

# آثار سياسات الإصلاح السعرية في استهلاك الوقود وانبعثات الكربون في السعودية

عبدالإله درندري، جيهون أي. ميكايوف،  
صلاح الدين سومان

## شكر وتقدير

يُعرِّب واضعو الدراسة عن شكرهم لماري بيتيتيت لتكرّمها بالمساعدة في عمليات محاكاة أنظمة الطاقة.

## إسهامات

أعد جميع واضعي الدراسة الصيغة النهائية لهذا المقال البحثي واعتمدها، وقد وضع عبد الإله درندري وجيهون ميكاييلوف منهجية القياس الاقتصادي القائمة عليها الدراسة، وطوّر صلاح الدين سومان منهجية دراسة منظومة الطاقة بها. وأسهم جميع واضعي الدراسة في كتابة مسودتها.

## بيان تضارب المصالح

لا ينطوي وضع هذه الدراسة على تضارب في المصالح، ولم نتلق أي تمويل خارجي لإنتاج هذا العمل البحثي. والآراء المُعْرَب عنها في هذه الدراسة هي آراء الباحثين المشاركين فيها، ولا تعبّر بالضرورة عن موقف المؤسسة التي ينتمون إليها.

## عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو 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 2023 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 كنصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدي الدراسة، ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.

نقيس تأثيرات سياسات الطاقة الإصلاحية السعرية في الطلب على الكهرباء بالمملكة العربية السعودية.

ندرس خصائص العرض والطلب على الكهرباء في المنطقة.

خفضت سياسات الطاقة الإصلاحية السعرية الطلب على الكهرباء بنسبة 8.8% سنويًا في المتوسط، من عام 2016 إلى عام 2019.

تشير تقديراتنا إلى أن إجمالي وفورات التكاليف الذي تحقق من انخفاض الطلب على الكهرباء بلغ قيمة تتراوح ما بين 1.3 و 1.4 مليار دولار أمريكي.

عند الأخذ في الحسبان تكلفة عدم اختيار سياسات الوقود البديلة، يتراوح إجمالي الوفورات ما بين 2.1 و 8.01 مليار دولار أمريكي.

تراوح إجمالي حجم انبعاثات الكربون التي أمكن تجنبها ما بين 81 مليون طن و 102 مليون طن من عام 2016 إلى عام 2019.

إن تقييم النتائج المحتملة لسياسات الطاقة الإصلاحية السعرية يُعدّ ضروريًا لصنّاع السياسات، من أجل تقييم فاعلية تلك السياسات. وتجدد الإشارة إلى أنه في عامي 2016 و 2018، عمدت الحكومة السعودية إلى إنفاذ موجتين من الإجراءات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، للحدّ من الطلب على الكهرباء الذي شهد نموًا سريعًا في الفترات الأخيرة. ونهدف إلى قياس آثار هذه التدابير في استهلاك الوقود وانبعاثات الكربون في منطقة المملكة العربية السعودية. ونستخدم لذلك نموذج قياس اقتصادي إقليمي بهدف تقييم التغيّرات في الطلب على الكهرباء التي أعقبت هذه الإجراءات الإصلاحية. كما نتبنّى نموذج تعيين الأمثلية الإحصائي لقياس وفورات الوقود والانخفاضات التي شهدتها انبعاثات الكربون. وتشير تقديراتنا إلى انخفاض الطلب على الكهرباء بنسبة 8.8% سنويًا في المتوسط بين عامي 2016 و 2019، في أعقاب هذه السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، وهو ما أدّى إلى وفورات في تكاليف الوقود تتراوح قيمتها ما بين 1.3 و 1.4 مليار دولار أمريكي. وبأخذ أسعار النفط العالمية في الحسبان، فإن إجمالي الوفورات يرتفع إلى 9.8 مليار دولار أمريكي. إضافة إلى ذلك، نبيّن أن موجتي الإجراءات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء قلّلتنا من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمقدار يتراوح ما بين 81 مليون طن و 102 مليون طن، وهو انخفاض تتراوح نسبته من انبعاثات قطاع الطاقة في المملكة العربية السعودية ما بين 8.2% و 10.4%. وتُظهر النتائج التي توصلنا إليها في حال المملكة العربية السعودية فوائد سياسات الطاقة الإصلاحية السعرية للدول التي تفرض نظام تعريفات ضريبية محددة. ويمكن لمثل هذه السياسات الإصلاحية أن تكون أداة فعّالة للوفاء بالتعهدات المناخية، عن طريق الحدّ من ضعف الكفاءة الاقتصادية في الطلب على الطاقة وحدّ الانبعاثات الكربونية.

## 1.1 الخلفية والسياق السعودي

الموجة الأولى من السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة في عام 2016، لتليها الموجة الثانية عام 2018.

وقبل أول سلسلتين من السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، كان استهلاك الكهرباء في المملكة العربية السعودية يزداد بمعدل 5.3% سنويًا بين عامي 2010 و2016 (SAMA, 2020). وخلال الفترة نفسها، زادت انبعاثات الكربون الناجمة عن توليد الطاقة بوتيرة مماثلة، إذ شكّلت 41% من انبعاثات المملكة من ثاني أكسيد الكربون، والتي بلغت 601 مليون طن عام 2016 (Crippa et al, 2019). وخلال موجة السياسات الإصلاحية الأولى في عام 2016، ارتفعت أسعار الكهرباء بين فئات عديدة غير سكانية من المستهلكين بنحو 20%. وفي الموجة الثانية من السياسات التي جرى إنفاذها عام 2018، استهدفت الإصلاحات المستهلكين في القطاع السكني بالأساس، فارتفعت الأسعار بنحو 260% للشريحة الأولى من مستهلكي الكهرباء (Al-dubyan and Gasim, 2021). وفي أعقاب سلسلتي السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، تباطأ نمو استهلاك الكهرباء في المملكة العربية السعودية على نحو ملحوظ. فانخفض متوسط نمو الطلب إلى 0.5% بين عامي 2016 و2018، وشهد عام 2019 تسجيل أول انخفاض في الطلب على الكهرباء (Soummane, 2020). غير أن دراسات حديثة أظهرت أن آثار سلسلتي السياسات الإصلاحية تباينت على الصعيد الإقليمي، على نحو عكس التفاوتات الكبيرة في درجات الحرارة، ومستويات الدخل، والسكان (Mi-kayilov et al, 2020a). وتختلف المناطق الأربع الأبرز عادة من حيث استهلاك الكهرباء في المملكة العربية السعودية اختلافات كبيرة فيما بينها، في ما يتعلّق بمحركات الطلب على الكهرباء بها. وهو ما ينطبق أيضًا على الفئتين الأكبر من المستهلكين، وهما: القطاع السكني، والقطاع الصناعي.

وعلى حد علمنا، تُعد هذه أول دراسة على المستوى الإقليمي تقيس استهلاك الوقود وانبعاثات الكربون

نقّذت دول عديدة سياسات مباشرة لمواجهة الانبعاثات، مثل الضرائب على انبعاثات الكربون، ووضع خطط لتداوله، بوصفها أدوات فعّالة للتخفيف من الانبعاثات (Stiglitz et al, 2017). ويمكن للسياسات غير المباشرة أيضًا أن تعود بفائدة في حال الدول التي تفرض أسعارًا محلية للطاقة. على سبيل المثال، يمكن للسياسات الإصلاحية المعنية بتعديل أسعار الطاقة المحلية بحيث تعكس مستويات حركة السوق أن تُحدث آثارًا مالية وبيئية مهمة (Coady, Parry and Shang, 2015). وتوضّح الدراسات السابقة أن سياسات الكربون غير المباشرة، مثل إلغاء الحوافز الداعمة لصناعات الوقود الأحفوري أو ترشيد أسعار الطاقة، تكون أكثر نفعًا للدول النامية، لأنها تسمح بتخفيف الانبعاثات دون التأثير سلبيًا في القدرة التنافسية الدولية لهذه البلدان (Klenert et al, 2018). ومن هذا المنطلق، طبقت دول عدة من الشرق الأوسط، لا سيّما المملكة العربية السعودية، سلسلة من الإجراءات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، بهدف الحدّ من النمو غير المستدام في استهلاك الوقود المحلي، وتفاقم تأزم الوضع المالي (Krane, 2018).

وتجدر الإشارة إلى أنه في أعقاب الانخفاض الحاد في أسعار النفط العالمية الذي شهده عام 2014، أطلقت المملكة العربية السعودية خطة اقتصادية لتنويع استثماراتها، وهي "رؤية 2030" (Vision 2030)، للحدّ من اعتمادها على عائدات النفط والغاز (SV2030, 2016). وفي إطار هذه الخطة، أطلقت حكومة المملكة "برنامج تحقيق التوازن المالي" (FBP)، وهو خطة مالية متوسطة المدى تهدف إلى الحفاظ على استدامة الأموال العامة (FBP, 2017). ويستند البرنامج إلى خمس ركائز أساسية، من ضمنها: "الخطة الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة والمياه" (Energy and Water Price Reform). وتسعى هذه الخطة إلى تشجيع ترشيد استهلاك الطاقة، وتعزيز الموقف المالي للبلد، وتغيير اتجاهات الدعم المالي استنادًا إلى عدة معايير اجتماعية. وقد جرى إنفاذ

الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء ساعدت القطاع على تجنّب ما يقرب من 36 مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال الفترة من عام 2016 إلى عام 2018. وفي هذه الدراسة، نتوسع في استخدام هذا النهج ليشمل جميع مستهلكي الكهرباء.

ويتمثل إسهام هذه الدراسة، التي تقيس أثر السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء في استهلاك الوقود والانبعاثات، في ثلاثة جوانب: فأولاً، نُقيّم استجابة المستهلكين للتغيرات في أسعار الكهرباء على المستوى الإقليمي من خلال نموذج يتحقق فيه توازن جزئي بين العرض والطلب على الكهرباء، وهو ما يسمح بتقدير مرونة الطلب أو تغيره استجابةً لاختلاف الدخل والأسعار بكل منطقة. ثانياً، نُجري محاكاة لسيناريو مغاير لا يجري فيه فرض سلسلتي السياسات الإصلاحية في عامي 2016 و2018، ونقدّر من خلاله حجم الاستهلاك الإقليمي للكهرباء. ثالثاً، نُجري محاكاة لسيناريوهات مختلفة للطلب على الكهرباء باستخدام نموذج لتوزيع الطاقة لاستحداث تقديرات لحجم استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

ويندرج ما تبقى من هذه الورقة البحثية تحت أربعة أقسام: فيتناول الجزء المتبقي من القسم الأول بالتفصيل التركيبة الإقليمية للطلب على الكهرباء من ناحية تشكيلة المستهلكين وأنواع الوقود المستخدمة. ويقدم القسم الثاني لمحة عامة عن بيانات الدراسة، وما تقوم عليه من منهجيات، وسيناريوهات. ويناقش القسم الثالث نتائج الاكتشافات التي توصلنا إليها من الدراسات التجريبية، والآثار اللاحقة المترتبة في سيناريوهات عدم فرض السياسات الإصلاحية. ونختتم الدراسة بالقسم الرابع والأخير الذي يناقش الآثار المترتبة على السياسة المتبعة في الدراسة.

التي أمكن تجنّبها من خلال السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء في المملكة العربية السعودية. وتدرس نُهج أخرى شملت الدراسات البحثية السابقة المستوى الإجمالي للانبعاثات الناجمة عن توليد الطاقة، أو تستخدم معاملات تحويل إلى وحدة مفردة، بهدف التعبير عن الانبعاثات الناجمة عن هذا النشاط. وقد استخدم ساراخ وفريقه البحثي (Sarrakh et al, 2020) نهجاً قائماً على قياس الفجوات السعرية التي شهدتها أسعار الطاقة في المملكة، مقروناً بإطار لتنظيم البيانات من المُدخلات والمُخرجات، ووجدوا أنه أمكن تجنّب إطلاق 98 مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في عام 2012 إذا أُلغيت الأسعار المفروضة آنذاك. كما درس الديبان وجاسم (Aldubyan and Gasim, 2021) العوامل المحركة لاستهلاك الكهرباء بالاستعانة بنمذجة هيكلية لعدد من التسلسلات الزمنية من أجل التوصل إلى قيم تقديرية لحجم الطلب الوطني على الكهرباء والبنزين في القطاع السكني. بيد أن حساباتهما للأسعار في هذين القطاعين تعتمد على القيم المُدرجة بالفواتير، وليس استهلاك الكهرباء والبنزين، بغرض تقدير المرونة السعرية للطلب (تغير حجم الطلب استجابةً لتغيرات الأسعار)<sup>1</sup>.

وقد أفاد الديبان وجاسم بمرونة سعرية للطلب قدرها -0.09، وافترضاً أن كل كيلوواط يمكن توفيره من الكهرباء بالساعة (كيلوواط/ساعة kWh) يمنع إطلاق 0.6 كيلوجرام من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتشير النتائج التي توصلنا إليها إلى أن السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة التي جرى إنفاذها عام 2018، أدت إلى تجنّب إطلاق 5.6 مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وأخيراً، استخدم درندري وميكاييلوف والعطوي (2021) نموذجاً يتحقق فيه توازن جزئي بين العرض والطلب على الطاقة لتقدير انبعاثات الكربون الإقليمية التي أمكن تجنّبها في القطاع السكني نتيجة السياسات الإصلاحية. وقد وجد الباحثون أن السياسات

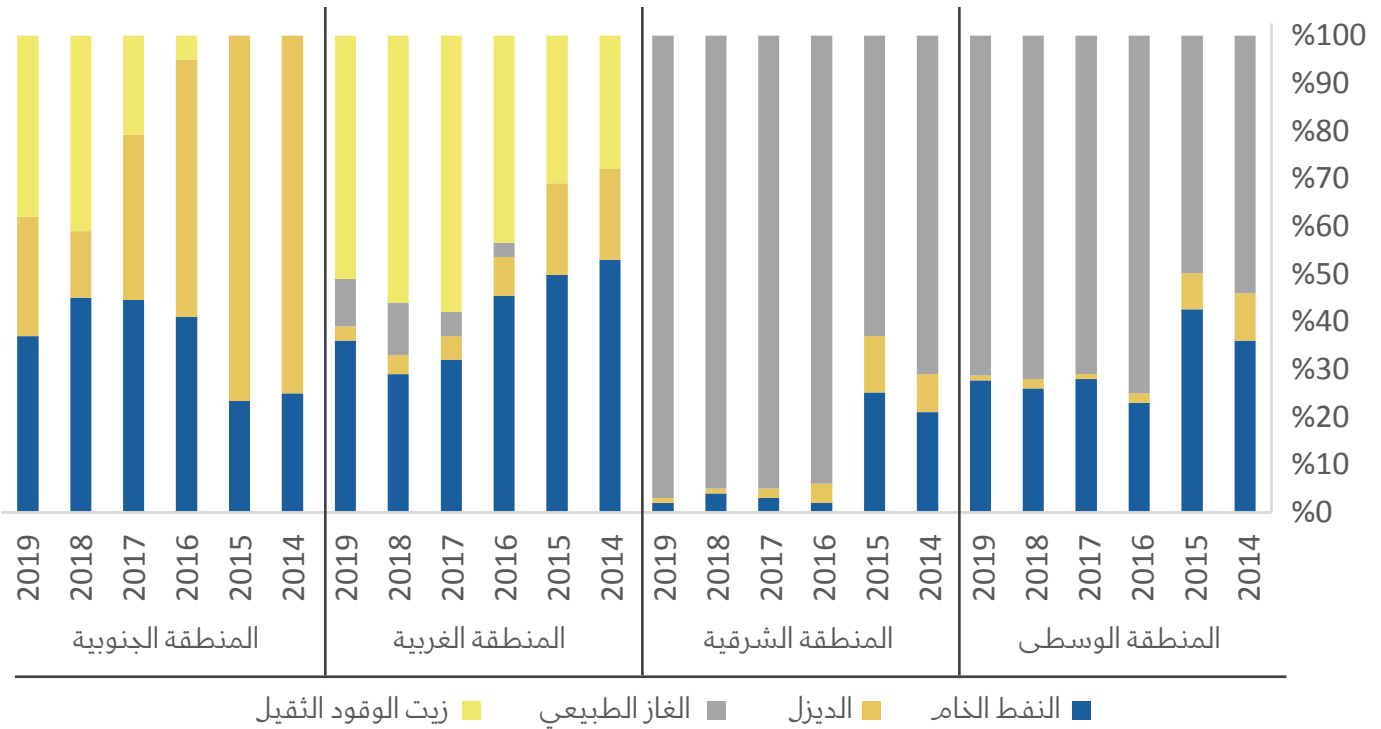
السعة الاستيعابية فيما يخص الطاقة. ويُسلط الشكل (1) الضوء على عمليات توليد الطاقة بين عامي 2015 و2019 في كل منطقة بالمملكة العربية السعودية، بتصنيفها حسب نوع الوقود. ويظهر الشكل مدى الاختلاف الكبير بين المناطق الأربعة في تشكيلات الوقود المستخدم. على سبيل المثال، يجري توليد الكهرباء في المنطقة الشرقية بالكامل تقريبًا من الغاز الطبيعي، إذ تضم المنطقة مرافق عدة لاستخراجه. وينحصر استخدام زيت الوقود الثقيل في المنطقتين الغربية والجنوبية، بينما تعتمد سائر المناطق الأخرى على النفط الخام. وأخيرًا، تبين أن استخدام الديزل آخذ في الانخفاض في مناطق رئيسة في البلد، لكنه يظل مصدرًا مهمًا لإمداد البقاع النائية ومحطات تحلية المياه بالطاقة في المنطقة الجنوبية. إلا أن استخدام الوقود بشكل عام في المنطقة الجنوبية قليل نسبيًا، إذ يشكّل 7% فقط من استهلاك الوقود اللازم لتوليد الكهرباء وتحلية مياه البحر (ECRA 2019).

## 2.1 الاستهلاك الإقليمي للكهرباء: توليفات مختلفة من المستهلكين وأنواع الوقود

يعتمد توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية على أربعة مصادر تقليدية للطاقة (النفط الخام، والديزل، وزيت الوقود الثقيل HFO، والغاز الطبيعي)، إلى جانب قدر ضئيل من مصادر الطاقة المتجددة (ECRA, 2019). وكانت موجتا السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء قويتا التأثير، إذ انتقل المستهلكون إلى أجهزة أكثر كفاءة في استهلاك الكهرباء ورشّدوا استهلاكهم لصور الطاقة (GaStat 2018). وتستدعي التفاوتات الإقليمية في حجم العرض من الكهرباء والاختلافات في محركات الطلب عليها اتباع نهج خاص لكل منطقة على حدة.

فأولًا، تتفاوت مصادر توليد الطاقة تفاوتًا كبيرًا بين المناطق المختلفة، بسبب التباين بينها في البنية التحتية، وفي إمكان الوصول إلى مصادر الطاقة، وفي

الشكل 1. تشكيلة أنواع الوقود المستخدمة حسب المنطقة، من عام 2015 إلى عام 2019.



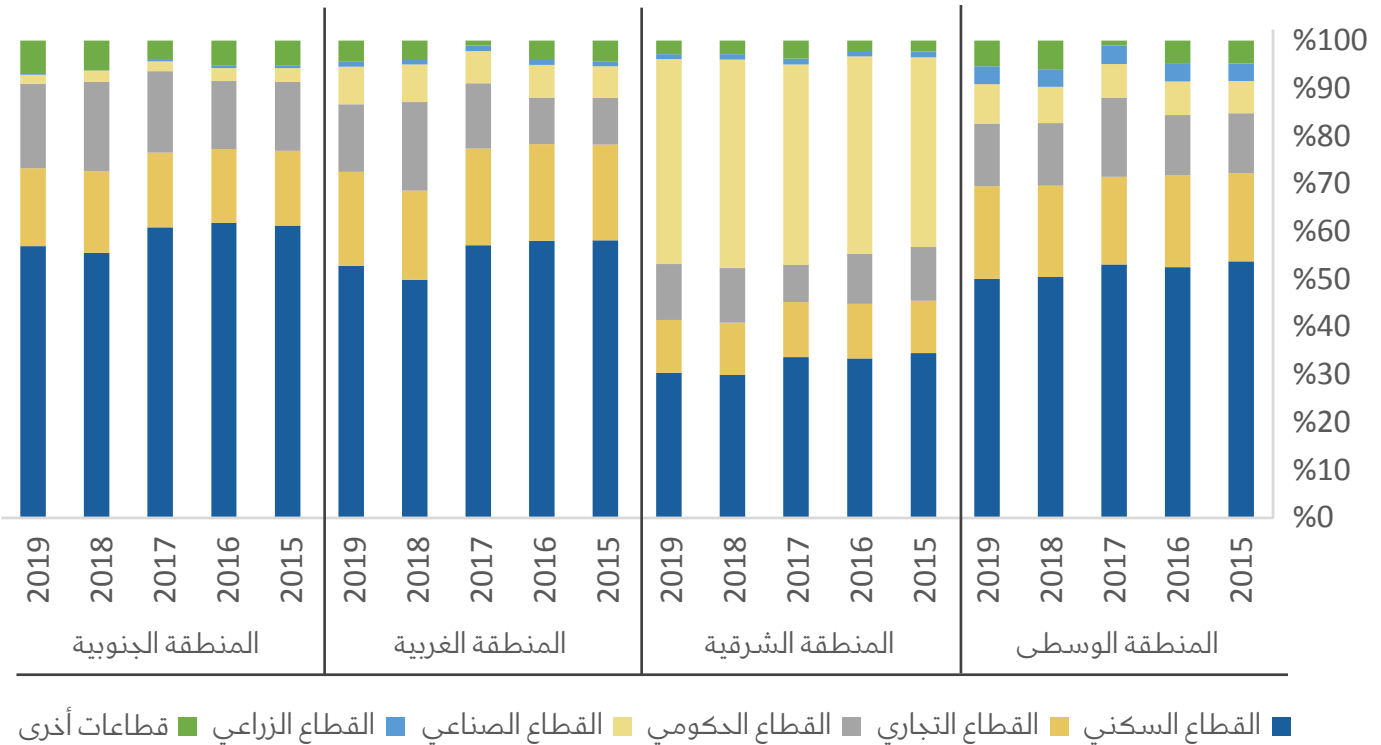
المصدر: هيئة تنظيم المياه والكهرباء (ECRA).

ملاحظة: بيانات استهلاك الوقود المقدمة من هيئة تنظيم المياه والكهرباء تتعلق بتوليد الكهرباء وتحلية المياه.

تشكيلة المستهلكين، إلى جانب الاختلافات الإقليمية الأخرى، مثل الظروف الجوية والهيكل الاقتصادي، تساعد في تفسير الاستجابة الإقليمية للسياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء وآثارها. وقد أظهرت دراسات أن القوى المدركة لاستهلاك الكهرباء تتباين تأثيراتها في مختلف مناطق المملكة العربية السعودية. ويتباين مقدار مرونة الطلب على الكهرباء استجابة للدخل والسعر في القطاع السكني (Mikayilov et al. 2020a)، والقطاع الصناعي (Mikayilov et al. 2022). من ثم، فإن السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء، سواء السابقة أو المحتملة، من شأنها أن تؤثر في المناطق بصور متفاوتة بحسب تركيبة المستهلكين فيها، وبيئتها، وتشكيلة أنواع الوقود المتاحة بها.

ثانياً، تختلف كل منطقة من ناحية تشكيلة مستهلكي الكهرباء فيها (انظر الشكل 2). ويتمثل هذا الاختلاف بأوضح صوره في القطاع الصناعي بالمنطقة الشرقية، الذي يستأثر بـ43% من إجمالي استهلاك الكهرباء في المنطقة. وفي المقابل، لا يتجاوز نصيب هذا القطاع من إجمالي استهلاك الكهرباء 8% في المناطق الأخرى (ECRA 2019). وتحتضن المنطقة الشرقية قطاعي النفط والغاز في المملكة العربية السعودية، وتشارك في عديد من الأنشطة الاقتصادية المرتبطة به. إضافة إلى ذلك، يشكّل مستهلكو الكهرباء في القطاع السكني في المناطق الوسطى والغربية والجنوبية نسبة كبيرة من مستهلكي الكهرباء. إذ تتجاوز نسبتهم 50%، إلا أنهم لا يمثلون سوى قرابة 30% من مستهلكي الكهرباء في المنطقة الشرقية. وهذه التفاوتات الإقليمية في

الشكل 2. حصص الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية حسب القطاع والمنطقة، من عام 2015 إلى عام 2019.



المصدر: البنك المركزي السعودي SAMA (2020).

ملاحظة: يشمل الطلب في "قطاعات أخرى" القطاعات التعليمية والصحية وقطاعات تحلية المياه.



# 2. البيانات والمنهجيات والسيناريوهات المُستخدمة

## 1.2 البيانات

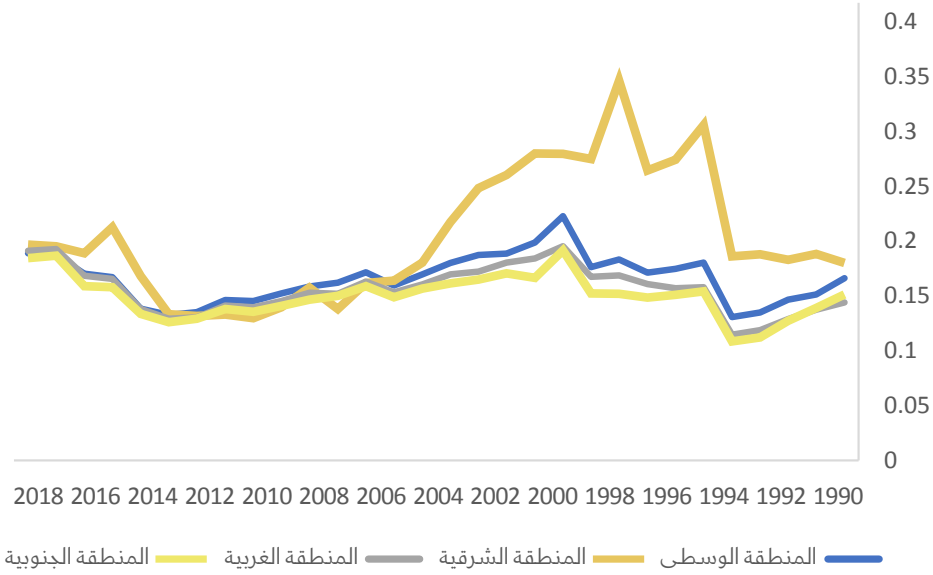
(ECRA, 2019)، ودراسة الباحثة عبير الغامدي (Al-Ghamdi, 2019). وتتولّى السلطات السعودية التحكم في الأسعار الاسمية للكهرباء وفرضها لكل نوع من أنواع المستهلكين، سواء من الهيئات الحكومية، أو القطاعات الزراعية والسكنية والصناعية والتجارية. وغالبًا ما تبقى أسعار الكهرباء ثابتة فترات طويلة، ولا تطرأ عليها سوى تعديلات طفيفة، كما لا يمكن تغييرها إلا من خلال مجلس الوزراء السعودي. وللتوصّل إلى الأسعار المعبرة عن كل منطقة، جمعنا الأسعار الحقيقية للكهرباء باستخدام القيم المرجّحة لحجم الاستهلاك بكل منطقة في كل عام (انظر الجدول 1). ولتحويل أسعار الكهرباء الاسمية إلى أسعار حقيقية<sup>2</sup>، استخدمنا معاملات انكماش لكل قطاع، بالاستعانة ببيانات من الهيئة العامة للإحصاء. فاستخدمنا مؤشر أسعار المستهلك لحساب معاملات الانكماش بالقطاع السكني. وإضافة إلى ذلك، استخدمنا معامل انكماش قطاع التصنيع غير النفطي لتقدير الأسعار الحقيقية في القطاع الصناعي، عدا المنطقة الشرقية التي استخدمنا فيها معامل انكماش قطاع تكرير النفط لضبط قيم الأسعار الحقيقية الخاصة بالقطاع الصناعي فيها<sup>3</sup>. كذلك استخدمنا معاملات انكماش القطاع الحكومي للوصول إلى الأسعار الحقيقية في هذا القطاع، ومعامل انكماش قطاع الخدمات لتقدير الأسعار الحقيقية الخاصة بالقطاع التجاري، ومعامل انكماش قطاع الزراعة للوصول إلى الأسعار الحقيقية بالقطاع الزراعي. ويعرض الشكل (3) الأسعار الحقيقية المرجّحة لكل منطقة.

استخدمنا بيانات سنوية عن الفترة من عام 1990 إلى عام 2019، بناءً على وفرة البيانات حولها. وحصلنا على بيانات إجمالي استهلاك الكهرباء (TEC) بالميجاواط/ساعة (MWh) عن الفترة ما بين عامي 1990 و2004 من الشركة السعودية للكهرباء (SEC)، في حين جاءت بيانات الفترة ما بين عامي 2005 و2019 من الإحصائيات السنوية الصادرة عن البنك المركزي السعودي (SAMA, 2020). وقد جمعنا البيانات السكانية السنوية الإقليمية للفترة ما بين عامي 1990 و2006 من المسوح الاستقصائية السكانية التي أجرتها الهيئة العامة للإحصاء (GaStat) في المملكة العربية السعودية، بينما حصلنا على بيانات الفترة ما بين عامي 2007 و2019 من البنك المركزي السعودي (SAMA, 2020). وتبعًا للمنطقة، استخدمنا الناتج المحلي الإجمالي (GDP) أو ناتج إجمالي القيمة المضافة دون احتساب قطاع النفط (GVA) كقيم معبّرة عن الدخل. فنظرًا إلى أن المنطقة الشرقية هي المسؤولة وحدها عن ناتج قطاع النفط، استخدمنا الناتج المحلي الإجمالي كمثل للدخل في هذه المنطقة. وسيرًا على نهج حسنوف وفريقه البحثي (Hasanov, 2016)، استخدمنا إجمالي القيمة المضافة دون احتساب قطاع النفط كمثل للدخل في حال المناطق الثلاث الأخرى.

وقد جمعنا البيانات المتعلقة بالقيم الاسمية لأسعار الكهرباء من مصادر متعدّدة، من بينها الشركة السعودية للكهرباء (2017)، وهيئة تنظيم المياه والكهرباء



الشكل 3. أسعار الكهرباء الإقليمية الحقيقية المرجحة.



المصدر: حسابات الباحثين بناءً على بيانات مأخوذة من الشركة السعودية للكهرباء (2017)، وهيئة تنظيم المياه والكهرباء (E-CRA, 2019)، ودراسة عبير الغامدي (2019).  
ملاحظة: الريال السعودي (SAR) بتثبيت علاقته بالدولار الأمريكي (\$US) عند سعر 1 دولار أمريكي = 3.75 ريال سعودي.  
kWh = كيلوواط / ساعة.

حد أدنى يبلغ 18.3 درجة مئوية في كل منطقة (Atalla et al. 2015). إضافة إلى ذلك، باتّباع نهج ميكاييلوف وفريقه البحثي (Mikayilov et al, 2020a)، استخدمنا بيانات أيام التبريد وأيام التدفئة معدّلة باحتساب درجات الرطوبة. ويقيس مؤشر خدمة الطقس الوطنية لدرجات الحرارة (NWS HI)، الذي تصدره الإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي، درجة الحرارة المكافئة حسب ما تستقبلها الحواس البشرية. وقد جرى حساب قيم هذا المؤشر من خلال تحليل انحدار متعدّد لشدة الرياح والإشعاع الشمسي باستخدام معادلات ستيدمان (Steadman, 1979)، اعتماداً على متغيّرين مستقلّين، هما: درجة الحرارة المحيطة (T)، والرطوبة النسبية (Rh) (Rothfus, 1990).

وأخيراً، حصلنا على البيانات الخاصة بدرجات الحرارة من المراكز الوطنية للمعلومات البيئية التابعة للإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA). واستقينا البيانات المتعلقة بأيام التبريد (CDD)، وهي مجموع الأيام التي تجاوزت فيها درجات الحرارة 21.1 درجة مئوية على مدى العام بالمنطقة، بالسير على نهج دراسة الباحث طارق عطا الله وفريقه البحثي (Atalla et al, 2018). ويجسّد هذا المتغيّر مقدار التبريد الذي تحتاج إليه المنازل للوصول إلى درجة حرارة مريحة داخلها. بينما تعكس أيام التدفئة (HDD) مقدار التدفئة المطلوبة لكل منطقة. وباتّباع الطريقة المُستخدمة لحساب أيام التبريد، تمكنا من حساب الأيام السنوية التي انخفضت فيها درجات الحرارة عن

## 2.2 المنهجيات

### 1.2.2 نهج اقتصادي لقياس حجم الطلب الإقليمي على الكهرباء

تنتج قيمة حجم استهلاك الكهرباء من حساب الدخل، والأسعار، والطقس، وحجم السكان. ويتبع النهج الذي استخدمناه لتقدير استهلاك الكهرباء الإطار النظري الذي استخدمه بينستوك ودالزيل (Beenstock and Dalziel، 1986)، وعطا الله وهانت (Atallah and Hunt 2016).

وتستخدم تقنية النمذجة التي ابتكرناها نهج انتقال من العام إلى الخاص (Gets) (انظر: Hendry and Doornik، 2014). فأولاً، وضعنا نموذجاً عاماً غير مقيّد (GUM)، يشمل جميع المتغيرات ذات الصلة. ثانياً، استخدمنا خوارزمية قياس أوتوماتيكية لبحث متعدد المسارات قائمة

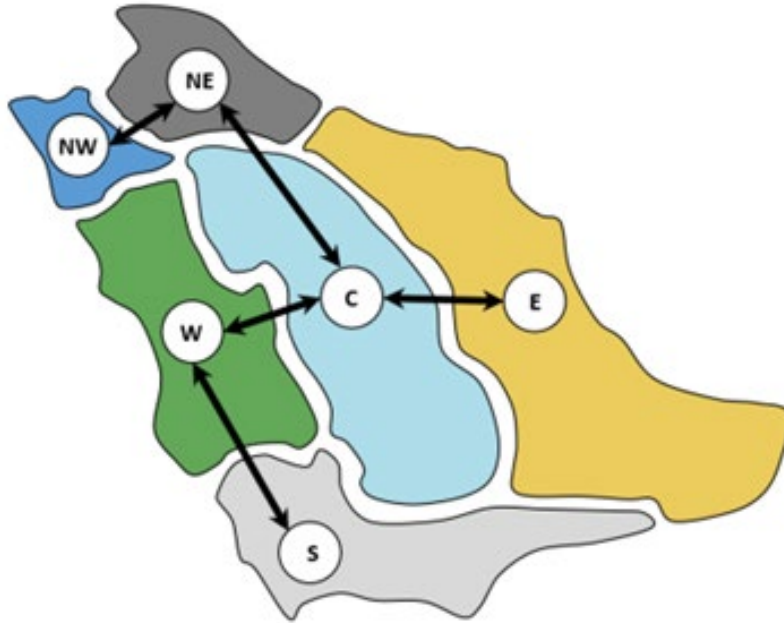
على تقنية تعلم الآلة (Doornik and Hendry، 2018). وتساعد هذه الخوارزمية على استخلاص المعاملات المستقلة المحتملة، مثل الاضطرابات غير المتكررة في حجم الطلب، والتغيرات العابرة به، وتغير مستوياته، والانقطاعات في اتجاهاته، وذلك باستخدام دالة نبضية مؤشرة مشبّعة (IIS)، ودالة نبضية مؤشرة مُشبّعة ذات معامل فرق (DIS)، ودالة سُلمية مؤشرة مُشبّعة (SIS)، ودالة اتجاه مؤشّرة مُشبّعة (TIS) افتراضية. إضافة إلى ذلك، تتيح خوارزمية القياس الأوتوماتيكية تلك اختبار صحة المعلمات المُستخدمة للكشف عن التغيرات المحتملة مع مرور الزمن باستخدام دالة ضربية مؤشّرة مشبّعة (Castle and Hendry 2019، Castle، Hendry، and Martinez 2017، Ericsson et al. 2012). المواصفة الوظيفية العامة المستخدمة في التقديرات التجريبية هي:

$$dele_t = \alpha_0 + \sum_1^2 \alpha_i dele_{t-i} + \sum_0^2 \beta_i inc_{t-i} + \sum_0^2 \gamma_i p_{t-i} + \sum_0^2 \delta_i cdd_{t-i} + \sum_0^2 \theta_i hdd_{t-i} + \sum_1^T \vartheta_i IIS_t + \sum_1^T \tau_i SIS_t + \sum_1^T \varphi_i DIIS_t + \sum_1^T \omega_i TIS_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

ووفقاً لنهج الانتقال من العام إلى الخاص (Gets) بعد تحديد المتغيرات النظرية أولاً على مدى فترتين زمنيتين، يجري اختيار متغيرات التداخل الافتراضية باستخدام مستوى دلالة محكّم. وفي الخطوة التالية، وهي تحديد المتغيرات الافتراضية المُختارة، يجري اختيار النموذج النهائي بناءً على مجموعة من الاختبارات لاكتشاف الأخطاء. وتستخدم عملية الاختيار متعدد المسارات برنامج النمذجة القائم على مؤشرات قياس اقتصادية المعروف باسم "PcGive" (Doornik and Hendry، 2018).

إذ يرمز المتغير  $dele$  إلى الطلب الإقليمي للفرد على الكهرباء، خلال الفترة التي يُعبر عنها بالمتغير  $t$ ، بالمنطقة التي يُشار إليها بالمتغير  $r$ . بينما يعبر المتغير  $inc$  عن نصيب الفرد من الدخل، والمتغير  $p$  عن سعر الكهرباء، و  $cdd$  عن أيام التبريد الإقليمية، و  $hdd$  عن أيام التدفئة الإقليمية. وقد صيغت جميع هذه المتغيرات في صورة لوغاريتمات. ويشير IIS إلى متغير دالة نبضية مؤشرة مُشبّعة، و SIS إلى متغير دالة سُلمية مؤشرة مُشبّعة، و DIIS إلى متغير دالة نبضية مؤشرة مشبّعة ذات معامل فرق، و TIS إلى متغير دالة اتجاه مؤشرة مُشبّعة افتراضية.

الشكل 4. تمثيل بياني تخطيطي لنموذج كابسارك (KAPSARC) للطاقة.



المصدر: الباحثون.

ملاحظة: يُشار إلى كل منطقة باستخدام عقدة واحدة. "C" = المنطقة الوسطى، "E" = المنطقة الشرقية، "NE" = المنطقة الشمالية الشرقية، "NW" = المنطقة الشمالية الغربية، "S" = المنطقة الجنوبية، "W" = المنطقة الغربية.

## 2.2.2 نموذج تعيين الأمثلية لنظام الطاقة السعودي

نموذج كابسارك للطاقة (KPM) هو نموذج تعيين أمثلية جرت مواءمته وضبطه ليلتئم منظومة الطاقة في المملكة العربية السعودية. ويستخدم النموذج برنامج PLEXOS، الذي جرى ضبطه ومواءمته ليلتئم أساطيل توليد الطاقة في المملكة في عام 2018، بالاستعانة بتمثيلات بيانية تفصيلية لأكثر من 100 وحدة توليد (Elshurafa and Peerbocus, 2020). ويمكن للنموذج أن يحدد بدقة مقدار الطاقة الملزمة كل وحدة بإنتاجها كل ساعة، بناءً على التكلفة الحدية للتوليد، وهو يمثل ست مناطق تشغيلية، كما هو مبين في الشكل (4).

ويعتمد النموذج على مقارنة تُخفّض فيها التكاليف إلى الحد الأدنى، ويخرج التكاليف المتوسطة والحدية لإنتاج الكهرباء وانبعثات ثاني أكسيد الكربون، والتي يمكن استخدامها أيضًا لتخطيط توسعة القدرة الإنتاجية لوحدات

توليد الطاقة (Elshurafa et al, 2021). إضافة إلى ذلك، يأخذ نموذج كابسارك للطاقة في الحسبان سمات محددة لنظام الطاقة السعودي، مثل الوحدات التي يجب تشغيلها بناءً على مدى وفرة الوقود. وقد استخدمنا تكاليف الوقود المفروضة، والعوامل المؤثرة في الانبعثات على النحو الوارد تفصيلًا في الجدول (1).

وتتباين التمثيلات البيانية الإقليمية لمنحنيات أحمال الطاقة المستخدمة في نموذج كابسارك للطاقة، الذي يعبر عن ست مناطق تشغيلية، وكذلك بيانات الاستهلاك المستخدمة في تحليل مؤشرات القياس الاقتصادية (انظر القسم 2.2.1)، التي تمثل أربع مناطق. وللتحايل على هذا التباين، دمجنا بين بيانات منطقة نشاط توليد الطاقة الشمالية الشرقية (NEOA)، والمنطقة الشرقية لهذا النشاط بالمملكة، كما دمجنا بين بيانات منطقة نشاط توليد الطاقة الشمالية الغربية (NWOA)، والمنطقة الغربية لهذا النشاط. وتجدر الإشارة إلى أن منطقة أنشطة توليد الطاقة الشمالية الشرقية والمنطقة الشمالية

1.5% عن عام 2018.

وبعد تحديد أنماط أحمال الطاقة لكل ساعة، التي يقوم عليها حساب حجم الطلب الفعلي، أي منحني أحمال الطاقة الفعلي لعام 2018، بالإضافة إلى المنحنيات المُعاد ضبطها لأعوام 2016، و2017، و2019، استخدمنا القيم التقديرية لمتغيرات حجم الطلب (على النحو الوارد تفصيلاً في القسم 4.1). بعد ذلك، يجري قياس أحمال الطاقة المُرجحة لكل عام بالاستعانة بالنصيب التقديري لكل من المناطق الأربع من هذه الأحمال، وذلك بهدف استنتاج حجم الطلب الإقليمي في حال عدم فرض السياسات الإصلاحية<sup>5</sup>. وللتصدي لمشكلة غياب البيانات السلوكية، مثل استطلاعات آراء المستهلكين، أو قراءات العدادات الذكية، افترضنا توزيعاً متساوياً للمتغيرات في أحمال الطاقة لكل ساعة<sup>6</sup>. ونهدف من ذلك إلى تقييم تباين الاستهلاك على مدار السنة التي تلت السياسات الإصلاحية السعريّة. وقد حلّل سومان وفريقه البحثي (Soummane et al, 2022) مدى تأثر تشكيلة أنواع الطاقة المستخدمة بالمملكة للمتغيرات في أحمال الطاقة باستخدام عدّة سيناريوهات، بما في ذلك تغيرات الأحمال على مدى ساعات اليوم، أو في ساعات عمل أو أوقات ذروة محددة. وقد وجد الفريق البحثي أن السيناريو الأول يحقّق وفورات أعلى نسبياً في المملكة العربية السعودية على مستوى منظومة الطاقة، مقارنةً بالسيناريو المغاير الذي لا تُفرض فيه السياسات الإصلاحية السعريّة.

الغربية لهذا النشاط، تُمثل حصتها من أحمال الطاقة على مستوى البلد جزءاً صغيراً. ومن ثم لا تؤثران في تفسير النتائج. وخلال سنة 2018 التي شهدت مواءمة النموذج وضبطه ليناسب أساطيل توليد الطاقة التي كانت قائمة بها، لم تبلغ حصة منطقة أنشطة توليد الطاقة الشمالية الشرقية من أحمال الطاقة على مستوى البلد سوى 2.2%، في حين بلغت حصة المنطقة الشمالية الغربية لهذا النشاط من أحمال الطاقة تلك 1.8%.

وقد حاكينا تشكيلة أنواع مصادر الطاقة المستخدمة من عام 2016 إلى عام 2019، عبر النهج الآتي: نقطة بداية المحاكاة هي سنة 2018 التي شهدت معايرة النموذج وضبطه، وقد أعدنا أخذ قياسات النموذج على مدار الساعة في الأعوام 2016 و2017 و2019، بناءً على التغيرات المسجلة في بيانات إجمالي الطلب على الكهرباء والمستقاة من دراسة هيئة تنظيم المياه والكهرباء ECRA (لعام 2019)<sup>4</sup>. ولا يُتوقع أن يؤثر هذا النهج تأثيراً كبيراً في عمليات المحاكاة التي أجريناها، لأن الطلب على الكهرباء ظل ثابتاً نسبياً خلال عامي 2016 و2017، مقارنةً به في عام 2018، إذ بلغ الفارق في نسبته هذه أقل من 1% في عام 2018. أما في عام 2019، فقد انخفض هذا الطلب بنسبة 3.5% مقارنةً به في عام 2018. إضافة إلى ذلك، خلال السنوات التي شملتها المحاكاة، استمر ثبات نسبة أقصى حمل مسجّل، التي شهدها عام 2018، باستثناء عام 2016 فقط الذي انخفضت فيه ذروة الطلب على الطاقة بنسبة

### الجدول 1. أسعار الوقود المفروضة والعوامل المؤثرة في الانبعاثات

نوع الوقود	السعر (بالدولار الأمريكي/ مليون وحدة حرارية بريطانية)	معامل الانبعاث (بالكيلوجرام/ مليون وحدة حرارية بريطانية)
النفط الخام	1.144	77.5
الديزل	2.41	78.0
الغاز الطبيعي	1.25	59.1
زيت الوقود الثقيل	0.6	85.9

المصدر: (Elshurafa et al, 2022).

سيناريو الغاز الطبيعي دون تضيق المعروض منه (UG): في هذا السيناريو، نفترض أن تغيّر حجم الطلب على الغاز الطبيعي لكل قطاع لدى عدم فرض سياسات إصلاحية سعرية يمكن احتسابه بصورة وافية عن طريق زيادة قيمة المعروض من هذا الغاز، دون زيادة التكاليف المطلوبة لاستيفاء طلب القطاعات الأخرى من الغاز الطبيعي. بعبارة أخرى، نفترض أن إجمالي إمدادات البلد من الغاز الطبيعي سيزداد لتلبية الطلب على الغاز الطبيعي دون فرض السياسات الإصلاحية، من خلال زيادات في إنتاج الغاز الطبيعي، ومعظم هذه الزيادات تأتي من حقول الغاز الطبيعي الجاف المشتق من النفط غير السائل (Shabaneh and Schenckery, 2020).

سيناريو الغاز الطبيعي بتضيق حجم المعروض منه (CG): بينما يأخذ السيناريو السابق في اعتباره العقبات التي تفرضها منظومة البنية التحتية على الاستهلاك اليومي، وهي اعتبارات تدخل كذلك في سيناريو الغاز الطبيعي بتضيق حجم المعروض منه، فإن هذا السيناريو الأخير يضع كذلك حدًا أقصى للاستهلاك السنوي للغاز في حال عدم فرض سياسات إصلاحية، بحيث لا يتجاوز استهلاك الغاز المستويات المسجلة في حال فرض السياسات الإصلاحية. وعليه، فهذا السيناريو يضع حدًا سنويًا أقصى لاستخدام الغاز الطبيعي في قطاع الطاقة. ونحن بذلك نقرّ بصحة نظام توزيع الغاز الطبيعي بين القطاعات على أساس حصص محددة (Krane 2015; Matar et al. 2019).

### 3.2.2 سيناريوهات تضيق المعروض من الغاز الطبيعي

تمثل الكهرباء المُنتجة من الغاز الطبيعي نسبة قوامها 57% من الكهرباء المولدة في المملكة العربية السعودية (ECRA, 2019). إضافة إلى ذلك، تُعد السعودية تاسع أكبر منتج للغاز الطبيعي على مستوى العالم، إذ بلغ إنتاجها السنوي منه 113.6 مليار متر مكعب عام 2019 (BP, 2020). وتستهلك عمليات توليد الطاقة، وتحلية المياه نحو 55% من إمدادات الغاز الطبيعي في المملكة (ECRA, 2019). إضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي الارتفاع الموسمي في حجم الطلب على الطاقة إلى اختناق شبكة توزيع الغاز الطبيعي بالمملكة، وربما يحفز الاستثمار في مرافق تخزين هذا الغاز واستيراده (Matar and Shabaneh, 2020). ولكي نعكس احتمالية حدوث هذا الاختناق، عمدنا إلى تضيق نموذج كابسارك للطاقة، عن طريق تضيق المعروض من المواد الخام المُستخدمة في إنتاج الغاز الطبيعي لتوليد الطاقة، بحيث لا يتجاوز الحد اليومي الأقصى لتوليد الطاقة ذلك المستقى من دراسة مطر وشبانه (Matar and Shabaneh, 2022). فضلًا عن ذلك، لمراعاة احتمالات الخطأ بشأن حجم العرض من الغاز الطبيعي في ما يتصل بعمليات تنمية الموارد منه، فقد أجرينا محاكاةً للسيناريوهين الآتيين:

## 3. النتائج والمناقشة

### 1.3 النتائج التجريبية والمناقشة

قبل وضع تقديراتنا، تحققنا من استقرار المتغيرات أولًا باستخدام اختبار ديكي- فولر (Dickey and Fuller, 1981)، وقد وجدنا أن جميع المتغيرات مستقرة لدى حساب معامل الفرق الأول (انظر الملحق أ.1). كما توصلنا إلى وجود تكامل مشترك (علاقة طويلة المدى) بين المتغيرات في جميع المناطق، عن طريق الاختبارات التي اقترحها بانيرجي وفريقه البحثي في دراسة عام 1993 (Banerjee et al, 1993)، وبانيرجي وفريقه البحثي في دراسة عام 1998 (Banerjee et al, 1998)، على النحو المبين بالتفصيل في الملحق أ.2. وللتحقق من احتمالية انعدام الخطية بين المتغيرات، استخدمنا اختبار التحقق من انعدام الخطية الذي طرحه الباحثان كاسل وهندري (Castle and Hendy, 2010) إلى جانب اختبار رامزي التقليدي المعروف باسم "RESET" (Ramsey, 1969)، واختبار عام لاختلاف التباين (White, 1980). ولم نجد دليلًا على انعدام الخطية بين المتغيرات (انظر الملحق أ.3). إضافة إلى ذلك، استخدمنا النمذجة الهيكلية للسلاسل الزمنية (Harvey, 1990) (STSM) كإطار عمل للتحقق من دقة تقديراتنا، ومما إذا كانت المتغيرات تختلف بمرور الوقت، ولم نجد دليلًا على اختلاف المتغيرات أو على وجود اتجاهات عشوائية للطلب على الكهرباء واستهلاكها في أي منطقة، كما هو مبين بالتفصيل في الملحق أ.4. وكانت القياسات التي أسفرت عنها النمذجة الهيكلية للسلاسل الزمنية مشابهة لتلك التي تمخضت عنها المقارنة التي استخدمناها في هذه الدراسة، وهي وضع التقديرات بناءً على خطوتين، مع بعض الاستثناءات القليلة.

وقد وُضعت التقديرات الخاصة بنموذج كل منطقة أولًا بحيث تشمل فترتين زمنيتين منفصلتين، باستخدام معادلة المواصفة الوظيفية العامة المستخدمة في التقديرات التجريبية واختيرت المواصفة النهائية على أساس مقارنة بحث متعدد المسارات، وقد أوردنا نتائجنا التقديرية بالتفصيل في الملحق أ.5. كما أوردنا النتائج المتعلقة بمرونة الطلب والاستهلاك استجابةً للدخول والأسعار على المديين الطويل والقصير في الجدول (2).

وقد كانت تأثيرات الأسعار والدخول ذات دلالة إحصائية في جميع المناطق. فكما هو متوقع، تُبرز تقديرات نطاق مرونة حجم الطلب والاستهلاك، تأثيرًا بالدخول والأسعار، مدى التفاوت الناتج عن تباين مستوى الدخل وتشكيلة المستهلكين في المناطق المختلفة، وهو ما يسفر أيضًا عن تباين في تأثيرات الأسعار. فعلى سبيل المثال، كانت مرونة الطلب والاستهلاك، تأثيرًا بالدخل في المناطق منخفضة الدخل، أعلى منها مقارنةً بالمناطق الأكثر ثراءً، كما ورد بدراسات مماثلة. على سبيل المثال، انظر دراسة ميكاييلوف وفريقه البحثي (Mikayilov et al, 2020a) للقطاع السكني، ودراسة ميكاييلوف وفريقه البحثي (Mikayilov, 2022) للقطاع الصناعي. وقد استأثرت المنطقة الجنوبية، وهي الأقل في إجمالي الناتج المحلي، بمرونة الدخل الأعلى على الإطلاق (Lopez et al., 2019). وهو ما يجعل هذه المنطقة أكثر تأثرًا من غيرها بالتغيرات في الدخل. وتليها المنطقة الغربية (0.694)، ثم المنطقة الشرقية (0.554)، ثم المنطقة الوسطى (0.535). أما في ما يتعلق بتأثيرات الدخل على المدى القصير في مستوى الطلب على الكهرباء، فقد تأثرت منطقتان فقط تأثيرًا كبيرًا بتغير الدخل، وهما المنطقتان الشرقية والغربية، كما هو مبين في دراسة ميكاييلوف وفريقه البحثي (Mikayilov et al. 2020b).



الجدول 2. أسعار الوقود المفروضة والعوامل المؤثرة في الانبعاثات

المنطقة الجنوبية		المنطقة الغربية		المنطقة الشرقية		المنطقة الوسطى		
المدى القصير	المدى الطويل	المدى القصير	المدى الطويل	المدى القصير	المدى الطويل	المدى القصير	المدى الطويل	
1.445***	-	0.694***	0.259**	0.554**	0.334***	0.535***	-	الدخل
-0.378*	-0.141**	-0.258*	-0.096**	-0.188**	-	-0.461***	-0.087*	السعر
-	-	0.568**	0.212*	-	-	-	-	أيام التبريد

المصدر: تعني العلامة “-” عدم وجود تأثير على المدى القصير. أما العلامات “\*” و “\*\*” و “\*\*\*”، فتشير إلى أن التأثير ليس صفرًا عند مستويات الدلالة الإحصائية: 10%، و5%، و1%، على الترتيب. و cdd = أيام التبريد. المصدر: حسابات الباحثين.

إنتاجية، مثل المنطقة الجنوبية (Chang et al, 2014). وفي الوقت نفسه، كان تأثير مرونة الطلب بالأسعار أقل في المنطقة الشرقية الأكثر إنتاجية، إذ إن القطاع الصناعي هو المستهلك الأبرز للكهرباء فيها، في حين أن أغلب الاستهلاك في المناطق الثلاث الأخرى مصدره مستهلكو القطاع السكني. وقد وجدت دراسات أن القطاعات الصناعية في المنطقة الشرقية أقل تأثرًا بحركة الطلب على الكهرباء من مستهلكي القطاع السكني (انظر: Mikayilov et al. 2020a, 2022).

وقد كان تأثير مرونة الطلب والاستهلاك بالدخل في المنطقتين الوسطى والغربية قريب من النتائج التي توصل إليها ميكاييلوف وفريقه البحثي (aMi- 2020 kayilov et al). وعلى النقيض، كان تأثير مرونة الطلب بالأسعار والدخل في المنطقتين الأخرين (الشرقية والجنوبية) أعلى من النتائج التي توصلت إليها دراسة ميكاييلوف وفريقه البحثي. ولعل هذه الاختلافات ناجمة عن تحديث البيانات القديمة الذي أجرته الهيئات المعنية، التي تنظر في منهجيات جديدة ومقاربات أشمل في ما يتعلق بالاستعانة بالبيانات. إضافة إلى ذلك، تناولت دراسة ميكاييلوف وفريقه البحثي عينة بيانات تغطي فترة تمتد إلى عام 2016، وتحتوي معلومات أقل. كذلك لا

وتعكس المرونة السعرية المقدرة (أي التغيرات في الطلب والاستهلاك تأثرًا بالأسعار) حقائق عن أنماط تشكيلات المستهلكين في كل منطقة. فكان من المتوقع أن تكون المناطق التي تشمل نسبة عالية من مستهلكي القطاع السكني أكثر تأثرًا بتغيرات الأسعار، لا سيما أن أكثر من 50% من إجمالي استهلاك الكهرباء في المناطق الغربية والوسطى والجنوبية يأتي من هذا القطاع، حيث تبلغ المرونة السعرية في المنطقة الغربية -0.49، والمرونة السعرية في المنطقة الوسطى -0.46، والمرونة السعرية في المنطقة الجنوبية -0.38. وبالمقارنة، يشكل مستهلكو القطاع السكني في المنطقة الشرقية 37% فقط من إجمالي فواتير الكهرباء في حين أن حصة القطاع الصناعي من فواتير الكهرباء فيها تروبو على 40%. ومن ثمَّ تبلغ المرونة السعرية المقدرة لهذه المنطقة -0.19.

وتشير النتائج التقديرية المستخلصة من نموذج مؤشرات القياس للاقتصادية الذي وضعناه لتقدير حجم الطلب على الكهرباء إلى أن المحركين الرئيسيين للطلب هما: الدخل والسعر، وتتباين تأثيراتهما في شتى مناطق المملكة العربية السعودية. واتساقًا مع نتائج دراسات سابقة، تبين أن تأثيرات الدخل أكبر في المناطق الأقل



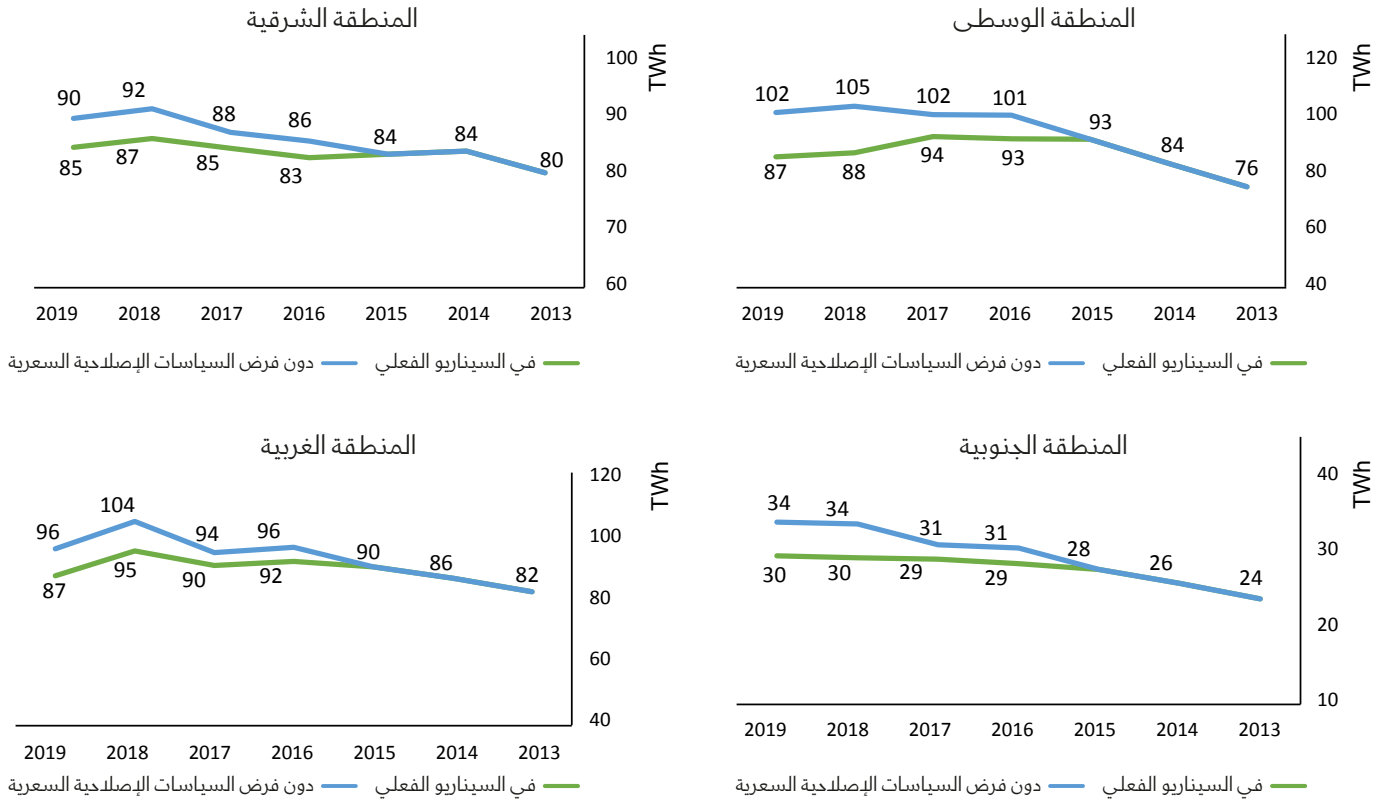
وتشير تقديراتنا المتعلقة بسياريو عدم فرض السياسات الإصلاحية إلى أن أعلى حجم للطلب على الكهرباء دون إنفاذ هذه السياسات كان سينشأ في المنطقة الوسطى، وتليها المنطقة الجنوبية، فالمنطقة الغربية، ثم المنطقة الشرقية. وأنه بتثبيت الأسعار الاسمية عند المستويات التي كانت عليها عام 2015، تنتج أسعار حقيقية أقل. ومن ثم، فإن المنطقة التي تتسم بمرونة سعرية أعلى من غيرها كان سينشأ فيها طلب أعلى، لدى تساوي تلك المنطقة مع غيرها في جميع العوامل الأخرى. ومن المتوقع أن معدلات نمو الطلب كانت ستبلغ 14% للمنطقة الوسطى، و11% للمنطقة الجنوبية، و7% للمنطقة الغربية، و5% للمنطقة الشرقية. ولعل هذا التباين التقديري بين المناطق في سياريو عدم فرض السياسات الإصلاحية يرجع إلى أن القدرة على الوصول إلى الوقود لتوليد الطاقة تختلف من منطقة إلى أخرى.

تتضمن عينة البيانات تلك الموجة الثانية من السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، والتي جرى إنفاذها عام 2018. كما استخدم ميكايلوف وفريقه البحثي (Mi-kayilov et al, 2020a) تقديرات الدخل القابل للإنفاق للتعبير عن الدخل في المنطقة الشرقية، وهو لا يمثل سوى دخل مستهلكي القطاع السكني (30% تقريبًا من جميع المستهلكين).

### 2.3 استهلاك الكهرباء حال عدم إنفاذ سياسات الإصلاح السعرية

كيف كان سيبدو الطلب الإقليمي على الكهرباء لو أن المملكة العربية السعودية لم تعتمد إلى إنفاذ سياسات الإصلاح السعرية المعنية بالقطاع السكني في عامي 2016 و2018؟ لقد استخدمنا مواصفةً تقديريةً تغطي فترة طويلة الأمد لكل منطقة (انظر الجدول 2)، لرسم معالم سياريو الطلب على الكهرباء في حال عدم إنفاذ هذه السياسات، وحال بقاء أسعار الكهرباء ثابتة عند مستواها في عام 2015. ويمثل الشكل (5) هذا السياريو الافتراضي، ويقارنه بالاستجابة الفعلية لحركة الطلب في كل منطقة بعد إنفاذ السياسات.

الشكل 5. حجم الطلب على الكهرباء حسب المنطقة.



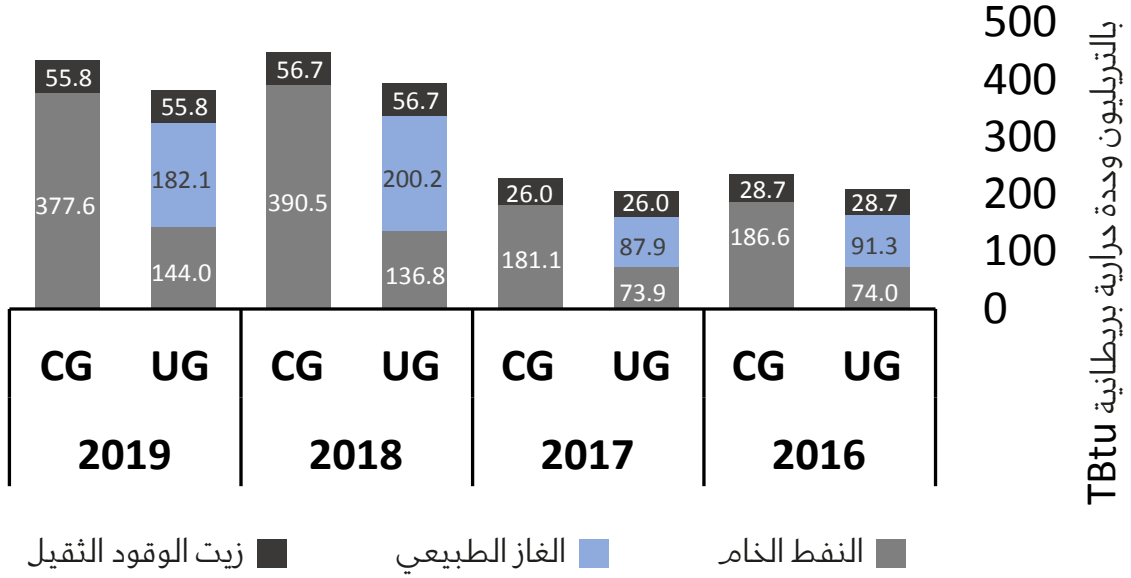
المصدر: إحصائيات هيئة تنظيم المياه والكهرباء (ECRA, 2019) للطلب الفعلي على الكهرباء، وتقديرات الباحثين لهذا الطلب في حال عدم فرض السياسات الإصلاحية. ملاحظة: المنطقة الشمالية الشرقية ضمن المنطقة الشرقية، والمنطقة الشمالية الغربية ضمن المنطقة الغربية.

شبكة الطاقة، ونفصلها في القسم 3.2، في إطار سيناريو تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي وسيناريو الغاز الطبيعي دون تضيق حجم المعروض منه، ونوضح كلا الحالتين بالتفصيل في القسم 3.3. ويلخص الشكل 6 حجم الطاقة الممكن تجنب استهلاكها، وهي الطاقة المطلوبة لتغطية حجم الطلب في حال عدم فرض السياسات الإصلاحية.

### 3.3 وفورات تكاليف الوقود الناجمة عن السياسات الإصلاحية

نستعرض في هذا القسم المتطلبات الأساسية للوقود، بعد أن استعرضنا التغيرات المحتملة في الطلب في سيناريو عدم فرض السياسات الإصلاحية. كذلك نُجري عمليات محاكاة لأحمال الطاقة الفعلية والأحمال في سيناريو عدم فرض السياسات على صعيد منظومة

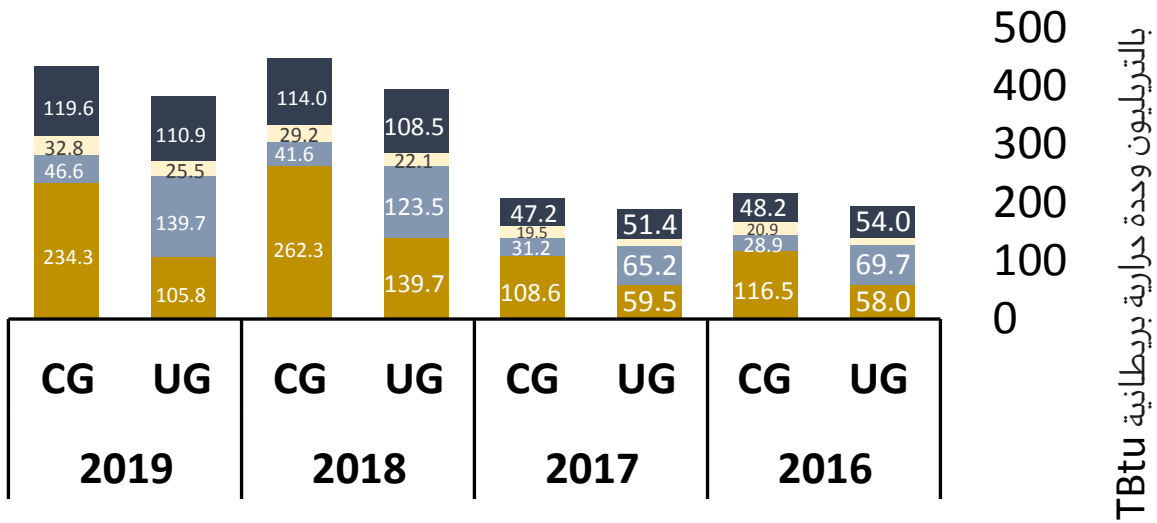
الشكل 6. ما أمكن تجنبه من استهلاك الطاقة حسب نوع الوقود (يسارًا) وحسب المنطقة (يمينًا).



زيت الوقود الثقيل

الغاز الطبيعي

النفط الخام



المنطقة الغربية

المنطقة الجنوبية

المنطقة الشرقية

المنطقة الوسطى

المصدر: تحليل الباحثين بناءً على محاكاة نموذج كابسارك للطاقة (KPM).

ملاحظة: لا يظهر الديزل ضمن الانبعاثات، لأن النموذج أشار إلى عدم وجود انبعاثات من الديزل. بيانات المنطقة الشمالية الشرقية مدرجة ضمن بيانات المنطقة الشرقية، وبيانات المنطقة الشمالية الغربية مدرجة ضمن بيانات المنطقة الغربية. UG = سيناريو عدم تضييق المعروض من الغاز الطبيعي. CG = سيناريو تضييق المعروض من الغاز الطبيعي. TBtu = تريليون وحدة حرارية بريطانية.

من الطاقة. على سبيل المثال، من المتوقع أن توفر تلك المنطقة 34.4% تقريبًا من الزيادة المطلوبة في إمدادات الطاقة، وتليها المنطقة الوسطى، التي توفر 31.4% من هذه الزيادة، في سيناريو عدم تضيق المعروض من الغاز الطبيعي. وفي ظل أنماط طلب مشابهة، لكن مع تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، يُتوقع أن يرتفع إسهام المنطقة الوسطى إلى 55.5%، إذ إن تلبية الطلب المحتمل على الطاقة ستعتمد بالدرجة الأولى على إنتاج النفط الخام.

إن اختلاف خصائص الطلب على الطاقة والوقود بين المناطق هو ما يفسر تفاوت حجم هذا الطلب بينها. وتستند هذه النتائج في الأساس المنطقي لها إلى توليد المنطقة الشرقية لمعظم الطاقة الأساسية، على الرغم من أن الزيادة المتوقعة في الطلب على الطاقة ستأتي في المقام الأول من المنطقة الوسطى، التي يهيمن عليها القطاع السكني. على سبيل المثال، مقارنةً بالطلب في المناطق الأخرى، تنخفض التغيرات في حجم الطلب على الطاقة بالمنطقة الشرقية، نظرًا إلى ارتفاع حصة القطاع الصناعي من هذا الطلب بها، وهي حصة تُعد غير متغيرة نسبيًا (Mikayilov et al., 2022). وبالنظر إلى أن أساطيل إنتاج الطاقة بالمنطقة الشرقية تتكوّن حصريًا من وحدات لتوليد الطاقة بالغاز الطبيعي، يُحتمل أن تكون هذه المنطقة الأعلى إسهامًا في إنتاج الطاقة، مقارنةً بسائر المناطق، في حال عدم تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي. ويرجع ذلك إلى قربها من منشآت استخراج الوقود. أما في سيناريو تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، فقد تبين أن المنطقة الشرقية يُتوقع أن يأتي منها 65.2% من إجمالي المواد الأولية اللازمة لإنتاج الغاز الطبيعي، المطلوبة لتلبية الاحتياجات إلى الطاقة في حالة عدم إنفاذ السياسات الإصلاحية.

يُذكر أن تغطية حجم الطلب في إطار سيناريو عدم فرض السياسات الإصلاحية في الفترة من عام 2016 إلى عام 2019 ستتطلب إمدادًا تراكميًا إضافيًا من الوقود قدره 1,157.4 تريليون وحدة حرارية بريطانية (Tbtu) في حال سيناريو عدم تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، و1,301.4 تريليون وحدة حرارية بريطانية في سيناريو تضيق حجم المعروض منه. ويتيح تقسيم أنواع الوقود والمناطق بهذا النموذج إجراء تحليل متعمّق لمتطلبات الطاقة المحتملة.

وقد تبين أنه برفع القيود عن إمدادات الغاز الطبيعي، من المتوقع أن يوفر الغاز الطبيعي نسبة قوامها النصف تقريبًا من إجمالي الاحتياجات إلى الطاقة (48.5%)، في حين ستلبي إمدادات النفط الخام 37.0% من الاحتياجات، وتلبي إمدادات زيت الوقود الثقيل 14.4% من الاحتياجات. أمّا في سيناريو تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، فمن المتوقع أن تبلغ الزيادة في حجم استهلاك النفط الخام كوقود 87.3%، بينما يبلغ الارتفاع في نسبة استهلاك زيت الوقود الثقيل 12.8%، في الوقت الذي يظل فيه استهلاك الغاز الطبيعي شبه ثابت (0.1%-)، مقارنة بالوضع في سيناريو فرض السياسات الإصلاحية. وتجدر الإشارة إلى أن حجم حصص المناطق من الطلب على الكهرباء في حال فرض السياسات الإصلاحية يختلف عنه في حال عدم فرض هذه السياسات، مع تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي. فعلى سبيل المثال، بلغ الاختلاف في حجم الطلب على الكهرباء بين سيناريو فرض السياسات الإصلاحية وعدم فرضها أقل مستوياته في المنطقة الشرقية، حيث يرتفع حجم هذا الطلب في سيناريو عدم فرض السياسات الإصلاحية بنسبة 4.8% في المتوسط، مقابل ارتفاع له يبلغ 13.6% في المنطقة الوسطى. ومن جانب آخر، من بين المناطق الأربع، تُعد المنطقة الشرقية الأعلى إسهامًا في تلبية الاحتياجات

الطبيعي، وتصل إلى 1,397.6 مليون دولار أمريكي لدى تضييق حجم المعروض من هذا الغاز. وكما هو متوقع، تزايدت التكاليف المحتملة المرتبطة بالوقود لتصل إلى أعلى مستوياتها في عام 2018، عند إنفاذ الموجة الثانية من السياسات الإصلاحية السعرية، التي استهدفت مستهلكي القطاع السكني.

ويوضح الجدول (3) التكاليف المرتبطة بالوقود بحسب نوع الوقود والمنطقة، وبحسب الأسعار التي قررتها الجهات التنظيمية المعنية. وجدير بالذكر أنه خلال الفترة التي شملتها الدراسة بين عامي 2016 و2019، تبين أن التكاليف المرتبطة بالوقود في حال عدم فرض السياسات الإصلاحية تصل إلى 1,292.6 مليون دولار أمريكي، وذلك لدى عدم تضييق حجم المعروض من الغاز

### الجدول 3. التكلفة المحتملة حسب نوع الوقود والمنطقة

#### سيناريو عدم تضييق المعروض من الغاز الطبيعي (UG)

التكلفة حسب المنطقة، بالمليون دولار أمريكي					التكلفة حسب نوع الوقود، بالمليون دولار أمريكي					
المجموع	المنطقة الغربية	المنطقة الجنوبية	المنطقة الشرقية	المنطقة الوسطى	المجموع	زيت الوقود الثقيل	الغاز الطبيعي	الديزل	النفط الخام	
216.0	46.8	14.0	86.5	68.7	216.0	17.2	114.1	0.0	84.6	2016
210.0	45.2	13.4	80.9	70.5	210.0	15.6	109.8	0.0	84.6	2017
440.8	95.0	25.1	155.9	164.6	440.8	34.0	250.2	0.0	156.5	2018
425.8	97.7	29.2	173.5	125.4	425.8	33.5	227.6	0.0	164.8	2019

#### سيناريو تضييق المعروض من الغاز الطبيعي (CG)

التكلفة حسب المنطقة، بالمليون دولار أمريكي					التكلفة حسب نوع الوقود، بالمليون دولار أمريكي					
المجموع	المنطقة الغربية	المنطقة الجنوبية	المنطقة الشرقية	المنطقة الوسطى	المجموع	زيت الوقود الثقيل	الغاز الطبيعي	الديزل	النفط الخام	
229.6	37.7	23.9	33.7	134.3	229.6	17.2	-1.2	0.0	213.5	2016
222.0	38.2	22.3	36.6	125.0	222.0	15.6	-0.8	0.0	207.2	2017
480.5	97.7	33.4	46.4	303.0	480.5	34.0	-0.2	0.0	446.8	2018
465.5	104.9	37.6	53.0	270.0	465.5	33.5	0.0	0.0	432.0	2019

المصدر: تحليل الباحثين بناءً على محاكاة نموذج كابسارك للطاقة (KPM). ملاحظات: الأرقام مقربة، لذا ربما لا تعطي المجموع الكلي عند جمعها. بيانات المنطقة الشمالية الشرقية مدرجة ضمن بيانات المنطقة الشرقية، وبيانات المنطقة الشمالية الغربية مدرجة ضمن بيانات المنطقة الغربية.

قيمتها 490.5 مليون دولار أمريكي، التي شكلت نسبة قوامها 37.9% من التكاليف سالفة الذكر. وليس من المستغرب أن تستأثر المنطقة الشرقية بأعلى نسبة من التكاليف المحتملة، تبلغ 38.4%، بينما تبلغ نسبة حصة المنطقة الوسطى من هذه التكاليف 33.2%. ورغم

وفي حال تضييق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، بلغت قيمة حصته من التكاليف الإضافية المرتبطة بالوقود في سيناريو عدم إنفاذ السياسات الإصلاحية 701.85 مليون دولار أمريكي، لتشكّل 54.3%، من مجموع هذه التكاليف. وتليها حصة النفط الخام، البالغة

تتراوح بين 30.6% و 61.7% على المدى القصير، وتبلغ 83.7% على المدى الطويل. وهذه النسب من المتوقع أن تؤدي إلى تضخيم التكلفة المحتملة للوقود في سيناريو تضييق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، لتصل إلى ما يتراوح بين 2.1 إلى 8.0 مليار دولار أمريكي، مقارنةً بالتكلفة نفسها في حال عدم تضييق المعروض من إمدادات الغاز. ويُتوقع أن تصل الوفورات في تكاليف الوقود إلى 9.8 مليار دولار أمريكي، عند حسابها باستخدام سعر النفط العالمي<sup>7</sup>. ويناقش سومان وفريقه البحثي (Soummane et al, 2022) أهمية حساب تكلفة سياسات الوقود البديلة في حال تشكيلة أنواع الطاقة المستخدمة في المملكة العربية السعودية، عند إزاحة بعض أحمال الطاقة من مواسم ذروة الطلب على الطاقة إلى المواسم التي تشهد حجمًا عاديًا من الطلب، بما في ذلك الأحمال الخاصة بالغاز الطبيعي. وتشير النتائج التي توصل إليها سومان وفريقه البحثي إلى أن السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الغاز الطبيعي لن تكون ذات دلالة إحصائية إلا بعد إزاحة أحمال ضخمة منه (أي أكثر من 25% من أحمال القطاع الصناعي، من مواسم ذروة الطلب على الطاقة إلى مواسم الطلب العادي على الطاقة). ومن جانب آخر، قد تؤثر هذه السياسات سلبًا في حجم وفورات الوقود المُتَمَتلة، حال كانت الأحمال المُزاحة ضئيلة.

### 4.3 خفض انبعاثات الكربون عبر سياسات إصلاحية سعرية معنية بالطاقة

يناقش هذا القسم أهم الانبعاثات الكربونية المرتبطة بسيناريو مفاير، وهو عدم فرض سياسات إصلاحية معنية بالطاقة. ويوضّح الشكل (7) حجم انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بحسب نوع الوقود، والمنطقة، ووفق حجم الطلب في سيناريو عدم فرض السياسات الإصلاحية في الفترة ما بين عامي 2016 و 2019، في حال عدم تضييق المعروض من الغاز الطبيعي. وتشير عمليات المحاكاة التي أجريناها إلى أن إجمالي الانبعاثات التي يمكن تجنبها في هذا السيناريو يساوي 80.7 مليون طن (tM) لدى عدم تضييق المعروض من الغاز

أن كل من سيناريو تضييق حجم المعروض من الغاز الطبيعي يعتمد على أنماط طلب متشابهة، فإن فرض قيود على إمدادات هذا الغاز، في سيناريو تضييق حجم المعروض منه، يؤدي إلى زيادة إجمالي تكاليف الوقود المحتملة بنسبة 8.1%. كذلك يؤدي تضييق حجم المعروض من الغاز الطبيعي إلى زيادة حصة المنطقة الوسطى من التكاليف لتصل إلى 59.6%، وارتفاع حصة المنطقة الغربية من التكاليف لتساوي 19.9%. ويرجع هذا الفرق في التكلفة بين سيناريو تضييق حجم المعروض من الغاز، إلى أن كفاءة المحطات البخارية في هاتين المنطقتين تقل عنها في المحطات التي تعمل بالغاز الموجودة في المنطقة الشرقية. وقد تبين أن سيناريو تضييق حجم المعروض من الغاز الطبيعي يسفر عن تكلفة إضافية قدرها 105.0 مليون دولار أمريكي، في الفترة بين عامي 2016 و 2019، مقارنةً بسيناريو عدم تضييق المعروض من هذا الغاز. وهذه الفجوة نابعة من التكاليف الزائدة الناجمة عن الاعتماد على النفط الخام، وهي 809.0 مليون دولار أمريكي، وتجنب توليد طاقة الغاز الطبيعي، بسبب تضييق حجم المعروض منه، وهو ما يغني في هذه الحالة عن تكاليف توليد هذا الغاز البالغ قدرها 704.0 مليون دولار أمريكي.

وعلى الرغم من أن هذه التقديرات تتيح معلومات مفيدة بشأن تكلفة الوقود في حال إنفاذ سياسات إصلاحية معنية بأسعار الطاقة وفي حال عدم إنفاذها، فإنها تعكس الوضع حسب الأسعار المفروضة، ومن ثم فهي تتيح تقييمًا جزئيًا فحسب للتكاليف المحتملة. ولا شك أنه يمكن استغلال استهلاك الوقود لتوليد الطاقة في قطاعات أخرى، مثل صناعة البتروكيماويات، أو تصديره بدلًا من ذلك. ويتطلب ذلك إجراء تحليل إضافي للتكاليف البديلة الناجمة عن توفير وقود. وقد أدرج كارانفيل وبييرو (Karanfil and Pierru) التكاليف المحتملة لسياسة بديلة، وهي استخدام النفط الخام كجزء بسيط من أسعار الوقود الدولية. وتشير النتائج التي توصل إليها إلى أن التكاليف المرتبطة بالنفط الخام التي يمكن التخلص منها لدى توفير تكاليف الوقود يُتوقع أن تشكل نسبة من تكاليف الوقود الدولية

الغاز الطبيعي أن يؤدي إلى انتقال توليد الطاقة إلى المنطقتين الوسطى والغربية، اللتين يعتمد توليد الطاقة فيهما على السوائل أكثر من المنطقة الشرقية، وهو ما ينجم عنه زيادة تراكمية في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 26.8%، مقارنة بالانبعاثات في سيناريو عدم تضيق المعروض من الغاز الطبيعي.

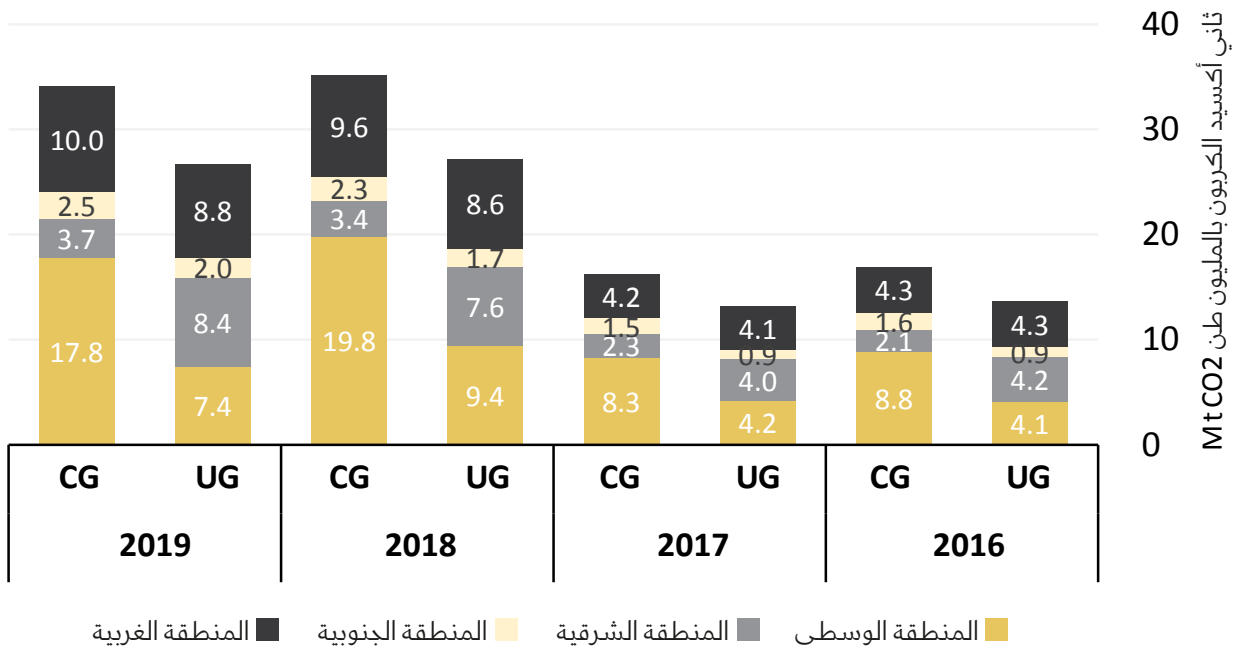
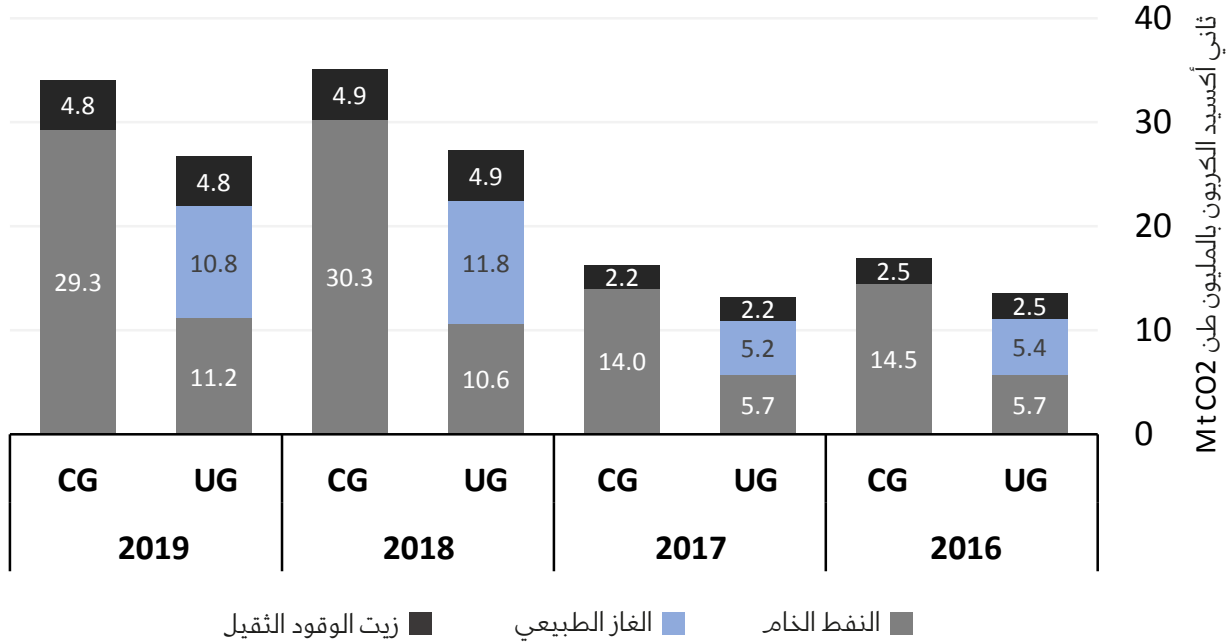
وفي عام 2021، طرحت المملكة العربية السعودية، شأنها في ذلك شأن عديد من الدول الأخرى، تحديثاً للأهداف التي وضعتها لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة (GHG) وثاني أكسيد الكربون. كما عمدت إلى تحديث الإسهامات المقررة وطنياً (NDC) التي عازمت على تبنيها على مستوى البلد، والتي حددت مساراً للوصول إلى صافي انبعاثات كربونية صفرية بحلول عام 2060. وتوسعى المملكة حالياً إلى الاستعاضة عن الوقود السائل في قطاع الطاقة (Kingdom of Saudi Arabia 2021). كما وضعت هدفاً طموحاً، يتمثل في توليد 50% من الكهرباء من الغاز الطبيعي، و50% منها عبر مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2030 (Saudi Arabia NDC 2021). وتهدف جميع هذه السياسات إلى خفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وتجنبها، والتخلص من 278 مليون طن من هذا الغاز سنوياً بحلول عام 2030. ويتسق هذا التغيير في سياسات البلد مع رؤية المملكة العربية السعودية لعام 2030، وهي برنامج تحوّل وطني يهدف إلى ترشيد استهلاك الطاقة من خلال فرض سياسات للحدّ من الإسراف في استهلاكها وتشجيع منح الحوافز لتحقيق الكفاءة في استخدامها (رؤية المملكة العربية السعودية 2030 - 2016). وتعكس النتائج البحثية المتعلقة بمدى تجنّب انبعاثات الكربون تأثير سياسات الطاقة التي سبقت تحديث برنامج الإسهامات المقررة وطنياً في المملكة العربية السعودية.

الطبيعي، و102.3 مليون طن في حال تضيق المعروض من هذا الغاز. ويسهم النفط الخام بأعلى حصة من الانبعاثات، على مستوى أنواع الوقود، سواء في سيناريو وضع قيود على المعروض من الغاز الطبيعي أو في سيناريو رفع هذه القيود، بواقع 41.1% حال فرض القيود، و86.1% حال رفعها. ورغم أنّ الغاز الطبيعي يشكّل النصف تقريباً من إمدادات الطاقة في حال عدم تضيق المعروض منه، فإنّ إسهامه في انبعاثات الكربون يضاوي حصة النفط الخام، الذي يغطي نسبة قوامها 37% من إجمالي الحاجة إلى الطاقة. وثمة عاملان مسؤولان عن حصة النفط الخام الضخمة من الانبعاثات. فأولاً، على صعيد الطاقة، تتسم كثافة الكربون في النفط الخام بأنها أعلى منها في الغاز الطبيعي بنحو 31%. ثانياً، يتميز توليد الطاقة بالبخار (في المحطات التي تعمل بالنفط) بنسب حرارة أعلى، ومن ثمّ بكفاءة أقل، مقارنة بتوليد الطاقة بالغاز الطبيعي.

أمّا على مستوى المناطق، فيتجلّى اختلاف طفيف في أنماط الانبعاثات عن أنماط الطلب على الطاقة. فعلى الرغم من أنّ المنطقة الغربية تُسهم بحصة أقل من حجم الطلب على الطاقة، مقارنة بالمنطقة الشرقية والمنطقة الوسطى في سيناريو توليد الغاز الطبيعي دون تضيق حجم المعروض منه، فهي تسهم بأعلى نسبة من الانبعاثات، وتبلغ 32.0%. إذ تعتمد تشكيلة مصادر الطاقة المستخدمة بالمنطقة الغربية إلى حد كبير على زيت الوقود الثقيل، الذي يتسم بكثافة كربونية أعلى من الغاز الطبيعي (أعلى بنسبة قوامها 45.3%)، وأعلى من النفط الخام (بنسبة قوامها 10.8%)، كما هو موضّح بالجدول (1). وفي المجمل، في سيناريو عدم تضيق حجم المعروض من الغاز الطبيعي، يسهم زيت الوقود الثقيل بنسبة 58.5% في زيادة الانبعاثات بالمنطقة الغربية. ومن شأن فرض قيود على إمدادات



الشكل 7. ما أمكن تجنبه من انبعاثات الكربون حسب نوع الوقود (يسارًا) وحسب المنطقة (يمينًا).



المصدر: تحليل الباحثين بناءً على محاكاة نموذج كابسارك للطاقة (KPM). ملاحظة: لا يظهر الديزل ضمن الانبعاثات، لأن النموذج أشار إلى عدم وجود انبعاثات من الديزل. بيانات المنطقة الشمالية الشرقية مدرجة ضمن بيانات المنطقة الشرقية، وبيانات المنطقة الشمالية الغربية مدرجة ضمن بيانات المنطقة الغربية. UG = سيناريو عدم تضيق المعروض من الغاز الطبيعي. CG = سيناريو تضيق المعروض من الغاز الطبيعي.

## 4. النتائج والآثار المترتبة على السياسات

بشبكة الطاقة السعودية يصاحبه زيادة في استهلاك الوقود وفي الانبعاثات بسبب القدرات الإقليمية، وأوجه التفاوت في البنية التحتية.

وتهدف هذه الدراسة إلى إرشاد واضعي السياسات إلى الإسهامات غير المرصودة للسياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، وفاعلية تلك السياسات. كما تهدف إلى قياس مدى تأثير إنفاذ السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، وتقدير حجم المكاسب المالية والبيئية المترتبة عليها. ويمكن أن تكون السعودية مثلاً لدراسة حالة تنتفع به الدول التي تنظم أسعار الطاقة، الهادفة إلى الحد من الطلب المتزايد سريعاً على مصادر الطاقة، والساعية إلى الاقتراب أكثر من المسارات المؤدية إلى الوصول لأهدافها بتحقيق صافي انبعاثات صفري. وقد حسّنت السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة الوضع المالي للسعودية، وحدت من تزايد استهلاكها للكهرباء، وأبعدتها عن المسار المؤدي إلى زيادة انبعاثات الكربون.

ويمكن أخذ النهج الأخرى التي تضيف أبعاداً ديناميكية أخرى على العلاقات التي شملتها نماذج دراستنا في الحسبان لتقضيها مستقبلاً. ولعل مما يمكن أخذه في الحسبان استخدام نموذج يتحقق فيه توازن عام بين العرض والطلب على الطاقة يناسب كل بلد، لمعرفة الآثار الشاملة المترتبة على السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، ولقياس العوامل المؤثرة الأخرى المرتبطة ببعضها بعضاً، ورصد المردود الناتج عن هذه السياسات عبر عديد من القطاعات والهيئات. إضافة إلى ذلك، يمكن للأبحاث المستقبلية أن تدرس سيناريوهات تطرح خيارات ممكنة لإعادة تدوير الإيرادات، والإيرادات الإضافية الناتجة عن الوفورات في الوقود المحلي، والإيرادات الناتجة عن صادرات الوقود الإضافية. كذلك يمكن أيضاً الأخذ في الحسبان قياس حجم المكاسب الإضافية على صعيد الرفاهة، الناجمة عن تلك السياسات الإصلاحية، بأخذ التكاليف البيئية الاجتماعية في الحسبان.

لا تزال أدوات السياسات التقليدية الهادفة إلى الحد من الطلب غير الرشيد على الطاقة، وخفض الانبعاثات، تواجه صعوبة في إنفاذها، في ظل غياب تحرُّك عالمي جماعي، وغياب التنسيق بين الدول. وقد تكون سياسات الكربون غير المباشرة، مثل السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة، وسيلة "سياساتية" فعّالة وداعمة للمنافسة. وفي عديد من الاقتصادات الغنية بالموارد، التي تواصل التحكم في أسعار الطاقة، يمكن للسياسات الإصلاحية المعنية بالتعريفات أو الأسعار المحلية أن تؤدي إلى تحقيق مكاسب اقتصادية ودعم خفض انبعاثات الكربون.

وتعنى هذه الدراسة بقياس آثار السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة في استهلاك الوقود في مناطق المملكة العربية السعودية، وبقياس انبعاثات الكربون الناجمة عن الطاقة التي تجنّبت السعودية توليدها. ونماذج التوازن الجزئي بين العرض والطلب على الطاقة التي وضعناها تستنتج بيانات مرونة الدخل والمرونة السعرية في مناطق المملكة المختلفة، وهي المرونة المستخدمة في محاكاة سيناريوهات الطلب التي تظل فيها التعريفات ثابتة، أي بافتراض عدم تطبيق السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الطاقة التي جرى إنفاذها في عامي 2016 و2018. وقد توصلنا إلى حساب حجم الاستهلاك المُحتمل للوقود ومستويات انبعاث الكربون المتوقعة من خلال وضع نموذج لشبكة طاقة كهربائية جرت مواءمته ليناسب المملكة العربية السعودية. كما أوضحنا أن موجتي السياسات الإصلاحية المعنية بأسعار الكهرباء، اللتين شهدتهما السعودية، منعتا توليد كم من الكهرباء بتكلفة تتراوح بين 1.3 و 1.4 مليار دولار أمريكي، وخفضتا انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 81 مليون طن إلى 102 مليون طن في الفترة بين عامي 2016 و2019. وإذا أخذنا في الحسبان تكلفة السياسات البديلة لتحقيق وفورات في الوقود، فقد تتراوح التكلفة الوطنية لإنتاج الوقود ما بين 2.1 و 8 مليار دولار أمريكي، وقد تصل إلى 9.8 مليار دولار أمريكي عند مقارنتها بالأسعار المرجعية العالمية للنفط. وأخيراً، أظهرت نتائجنا أن الحد من تدفق الغاز الطبيعي

<sup>1</sup> تخضع الكهرباء في المملكة لتسعير قائم على الشرائح الاستهلاكية، وهناك طريقتان للوقوف على سعر واحد معبّر عن الاستهلاك. وتعتمد طريقة الوقوف على هذا السعر بناءً على فواتير الاستهلاك، على عدد الفواتير كمقياس لسعر الاستهلاك لكل شريحة، في حين تستخدم مقارنة سعر الاستهلاك كمية الاستهلاك للوقوف على سعر واحد يعبر عن الاستهلاك.

<sup>2</sup> يُعد عام 2010 هو العام الذي تبدأ منه الدراسة.

<sup>3</sup> معامل انكماش الأسعار المستخدم في تحديد انكماش أسعار الكهرباء للقطاع الصناعي في المنطقة الشرقية هو متوسط مرجح لمعامل انكماش الصناعات غير النفطية وصناعة تكرير النفط، وذلك باستخدام القيمة المرجحة لإجمالي القيمة المضافة الخاصة بهذين النشاطين.

<sup>4</sup> تجدر الإشارة إلى أن سنة 2016 كانت كبيسة. وقد افترضنا أن نمط الاستهلاك في يوم التاسع والعشرين من فبراير كان مماثلاً له يوم الثامن والعشرين من فبراير، لأن اليومين كانا يومَي عمل (الأحد والإثنين).

<sup>5</sup> للاحظ أنه كما ذُكر سابقاً، أُدرجت أحمال الطاقة بمنطقة توليد الطاقة الشمالية الشرقية ومنطقة توليدها الشمالية الغربية على التوالي مع أحمال المنطقتين الشرقية والغربية. لذا ظلت الأحمال دون تغيير، سواء في السيناريو الفعلي، أو في سيناريو عدم فرض السياسات الإصلاحية.

<sup>6</sup> على سبيل المثال، إذا أشار تحليل مؤشرات القياس الاقتصادية إلى أن الطلب على الطاقة بالمنطقة الشرقية لعام 2016 كان من المتوقع أن يزيد بنسبة 10% في حال عدم فرض السياسات الإصلاحية المعنية بالطاقة، نرفع أحمال ساعات توليد الطاقة البالغة 8670 ساعة بالمنطقة بنسبة 10%.

<sup>7</sup> نستخدم أسعار النفط الفعلية الآتية بمرجع النفط العربي الخفيف من تقرير البنك المركزي السعودي (SAMA) لعام 2020: 38.3 دولار أمريكي للبرميل في عام 2016، و 48.5 دولار أمريكي للبرميل في عام 2017، و 61.9 دولار أمريكي للبرميل في عام 2018، و 58.2 دولار أمريكي للبرميل في عام 2020.

- 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 (January):111941. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111941>
- AlGhamdi, Abeer. 2019. "Electricity Tariff Changes in Saudi Arabia 1974–2018." KAPSARC Data Insight, January 30. <https://www.kapsarc.org/research/publications/electricity-tariff-changes-in-saudi-arabia/>
- 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>
- Bah, Muhammad Maladoh, and M. Yusof Saari. 2020. "Quantifying the Impacts of Energy Price Reform on Living Expenses in Saudi Arabia." *Energy Policy* 139 (April):111352. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111352>
- Banerjee, Anindya, Juan J. Dolado, John W. Galbraith, and David Hendry. 1993. *Co-Integration, Error Correction, and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0198288107.001.0001>
- Banerjee, Anindya, Juan Dolado, Ricardo Mestre. 1998. "Error-correction mechanism tests for cointegration in a single equation framework." *Journal of Time Series Analysis* 193: 267–283. <https://doi.org/10.1111/1467-9892.00091>
- Beenstock, Michael, and Alan Dalziel. 1986. "The Demand for Energy in the UK: A General Equilibrium Analysis." *Energy Economics* 8(2):90–8. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(86\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0140-9883(86)90033-2)
- Blazquez, Jorge, Marzio Galeotti, Baltasar Manzano, Axel Pierru, and Shreekar Pradhan. 2021. "Effects of Saudi Arabia's Economic Reforms: Insights from a DSGE Model." *Economic Modelling* 95 (February):145–69. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.12.004>
- Blazquez, Jorge, Lester C. Hunt, Baltasar Manzano, and Axel Pierru. 2020. "The Value of Saving Oil in Saudi Arabia." *Economics of Energy & Environmental Policy* 9(1). <https://doi.org/10.5547/2160-5890.8.2.jbla>
- Castle, Jennifer L., and David F. Hendry. 2010. "A Low-Dimension Portmanteau Test for Non-Linearity." *Journal of Econometrics* 158(2):231–45. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2010.01.006>
- . 2019. *Modelling Our Changing World*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-21432-6>
- Castle, Jennifer, David Hendry, and Andrew Martinez. 2017. "Evaluating Forecasts, Narratives and Policy Using a Test of Invariance." *Econometrics* 5(3):39. <https://doi.org/10.3390/econometrics5030039>
- Coady, David, Ian W. H. Parry, and Baoping Shang. 2018. "Energy Price Reform: Lessons for Policymakers." *Review of Environmental Economics and Policy* 12(2):197–219. <https://doi.org/10.1093/reep/rey004>
- Crippa, Monica, Gabriel Oreggioni, Diego Guizzardi, Marilena Muntean, Edwin Schaaf, Eleonora Lo Vullo, Efsio Solazzo, Fabio Monforti-Ferrario, Jos Olivier, and Elisabetta Vignati. 2019. "Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries." EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-11025-5, <https://doi.org/10.2760/655913>

- Darandary, Abdulelah, Jeyhun Mikayilov, and Hatem Al Atawi. 2021. "Saving Costs and Emissions by Reforming Electricity Prices in Saudi Arabia: A Counterfactual Assessment." December 23. KAPSARC Commentary. <https://www.kapsarc.org/research/publications/saving-costs-and-emissions-by-reforming-electricity-prices-in-saudi-arabia-a-counterfactual-assessment/>
- Dickey, David A., and Wayne A. Fuller. 1981. "Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root." *Econometrica* 49(4):1057. <https://doi.org/10.2307/1912517>
- Doornik, Jurgen A. and Henrik Hansen (1994). "A practical test for univariate and multivariate normality." Discussion paper. Nuffield College, Oxford.
- Doornik, Jurgen A., and Henrik Hansen. 2008. "An Omnibus Test for Univariate and Multivariate Normality." *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 70 (December):927–39. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00537.x>
- Doornik, Jurgen A., and David F. Hendry. 2018. *Empirical Econometric Modelling Using PcGive*. Vol. I, 8th edition. London: Timberlake Consultants Press [https://www.researchgate.net/publication/246055069\\_Empirical\\_Econometric\\_Modelling\\_using\\_PcGive\\_Volume\\_I](https://www.researchgate.net/publication/246055069_Empirical_Econometric_Modelling_using_PcGive_Volume_I)
- Durand-Lasserve, Olivier, Hossa Almutairi, Abdullah AlJarboua, Frederic Murphy, Shreekar Pradhan, and Axel Pierru. 2020. "Sectoral and Economy-wide Effects of Domestic Energy Price Reforms in Saudi Arabia." August 19. KAPSARC Discussion Paper. <https://doi.org/10.30573/ks--2020-dp16>
- Electricity and Cogeneration Regulatory Authority (ECRA). 2019. "Water & Electricity Regulatory Authority." <https://www.ecra.gov.sa/en-us/MediaCenter/DocLib2/Pages/SubCategoryList.aspx?categoryID=4>
- Engle, Robert F. 1982. "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation." *Econometrica* 50(4):987. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Ericsson, Neil, Jennifer Castle, Svetlana Chekmasova, Jurgen Doornik, David Hendry, Stedman Hood, Søren Johansen, and Bent Nielsen. 2012. "Detecting Crises, Jumps, and Changes in Regime." Federal Reserve Board of Governors Working Paper. [https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/file/Neil\\_Ericsson.pdf](https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/file/Neil_Ericsson.pdf)
- General Authority for Statistics (GaStat). 2018. "Household Energy Survey." <https://www.stats.gov.sa/en/survey/12444>
- . 2020. "Gross Domestic Product Series." <https://www.stats.gov.sa/en/823>
- Godfrey, Leslie G. 1978. "Testing for Higher Order Serial Correlation in Regression Equations When the Regressors Include Lagged Dependent Variables." *Econometrica* 46(6):1303. <https://doi.org/10.2307/1913830>
- Gonand, Frédéric, Fakhri J. Hasanov, and Lester C. Hunt. 2019. "Estimating the Impact of Energy Price Reform on Saudi Arabian Intergenerational Welfare Using the MEGIR-SA Model." *The Energy Journal* 40(3). <https://doi.org/10.5547/01956574.40.3.fgon>
- Harvey, Andrew C. 1990. *Forecasting, Structural*

- Time Series Models and the Kalman Filter*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107049994>
- Hasanov Fakhri J., Lester C. Hunt, Ceyhun I. Mikayilov. 2016. "Modeling and forecasting electricity demand in Azerbaijan using cointegration techniques." *Energies* 9(12): 1045
- Hasanov, Fakhri J., and Sa'd Shannak. 2020. "Electricity Incentives for Agriculture in Saudi Arabia. Is That Relevant to Remove Them?" *Energy Policy* 144 (September):111589. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111589>
- Hendry, David F., and Jurgen A. Doornik. 2014. *Empirical Model Discovery and Theory Evaluation. Automatic Selection Methods in Econometrics*. Cambridge, MA.: The MIT Press.<https://www.jstor.org/stable/j.ctt9qf9km?>
- Howarth, Nicholas, Natalia Odnoletkova, Thamiir Alshehri, Abdullah Almadani, Alessandro Lanza, and Tadeusz Patzek. 2020. "Staying Cool in a Warming Climate: Temperature, Electricity and Air Conditioning in Saudi Arabia." *Climate* 8(1):4. <https://doi.org/10.3390/cli8010004>
- Karanfil, Fatih, and Axel Pierru. 2021. "The Opportunity Cost of Domestic Oil Consumption for an Oil Exporter: Illustration for Saudi Arabia." *Energy Economics* 96:105161. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105161>
- Kingdom of Saudi Arabia. 2021. "Kingdom of Saudi Arabia Updated First Nationally Determined Contribution 2021 Submission to UNFCCC." <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Saudi%20Arabia%20First/KSA%20NDC%202021%20FINAL%20v24%20Submitted%20to%20UNFCCC.pdf>.
- Klenert, David, Linus Mattauch, Emmanuel Combet, Ottmar Edenhofer, Cameron Hepburn, Ryan Rafaty, and Nicholas Stern. 2018. "Making Carbon Pricing Work for Citizens." *Nature Climate Change* 8(8):669–77. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0201-2>
- Krane, Jim. 2018. "Climate Strategy for Producer Countries: The Case of Saudi Arabia." James A. Baker III Institute for Public Policy of Rice University. <https://www.bakerinstitute.org/research/climate-strategy-producer-countries/>
- Lee, Kevin C., M. Hashem Pesaran, and Richard G. Pierse. 1990. "Testing for Aggregation Bias in Linear Models." *The Economic Journal* 100(400):137. <https://doi.org/10.2307/2234191>
- Matar, Walid, Frederic Murphy, Axel Pierru, Bertrand Rioux, David Wogan. 2015. "Efficient Industrial Energy Use: The First Step in Transitioning Saudi Arabia's Energy Mix." KAPSARC Discussion paper. KS-1519-DP013A.<https://www.kapsarc.org/ar/research/publications/efficient-industrial-energy-use-the-first-step-in-transitioning-saudi-arabias-energy-mix/>
- Matar, Walid, and Murad Anwer. 2017. "Jointly Reforming the Prices of Industrial Fuels and Residential Electricity in Saudi Arabia." *Energy Policy* 109 (October):747–56. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.060>
- Matar, Walid, and Rami Shabaneh. 2020. "Viability of seasonal natural gas storage in the Saudi energy system." *Energy Strategy Reviews* vol. 32, November: 100549.<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100549>



- Mikayilov, Jeyhun I., Abdulelah Darandary, Ryan Alyamani, Fakhri J. Hasanov, and Hatem Alatawi. 2020a. "Regional Heterogeneous Drivers of Electricity Demand in Saudi Arabia: Modeling Regional Residential Electricity Demand." *Energy Policy* 146 (November):111796. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111796>
- Mikayilov, Jeyhun I., Fakhri J. Hasanov, Waheed Olagunju, and Mohammad H. Al-Shehri. 2020b. "Electricity Demand Modeling in Saudi Arabia: Do Regional Differences Matter?" *The Electricity Journal* 33(6):106772. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2020.106772>
- Mikayilov, Jeyhun, Ryan Alyamani, Abdulelah Darandary, Muhammad Javid, Fakhri Hasanov, Saleh AlTurki, and Rey Arnaiz. 2022. "Modeling and Forecasting Industrial Electricity Demand for Saudi Arabia: Uncovering Regional Characteristics." January 13. KAPSARC Discussion Paper. <https://doi.org/10.30573/ks--2021-dp22>
- Provornaya, Irina Viktorovna, Irina V. Filimonova, Vasily Yu Nemov, Anna V. Komarova, and Yuriy A. Dzyuba. 2020. "Features of the Petroleum Products Pricing in Russia, in the USA, and Saudi Arabia." *Energy Reports* 6 (Supplement 6): 514–22. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.029>
- Ramsey, James B. 1969. "Tests for Specification Errors in Classical Linear Least-squares Regression Analysis." *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 31 (2): 350–71. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1969.tb00796.x>
- Rothfus, Lans P. 1990. "The Heat Index 'Equation' (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index)." National Weather Service Technical Attachment. SR 90-23. [https://www.weather.gov/media/ffc/ta\\_htindx.PDF](https://www.weather.gov/media/ffc/ta_htindx.PDF)
- Sarrakh, Redouane, Suresh Renukappa, Subashini Suresh, and Sabah Mushatat. 2020. "Impact of Subsidy Reform on the Kingdom of Saudi Arabia's Economy and Carbon Emissions." *Energy Strategy Reviews* 28 (March): 100465. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100465>
- Saudi Vision 2030 (SV2030). 2016. "National Transformation Program." Accessed June 27, 2022. <https://www.vision2030.gov.sa/v2030/vrps/ntp/>
- Fiscal Balance Program (FBP). 2017. Saudi Vision 2030. <https://www.vision2030.gov.sa/v2030/vrps/fsp/>
- Saudi Arabian Monetary Authority (SAMA). 2020. "Annual Statistics 2020." <https://www.sama.gov.sa/en-us/EconomicReports/pages/YearlyStatistics.aspx>
- Saudi Electric Company. 2017. "Consumption Tariffs." December 12, 2017. <https://www.se.com.sa/en-us/customers/Pages/TariffRates.aspx>
- Shabaneh Rami, Schenckery Maxime. 2020. Assessing energy policy instruments: LNG imports into Saudi Arabia. *Energy Policy*, 137 (2020). Article number 111101. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111101>
- Steadman, Robert. 1979. "The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science." *Journal of Applied Meteorology*. July: 861–73. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0861:taospi>2.O.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0861:taospi>2.O.co;2)



Stiglitz, Joseph, Nicholas Stern, Maosheng Duan, Ottmar Edenhofer, Gaël Giraud, Geoffrey Heal, Emilio Lèbre la Rovere, et al. 2017. "Report of the High-level Commission on Carbon Prices." May 29. International Bank for Reconstruction and Development and International Development Association and The World Bank. <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/d8-w2nc-4103>

United Nations Climate Change Conference (COP 26). 2021. "COP26 Outcomes." November 13. <https://ukcop26.org/the-conference/cop26-outcomes/>.

White, Halbert. 1980. "A Heteroskedasticity-consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity." *Econometrica* 48(4):817. <https://doi.org/10.2307/1912934>

# الملحقات

## الملحق أ 1. نتائج اختبار جذر الوحدة

المعامل التفاضلي لأيام التبريد	أيام التبريد	المعامل التفاضلي لنصيب الفرد من الدخل	نصيب الفرد من الدخل	المعامل التفاضلي للسعر	السعر	المعامل التفاضلي للطلب على الكهرباء	الطلب على الكهرباء	
-7.9828***	-1.6132	-1.8587*	-0.7939	-5.8197***	-1.9281	-3.2534**	-2.2791	المنطقة الوسطى
-10.4161***	-2.1538	-5.7397***	-1.6170	-5.6433***	-1.8688	-4.1998***	-0.4388	المنطقة الشرقية
-7.0667***	-1.7938			-5.6310***	-1.8985	-4.4538***	-1.5118	المنطقة الجنوبية
-8.0917***	-2.5178			-5.1164***	-1.4702	-5.0827***	-2.1568	المنطقة الغربية

ملاحظات: العلامات \*\*، \*، و\* ترمز إلى رفض فرضية التأثير الصفري اللاتكاملي عند مستويات الدلالة الإحصائية 1%، و5%، و10%، على الترتيب، ويرمز الحرف d إلى المعامل التفاضلي.

المصدر: نتائج التقديرات.

## الملحق أ 2. نتائج اختبارات التكامل المشترك

منطقة توليد الكهرباء الغربية	منطقة توليد الكهرباء الجنوبية	منطقة توليد الكهرباء الشرقية	منطقة توليد الكهرباء الوسطى	
-4.9442*	-4.1403*	-4.9703*	-5.4605**	اختبار جذر الوحدة

ملاحظات: ترمز العلامتان \*\*، \*، و\* إلى رفض فرضية التأثير الصفري اللاتكاملي عند مستويات الدلالة الإحصائية 5%، و10%، على الترتيب.

المصدر: النتائج التقديرية.

## الملحق أ 3. نتائج اختبارات التحقق من انعدام الخطية

منطقة توليد الكهرباء الغربية	منطقة توليد الكهرباء الجنوبية	منطقة توليد الكهرباء الشرقية	منطقة توليد الكهرباء الوسطى	
0.38005 [0.7037]	0.91619 [0.5611]	2.1964 [0.0989]	1.3666 [0.3001]	اختبار جذر الوحدة
0.3268 [0.9111]	1.6774 [0.2002]	0.43110 [0.9041]	0.67683 [0.7277]	اختبار المؤشر الأساسي (نموذج إف)

ملاحظات: يدل التأثير الصفري في الاختبارين على خطية المعاملات، والقيم الاحتمالية موضحة بين قوسين.

المصدر: النتائج التقديرية.

الملحق أ 4. نتائج اختبار اكتشاف الأخطاء

منطقة توليد الكهرباء الغربية	منطقة توليد الكهرباء الجنوبية	منطقة توليد الكهرباء الشرقية	منطقة توليد الكهرباء الوسطى	
0.9627 [0.4017]	1.7460 [0.1989]	0.18192 [0.8350]	0.42829 [0.6575]	اختبار AR 1-2
0.0160 [0.9005]	0.52711 [0.4741]	0.75195 [0.3935]	0.16751 [0.6856]	اختبار ARCH 1-1
1.4115 [0.4937]	1.1144 [0.5728]	0.61395 [0.7357]	1.0603 [0.5885]	اختبار التوزيع الطبيعي
0.8130 [0.6427]	1.8512 [0.1291]	1.3060 [0.2984]	1.0060 [0.4800]	اختبار اختلاف التباين
0.9593 [0.4030]	2.1909 [0.1367]	0.38451 [0.6857]	0.52420 [0.5999]	اختبار RESET23
0.997	0.997	0.989	0.996	اختبار معامل التحديد

ملاحظات: AR 1-2 = اختبار الارتباط التلقائي لجودفري ARCH 1-1 (Godfrey, 1978)، اختبار اختلاف التباين المشروط بالانحدار التلقائي لإنجل (Engle, 1982)، اختبار التوزيع الطبيعي = اختبار التوزيع الطبيعي لدورنيك وهانسن (Doornik and Hansen, 1994)، اختبار اختلاف التباين = اختبار اختلاف التباين لوايت (White, 1980)، اختبار RESET23 = اختبار تعيين الانحدار لرامزي (Ramsey, 1969). والقيم الاحتمالية موضحة بين قوسين.

المصدر: النتائج التقديرية.

الملحق أ 5. النتائج التقديرية التفصيلية

الطلب على الكهرباء (-1)	السعر	السعر (-1)	نصيب الفرد من الدخل	نصيب الفرد من الدخل	أيام التبريد (-1)	أيام التبريد (-1)	
0.4545***	-0.0870*	-0.1644***	-	0.2918**	-	-	منطقة توليد الطاقة الوسطى
0.3975***	-	-0.1133**	0.3336**	-	-	-	منطقة توليد الطاقة الشرقية
0.6274***	-0.1407**	-	0.5396***	-	-	-	منطقة توليد الطاقة الجنوبية
0.6270***	-0.0962**	-	0.2587**	-	0.2118*	-	منطقة توليد الطاقة الغربية

ملاحظات: ترمز العلامات \*\*، \*، و\* إلى رفض فرضية التأثير الصفري اللاتكاملي عند مستويات الدلالة الإحصائية 1%، 5%، و10%، على الترتيب. المتغيرات الافتراضية التي تختارها خوارزمية القياس الأوتوماتيكية لكل منطقة هي كما يأتي: لمنطقة توليد الطاقة الوسطى: متغير الدالة السلمية الافتراضي S1:1999، ومتغير الاتجاه الافتراضي T1:1998. ولمنطقة توليد الطاقة الشرقية: متغير الدالة السلمية الافتراضي S1: 2008، ومتغير الاتجاه الافتراضي T1: 2002، و T1: 2003. ولمنطقة توليد الطاقة الجنوبية: متغير الدالة النبضية الافتراضي I: 1998، ومتغير الاتجاه الافتراضي T1: 2000. ولمنطقة توليد الطاقة الغربية: متغير الاتجاهات العابرة D1:2011، ومتغيرات الدالة النبضية I: 1992، و I: 2019، ومتغير الاتجاه T1: 1997، و T1: 1998. وتعني العلامة '-' أن الفترة تبين أنها ليست ذات دلالة إحصائية، وجرى إسقاطها من اعتبارات المواصفة النهائية.

المصدر: النتائج التقديرية.

## الملحقات

**الملحق أ 6.** مرونة الطلب على المديين الطويل والقصير باستخدام نهج النمذجة الهيكلية للسلاسل الزمنية (STSM)

منطقة توليد الطاقة الجنوبية		منطقة توليد الطاقة الغربية		منطقة توليد الكهرباء الشرقية		منطقة توليد الطاقة الوسطى		
المدى القصير	المدى الطويل	المدى القصير	المدى الطويل	المدى القصير	المدى الطويل	المدى القصير	المدى الطويل	
0.741***	-	0.602*	0.216*	0.233***	0.181*	0.695***	-	الدخل
-0.368***	-0.197***	-0.501***	-0.180***	-0.080***	-	-0.200***	-0.107*	السعر

ملاحظات: تعني العلامات " \_ " عدم وجود تأثير على المدى القصير. أما العلامات \* و\*\* و\*\*\*، فترمز إلى رفض فرضية التأثير الصفري عند مستويات الدلالة الإحصائية 1%، و5%، و10%، على الترتيب.

المصدر: النتائج التقديرية.



## نبذة عن المؤلفين

### عبد الإله درندري

اقتصادي وباحث مشارك في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (KAPSARC)، ويعمل في مجال نمذجة مؤشرات القياس الاقتصادية، وتركز أبحاثه على الاقتصاد الكلي والطاقة، والتجارة الدولية وتدفقات الاستثمار، والتطوير المالي، والسياسات العامة. وقد حاز درجة الماجستير في الاقتصاد التطبيقي، ودرجة البكالوريوس في التعاملات المصرفية والاقتصاد المالي من جامعة نورث داكوتا.



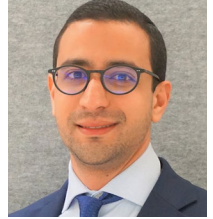
### جيهون أي. ميكايوف

عضو زمالة وباحث في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (KAPSARC)، ويرأس مشروع نمذجة استهلاك الطاقة وتأثيراته في المملكة العربية السعودية. ومن أهم المجالات البحثية التي ينصب عليها اهتمامه، على سبيل المثال لا الحصر، مؤشرات القياس الاقتصادي التطبيقية للسلسلة الزمنية، واقتصاديات الطاقة والبيئة، والتطوير المستدام. وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الرياضيات التطبيقية.



### صلاح الدين بومان

باحث مشارك في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (KAPSARC)، ويقود أبحاثاً عن أسهم الكهرباء السعودية. وتغطي مجالات أبحاثه الرئيسية نمذجة قطاعات الطاقة، وإدارة جانب الطلب على الطاقة، فضلاً عن الأطر التنظيمية لشبكات الطاقة. وقد عمل قبل التحاقه بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية باحثاً مساعداً في المركز الدولي لأبحاث البيئة والتنمية، وهو مختبر تابع للمركز الوطني للبحوث العلمية في باريس، حيث تخصص في نمذجة الاقتصاد الكلي. وفي قطاع البحث والتطوير في شركة الطاقة الفرنسية في باريس، عمل باحثاً في قسم أسواق الطاقة والتنظيم البيئي. وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الاقتصاد من جامعة باريس ساكلاي في فرنسا.



## نبذة عن المشروع

يهدف مشروع نمذجة استهلاك الطاقة وتأثيراته في المملكة العربية السعودية إلى إجراء أنشطة بحثية لأغراض استشارية وتطبيقية، تركّز على مؤشرات النمذجة والتنبؤ الخاصة باستهلاك الطاقة وآثارها ودلالاتها للمملكة. وتماشياً مع سياسات الطاقة الحالية التي تطبقها المملكة، يركز المشروع على ثلاثة مجالات رئيسية:

- مؤشرات النمذجة والتنبؤ الخاصة باستهلاك الطاقة.
- نمذجة الآثار البيئية لاستهلاك الطاقة والتنبؤ بها.
- دراسة منهجيات تحقيق الكفاية في استهلاك الطاقة وآفاقها.



مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية  
King Abdullah Petroleum Studies and Research Center

[www.kapsarc.org](http://www.kapsarc.org)