

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: رؤى باستخدام نموذج اقتصادي

برتراند ريوكس وفرناندو أوليفيرا وأكسل بيرو ونادر
الكثيري

شكر وتقدير

يود المؤلفون الإعراب عن جزيل شكرهم للمهندس/ علي الضويعل والدكتور/ ساتيش باندي من قسم المشتري الرئيس في شركة الكهرباء السعودية على دعمهما لوصف الإصلاحات المقترحة للسوق والمساعدة في معايرة النموذج والمناقشات المتعمقة.

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 التأليف و النشر محفوظة (2017) لمركز الملك عبدالله للدراسات و البحوث البترولية (المركز). ولا يجوز النسخ أو الاقتباس من هذه المادة دون نسبته بشكل واضح و ملائم للمركز.

هناك -على الأقل من الناحية النظرية- مجال للتلاعب بالأسعار من جانب الشركات الكبيرة المولدة للكهرباء؛ وعلى هذا النحو، فإن القضاء على القوة السوقية من خلال المنافسة أو التنظيم له أهمية خاصة في أوقات ذروة الطلب.

وبقدر ما ينعكس الفرق بين التكاليف الحدية للأحمال الرئيسية وأحمال أوقات الذروة على أسعار الكهرباء، يؤدي تعديل أسعار الوقود إلى زيادة القيمة السوقية للأصول القائمة المملوكة لشركة الكهرباء السعودية بسبب ارتفاع العائد على القدرة الإنتاجية. ويبدو أن ذلك يبرر تعديل أسعار الوقود قبل إعادة هيكلة السوق من أجل تعظيم الإيرادات الحكومية من خصخصة الأصول القائمة.

ونحن نوضح أن إدخال سوق القدرة الاستيعابية الكهربائية ليس له سوى أثر ضئيل على أسعار الكهرباء أوقات الذروة، بيد أنه يمكن أن يزيد زيادةً كبيرةً من هوامش الاحتياطي وموثوقية الامدادات.

تخطط المملكة العربية السعودية لإصلاح قطاع توليد الكهرباء وخصخصته باعتبار ذلك جزءاً من رؤية المملكة 2030. وضعنا نموذجاً يحاكي إعادة هيكلة سوق الكهرباء إلى جانب تعديل أسعار الوقود إلى ما يعادل 3 دولارات لكل مليون وحدة حرارية بريطانية وذلك لتقديم رؤى تحليلية. فوجدنا ما يلي:

في جميع السيناريوهات التي ندرسها، توفر إعادة هيكلة السوق المرتبطة بتعديل أسعار الوقود فائضاً اقتصادياً إجمالياً يزيد عن 4 مليارات دولار. ويُعزى ذلك في الغالب إلى أن المستهلكين يدفعون مبالغ أكثر مقابل ما يستهلكونه من كهرباء. ومع ذلك، إذا انصرفت جميع الشركات في سوق الطاقة إلى النهج التنافسي، فإن وفورات الحكومة في دعم الوقود ستتجاوز الخسارة في فائض المستهلك. وهذا يعني أن هناك فرصة لتنفيذ مخطط تعويضي يخفف من الزيادة في التكاليف بالنسبة للمستهلك.

القوة السوقية، فضلًا عن سيناريوهات تعمل فيها جميع الشركات في منافسة تامة مع عدم وجود مجال للتلاعب بالأسعار.

وجدنا أن القضاء على القوة السوقية من خلال التنافس أو التنظيم له أهمية خاصة في أوقات ذروة الطلب عندما تكون المنافسة محدودة جدًا وعندما تزيد ارتفاعات الأسعار من أرباح منتجي الأحمال الرئيسية. ومن خلال تخفيض التكلفة الثابتة للشركات، لاسيما بين الشركات الصغيرة التي تعمل بمعدلات استخدام منخفضة، يمكن لسوق القدرة الاستيعابية أن تعزز المنافسة بين كبرى شركات التوليد وأن تخفض من أسعار الكهرباء خلال فترات ذروة الطلب على الكهرباء.

ويُلخص الجدول 1 نتائج ثلاثة سيناريوهات تُحرر فيها أسعار الوقود جزئيًا إلى مكافئ طاقة يساوي 3 دولارات لكل مليون وحدة حرارية بريطانية. وتُمثل القيم الواردة بين قوسين الفرق في النسبة المئوية من سيناريو الحالة المعتادة. في السيناريوين الأولين، لا يوجد سوى سوق للطاقة (فلا يوجد سوق للقدرة الاستيعابية)، وتُصرف جميع الشركات بشكل تنافسي في سيناريو سوق الطاقة التنافسي، في حين تُمارس كبرى شركات التوليد القوة السوقية في سيناريو سوق الطاقة في نموذج كورنو (سوق غير تنافسي). ويضيف سيناريو سوق القدرة الاستيعابية ”مزايدة القدرة الاستيعابية (Capacity Auction)“ لسيناريو سوق الطاقة في نموذج كورنو.

يُقاس دعم الوقود بالفرق بين سعر النفط الدولي (بافتراض أنه يبلغ 58 دولارًا للبرميل) والأسعار المحددة التي تدفعها محطات التوليد. ويقاس فائض المستهلك القيمة التي يحصل عليها المستهلكون للحصول على الكهرباء بما يتجاوز السعر الذي يدفعونه. وتُحسب من خلال تقديرات عن كيفية تفاعل طلب المستهلكين على الكهرباء مع التغيرات في الأسعار. يساوي الفائض الاقتصادي الإجمالي أرباح الشركات بالإضافة إلى فائض المستهلك مطروحًا منه دعم الوقود. ويشمل متوسط تكلفة الكهرباء إنتاج الكهرباء وتكاليف النقل.

تخطط المملكة العربية السعودية لإصلاح وخصخصة قطاع توليد الكهرباء باعتباره جزءًا من رؤيتها لعام 2030. وتبين التجربة الدولية أنها ستواجه تحديين ألا وهما: تحقيق موثوقية كافية في الامدادات الكهربائية خلال ذروة الطلب والحد من إمكانية التلاعب بالأسعار من خلال ممارسة القوة السوقية من قبل الشركات المنتجة للكهرباء. هذا وقد اضطرت الأسواق المعاد هيكلتها في الأمريكتين وأوروبا إلى التصدي لهذه القوة السوقية وإدخال أدوات إضافية في السوق لتحفيز الاستثمارات بالشكل الكافي لتحقيق متطلبات الموثوقية.

وفي سبيل تقديم رؤى تحليلية، طورنا نموذجًا يحاكي إعادة هيكلة سوق الكهرباء. حيث نفترض أن أصول الشركة السعودية للكهرباء الخاصة بتوليد الكهرباء غير مجمعة وموزعة بالتساوي على أربع شركات توليد جديدة. ويتضمن النموذج سوقًا للكهرباء وفي بعض السيناريوهات سوقًا للقدرة الاستيعابية الكهربائية (Capacity Market) بحيث تمتلك كل منها آلية تسعير نطاقية في أربعة مناطق تشغيل. كما يتضمن النموذج إمكانية دخول شركات جدد ومشغل لنظام النقل الذي يدير شبكة الكهرباء بالإضافة إلى مشترٍ رئيس يصمم ويدير مزادات القدرات الاستيعابية والكهرباء. فضلًا عن المراجحين (Arbitrageurs) الذين يشترون الكهرباء ويبيعونها مما يقضي على اختلافات الأسعار بين المناطق. ونفترض أن تنتقل أسعار الجملة إلى المستهلكين.

لوصف مختلف نتائج السوق المحتملة، صممنا عدة سيناريوهات تم معايرتها مع بيانات المملكة العربية السعودية المتوقعة حتى عام 2020، وقارناها مع سيناريو الحالة المعتادة (Business As Usual) الذي يتناول هيكل السوق الحالي. وفي سيناريو الحالة المعتادة، تكون أسعار الوقود مثبتة من قبل الحكومة، ويُقيد التوسع في شركات التوليد الخاصة ويستخدم المشتري الرئيس اتفاقيات شراء الطاقة على المدى البعيد. وفي السيناريوهات الأخرى، تُحرر أسعار الوقود جزئيًا أو كليًا، ويُخصص التوليد، وتتنافس الشركات في مزايدة يومية للكهرباء. ولتقييم التأثير المحتمل للتلاعب بالأسعار نطرح سيناريوهات تمارس فيها كبرى شركات التوليد

الجدول 1: التغيير مقارنة بسيناريو الحالة المعتادة.

السيناريو	متوسط سعر الطاقة دولار/ميغا وات	متوسط التكلفة دولار/ميغا وات	أرباح الشركات بالمليار دولار	دعم الوقود بالمليار دولار	فائض المستهلك بالمليار دولار	الفائض الاقتصادي الإجمالي بالمليار دولار
سوق الطاقة التنافسي	18 (90%)	16.6 (91%)	0.53	-11.7	-7.91	4.3
سوق الطاقة في نموذج كورنو	95 (475%)	17.3 (93%)	27.4	-16.5	-38.1	5.9
سوق القدرة الاستيعابية	92 (460%)	19.4 (105%)	29.9	-16.6	-40.7	5.8

المصدر: تحليل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

وفي سيناريو سوق الطاقة التنافسي، يتجاوز التوفير في دعم الوقود الخسارة في فائض المستهلك. ولذلك، يمكن للحكومة نقل وفورات الوقود للمستهلكين ذوي الدخل المنخفض مع صافي فائض اقتصادي. ولكن لا ينطبق هذا على سيناريو سوق الطاقة في نموذج كورنو، الذي يسمح بكل من ممارسة القوة السوقية وتعديل أسعار الوقود مما يؤدي إلى زيادة القيمة السوقية للأصول القائمة لدى شركة الكهرباء السعودية، نتيجة ارتفاع العائد على الطاقة الإنتاجية. وهذا يمثل مبررًا لتعديل أسعار الوقود قبل إعادة هيكلة السوق من أجل تعظيم الإيرادات الحكومية من بيع الأصول إلى القطاع الخاص.

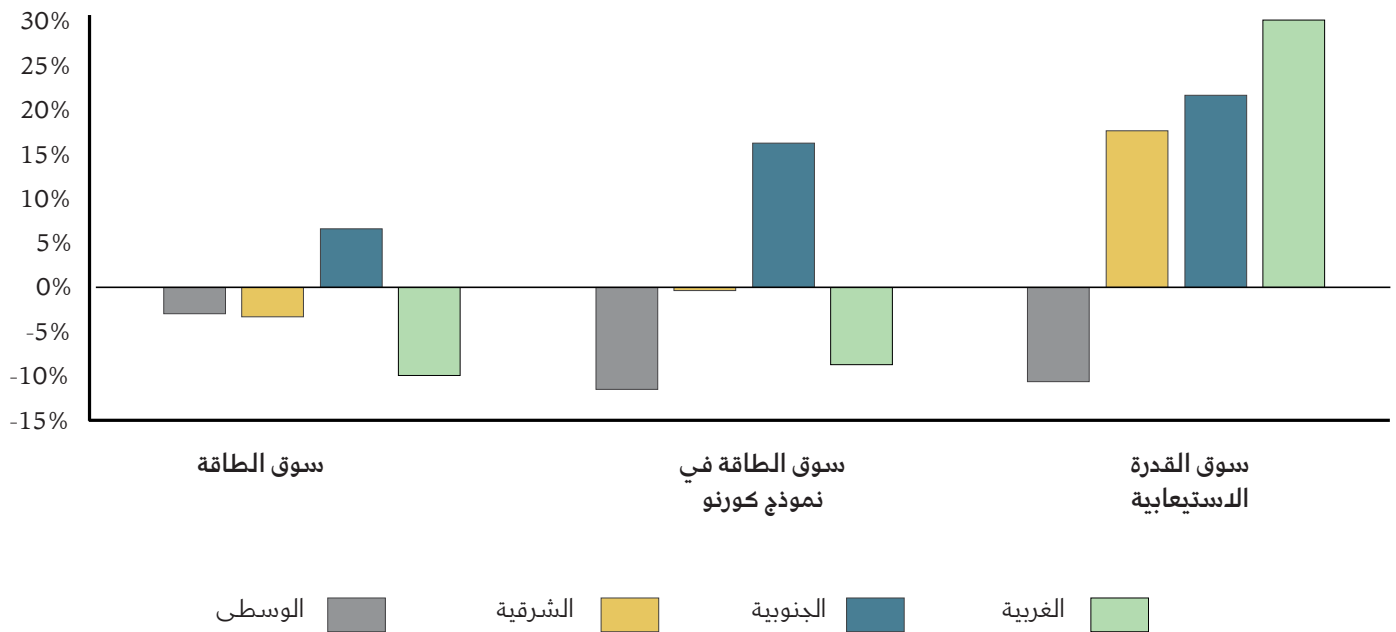
ويبين الشكل 1 أن سوق القدرة الاستيعابية يحسّن الموثوقية من خلال توفير المزيد من هوامش الاحتياطي على الصعيد الوطني، وهو ما يُعقل دوره في التغيير في الفائض الاقتصادي الإجمالي. وفي سيناريو سوق الطاقة في نموذج كورنو، يمكن أن تظل الكهرباء

وفي جميع السيناريوهات، تؤدي إعادة هيكلة السوق إلى زيادة في الفائض الاقتصادي الإجمالي بما يزيد عن 4 مليار دولار سنويًا. ومع ذلك، يأتي جزء كبير من هذا المكسب على حساب المستهلكين عن طريق تطبيق زيادة كبيرة في أسعار الكهرباء. في سيناريو سوق الطاقة في نموذج كورنو، تكون الزيادة في الأسعار كبيرة جدًا وذلك بسبب السلوك الاستراتيجي للشركات المولدة للكهرباء التي تقيد إنتاجها من أجل تعظيم الأرباح. وهذا يدل على وجود مجال كبير محتمل للتلاعب بالأسعار على الأقل من الناحية النظرية.

يؤدي السماح للشركات بممارسة القوة السوقية إلى توفير فائض اقتصادي إجمالي أكبر قليلًا بسبب الزيادة الكبيرة في أرباح الشركات والوفورات من دعم الوقود (بسبب انخفاض كمية الكهرباء المولدة). هذه النتيجة خاصة فقط بالدول التي تقدم دعمًا كبيرًا للنفط الخام المستخدم في توليد الطاقة.

شركات التوليد بالاستثمار واخراج المولدات من الخدمة. وبالتالي، يمكن للمشتري الرئيس تصميم السوق لتحديد التقنيات التي ينبغي أن تبقى قيد الاستخدام من أجل تعزيز مكاسب الكفاءة وتحسين الموثوقية والحفاظ على الاستثمارات الحكومية القائمة.

المُستترّة من المناطق المجاورة خلال فترات ذروة الطلب أرخص من بقاء محطات التوليد المحلية ونموها، مما يؤدي إلى وجود احتياطات سلبية في بعض المناطق. وقد خففنا من هذه الظاهرة تخفيفًا كبيرًا في سيناريو سوق القدرة الاستيعابية. نوضح كذلك كيف يؤثر تعديل تصميم سوق قدرة استيعابية إقليمي على قرارات



الذيكل 1. هامش الاحتياطي حسب منطقة التشغيل.
المصدر: تحليل خاص بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

تخطط المملكة العربية السعودية لخصخصة قطاع الكهرباء وإصلاحه باعتباره جزءاً من رؤية المملكة لعام 2030 وبرنامج التحول الوطني. وهناك قضيتان رئيسيتان تواجهان هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج ومشغل السوق، أي المشتري الرئيس، وهو قسم تابع للشركة السعودية للكهرباء. وتتمثل هاتان القضيتان في تحقيق ما يكفي من موثوقية الامدادات الكهربائية والسيطرة على ممارسة القوة السوقية لحماية مصالح المستهلكين.

وقد تعيّن على أسواق الكهرباء المعاد هيكلتها في الأمريكتين وأوروبا على حدٍ سواء أن تعالج مسألة القوة السوقية، وواجهت صعوبات في تشجيع الاستثمار المطلوب لتلبية متطلبات الموثوقية. وقد نشطت الجهات التنظيمية في السيطرة على إساءة استخدام القوة السوقية واستخدمت عمليات السحب الإلجباري عند وجود شركات وُجد أن كبر حجمها يؤثر على قيام المنافسة العادلة. أما القضية الثانية، وهي نقص الاستثمار، فيبدو حلها أصعب. ولهذه الأسباب، تُعد التحديات التي يواجهها أي بلد في مجال تحرير سوق الكهرباء وإزالة القيود التنظيمية عنها مهمة.

وثمة مسألة محددة لطالما كانت موضع نقاش مكثّف، ألا وهي الدور الذي تؤديه أسواق القدرة الاستيعابية (Capacity Markets) في تقديم مؤشرات أفضل للاستثمار. وتتمثل إحدى المشاكل الرئيسة في أسواق الطاقة في أنه لا يمكن استرداد التكاليف التشغيلية والرأسمالية إلا من خلال أسعار الكهرباء والخدمات المساعدة. ولذلك، تعتمد هذه السوق على علوة الندرة الذي تفرضه خلال ساعات الطلب المرتفع جداً من أجل استرداد التكاليف الثابتة (مثل Battle and Pérez-Arriaga 2008; Joskow 2008; Finon and Pignon 2008; Roques 2008; ACER 2009; NERA 2011).

نحن نبني نموذجاً عشوائياً لسوق الكهرباء المحلية في المنطقة بعد تعديلها من أجل إعادة الهيكلة والتحرير

مع وجود سوق جملة عامل للطاقة (في الممارسة العملية يتم تنفيذها على أساس سوق ثنائي أو مزاد تجمع)، حيث يحقق فيه سعر الطاقة توازناً بين العرض والطلب في أي وقت محدد. وندرس أيضاً مزاد القدرة الاستيعابية (أو مدفوعات القدرة الاستيعابية) التي تباع فيها شركات التوليد قدرتها الاستيعابية على خدمة ذروة الطلب، بأسعار مختلفة للقدرة والطاقة على مستوى المناطق. وباستخدام هذا النموذج، نُحلل كيف يؤثر تصميم سوق القدرة الاستيعابية على ممارسة القوة السوقية والاستثمارات المثلى للشركات. وعلاوةً على ذلك، نُحلل كيف يؤثر تكوين مزاد الطاقة والقدرة الاستيعابية من قبل مشغل السوق على سلوك شركات التوليد وممارسة القوة السوقية. ويُطبق هذا النموذج في دراسة حالة عن إعادة هيكلة سوق الكهرباء في المملكة العربية السعودية.

يتكون النموذج من عدد من شركات التوليد ذات القوة السوقية (الجهات الفاعلة لكورنو)، وشركات توليد مجمعة ذات طابع تنافسي نسميهم الطرف التنافسي أو ما يسمى (The Competitive Fringe). ويتمثل هدف كل شركة توليد في تحقيق أقصى قدر من الأرباح. يتضمن النموذج أيضاً مشغل نظام نقل مستقل تتمثل مهمته الرئيسة في إدارة شبكة الكهرباء ومشغل سوق ضمني ينظم أسواق الطاقة والقدرة الاستيعابية. كما ندمج أيضاً وكيل مراجع (Representative Arbitrageur) يحاول الاستفادة من الاختلافات السعرية المحتملة بين مختلف المناطق.

ومن المنظور المتعلق بتصميم السياسات، يتمثل الابتكار الرئيس في هذه المادة العلمية في معالجة الأسئلة البحثية التالية: ما تأثير أسعار القدرات الاستيعابية على أسعار الطاقة؟ هل يمكن لشركات التوليد الفاعلة استخدام سوق الطاقة لممارسة القوة السوقية في سوق القدرة الاستيعابية، أو العكس؟ كيف يؤثر تصميم سوق القدرة الاستيعابية على استراتيجيات الاستثمار التي تتبعها شركات التوليد؟

على أنها مسألة تكاملية مختلطة
(Mixed Complementarity Problem MCP).

قُسمت هذه الوثيقة على النحو التالي: في القسم التالي نقدم استعراضاً لمجمل ما نُشر حول أسواق القدرة الاستيعابية. بعد ذلك، نُطبق النموذج المطور من قبلنا لتوضيح الآثار المحتملة لإعادة هيكلة قطاع الكهرباء في المملكة العربية السعودية. وفي الختام، نقدم نتائجنا وتوصياتنا.

ومن المنظور المنهجي، يتمثل الإسهام الرئيس في تحليل التفاعلات بين أسواق الطاقة وأسواق القدرة الاستيعابية في نموذج كبير للمنافسة، حيث يأخذ في الاعتبار التسعير الداخلي (Endogenous Pricing) والقوة السوقية والمسائل المتعلقة بالموقع بالنسبة لمزادات القدرة الاستيعابية والقيود على النقل وأنماط الطلب في الأوقات المختلفة والاستثمار في مختلف التقنيات. ويتحقق ذلك من خلال حل توازن ناش كورنو (Nash Cournot Equilibrium) في سوق من نوع احتكار القلة (Oligopolistic Market)، التي صيغت

استعراض لمجمل ما نشر حول تصميم سوق الكهرباء

تقلب الأسعار. وتظهر دراسة حديثة، طُبقت على سوق تكساس في الولايات المتحدة كيف تُقدم مدفوعات القدرة الاستيعابية فائدةً أكبر للمستهلكين في غياب القوة السوقية (Bajo-Buenestado, 2017).

استخدمت مدفوعات القدرة الاستيعابية هذه أيضًا في المملكة المتحدة وإسبانيا، ولكنها أدت في كثير من الحالات إلى مستوى استثمارات أكبر مما يمكن أن تنتجها صناعة مدفوعة بالسوق، مما يقلل من إيجابيات الندرة (Scarcity Rents) (على سبيل المثال، Roques, 2011; NERA, 2008) وفي حين تم احتساب مدفوعات القدرة الاستيعابية هذه قبل توفير الكهرباء في إسبانيا وبعد توفيرها في المملكة المتحدة، إلا أنها تعرضت لتلاعب السوق في كلتا الحالتين. وكان تصميم السوق الإسبانية معيبًا أيضًا لأنه لا يعطي حوافز لشركات التوليد لكي تكون متاحة في أوقات الندرة (على سبيل المثال، Roques, 2008).

ومن ناحيةٍ أخرى، تعرض كل شركة توليد عروضا في مزاد القدرة الاستيعابية عن سعرها بالسعر التي ترى أنه كافٍ للتعويض عن الاستثمار. وعادةً ما تُقام أسواق القدرة الاستيعابية القائمة على المزاد قبل عدة سنوات من التسليم الفعلي وتُعوّض شركات التوليد عن الاستثمار في القدرة الاستيعابية، مما يسمح لها على الأقل بتغطية جزء من التكاليف الثابتة المرتبطة بتوليد الكهرباء. وتتمثل الأهداف الرئيسية لسوق القدرة الاستيعابية، كما هو موضح في إدارة الطاقة وتغير المناخ في المملكة المتحدة (U.K. 2016a): في تقديم حوافز لإيجاد قدر كافٍ من الاستثمار في القدرة الاستيعابية الكهربائية من أجل الوفاء بمعايير الموثوقية؛ لتحقيق أمن الامدادات بأقل تكلفة ممكنة. وقد أظهرت عدة دراسات أنه في حالة تنفيذ ذلك بشكل صحيح، فإن أسواق القدرة الاستيعابية قد تحقق هذه الأهداف (Creti and Fabra, 2007).

وهناك طرق مختلفة لتصميم أسواق القدرة الاستيعابية. عندما يكون هناك مزاد، يمكن لوكالة

يمكن أن يسبب الارتفاع المفاجئ لأسعار الكهرباء خلال فترة أوقات الذروة حالةً من عدم اليقين الشديد. وعلوّة على ذلك، تكمن المشكلة قصيرة المدى المرتبطة بارتفاع الطلب على الكهرباء خلال ساعات الذروة -التي تمثل أيضًا العائق الرئيسي للأسواق القائمة على الطاقة فقط- في عدم تمكن أسعار الجملة وأسعار خدمات المساعدة الإضافية في الارتفاع بما يكفي لعدد من الساعات لكي يحفز على مستويات استثمار فعالة في قدرة استيعابية كهربائية جديدة (Joskow, 2008). وهذا يعني أن الحاجة إلى استرداد التكاليف الاستثمارية تؤدي إلى ارتفاع أسعار الكهرباء، وقد يتطلب أن ترتفع بشكل أكبر لكي يُؤتي الاستثمار بثماره. ويعني الاحتمال المنخفض لهذه الارتفاعات المفاجئة للأسعار التي تحدث في سنة معينة أن الشركات لديها عوائد متقلبة. عندما يضع المنظمين حد أعلى للأسعار فإن ذلك يؤدي إلى خفض عوائد الاستثمار الذي بدوره يساهم في وجود نقص في القدرة الاستيعابية الكهربائية.

أدى إخفاق الأسواق القائمة على الطاقة فقط في توفير مستوى القدرة الاستيعابية اللازمة لتأمين العرض إلى إدخال أنواع مختلفة من المدفوعات لمكافأة استثمارات القدرة الاستيعابية (مثل Crampton and Stoft, 2010; Gottstein and Schwartz, 2005) بما في ذلك الاحتياطات الاستراتيجية والالتزامات المتعلقة بالقدرة الاستيعابية الكهربائية ومدفوعات ومزادات القدرة الاستيعابية وخيارات الموثوقية (Finon and Pignon, 2008; ACER, 2009; Carreon-Rodrigues and Rosellon, 2009; Traber, 2017).

تستند مدفوعات القدرة الاستيعابية إلى تقييم تقني للطلب المستقبلي على الكهرباء و إلى أكفاً قدرة استيعابية لتوليد الكهرباء اللازمة لتلبية هذا الطلب، بدلاً من الاعتماد فقط على السوق لتحديد المستوى الكافي للاستثمار، مما يوفر للمستثمرين ضمان تدفق أكثر للإيرادات (ACER, 2009). ويمكن لهذا أن يزيد أسعار الجملة، ولكنه يُوفر قدرًا أكبر من الموثوقية وقدرًا أقل من

والاستثمار في التوليد وتداول الأصول (على سبيل المثال، Bunn and Oliveira, 2008, 2016; Murphy and Smeers, 2012; Ehrenmann and Smeers, 2010; Lorenczik, Malischek and Truby, 2017 Yao, Oren and Adler, 2007; Deng, Oren and Melipoulos, 2010 Oliveira, Ruiz and Cone-jo, 2013; Oliveira, 2017).

أجريت الدراسة الأقرب إلى تحليلنا من قبل Lynch and Devine (2017) في تحليل مدفوعات القدرة الاستيعابية باستخدام مسألة تكاملية مختلطة عشوائية (Stochastic Mixed Complementarity Problem) في نموذج منمق. بيد أن عملنا يتسم بتوسعه عن عملهم واختلافه في عدة مناحي مهمة وهي كالتالي: نقوم بنمذجة مزادات القدرة الاستيعابية وكذلك مدفوعات القدرة الاستيعابية (أو المدفوعات)، وندرس أنشطة مشغلي النظام المستقلين والمراجحين، ونحلل خصائص النموذج وكيفية تأثيره بالافتراضات السلوكية المختلفة لشركات التوليد وكذلك القرارات التي يتخذها مشغل السوق (المشتري الرئيس). وعلى حد علمنا، هذا هو أول تطبيق لنموذج عددي لدراسة دور سلوك الشركات والمنافسة في خطة إعادة الهيكلة. ويقدم Al-Muhawesh et al. (2008) مناقشة نوعية مع توصيات لتحسين السوق.

في حال الرغبة في الإطلاع على تفاصيل النموذج الإقتصادي المستخدم، النسخة الانجليزية من هذه الورقة البحثية تحتوي على قسم كامل يستعرض خصائص النموذج المستخدم بشكل مُفصل.

الشراء شراء القدرة الاستيعابية المتوقعة المطلوبة (ثابتة ومقدرة من قبل الوكالة) من خلال مزاد كما هو الحال في الربط بين بنسلفانيا ونيو جيرسي وميريلاند. وبدلاً من ذلك، يمكن للوكالة أن تُصمم دالة طلب صريحة بالنسبة إلى القدرة الاستيعابية التي ينعقد من أجلها المزاد، ولكن بسعر الشراء الذي لا يقتصر على العروض التي تقدمها شركات التوليد، وإنما تشمل أيضاً دالة الطلب التي يقدمها الوكيل المشتري. وهذا هو الحال في مزادات القدرة الاستيعابية في نيو انجلاند والمملكة المتحدة، على سبيل المثال الصكوك القانونية (2014).

وبصفة عامة، تبين أن أسواق القدرة الاستيعابية هذه معيبة لعدة أسباب: عدم ارتباطها بأسواق الطاقة، وعدم إدراج القدرة الاستيعابية الجديدة، وعدم كفاية عوائد الاستثمار في القدرة الاستيعابية المخصصة لأوقات الذروة بسبب قصر أفق التخطيط، وعدم مراعاة رسوم التكدس والمسائل المتعلقة بالمواقع المختلفة (Roques, 2008; Crampton and Stoft, 2005; Briggs and Kleit, 2013). ويناقش استقصاء أسواق القدرة الاستيعابية في الولايات المتحدة (Bhagwat, 2016) مدى تحقيق أهداف الموثوقية، والتي جاءت على حساب الكفاءة الاقتصادية. وكقضية أعمق تتعلق بالسياسات، قال (Battle and Pérez-Arriaga, 2008) و (Newberry, 2016)، وآخرون، أن أسواق القدرة الاستيعابية قد استخدمت في عرض التخطيط المركزي. كما أنها لا تعوض عن مخاطر الاستثمار في التكاليف الرأسمالية المرتفعة المتعلقة بساعات الحمل الأساسي.

وتعددت المنشورات عن نمذجة احتكار القلة الكهربائية بما في ذلك تصميم أسواق الفورية لتسعير الطاقة

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة

والمتوقعة حتى عام 2020. تؤخذ التكلفة الحدية للنقل على أساس 3.7 دولار لكل م.و.س.

يُكوّن الطلب على الكهرباء باستخدام مخططات قيم الحمل الكهربائي من عام 2015 (شركة السعودية للكهرباء 2016) والمتوقع حتى عام 2020 من خلال إعادة تصنيف مخططات قيم الحمل الإجمالية باستخدام توقعات الطلب الإقليمية من هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج (2010) ومن ثم تُجمع شرائح الطلب في ثماني شرائح أحمال ليوم ممثل ليوم من أيام الأسبوع وعطلة نهاية الأسبوع لثلاثة مواسم الصيف والخريف/ الربيع والشتاء.

تتطلب معايرة معاملات دالة الطلب العكسية تقديرات لمدى مرونة الطلب في سوق الكهرباء بالكامل. ذكر (Bigerna et al. (2015) إطارًا لتقدير مدى مرونة الطلب بالساعة وتقدير مدى مرونة السعر الحالي بين 0.05- و 0.12- في سوق الكهرباء الإيطالية. بما أن سوق الجملة للكهرباء في السعودية لم يتم إدخاله كاملًا بعد، فإننا نستخدم متوسط قيمة 0.16- بناءً على تقديرات مدى مرونة الطلب النهائية لمستهلكي الكهرباء في القطاع السكني التي أعدها (Atallah et al. (2016). يلزم إجراء أبحاث مستقبلية لتحسين فهمنا لإمكانات وجود القوة السوقية في سوق بيع الكهرباء بالجملة في المملكة العربية السعودية، ولا سيما خلال فترات الطلب الأعلى (أوقات الذروة).

يُعد الإنتاج من الطاقة المتجددة إنتاجًا خارجيًا 3.45 م. و (Exogenous) من القدرة الاستيعابية الحالية على النحو المتوقع من برنامج التحول الوطني 2020 (Yamada, (2016). تُقدر المخططات الإنتاجية بالساعة لكل مصدر متجدد وتطرح من الطلب المتوقع. نستخدم هنا العمل السابق المُنجز الوارد في نموذج الطاقة الخاص بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية للمملكة العربية السعودية (Matar et al. (2015; Matar et al. (2017). يُعد الطلب المتبقي الموجه إلى المولدات التقليدية معلمًا عشوائيًا، وهو ما يعزى إلى عدم القدرة على التنبؤ بكل الطلبين ومن مصادر الطاقة المتجددة.

نحاكي في هذا القسم إعادة هيكلة سوق الكهرباء في المملكة العربية السعودية وتفكيك الشركة السعودية للكهرباء إلى شركات التوليد الخاصة الجديدة. نجري المحاكاة للسوق لعام 2020 باعتباره تاريخًا افتراضيًا لبدء عملية تحرير السوق كاملًا. نعاير مسألة شركات التوليد إذ تمتلك أربع شركات توليد إقليمية مستقلة (شركة 1 وشركة 2 وشركة 3 وشركة 4) الأصول الحالية للشركة السعودية للكهرباء، بما في ذلك الاستثمارات والسحب من الخدمة (Retirements) المخطط لها، في كلٍ من مناطق شبكة الكهرباء الرئيسة الأربع في المملكة العربية السعودية؛ منطقة التشغيل الوسطى ومنطقة التشغيل الشرقية ومنطقة التشغيل الجنوبية ومنطقة التشغيل الغربية. تتصل المناطق ببعضها ببنية نقل رئيسة موجودة على النحو التالي: منطقة التشغيل الوسطى – منطقة التشغيل الشرقية (5.2 ج.و) ومنطقة التشغيل الوسطى – منطقة التشغيل الغربية (1.2 ج.و) ومنطقة التشغيل الغربية – منطقة التشغيل الجنوبية (1.5 ج.و).

نتعامل مع شركات التوليد الأربعة الكبرى بوصفها جهات كورنو الفاعلة الممارسة للقوة السوقية مع المنتجين المهمين الذين يتحملون الأسعار. يمكن لكل شركة أن تعمل وتستثمر في أربع تقنيات مختلفة: التحويل من التربينات الغازية ذات الدورة المفتوحة والتربينات الغازية ذات الدورة المغلقة والتربينات البخارية والتربينات الغازية إلى التربينات الغازية ذات الدورة المغلقة (أي تحويل التربينات الغازية إلى التربينات الغازية ذات الدورة مغلقة). تُوزع الأصول الحالية لشركة السعودية للكهرباء بالتناسب مع التقنية والمنطقة بين شركات التوليد الأربع. لا يُمثل استخدام التخصيص هنا أي خطط معلنة، إذ يعكس ببساطة سوقًا به العديد من الجهات التي تمتلك مختلف التقنيات المتشابهة وتقدمها في كل منطقة.

يدرج الجدول 5 الاستثمارات والسحب من الخدمة و تكلفة التشغيل الثابت و التكلفة المتغيرة الغير القائمة على الوقود. نفترض أن إمدادات الوقود السائلة غير محدودة في كل منطقة، في حين يُخصص الغاز الطبيعي إقليميًا استنادًا إلى مستويات استهلاك الغاز في عام 2015

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة

الجدول 5: تكاليف التقنية و عمر استخدامها المتوقع و معدل حرارتها.

نوع المحطة	تكلفة الاستثمار بالدولار/ك.و	تكلفة السحب من الخدمة بالدولار/ك.و	عمر الاستخدام المتوقع	التكلفة الثابتة بالدولار/ك.و	التكلفة المتغيرة بالدولار/م.و.س	معدل الحرارة (مليون وحدة حرارية بريطانية/م.و.س)	
						الغاز	النفط
التربينة الغازية	1.016	152	25	10.7	1.68	11.30	13.55
التربينة الغازية ذات الدورة المغلقة	1.102	165	30	19.9	1.24	7.655	9.676
التحول من التربينة الغازية إلى التربينة الغازية ذات الدورة المغلقة	600	-	20	19.9	1.24	7.655	9.676
التربينة البخارية	1.680	252	35	38.7	1.22	10.37	10.20

المصدر: تحليل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

هيكل السوق والفائض الإقتصادي الكلي

عن المشتري الرئيس لتلبية الطلب المستهدف في عام 2020. عند تطبيق تصميم اتفاقية شراء الطاقة دون سوق الجملة، فإننا نفترض عدم وجود تأثيرات قوة سوقية في سيناريو الحالة المعتادة. تواصل الشركات شراء الوقود بالسعر المنظم ذاته البالغ 1.25 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية. يتطابق السيناريو مع الطريقة التي تدير بها الحكومة السوق حالياً، مع إعطاء الأولوية للمستهلك. إلا أن توفير الطاقة بتكلفة منخفضة يزيد من المخاطر المالية التي تواجهها الحكومة في موازنة الميزانية وذلك فيما يتعلق بقطاع الكهرباء.

نحلل أولاً تأثير ملكية أصول الشركة السعودية للكهرباء وتوزيعها عند إنشاء سوق الطاقة فقط (لا يوجد سوق قدرة استيعابية). يُمثل سيناريو الحالة المعتادة هيكل السوق الحالي. تتحكم الشركة السعودية للكهرباء في الإنتاج من خلال اتفاقيات شراء الطاقة (Power Pur-chasing Agreement PPA) الحالية والجديدة الصادرة

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة

تُفكر في سيناريوهين متناقضين يزداد فيهما سعر النفط الخام والغاز الطبيعي الذي تشتريه الشركات إلى سعر طاقة مكافئ يساوي 3 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية، حيث تُمثل أهدافًا متوسطة لتعديل أسعار الوقود لعام 2020. السيناريو الأول، يتعامل سوق الطاقة كورنو مع شركات التوليد الأربعة الجديدة باعتبارها قادرة على ممارسة قوة السوق فضلًا عن تشكيل احتكار القلة كورنو (Cournot Oligopoly). السيناريو الثاني، تعمل شركات توليد الكهرباء في سوق منافسة تامة (Perfect Competition)، نقدم سيناريو ثالث، سوق الطاقة التنافسي: تعديل أسعار النفط، مع تحرير أسعار النفط بالكامل للأسعار الدولية، معايير إلى 10 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية، أو 58 دولار للبرميل.

تُحلل سيناريوهات إضافية من خلال طرح سوق الطاقة فقط مع محطات توليد الكهرباء القائمة التابعة للشركة السعودية للكهرباء والتي تُوزع على أربع شركات توليد جديدة، حيث تتولى الشركة السعودية للكهرباء دور مشغل السوق (المشتري الرئيس). الطرف التنافسي (The Competitive Fringe)، الذي يمثل جميع المولدات الأخرى، مقيد بامتلاك وامتداد 20 في المائة بحد أقصى من القدرة الاستيعابية الإجمالية والطاقة على التوالي، مما يمثل حواجز أمام الدخول. يشمل ذلك محدودية الحصول على رأس مال للشركات الجديدة أو حقوق الأراضي أو تصاريح الاستيراد لشراء معدات جديدة، بالإضافة إلى الحوافز التي تُشجع على إنشاء شركات توليد الكهرباء الكبيرة.

الجدول 6: الأرباح وفائض المستهلك والفائض الاقتصادي الإجمالي (بمليار دولار).

السيناريو	الأرباح الثابتة	فائض المستهلك	دعم الوقود	الفائض الاقتصادي الإجمالي	الإمداد (ت.و.س)	متوسط السعر بالدولار/ م.و.س	متوسط التكلفة بالدولار/ م.و.س
سيناريو الحالة المعتادة	0.89	118.27	-26.96	92.20	458	20.2	18.5
سوق الطاقة التنافسي	1.42	110.36	-15.26	96.53	434	38.1	35.1
سوق الطاقة كورنو	28.30	80.20	-10.43	98.08	369	114.6	35.8
سوق الطاقة التنافسي: تعديل أسعار النفط	16.02	83.95	0.00	99.98	346	106.6	60.6

المصدر: تحليل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

يُحمل كل من سيناريو تعديل سعر النفط وسيناريو سوق الطاقة كورنو، مقارنةً بسيناريو الحالة المعتادة تكلفةً كبيرة على المستهلكين. يرتفع متوسط السعر أكثر من 400 في المائة، في حين يتراجع فائض المستهلك بمقدار 34.3 مليار دولار (26 في المائة) و38.1 مليار دولار (32 في المائة) على التوالي. تُعد الزيادة بهذا الحجم خللاً كبيراً، ومن غير المرجح أن تقبلها الهيئة التنظيمية. على عكس سيناريو سوق الطاقة كورنو، الانخفاض في نفقات دعم الوقود بمقدار 11.7 مليار دولار في سيناريو سوق الطاقة التنافسي يفوق الخسارة في فائض المستهلك البالغة 7.91 مليار دولار. بالتالي، يمكن للحكومة نقل جزء من وفورات الوقود للمستهلكين بفائض صافي.

تؤدي حالة المنافسة الكاملة مع تحرير الأسعار الجزئي على الوقود (سوق الطاقة التنافسي) إلى زيادات أقل وأكثر اعتدالاً في الأسعار، مع اقتراب أكثر للأسعار المحررة (التكلفة الحدية) من سعر المستهلك. يعود الانخفاض في فائض المستهلك، الذي يقل كثيراً عن السيناريوهات التي تتمتع بقوة السوق، كلياً تقريباً إلى تعديل سعر الوقود.

مدفوعات القدرة الاستيعابية ومزاد القدرة الاستيعابية

نقدم في هذا القسم سيناريوهات إضافية من خلال إضافة مدفوعات ثابتة ومزاد للقدرة الاستيعابية لسوق الطاقة كورنو، مما يبين مدى تأثير أسواق القدرة الاستيعابية على العرض والأسعار عندما تمارس الشركات قوة سوقية. تستلم كل شركة مدفوعات ثابتة للقدرة الاستيعابية المتاحة لديها، في سيناريو مدفوعات القدرة الاستيعابية الأول، عندما يتجاوز الحد الأقصى للطلب في منطقة ما 90 في المائة من إجمالي القدرة الاستيعابية المتاحة، وتصل خلال فصل الصيف ذروة الطلب بين الظهر ومنتصف الليل. وُضعت المدفوعات على أساس التكلفة الثابتة السنوية للتوربينات الغازية للدورة المركبة وتُضرب في نسبة الساعات خلال السنة التي يتوفر فيها سوق القدرة الاستيعابية.

لخص الجدول 6 نتائج سيناريو الحالة المعتادة وسيناريوهات سوق الطاقة الثلاثة، بما في ذلك الأرباح الثابتة وفائض المستهلك ودعم الوقود والإنتاج الكلي ومتوسط أسعار الكهرباء. في سيناريو الحالة المعتادة، نعرض متوسط تكلفة الإنتاج الحدية. بيّن العمود الأخير متوسط تكلفة الكهرباء أو سعر المستهلك مع افتراض عدم وجود ريع اقتصادي (Economic Rents) لشركات التوليد. يقيس فائض المستهلك القيمة التي يحصل عليها المستهلكون للحصول على الكهرباء بما يتجاوز السعر الذي يدفعونه. نحسب دعم الوقود باعتباره الفرق بين سعر السوق العالمي والسعر المنظم. يُقصد بإجمالي الفائض الاقتصادي إجمالي أرباح شركات التوليد بالإضافة إلى فائض المستهلك مطروحاً منه دعم الوقود.

يتعرض المستهلك في السيناريوهات ذات أسواق الطاقة المحررة، إلى ارتفاع أسعار الطاقة، مقارنةً بالسيناريو المعتاد، مما يزيد من كفاءة استخدام الكهرباء. يؤدي ذلك إلى انخفاض في العرض و في استهلاك النفط. كما يؤدي كذلك إلى انخفاض دعم والوقود. تتضح هذه النتائج جليةً في سوق الطاقة كورنو، حيث تخفض ممارسة القوة السوقية لشركات التوليد الأرباح للطلب لأكثر من ذلك ويخلق ريع اقتصادي (Economic Rents) ملموس على القدرة الاستيعابية الكهربائية.

يبيّن سيناريو تعديل أسعار النفط كيف ينطوي الحل الأكثر فعاليةً من منظور الفائض الاقتصادي الإجمالي على إزالة دعم الوقود بالكامل وتشجيع الأسواق التنافسية. تتمثل النتيجة الغير متوقعة في زيادة الفائض الاقتصادي الإجمالي عندما تمارس شركات توليد الطاقة الكبيرة القوة السوقية؛ يبلغ سوق الطاقة كورنو 1.6 مليار دولار أكثر من سوق الطاقة التنافسي. يرجع ذلك إلى خفض الطلب الذي يقترب إلى سيناريو التحرير وخفض الخسائر الاقتصادية الناجمة عن الإفراط في الاستهلاك ودعم الوقود. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يزيد تقليل المنافسة وتقليل عدد شركات التوليد من القيمة السوقية للأصول القائمة للشركة السعودية للكهرباء عند بيعها للقطاع الخاص.

الجدول 7. القدرة الاستيعابية الحالية حسب التقنية في كل منطقة (جيجا وات).

منطقة التشغيل الوسطى	منطقة التشغيل الشرقية	منطقة التشغيل الجنوبية	منطقة التشغيل الغربية	الإجمالي
18.99	29.48	7.42	27.64	83.53

المصدر: تحليل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

يحول اختيار التقنية للشركة لوحدات التربينات الغازية ذات الدورة المغلقة الأكثر كفاءةً. توقفت العديد من محطات البخار غير الفعالة ذات التكلفة الثابتة الأعلى، في سوق الطاقة كورنو، حيث تقلل احتكاكات القلة الإقليمية من الإمدادات. تظهر سيناريوهات مدفوعات القدرة الاستيعابية و مزاد القدرة الاستيعابية كيف يمكن للإجراءات التي يتخذها المشتري الرئيس أن تؤثر على خطط الاستثمار والسحب من الخدمة المثلى للمولدات؛ يُقلل سوق القدرات الاستيعابية من حالات السحب من الخدمة ويزيد من الاستثمارات.

في إطار سيناريوهات مدفوعات القدرات الاستيعابية والمزاد، نلاحظ زيادة طفيفة في القدرة الاستيعابية لتربينات الغاز ذات الدورة المغلقة الرئيسة، 2 ميجا وات و 1 ميجا وات على التوالي. بالنسبة للمزاد، نتوقع زيادة في الامدادات الرئيسة، وبما أننا لم نميز السوق عن طريق التقنية، يسهم المزاد (المدفوعات) في انخفاض كبير في توقف التوربينات البخارية غير الفعالة الحالية. زادت قدرة التوربينات البخارية، في الشكل 2، من 19 جيجا وات (سوق الطاقة كورنو) إلى 33 جيجا وات في كل من محاكاة سوق القدرة الاستيعابية. يمكن استخدام تقسيم السوق عن طريق التقنية لزيادة القدرة دون المساس بكفاءة السوق، من خلال الحفاظ على إشارة لوقف استخدام التقنية. يمكن أن يساعد تصميم سوق القدرة الاستيعابية الواحد، بدلاً من ذلك، على زيادة قيمة وبقاء الأصول الموجودة التي تملكها الشركة السعودية للكهرباء.

نقدم مزاداً للقدرة الاستيعابية، في سيناريو مزاد القدرة الاستيعابية الثاني. يُشغل المزاد خلال شرائح الطلب ذاتها المحددة لسيناريو مدفوعات القدرة الاستيعابية. لا تسترد الشركات، في الممارسة العملية، سوى جزء من التكلفة الثابتة التي تتناسب مع العدد الإجمالي لساعات العمل في سوق القدرة الاستيعابية. وُضعت معالم أهداف القدرة الاستيعابية مساوية للقدرة الحالية المستمدة لعام 2020 (يرجى الرجوع إلى الجدول 7). يتيح ذلك مرونة كافية لسعر القدرات الاستيعابية على أن يكون أعلى بكثير من تكلفة الاستثمار، وفي الوقت ذاته، تحفز الشركات على توفير قدر كافٍ من القدرة الاستيعابية للوفاء بالهدف المرصود للقدرة الاستيعابية بسعر أقل.

يبين الجدول 8 إجمالي الأرباح وفائض المستهلك والفائض الاقتصادي الإجمالي والامدادات ومتوسط سعر الوحدة المدفوع إلى الشركات (بما في ذلك مدفوعات القدرة الاستيعابية) لسوق الطاقة فقط وسيناريوهين لسوق القدرة الاستيعابية. مع إضافة مزادات القدرة الاستيعابية (المدفوعات)، نرى زيادة الأرباح وانخفاض في متوسط سعر الطاقة يصل إلى 2.4 في المئة. ومع ذلك، فإن انخفاض الأسعار مصحوباً بانخفاض في فائض المستهلك والفائض الاقتصادي الإجمالي على حدٍ سواء، حيث أن الزيادة في مدفوعات القدرة الاستيعابية أكبر من الوفورات التي يحصل عليها المستهلكون في سعر الطاقة.

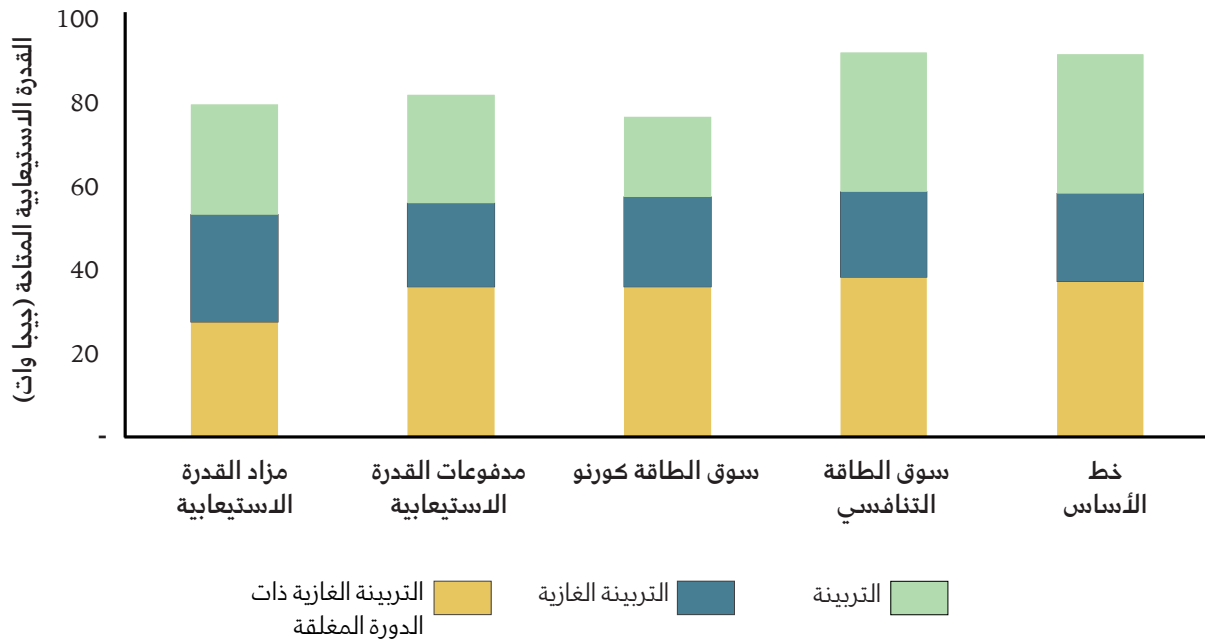
يبين الشكل 2 القدرة المتاحة، مقسمة بالنسبة لنوع التقنية للسيناريوهات الخمسة. أولاً، رفع أسعار الوقود

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة

الجدول 8. الأرباح ومدفوعات القدرة الاستيعابية وفائض المستهلك والفائض الاقتصادي الإجمالي (مليار دولار).

السيناريو	إجمالي الأرباح	مدفوعات القدرات الاستيعابية	فائض المستهلك	الفائض الاقتصادي الإجمالي	الإمداد (ت.و.س)	متوسط السعر بالدولار/ م.و.س
سوق الطاقة كورنو	28.30	0	80.20	98.08	369	114.6
مدفوعات القدرة الاستيعابية	31.00	-3.87	77.36	98.05	372	111.8
مزايا القدرة الاستيعابية	30.76	-3.52	77.59	97.98	371	112.1

المصدر: تحليل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.



الشكل 2. القدرة الاستيعابية المتاحة (جيجا وات) لكل سيناريو حسب التقنية.

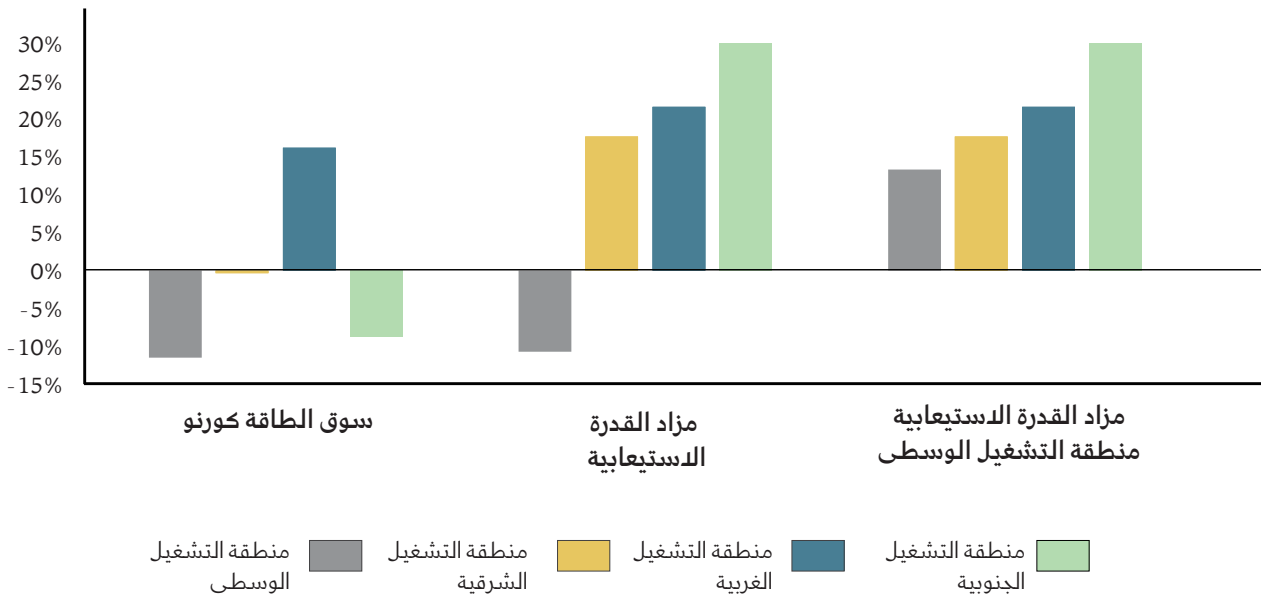
المصدر: تحليل خاص بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

استخدام القدرات الإنتاجية الإجمالية والأرباح. يؤدي تخفيض التكاليف الثابتة في مزاد القدرة الاستيعابية إلى تخفيض معدلات التقاعد (سحب وحدات التوليد من الخدمة) و استثمارات أكبر مع هوامش تتجاوز 15 في المائة في منطقة التشغيل الشرقية ومنطقة التشغيل الجنوبية ومنطقة التشغيل الغربية، مع ذلك، تقترب المستويات من الأهداف التي تحددها عادةً الشركة السعودية للكهرباء. (هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج 2016).

تمثل منطقة التشغيل الوسطى المنطقة الوحيدة التي لا توجد فيها زيادة كبيرة في القدرة الاستيعابية. يُعد تصميم المزاد (الدفعات) ليس كافٍ، في هذه الحالة، للتغلب على الاستفادة من شراء طاقة الذروة من القدرات الزائدة في منطقة التشغيل الشرقية المجاورة ومنطقة التشغيل الغربية. لمعالجة هذا الأمر، فإننا نحكي سيناريو بديل لمزاد القدرة الاستيعابية لمنطقة التشغيل الوسطى، لكي يزيد القدرة المستهدفة. جرى مقارنة الهوامش الاحتياطية في سيناريو مزاد القدرة الاستيعابية في منطقة التشغيل الوسطى مع سوق الطاقة كورنو ومزاد القدرة الاستيعابية الأصلي في الشكل 3.

يقلل سوق القدرة الاستيعابية (المدفوعات) من ارتفاع الأسعار المفاجئ أوقات الذروة ويزيد الهوامش الاحتياطية التي استخدمت للحفاظ على موثوقية الشبكة، من خلال توفير المزيد من القدرات الاستيعابية التي تزيد عن أقصى طلب للكهرباء ممكن الوصول إليه. في المقابل، بما أن المستهلك هو الذي يتحمل مدفوعات القدرة الاستيعابية الثابتة، فإن فائض المستهلك ينخفض (يرجى الرجوع إلى الجدول 8). يؤدي مدفوعات القدرة الاستيعابية الثابتة دورًا مهمًا في سوق الكهرباء المحررة؛ وزيادة الهوامش الاحتياطية وموثوقية التوريد بالنسبة للمستهلكين، والتي تُقاس باعتبارها امدادات تتجاوز الطلب على الذروة الإقليمية.

تُعد الهوامش الاحتياطية الإقليمية سلبية في كل مكان باستثناء منطقة التشغيل الجنوبية، في حين أن القدرة الاستيعابية الوطنية كافية لتلبية الطلب، في إطار سوق الطاقة كورنو (يرجى الرجوع إلى الشكل 3). ينشأ هذا الأمر على الاعتماد القوي على الانتقال بين المناطق خلال فترات ذروة الطلب. تستفيد شركات توليد الطاقة من خدمات النقل عن طريق الاستفادة من الفرق بين أنماط الحمولة الإقليمية وأسعار الطاقة لزيادة

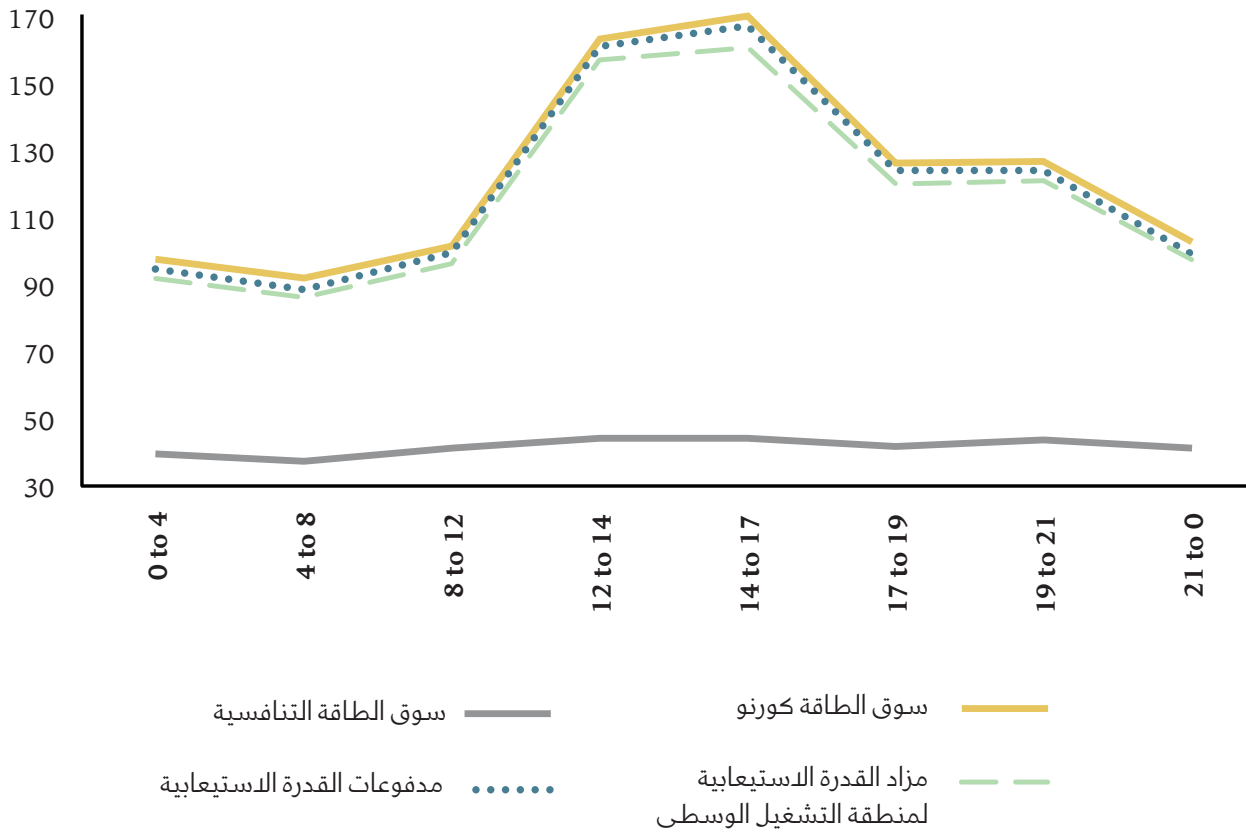


الشكل 3. الهوامش الاحتياطية حسب منطقة التشغيل.
المصدر: تحليل خاص بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة

لمدفوعات القدرة الاستيعابية، في السيناريوهات ذات القوة السوقية، الأثر الأكبر على أسعار الطاقة خلال ذروة الطلب الصيفي، عندما يكون استخدام القدرات مرتفعاً. الفرق بين أسعار الطاقة في سيناريوهات سوق الطاقة كورنو ومدفوعات القدرة الاستيعابية، في المتوسط، يقل عن 0.13 في المائة في فصل الشتاء، ويتجاوز 2.4 في المائة في موسم الذروة في الصيف.

قارنًا التوازن في أسعار الطاقة في الشكل 4 من سيناريوهات أسواق الطاقة التنافسية و كورنو ومدفوعات القدرة الاستيعابية ومزاد القدرة الاستيعابية لمنطقة التشغيل الوسطى لثمانٍ من شرائح الأحمال لموسم الصيف في منطقة التشغيل الوسطى. يبين سيناريو سوق الطاقة التنافسي أن كيفية إدارة القوة السوقية يُمثل العامل الرئيس في تحقيق انخفاض الأسعار والسيطرة على الارتفاع الطفيف. يكون

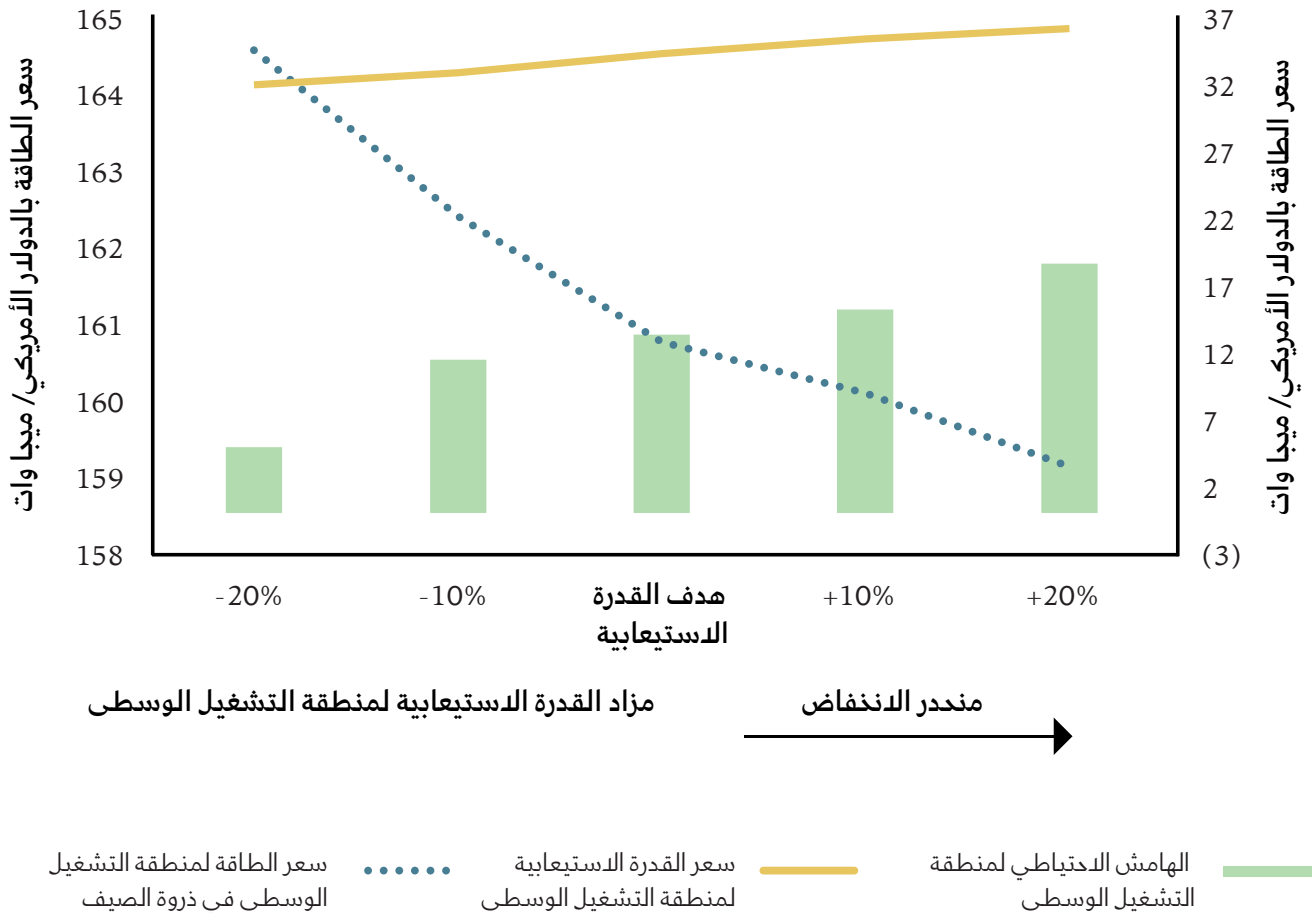


الشكل 4. أسعار الطاقة في عطلة نهاية الأسبوع الصيفية لمنطقة التشغيل الوسطى (الدولار الأمريكي / ميجا وات). المصدر: تحليل خاص بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة

الطاقة في سوق الطاقة، مما يؤدي إلى المزيد من الامدادات (ارتفاع أسعار القدرة الاستيعابية) وانخفاض أسعار الطاقة. تظهر الأشرطة في الشكل 5 كيف تؤثر الأهداف الإقليمية التي وضعها منظم السوق على الاحتياطي. زيادة القدرة الاستيعابية المستهدفة بنسبة 40 في المائة (أقصى اليسار إلى أقصى اليمين) يزيد من إجمالي تكلفة النظام بنسبة 3 في المائة، من 13.3 مليار دولار إلى 13.7 مليار دولار.

نحلل في نهاية المطاف حساسية أسعار الطاقة والقدرة الاستيعابية إلى أهداف القدرة الإقليمية التي تستخدم في مزاد القدرة الاستيعابية لمنطقة التشغيل الوسطى المعدل. يقارن الشكل 5 أسعار التوازن في منطقة التشغيل الوسطى من خلال تعديل كل من الأهداف الإقليمية في الوقت ذاته بنسبة +10/- في المائة و20 في المائة. يقلل زيادة الأهداف من منحدر مزاد القدرة الاستيعابية. يحد هذا الأمر من قدرة الشركات على ممارسة القوة السوقية الذي بدوره يؤثر على العوائد على



الشكل 5. تحليل حساسية مزاد القدرة الاستيعابية: نتائج المنطقة الوسطى للمملكة. المصدر: تحليل خاص بمركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

المستهلك. في سيناريو سوق الطاقة التنافسي مع تحرير أسعار الوقود الجزئي، فإن وفورات الحكومة من خفض دعم الوقود (بافتراض أن القيمة السوقية تبلغ 58 دولارًا للبرميل) ستتجاوز الخسارة في فائض المستهلك. وهذا يعني أن هناك مجال لتنفيذ مخطط تعويضي يخفف من الزيادة في التكاليف بالنسبة للمستهلك.

نستنتج في نهاية المطاف الحالات التي تؤدي فيها أسواق القدرة الاستيعابية والطاقة معًا إلى قدرة استيعابية أكبر من "سوق طاقة فقط" مع وضع احد أقصى في أسعار الذروة. يدعم هذا الأمر المشتري الرئيس في تصميم سوق لتحقيق موثوقية التوريد خلال فترات الذروة. نبين أيضًا كيف يمكن تصميم سوق القدرة الاستيعابية خصيصًا للعمل على زيادة الهوامش الاحتياطية الإقليمية وموثوقية النظام في المناطق المتضررة من الأسواق المجاورة.

ستستفيد المملكة العربية السعودية من إعادة هيكلة قطاع الكهرباء لديها على المدى الطويل من خلال التعلم من تجارب البلدان الأخرى وتصميم السوق بعناية. من شأن سوق القدرة الاستيعابية أن يساعد مشغل السوق على إدارة المنافسة والتأثير على قرارات الاستثمار الخاصة في السوق المحررة، وبالتالي دعم أهداف رؤية 2030. ومن شأن رفع أسعار الوقود الحالية المدارة من قبل الحكومة أن يحسن من كفاءة وتكاليف مزيج التوليد لقطاع الكهرباء في المملكة العربية السعودية. و في الوقت ذاته، تعديل تعريفات التجزئة، وتحميل المستهلكين التكلفة الفعالة على المدى الطويل للكهرباء وإدراج سوق بيع الجملة للطاقة مع رسوم الازدحام على نقل الكهرباء، سيسهم في تحسين كفاءة الاستهلاك. يمكن أيضًا أن تؤدي إصلاحات السوق إلى تحسين الكفاءة الداخلية داخل الشركة السعودية للكهرباء التي تملكها الحكومة. لا يمكن قياس هذا من خلال النموذج المعروض هنا، يتطلب ذلك استخدام التحليل التطويقي للبيانات (Data Envelopment Analysis) لمقارنة الشركة السعودية للكهرباء مع معايير الصناعة.

أنشأنا نموذجًا واسع النطاق لنظام الكهرباء في المملكة العربية السعودية، مع تسعير مكاني للإنتاج ونقل الكهرباء وقرارات الاستثمار لشركات التوليد الكهربائية. عندما تتمكن الشركات المولدة للكهرباء من ممارسة القوة السوقية، يحسب النموذج توازن ناش لاحتكار القلة كورنو مع طرف تنافسي (Nash Equilibrium of Cournot Oligopoly with a Competitive Fringe).

نجد أن القضاء على القوة السوقية للشركات من خلال المنافسة أو التنظيم له أهمية خاصة في أوقات الذروة في الطلب عندما تكون المنافسة محدودة جدًا. يعزز سوق القدرة الاستيعابية المنافسة بين مولدات الذروة ويقلل من أسعار الكهرباء من خلال تخفيض التكلفة الثابتة للمحطات، لا سيما بين الشركات الصغيرة التي تعمل بمعدلات استخدام منخفض.

تبين نتائج المحاكاة كيف يمكن لممارسة القوة السوقية في "سوق طاقة فقط" في المملكة العربية السعودية أن يزيد من أرباح الشركات وأيضًا الفائض الاقتصادي الإجمالي مقارنةً بسوق تنصرف فيه جميع الشركات تصرفًا تنافسيًا. تعزى هذه النتيجة المفاجئة في الغالب إلى حجم إعانات الوقود (التي لا توجد في معظم أسواق الكهرباء) التي تفوق الخسارة في فائض المستهلك.

يؤدي السماح لكل من ممارسة القوة السوقية وتعديل أسعار الوقود إلى زيادة في القيمة السوقية للأصول القائمة للشركة السعودية للكهرباء نتيجةً لارتفاع العائد على القدرة الإنتاجية. يبرر هذا الأمر تعديل أسعار الوقود قبل إعادة هيكلة السوق من أجل تعظيم الإيرادات الحكومية من بيع أصول الكهرباء إلى القطاع الخاص.

ومع ذلك، يأتي الكسب الاقتصادي على حساب تكلفة كبيرة للمستهلكين حيث تمارس شركات التوليد القوة السوقية على أسعار الكهرباء. وبالنظر إلى أن المنافسة من المرجح أن تكون محدودة خلال المراحل الأولى من التنفيذ، سيكون التنظيم ضروريًا من أجل تحقيق التوازن بين قيمة سوق بيع الجملة للكهرباء مع رفاهية

- Capacity Remuneration Mechanisms and .2013 ,ACER
.29 .the Internal Market for Electricity, p
- The .2008 ,.Al-Muhawesh, T., and Qamber, I. S
prerequisite for competition in the restructured wholesale
.484-477 :36 ,Saudi electricity market. Energy Policy
- Modeling Residential .2016 ,.Atallah, T., and Hunt, L
Electricity Demand in the GCC Countries. Energy
.158-149 :59 ,Economics
- Welfare implications of .2017 ,.Bajo-Buenestado, R
capacity payments in a price capped electricity sector:
A case study of the Texas market (ERCOT). Energy
.285-272 :64 ,Economics
- Expert .2016 ,.Bhagwat, P C., de Vries, L. J., Hobbs, B. F
survey on capacity markets in the U.S.: Lessons for the
.17-11 :38 ,EU. Utilities Policy
- Design Criteria .2008 ,Battle, C., and IJ Perez-Arriaga
for Implementing a Capacity Mechanism in Deregulated
.193-184 :16 ,Electricity Markets. Utilities Policy
- A System of Hourly .2015 ,.Bigerna, S., Bollino, C. A
Demand in the Italian Electricity Market. The Energy
.19-1 :(4) 36 ,Journal
- Resource Adequacy .2013 ,Briggs, RJ and A. Kleit
Reliability and Impacts of Capacity Subsidies in
.40 ,Competitive Electricity Markets. Energy Economics
.305-297
- Modeling .2008 ,Bunn, D. W., and F. S. Oliveira
the Impact of Market Interventions on the Strategic
,Evolutions of Electricity Markets. Operations Research
.1130-1116 :(5) 56
- Strategic Slack .2016 ,Bunn, D. W., and F. S. Oliveira
Valuation in the Trading of Productive Assets. European
.50-40 :(1) 253 ,Journal of Operational Research
- .2009 ,Carreon-Rodriguez, V. G., and J. Rosellon
Incentives for Supply Adequacy in Electricity Markets.
An Application to the Mexican Power Sector. Economia
.282-249 :(2) Mexicana, XVIII
- A Capacity Market that .2005 ,Crampton, P., S. Stoff
.54-43 :(7) 18 ,Makes Sense. The Electricity Journal
- Supply Security and Short-Run .2007 ,Creti, A., N. Fabra
:29 ,Capacity Markets for Electricity. Energy Economics
.276-259
- The .2010 ,Deng, S.-J., S. Oren, A. P Meliopoulos
Inherent Inefficiency of Simultaneously Feasible Financial
:32 ,Transmission Rights Auctions. Energy Economics
.785-779
- ,(.Department of Energy and Climate Change (U.K
2016a. Security of Supply and Capacity Market. IA No:
.DECC0228
- 2016b. ,Department of Energy and Climate Change
Capacity Market. Government Response to the March
Consultation on Further Reforms to the Capacity 2016
.027/16D Market. URN
- Durand-Lasserve, O., A. Pierru, Y. Smeers. Effects of the
Uncertainty about Global Economic Recovery on Energy
Price. MIT Center for Energy and Transition and CO2
.March ,2011 .Environment Policy
- .2010 .Durand-Lasserve, O., A. Pierru, Y. Smeers
Price Uncertain Long-run Emissions Targets, CO2
and Global Energy Transition: A General Equilibrium
.5122-5108 ,38 ,Approach. Energy Policy
- Electricity and Cogeneration Regulatory Authority
Annual Statistical Booklet for 2015 .2016 .(ECRA
Electricity and Seawater Desalination Industries. Source:
[Pages/ /http://ecra.gov.sa/en-us/MediaCenter/DocLib25=SubCategoryList.aspx?categoryID](http://ecra.gov.sa/en-us/MediaCenter/DocLib25=SubCategoryList.aspx?categoryID)

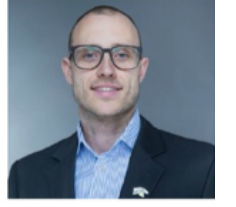
- Generation and Capacity Expansion in a Risky Environment: A Stochastic Equilibrium Analysis. *Operations Research* 2010, Ehrenmann, A., and Y. Smeers .1346-1332
- Capacity Payments in a Cost-Based Wholesale Electricity Market: The Case of Chile. *The Electricity Journal* 2015, Galetovic, A., C. M. Munoz, F. A. Wolak .96-80 : (10) 28
- Competitive Electricity Markets and System Reliability: The Case for New England's Proposed Locational Capacity Market. *The Electricity Journal* 2005, Farr, J. G., and F. A. Felder .33-22 : (8) 18
- Electricity and Long-Term Capacity Adequacy: The Quest for Regulatory Mechanism Compatible with Electricity Market. *Utilities Policy* 2008, Finon, D., V. Pignon .158-143 :16
- The Social Efficiency of Long-Term Capacity Reserve Mechanisms. *Utilities Policy* 2008, Finon, D., G. Meunier, V. Pignon .214-202 :16
- Gabriel, S.A., Conejo, A.J., Fuller, J.D., Hobbs, B.F., "Electricity and Environmental Markets" Chapter 11. *Complementarity Modeling in Energy Markets: International Series in Operations Research & Management Science* 2013, Ruiz, C .477-509
- Galetovic, A., C. M. Munoz, and F. A. Wolak. Capacity Payments in a Cost-Based Wholesale Electricity Market: The Case of Chile. Manuscript
- Gottstein, M., and Schwartz, L. The Role of Forward Capacity Markets in Increasing Demand-Side and Other Low-Carbon Resources: Experience and Prospects. May, www.raponline.org, 2010. In Regulatory Assistance Project
- Capacity Payments in Imperfect Forward Markets. *Electricity Markets: Need and Design. Utilities Policy* 2008, Joskow, P. L .16 :170-159
- Modeling Strategic Investment Decisions in Spatial Markets. *European Journal of Operational Research* 2017, Lorenczik, S., R. Malischek, J. Truby .605 : (2) 256
- Investment vs. Refurbishment: Examining Capacity Payment Mechanisms using Stochastic Mixed Complementarity Problems. *The Energy Journal* 2017, Lynch, M. A, M. L. Devine .51-27 : (2) 38
- Lowering Saudi Arabia's fuel consumption and energy system costs without increasing end consumer prices. *Energy Economics* 2015, Matar, W., Murphy, F., Pierru A., and Rioux, B .569-558 :49
- Efficient industrial energy use: The first step in transitioning Saudi Arabia's energy mix. *Energy Policy* 2017, Matar, W., Murphy, F., Pierru A., Rioux, B., and Wogan, D .92-105:80
- Generation Capacity Expansion in Imperfectly Competitive Restructured Electricity Markets. *Operations Research* 2005, Murphy, F., and Y. Smeers .661-646
- On the Impact of Forward Markets on Investment in Oligopolistic Markets with Reference to Electricity. *Operations Research* 2009, Murphy, F., and Y. Smeers .515 :528
- Withholding investments in energy only markets: can contracts make a difference? *Journal of Regulatory Economics*, October 2012, (1)42 .179-159
- Source: 2020 (National Transformation Program (NTP gov.sa/sites/default/files/NTP_En.pdf <http://vision2030.gov.sa>)
- Electricity Market Reform: Assessment of a Capacity Payment Mechanism. A Report for the Scottish Power, p .67

- Missing Money and Missing Markets: .2016 ,.Newbery, D
Reliability, Capacity Auctions and Interconnectors. Energy
.410-401 :94 ,Policy
- Contract .2013 ,Oliveira, F. S., C. Mora and A. Conejo
Design and Supply Chain Coordination in the Electricity
227 ,Industry. European Journal of Operational Research
.537-527 :(3)
- Strategic Procurement in Spot and .2017 ,.Oliveira, F. S
Forward Markets Considering Regulation and Capacity
Constraints. European Journal of Operational Research.
(.Forthcoming
- Market Design for Generation .2008 ,.Roques, F.A
Adequacy: Healing Causes Rather than Symptoms.
.183-171 :16 ,Utilities Policy
- Reported hourly .2016 ,(Saudi Electricity Company (SEC
,2016 power demand in each operating area in the year
.Excel spreadsheet
- Statutory Instruments. Electricity - The Electricity
.2043 .no ,2014 Capacity Regulations
- Capacity Remuneration Mechanisms for .2017 ,.Traber, T
Reliability in the Integrated European Electricity Market:
Utilities .2023 Effects on Welfare Distribution through
.14-1 :46 ,Policy
- and the Birth of Saudi 2030 Vision .2016 ,Yamada, Makio
Middle East .15-2016 Solar Energy. MEI Policy Focus
.2016 Institute, July
- Two-Settlement .2007 ,Yao, J., S. S. Oren, and I. Adler
Electricity Markets with Price Caps and Cournot
Generation Firms. European Journal of Operational
.1296-1279 :181 ,Research

معلومات حول الفريق

برتراند ريوكس

برتراند هو باحث مشارك في تطوير نماذج أنظمة الطاقة، وقد أنهى رسالة الماجستير في ديناميكية السوائل الحسابية في جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية.



فيرناندو أوليفيرا

فيرناندو هو زميل أبحاث زائر في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية ومستشار في أسواق الطاقة في سنغافورة.



أكسل بيرو

يتولى أكسل قيادة برنامج نظم الطاقة والاقتصاد الكلي في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية وقد نشر أكثر من 30 مقال في مجلات علمية محكمة، وقد عمل في السابق لمدة 15 عامًا في المعهد الفرنسي للبترول، وحصل أكسل على درجة الدكتوراه في الاقتصاد من جامعة بانتيون سوربون في باريس.



نادر الكثيري

نادر هو باحث مشارك أول في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية تركز أبحاثه على دور صناديق الثروة السيادية في اقتصاديات الدول المصدرة للنفط، وهو حاصل على درجة الماجستير في الرياضيات التطبيقية والعلوم الحسابية وماجستير في إدارة الأعمال في مجال المالية.



معلومات حول المشروع

تخطط المملكة العربية السعودية لإصلاح قطاع توليد الكهرباء وخصصته باعتبار ذلك جزءاً من رؤية المملكة لعام 2030. وضعنا نموذجاً يحاكي إعادة هيكلة سوق الكهرباء في المملكة العربية السعودية إلى جانب تعديل أسعار الوقود. ونحن ندرس التفاعلات بين أسعار الطاقة وأسعار القدرة الاستيعابية في سوق متحرر، ويشكل هذا المشروع جزءاً من تعاون مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية مع قسم المشتري الرئيس في الشركة السعودية للكهرباء.

رابط البحث:

[إعادة هيكلة قطاع توليد الكهرباء في المملكة العربية السعودية: رؤى باستخدام رؤى نموذجية](#)



www.kapsarc.org