M. Nagy, and Yousuf H. Mohammad. 1993. "The Structure of Demand for Electricity in the Gulf Cooperation Council Countries." *The Journal of Energy and Development* 18(2):213–21.
- Enerdata. 2020. "Energy & CO₂ Data." <https://www.enerdata.net/expertise/energy-co2-data.html> Accessed on March 10, 2020.
- Energy and Cogeneration Regulatory Authority (ECRA). 2018. *Annual Statistical Booklet for Electricity and Seawater Desalination Industries*. Riyadh: ECRA.
- Faruqui, Ahmad, Ryan Hledik, Greg Wikler, Debyani Ghosh, Joe Priyanonda, and Nilesh Dayal. 2011. "Bringing Demand-side Management to the Kingdom of Saudi Arabia." *The Brattle Group* 2011:40–41.
- Gelan, Ayele. 2018. "Economic and Environmental Impacts of Electricity Subsidy Reform in Kuwait: A General Equilibrium Analysis." *Energy Policy* 112:381–98. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.032>
- Hasanov, Fakhri 2019. "Theoretical Framework for Industrial Electricity Consumption Revisited: Empirical Analysis and Projections for Saudi Arabia." *KAPSARC Discussion Paper*. Riyadh: KAPSARC. DOI: [10.30573/ks--2019-dp66](https://doi.org/10.30573/ks--2019-dp66)
- Hasanov, Fakhri, Frederick L. Joutz, Jeyhun Mikayilov, and Muhammad Javid. 2020. "KGEMM: A Macroeconometric Model for Saudi Arabia" *KAPSARC Discussion Paper*. Riyadh: KAPSARC. DOI: [10.30573/ks--2020-dp04](https://doi.org/10.30573/ks--2020-dp04)
- He, Y. X., L. F. Yang, H. Y. He, T. Luo, and Y. J. Wang. 2011. "Electricity Demand Price Elasticity in China Based on Computable General Equilibrium Model Analysis." *Energy* 36(2):1115–23. DOI: [10.1016/j.energy.2010.11.038](https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.038)
- Holmøy, Erling. 2005. "The Anatomy of Electricity Demand: A CGE Decomposition for Norway." Discussion Papers No. 426, Statistics Norway, Research Department.
- International Energy Agency (IEA). 2019. *World Energy Outlook 2019*. Paris: IEA.

- International Monetary Fund (IMF). 2016. *World Economic Outlook Database*, April 2016. Washington, D.C.: International Monetary Fund.
- Johansen, Leif. 1960. *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*. Amsterdam: North Holland Publishing Co.
- Kat, Bora, Sergey Paltsev, and Mei Yuan. 2018. "Turkish Energy Sector Development and the Paris Agreement Goals: A CGE Model Assessment." *Energy Policy* 122:84–96. DOI: [10.1016/j.enpol.2018.07.030](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.030)
- Kingdom of Saudi Arabia. 2017. *Fiscal Balance Program Balanced Budget 2020*. Riyadh: Kingdom of Saudi Arabia. <https://vision2030.gov.sa/sites/default/files/attachments/Fiscal%20Balance%20Program%202017.pdf>
- . 2019. *Fiscal Balance Program 2019 Update*. Riyadh: Kingdom of Saudi Arabia. <https://www.mof.gov.sa/en/budget/2019/Documents/Fiscal%20Balance%20Program.pdf>
- Koesler, Simon, and Michael Schymura. 2015. "Substitution Elasticities in a Constant Elasticity of Substitution Framework—Empirical Estimates Using Nonlinear Least Squares." *Economic Systems Research* 27(1):101–21. DOI: [10.1080/09535314.2014.926266](https://doi.org/10.1080/09535314.2014.926266)
- Krarti, Moncef, Kankana Dubey, and Nicholas Howarth. 2017. "Evaluation of Building Energy Efficiency Investment Options for the Kingdom of Saudi Arabia." *Energy* 134:595–610. DOI: [10.1016/j.energy.2017.05.084](https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.084)
- Le Treut, Gaëlle. 2017. "Methodological Proposal for Hybrid Modelling: Consequences for Climate Policy Analysis in an Open Economy (France)." Ph.D. dissertation, École Doctorale Ville, Transports et Territoires (VTT)-ED 528.
- Lin, Boqiang, and Zhujun Jiang. 2011. "Estimates of Energy Subsidies in China and Impact of Energy Subsidy Reform." *Energy Economics* 33(2):273–83. DOI: [10.1016/j.eneco.2010.07.005](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.07.005)
- Liu, Wei, and Hong Li. 2011. "Improving Energy Consumption Structure: A Comprehensive Assessment of Fossil Energy Subsidies Reform in China." *Energy Policy* 39(7):4134–43. DOI: [10.1016/j.enpol.2011.04.013](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.013)
- Matar, Walid, Frederic Murphy, Axel Pierru, Bertrand Rioux, and David Wogan. 2017. "Efficient Industrial Energy Use: The First Step in Transitioning Saudi Arabia's Energy Mix." *Energy Policy* 105:80–92. DOI: [10.1016/j.enpol.2017.02.029](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.029)
- Matar, Walid, and Rami Shabaneh. 2020. "Viability of Seasonal Natural Gas Storage in the Saudi Energy System." *Energy Strategy Reviews* 32:100549. DOI: [10.1016/j.esr.2020.100549](https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100549)
- Mikayilov, Jeyhun, Frederick L. Joutz, and Fakhri Hasanov. 2019. "Gasoline Demand in Saudi Arabia: Are the Price and Income Elasticities Constant." *KAPSARC Discussion Paper*. Riyadh: KAPSARC. DOI: [10.30573/ks--2019-dp81](https://doi.org/10.30573/ks--2019-dp81)
- Mikayilov, Jeyhun I., Abdulelah Darandary, Ryan Alyamani, Fakhri J. Hasanov, and Hatem Alatawi. 2020. "Regional Heterogeneous Drivers of Electricity Demand in Saudi Arabia: Modeling Regional Residential Electricity Demand." *Energy Policy* 146:111796. DOI: [10.1016/j.enpol.2020.111796](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111796)

Nachet, Said, and Marie-Claire Aoun. 2015. "The Saudi Electricity Sector: Pressing Issues and Challenges." IFRI Security Studies Center.

Saudi Arabian Monetary Authority (SAMA). 2019. *Annual Statistics 2019*. Riyadh: SAMA. <http://www.sama.gov.sa/en-US/EconomicReports/Pages/YearlyStatistics.aspx>

Saudi Energy Efficiency Center (SEEC). 2018. SEEC Annual Report. Riyadh: SEEC. <https://www.seec.gov.sa/en/media-center/annual-report/annual-report-for-2018/>

Shehabi, Manal. 2020. "Diversification Effects of Energy Subsidy Reform in Oil Exporters: Illustrations from Kuwait." *Energy Policy* 138:110966. DOI: [10.1016/j.enpol.2019.110966](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110966)

Soummane, Salaheddine. 2021. "Overview of Saudi Electricity Demand (1970–2018)." KS--2021-CO03, KAPSARC. <https://www.kapsarc.org/research/publications/overview-of-saudi-electricity-demand-1970-2018/>

Soummane, S., Frédéric Ghersi and Franck Lecocq (2022). "Structural Transformation Options of the Saudi Economy Under Constraint of Depressed World Oil Prices." *The Energy Journal* 43(3): 181-200. DOI: <http://doi.org/10.5547/01956574.43.3.ssou>

Soummane, Salaheddine, Frédéric Ghersi, and Julian Lefèvre 2019. "Macroeconomic Pathways of the Saudi Economy: The Challenge of Global Mitigation Action Versus The Opportunity of National Energy Reforms." *Energy Policy* 130:263–82. DOI: [10.1016/j.enpol.2019.03.062](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.062)

Soummane, Salaheddine, and Nawaz Peerbocus. 2020. "Impact of the COVID-19 Lockdown on Electricity Demand: Global Insights and Implications for Saudi Arabia - Part I." *KS--2020-II19*. Riyadh: KAPSARC. <https://www.kapsarc.org/research/publications/impact-of-the-covid-19-lockdown-on-electricity-demand-global-insights-and-implications-for-saudi-arabia/>

United Nations Department of Economic and Social Affairs (U.N. DESA). 2015. *World Population Prospects: The 2015 Revision*. New York: United Nations.

Wing, Ian Sue. 2006. "The Synthesis of Bottom-up and Top-down Approaches to Climate Policy Modeling: Electric Power Technologies and the Cost of Limiting US CO₂ Emissions." *Energy Policy* 34(18):3847–69. DOI: [10.1016/j.enpol.2005.08.027](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.08.027)

الملحق A. نموذج المعلمات

الملحق B، نقوم بتحليل حساسية نتائجنا للتغيرات في هذه المعلمات.

في هذا الملحق، نعرض المحركات الاجتماعية والاقتصادية الأساسية المشتركة لسيناريوهات المحاكاة الثلاثة، REF و PR و EE (الجدول A.1). في

الجدول A.1، المحركات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة في جميع السيناريوهات.

2030	2013	الوحدة	المحرك
27.6	19.9	مليون مكافئ بدوام كامل	موارد العمالة
1.10	1.00	مؤشر يساوي 1 في عام 2013	إنتاجية العمالة
1.76	1.00	مؤشر يساوي 1 في عام 2013	اتجاه التصدير الافتراضي
26.1	23.9	حصة الناتج المحلي الإجمالي	تكوين إجمالي رأس المال الثابت
12.9	9.2	مليون برميل يوميا	مخزبات النفط
88	115	دولار أمريكي للبرميل	سعر النفط

أي تكوين إجمالي رأس المال الثابت، حصة مقيدة من الناتج المحلي الإجمالي يتم معايرتها بناءً على بيانات مؤسسة النقد العربي السعودي (2019) عامي 2013 و 2017. ومن المفترض أن تتقارب مع متوسط 2013-2017 في عام 2030.

يلعب قطاع النفط دورًا مهمًا في الاقتصاد السعودي. ويعتبر الإنتاج والسعر هما المتغيران الرئيسيان المحركان للأداء، وكلاهما متغيرات خارجية في IMACLIM-SAU. وتستند مساراتهم إلى سيناريو السياسات المعلنة للوكالة الدولية للطاقة (IEA)، حيث وصل إنتاج النفط السعودي إلى 12.9 مليون برميل يوميًا في عام 2030 (IEA 2019). من المتوقع أن يتعافى سعر النفط الدولي من مستواه المنخفض في عام 2015 إلى 81 دولار للبرميل في عام 2025 و 88 دولار للبرميل في عام 2030 (IEA 2019).

المحركات الأساسية للنمو الاقتصادي هي المسارات الخارجية لموارد العمالة والإنتاجية. نقيس موارد العمالة من قبل السكان في الفئة العمرية 15-65 عامًا، المشتقة من الأمم المتحدة (UN 2015). بالنسبة لإنتاجية العمالة، نستخدم البيانات السنوية في تقارير Oxford Economics بين عامي 2013 و 2017. نفترض بعد عام 2017 أن تنمو إنتاجية العمل بنسبة 1.3٪ سنويًا حتى عام 2030. يتوافق هذا المعدل مع متوسط نمو الإنتاجية للاقتصاد السعودي بين عامي 2011 و 2015 حسب تقدير Alkhareif وآخرون (2017).

نطبق اتجاه التصدير الافتراضي على السلع غير الطاقية لتحديد خط الأساس الخاضع لتغيرات شروط التجارة. يقارب نمو أسواق الصادرات السعودية ما توقعه صندوق النقد الدولي (IMF 2016) لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.¹⁹ يعد الاستثمار،

¹⁹ انظر المعادلة A-30 في Soummane وآخرون (2022).

الجدول A.2. ويتم عرض وصف جبري أكثر تفصيلاً في الملحق A من Soummane وآخرون (2022).

تعتمد دالة الإنتاج التي تم وصفها في القسم 1.3 على مرونة الاستبدال والمرونة التجارية الواردة في

الجدول A.2. مرونة الاستبدال والمرونة التجارية.

σ_M	σ_X	σ_{VA}	
-	-	1.28	OIL
-	-	1.28	GAS
-	-	0.31	REF
-	-	0.30	ELE
-0.09	0.67	0.34	AGR
-0.09	0.67	1.28	MIN
-0.09	0.67	0.52	CHM
-0.09	0.67	0.29	NMM
-0.09	0.67	0.25	MAN
-0.09	0.67	0.27	PRV
-0.09	0.67	0.43	PUB
-0.09	0.67	0.87	TRA
-0.09	0.67	0.56	OTP
Billmeier and Hakura (2008)	Billmeier and Hakura (2008)	Koesler and Schymura (2015)	المصدر

لشروط التجارة، مع مرونة σ_X للصادرات و σ_M للواردات. يتم توفير المزيد من التفاصيل في الملحق A من Soummane وآخرون (2022).

في الجزء السفلي من دالة الإنتاج، يتم التعامل مع رأس المال والعمالة والكهرباء كمدخلات قابلة للاستبدال لإنتاج القيمة المضافة (VA). بالإضافة إلى ذلك، فإن السلع غير الطاقية مرنة بالنسبة

الملحق B. تحليل الحساسية

إظهار كيف يمكن للتغيرات في نموذج المحركات المختارة أن تؤثر على الطلب على الكهرباء في عام 2030. وتعد محركات الاقتصاد الكلي والمحركات الاجتماعية في النموذج عرضة لعدم اليقين. وبالتالي، فإننا نختبرها ضمن حدود معقولة تقابل المتغيرات "المنخفضة" و "العالية" (الجدول B.1).

في هذا القسم، نقدم تحليل حساسية الطلب على الكهرباء للمتغيرات الاجتماعية والاقتصادية المذكورة في الملحق A. بالاختصار، نقدم نتائج الحساسية للطلب الكلي في السيناريو المرجعي والتباين في إجمالي الناتج المحلي في نهاية أفق التوقعات. الهدف الرئيسي من هذا التحليل هو

الجدول B.1. المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية الخارجية في النموذج في عام 2030.

المتغير	الوحدة	منخفض	REF	عالي
السكان النشطين	مليون مكافئ بدوام كامل	26.2	27.6	29.0
إنتاجية العمالة	مؤشر يساوي 1 في عام 2013	1.05	1.10	1.27
اتجاه التصدير الافتراضي	مؤشر يساوي 1 في عام 2013	1.41	1.76	2.12
تكوين إجمالي رأس المال الثابت	حصة الناتج المحلي الإجمالي	23.9	26.1	29.8
مرونة الاستبدال σ_{VA}	غير متوفر	*0.5 قيمة مرجعية	قيمة مرجعية	*1.5 قيمة مرجعية
مخرجات النفط	مليون برميل يوميا	11.0	12.9	13.5
سعر النفط	دولار أمريكي للبرميل	62	88	111

المتغير العالي انتعاش اقتصادات المنطقة سريعاً فيما بعد انتشار الوباء.

لا توجد تقديرات مناسبة لمرونة الاستبدال (σ_{VA}) في السياق السعودي. وبالتالي، نقوم أيضاً بإجراء تحليلات الحساسية للمعاملات الواردة في الجدول A.2. للقيام بذلك، نضرب هذه المرونة في عوامل 0.5 (متغير منخفض) و 1.5 (متغير عالي)، على التوالي. بالنسبة لتكوين إجمالي رأس المال الثابت، يعود الاستثمار إلى مستواه في 2013 في المتغير المنخفض. في المتغير العالي، يصل الاستثمار إلى مستواه في عام 2015. في عام 2015، حفزت الحكومة القطاع غير النفطي بالإفناق العام كرد

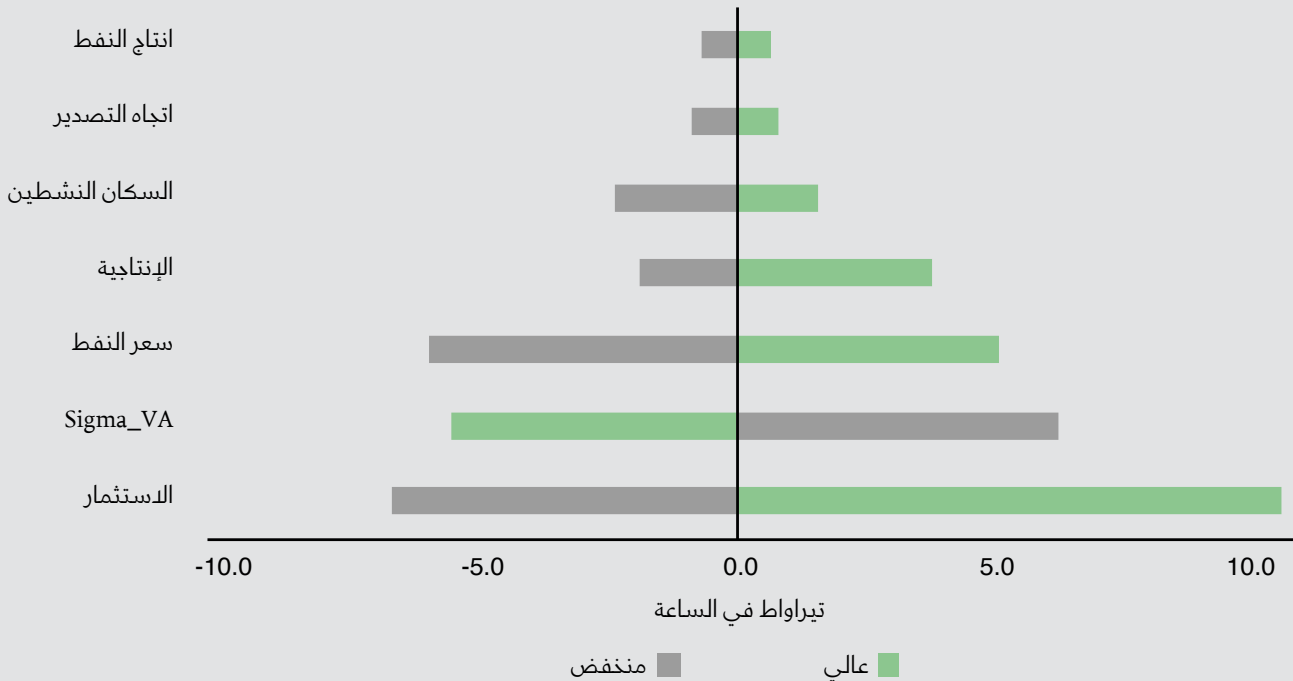
نوع الموارد السكانية النشطة بنسبة -5/+ من هدف السيناريو المرجعي في عام 2030. بالنسبة لإنتاجية العمل، نفترض ربخاً معتدلاً بنسبة 5% بحلول عام 2030 في المتغير المنخفض، بما يتوافق مع الزيادة المستهدفة من Oxford Economics. نفترض مكاسب بنسبة 27% في المتغير العالي، تتوافق مع مكاسب الإنتاجية غير النفطية المقدره بواسطة Alkhareif وآخرون (2017). نقوم بتغيير اتجاه التصدير الافتراضي بنسبة -20/+ من هدف السيناريو المرجعي في عام 2030. نفسر متغير التصدير المنخفض على أنه نمو أضعف في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا حيث تفشل المنطقة في التعافي اقتصادياً من جائحة كوفيد-19. ويعكس

فعل على انخفاض أسعار النفط. نستخدم التغييرات للنسب المئوية في إنتاج النفط في منطقة الشرق الأوسط التي توقعتها الوكالة الدولية للطاقة (2019). يتوافق الإنتاج في المتغيرات المنخفضة والعالية مع سيناريو التنمية المستدامة (SDS) للوكالة الدولية للطاقة وسيناريو السياسات الحالية (CPS)، على التوالي.²⁰ وبالمثل، فإن المتغيرات المنخفضة والعالية لأسعار النفط المتوقعة تتوافق مع أسعار النفط في سيناريو التنمية المستدامة وسيناريو السياسات الحالية للوكالة الدولية للطاقة (2019).

يظهر التحليل أن الطلب على الكهرباء أكثر حساسية للتغيرات في الاستثمار وأسعار النفط ومستويات الإنتاجية. ويعد حساس إلى حد ما للتغيرات في السكان النشطين (الشكل B.1).

تؤثر مستويات إنتاج النفط واتجاه التصدير الافتراضي للسلع غير الطاقية بشكل هامشي فقط على الطلب على الكهرباء. تعتمد المتغيرات المستخدمة لتحليل الحساسية الموضح على السيناريو المرجعي. بعبارة أخرى، ثبتت فيها أسعار الكهرباء عند مستويات 2018 وثبتت كثافة إنتاج الكهرباء عند متوسط 2013-2018. والاستثناء هو تحليل الحساسية لـ σ_{VA} ، والذي يعتمد على مواصفات الإنتاج 1. وبالتالي، تأتي الاختلافات في الطلب على الكهرباء من التأثيرات على ديناميكيات إيرادات الأسر والمخرجات القطاعية والرصيد المالي. تدفع هذه المتغيرات، إلى جانب متغيرات الاقتصاد الكلي الأخرى (مثل معدل البطالة والميزان التجاري والدين العام) التغييرات في مسارات الطلب على الكهرباء. تؤدي هذه الاختلافات معاً إلى تغييرات في الناتج المحلي الإجمالي.

الشكل B.1. حساسية إجمالي الطلب على الكهرباء لمتغيرات الاقتصاد الكلي، الاختلاف عن السيناريو المرجعي في عام 2030.



المصدر: محاكاة IMACLIM-SAU.

²⁰ لا تتوقع الوكالة الدولية للطاقة (2019) إنتاج المملكة العربية السعودية من النفط في السيناريوهات البديلة CPS و SDS.

أخيراً، يرتبط خفض مرونة استبدال المدخلات بالقيمة المضافة المكهربة بزيادة استهلاك الكهرباء، ولكنه يخفض الناتج المحلي الإجمالي بنسبة 0.5%. تؤدي زيادة مرونة الاستبدال إلى تحسين الناتج المحلي الإجمالي بنسبة 0.2%. في الواقع، يؤدي خفض قابلية استبدال عوامل الإنتاج الأولية إلى زيادة حصة الكهرباء، حيث تصبح عاملاً إنتاجياً صارماً مع عدد أقل من البدائل. ومع ذلك، ولأن للكهرباء حصة أقل من القيمة المضافة، تؤدي زيادة حصتها مقارنة بالعوامل الأخرى إلى انخفاض طفيف في الناتج المحلي الإجمالي. على العكس من ذلك، فإن زيادة قابلية الاستبدال في الجزء السفلي من دالة الإنتاج تسمح للعوامل المنافسة (أي العمالة ورأس المال) بالاستبدال للكهرباء في عملية الإنتاج. ومع ذلك، فإن قابلية الاستبدال هذه تتطلب خبرة إضافية من تصاعدية، حيث تتطلب زيادة كهربة بعض العمليات الصناعية تعديلات أو تحديثات لتأليات الإنتاج.

كما ذكر سابقاً، نقصر تحليل الحساسية لمتغيرات الاقتصاد الكلي على التغيرات المحفزة في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي مقارنة بمستوى عام 2030 في السيناريو المرجعي. وكما هو متوقع، يرتبط التغيير العالي في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي بارتفاع التغيير في إجمالي الطلب على الكهرباء، باستثناء إنتاج النفط. يختلف إجمالي الناتج المحلي في عام 2030 بنسبة -2.1% و +3.4% بالنسبة السيناريو المرجعي في متغيرات الاستثمار المنخفضة والعالية، على التوالي. ترتبط أسعار النفط في المتغيرات المنخفضة والعالية بتغيرات الناتج المحلي الإجمالي بنسبة -2.3% و +1.8% على التوالي. في المتغيرات المنخفضة للسكان النشطين والإنتاجية واتجاه التصدير الافتراضي، يتغير الناتج المحلي الإجمالي بنسبة -0.8% و -0.6% و -0.3% على التوالي. في المتغيرات العالية لتلك العوامل، تتغير بنسبة +0.5%، +1.3% و +0.3%، على التوالي، مقارنةً بالسيناريو المرجعي.

نبذة عن المؤلفين

صلاح الدين سومان

صلاح الدين باحث مشارك في برنامج تحويلات الطاقة والطاقة الكهربائية. تشمل مجالات بحوثه الحالية نمذجة سوق الكهرباء السعودي وإصلاحات سوق الكهرباء والإطار التنظيمي.



عمل صلاح الدين قبل انضمامه لكابسارك باحثًا مشاركًا في مختبر التابع للمركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي CIRED في فرنسا، حيث ركز على نمذجة الاقتصاد والطاقة المتكاملة. وقد عمل أيضًا باحثًا في مجموعة كهرباء فرنسا ضمن شعبة البحث والتطوير. وكان جزءًا من أسواق الطاقة التابعة للشعبة ووحدة التنظيم البيئي التي تركز على الأسواق الناشئة.

صلاح الدين حاصل على درجة الدكتوراه في الاقتصاد من جامعة باريس ساكلاي في فرنسا، وعلى درجة الماجستير في اقتصاديات الطاقة من جامعة مونبلييه في فرنسا، وفي الاقتصاد القياسي للأسواق المالية من كلية الاقتصاد في جامعة إيكس مارسيليا في فرنسا.

فريدريك غيريدي

باحث في المركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي تم تعيينه في CIRED في باريس. منذ عام 1997، كان يعمل على النمذجة الهيكلية تصاعدياً وتنازلياً للتفاعلات بين الاقتصاد والطاقة والبيئة (E3)، والتي يطبقها لتطوير التوقعات المستقبلية حول الكفاءة والمساواة في سياسات المناخ وتحويلات الطاقة.



يركز بحثه الحالي على الاقتصاد الكلي لتمويل المناخ، وعلى التأثيرات التوزيعية للاستراتيجية الوطنية الفرنسية منخفضة الكربون (SNBC)، وعلى نقل طريقة IMACLIM (تهجين النموذج والبيانات) إلى شركاء أكاديميين دوليين في إطار عمل شبكة IMACLIM. تمتد الشبكة الآن إلى 11 دولة، بما في ذلك فرنسا ودول البريكس (البرازيل وروسيا والهند والصين وجنوب إفريقيا).

نبذة عن المشروع

يقع قطاع الكهرباء في قلب تحول الطاقة في العديد من الدول. يتطلب كل من جانب العرض والطلب في سوق الكهرباء تقييمات شديدة لتحديد خيارات السياسة المناسبة التي يمكن أن تحقق أقصى فائدة لأصحاب المصلحة. يركز هذا المشروع على جانب الطلب في السوق السعودي. ويتم تقييم جانب العرض في مشاريع أخرى، بما في ذلك تطور مزيج الطاقة وتكامل سوق الكهرباء المحلي مع الأسواق الإقليمية.

نما الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية باستمرار على مدى العقود الماضية. بدأت المملكة العربية السعودية في إصلاحات الأسعار منذ عام 2016، وأطلقت حملات ترشيد لاستخدام الطاقة، للحد من الطلب على الكهرباء والاستخدام غير الفعال. ونتيجة لذلك، استقر الطلب على الكهرباء في السعودية بين عامي 2016 و2018، وانخفض في النهاية لأول مرة على الإطلاق في عام 2019. العوامل المختلفة التي تحدد نمو الطلب المحتمل أو انخفاضه وتأثير كفاءة الطاقة على نمو الطلب على الكهرباء في الاقتصادات النامية ليست مفهومة جيدًا.

يعد فهم نمو الطلب على الكهرباء أمرًا بالغ الأهمية لتطوير السياسة العامة. يؤثر عدم اليقين حول معدلات نمو الطلب على الكهرباء تأثيرًا مباشرًا على احتياجات الاستثمار. يفصل هذا المشروع العوامل الدافعة الأساسية للطلب السعودي على الكهرباء. ونقوم بتحليل التوجهات المستقبلية المحتملة للطلب على الكهرباء حسب القطاع في المملكة العربية السعودية.



www.kapsarc.org