

تقييم إمكانات تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل في المملكة العربية السعودية من خلال استخدام صور الأقمار الصناعية ليلاً: دراسة لمدينة الرياض

هكتور لوبيز وروز هورهي بلازكوز
وميشيل فيتوريو

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 2019 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبه بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية –سواء مباشرة أو غير مباشرة- تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند –أو أي جزء منه- أو أن يفسر كنصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدي الدراسة، ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.

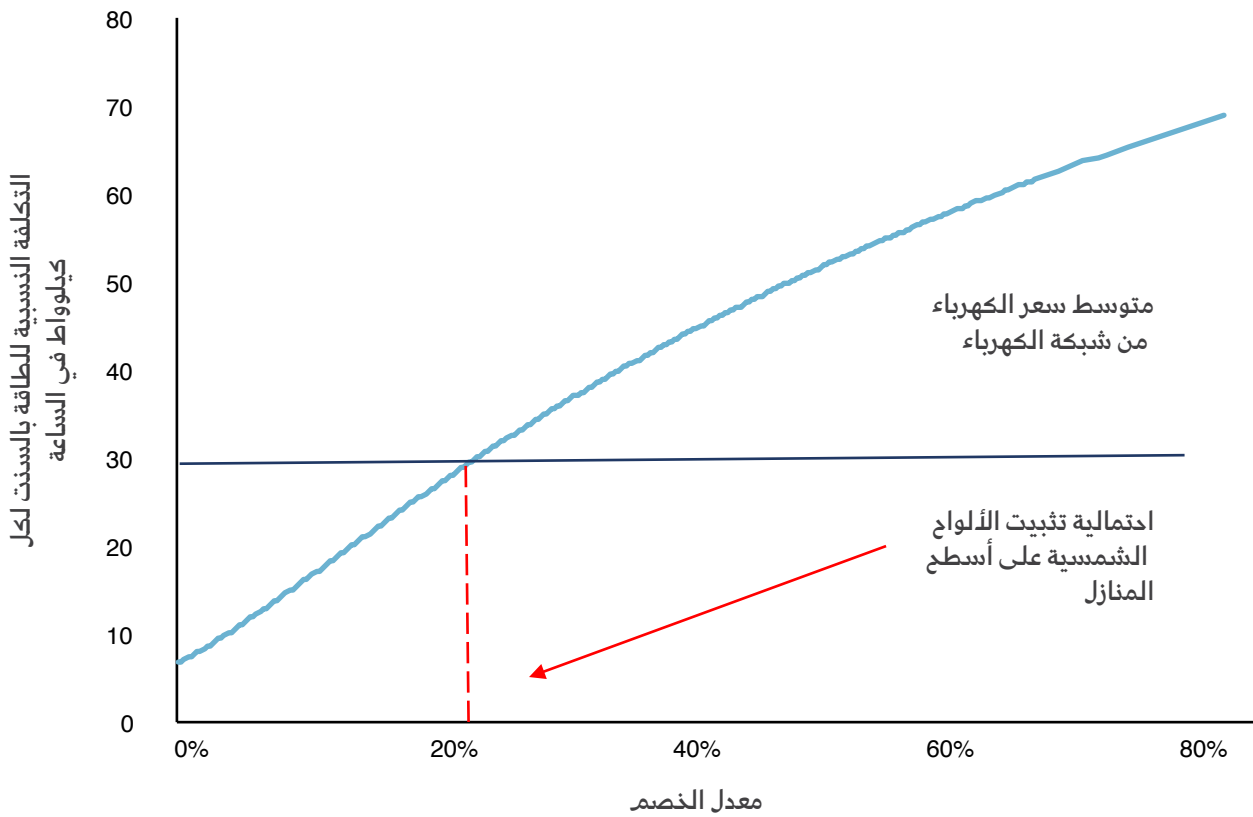
النقاط الرئيسية

يهدف البرنامج الوطني للطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة بصورة كبيرة في مزيج توليد الطاقة الخاصة بالمملكة من خلال استهداف 3.45 جيجاواط من القدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة بحلول 2020 و9.5 جيجاواط بحلول 2023. تبحث هذه الدراسة إلى أي مدى يمكن أن تكون الطاقة المتجددة، وتحديدًا الألواح الشمسية على أسطح المنازل في الرياض، فعالة من حيث التكلفة ويمكن أن تساهم في تسريع عملية إزالة الكربون في مزيج توليد الطاقة بالمملكة العربية السعودية.

توصلت هذه الدراسة إلى أن إجمالي الحد الأقصى من قدرة الطاقة الشمسية على مستوى أسطح المنازل في الرياض يمكن أن يصل إلى نحو 400 ميجاواط. فضلًا عن ذلك، لا تحفز تعريفة الكهرباء الحالية في الوحدات السكنية إنشاء الألواح الشمسية على أسطح المنازل. على الرغم من زيادة أسعار الكهرباء في الوحدات السكنية في يناير 2018، لا تستطيع الألواح الشمسية على أسطح المنازل منافسة الكهرباء المولدة من شبكة الكهرباء حتى مع افتراض وجود تخفيضات كبيرة في التكلفة للاستثمارية لتقنية الطاقة الشمسية. توحى الدراسة بما يلي:

أن توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المباني السكنية ليست اقتصادية للأسر وفقًا للتعريفة الحالية للكهرباء في المملكة العربية السعودية، ومع ذلك تبدو محطات الطاقة الشمسية بديلًا فعالًا من حيث التكلفة.

الشكل 1. منهجية تقييم احتمالية تركيب الأسر ألواح الطاقة الشمسية على أسطح المنازل.



المصادر: كابسارك.

قد يكون نموذج عمل وسيط يستفيد من ميزة القرب من المستهلك النهائي بصورة متزامنة مع وفورات الحجم بإشراف إدارة محترفة، منافسًا من الناحية الاقتصادية.

ويعتمد نموذج العمل الجديد على إنشاء الحقول الشمسية على مستوى الأحياء، مما قد يتيح للمستثمرين توزيع تكاليف البنية التحتية على أكبر عدد من المشتركين، وبالتالي تخفيض التكلفة الثابتة للوحدة.

تطور المملكة العربية السعودية مشاريع محطات الطاقة الشمسية كخطوة أولى في تنويع مزيج توليد الطاقة الكهربائية بها، والتي تعتمد حالياً بالكامل تقريباً على النفط الخام ومنتجات النفط المكرر والغاز الطبيعي. يهدف البرنامج الوطني للطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة بصورة كبيرة في مزيج توليد الطاقة الخاصة بالمملكة من خلال استهداف 3.45 جيجاواط من القدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة بحلول 2020 و9.5 جيجاواط بحلول 2023. تبحث هذه الدراسة إلى أي مدى يمكن أن تكون الطاقة المتجددة، وتحديدًا الألواح الشمسية على أسطح المنازل في الرياض، فعالة من حيث التكلفة ويمكن أن تساهم في تسريع عملية إزالة الكربون في مزيج توليد الطاقة بالمملكة العربية السعودية.

تستخدم هذه الدراسة تحليلاً نموذجياً للتكاليف والفوائد لاكتشاف جدوى تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل في الرياض استناداً إلى عدد من الأسر غير المتجانسة وليس أسرة نموذجية واحدة كالمعتاد. قسمت الدراسة الأسر إلى مجموعات وفقاً لمستوى استهلاكهم للكهرباء، علماً أن هذا المنهج يتماشى مع تسعير الكهرباء في المباني السكنية الذي يعتمد على مقياس متدرج وفقاً للاستهلاك.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام الطاقة الشمسية على أسطح المنازل في الرياض. وللقيام بذلك، طورنا نهجاً مبتكراً يعتمد على صور الأقمار الصناعية ليلاً مصحوبة بطبقات مكانية للسكان ودرجة التحضر بالمناطق الحضرية بالرياض. يمكن أن نقسم الأسر المعيشية، من خلال استخدام هذا النهج، في مناطق مختلفة من المدينة وفقاً لمستوى استهلاكهم للكهرباء. توصلت هذه الدراسة إلى أن إجمالي الحد الأقصى من قدرة الطاقة الشمسية على أسطح المنازل في الرياض يمكن أن يصل إلى نحو 400 ميجاواط وفقاً للخصائص الأسرية المختلفة. تشير هذه الدراسة كذلك إلى أن تعريف الكهرباء الحالية في الوحدات السكنية لا تحفز على إنشاء الألواح الشمسية على أسطح المنازل. علاوة على ذلك، فإن معدل الخصم الذي استخدمته الأسر لتقييم قيمة الاستثمار في تقنية توليد الطاقة الشمسية غير دقيق لحد كبير. وبالتالي، فإن تكلفة سياسة تعزيز استخدام الطاقة الشمسية على أسطح المنازل غير واضحة. يُعد تعزيز توليد الطاقة الشمسية على أسطح المنازل أفضل خيار من المنظور المالي، إلا أنه توجد سيناريوهات يمكن من خلالها تحفيز تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل دون أي تكلفة مباشرة على الحكومة.

الاقتصادي والإنساني. استُخدمت كذلك هذه المنهجية في دراسات سابقة لتقييم النمو الاقتصادي وتوزيع الدخل الإقليمي واستهلاك الكهرباء بما في ذلك هندرسون وآخرون (2010)، وإلفيدج وآخرون (2012)، وبينكوفسكي وآخرون (2016)، ودول وآخرون (2006)، وتاونسيند وآخرون (2010)، وتشين وآخرون (2011)، وشي وآخرون (2014). ومع ذلك، بقدر ما يُدرك المؤلفون، فإن هذه الدراسة هي أول دراسة تستخدم هذه المنهجية في مجال تحولات الطاقة. تتمثل المتغيرات التي تُحدد وتيرة إنشاء الألواح الشمسية على أسطح المنازل هي استهلاك الأسر للكهرباء وهيكل تعرفه الكهرباء وتكلفة التقنية والظروف الشمسية وأنواع المنازل.

فضلاً عن ذلك، سيكون لاستخدام تقنية توليد الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية أثر اقتصادي كلي إيجابي. (بلازكويز وآخرون، 2017). يمثل النفط الخام ومنتجات النفط المكرر معاً نحو 50% من مزيج وقود توليد الطاقة بالمملكة العربية السعودية. إضافة إلى ذلك، يُعد سعر النفط المستخدم لتوليد الطاقة في المملكة أقل من السعر العالمي مما يخلق فرص اقتصادية لاستخدام هذا النفط بصورة أكثر كفاءة، ويؤدي أي انخفاض في استهلاك الكهرباء في المنازل من شبكة الكهرباء إلى انخفاض في استهلاك النفط مما يؤثر إيجابياً على عائدات التصدير. ولهذا السبب، قد يهتم واضعو السياسة السعودية بتكاليف وفوائد تحفيز سرعة استخدام الطاقة الشمسية في المباني السكنية.

نُظمت بقية هذه الدراسة على النحو التالي: يبحث القسم الأول المواد التي نُشرت حول استخدام الطاقة الشمسية في المباني السكنية مع التركيز على بلدان الشرق الأوسط ومجلس التعاون الخليجي، ويحدد القسم الثاني المنهجية واختيار مجموعات مختلفة من المناطق الحضرية بالرياض، بينما يسرد القسم الثالث تفاصيل نتائج الدراسة ويناقش آثارها السياسية، وختاماً يطرح القسم الأخير نتائج هذه الدراسة.

منحت المملكة العربية السعودية، في فبراير 2018، أول مشروع لمحطة توليد الطاقة الشمسية لشركة أكوا باور: وهو مشروع بقدرة 300 ميغاواط يبدأ تشغيله التجاري في 2019. يمثل ذلك المشروع الخطوة الأولى نحو تنويع مزيج توليد الطاقة، الذي يعتمد حالياً بالكامل تقريباً على النفط الخام ومنتجات النفط المكرر والغاز الطبيعي. يهدف البرنامج الوطني للطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة بصورة كبيرة في مزيج توليد الطاقة الخاصة بالمملكة من خلال استهداف 3.45 جيجاواط من القدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة بحلول 2020 و9.5 جيجاواط بحلول 2023. تبحث هذه الدراسة إلى أي مدى يمكن أن تكون الطاقة المتجددة، وتحديدًا الألواح الشمسية على أسطح المنازل في الرياض، فعالة من حيث التكلفة والمساهمة في تسريع عملية إزالة الكربون في مزيج توليد الطاقة بالمملكة العربية السعودية.

تستخدم هذه الدراسة تحليلاً نموذجياً للتكاليف والفوائد لاكتشاف جدوى تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل في الرياض استناداً إلى عدد من الأسر غير المتجانسة وليس أسرة نموذجية واحدة كالمعتاد. قسمت الدراسة الأسر إلى مجموعات وفقاً لمستوى استهلاكهم للكهرباء، علماً أن هذا المنهج يتماشى مع تسعير الكهرباء في المباني السكنية الذي يعتمد على مقياس متدرج وفقاً للاستهلاك. علاوة على ذلك، تستخدم هذه الدراسة بيانات نشرتها الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي من مقياسها الراديوي للأشعة تحت الحمراء المرئية نهائياً وليلاً والطبقة المكانية لتقدير عدد سكان العالم الصادرة عن شركة آسري لحلول نظم المعلومات الجغرافية والطبقة العالمية للمستوطنات البشرية التي طورها مركز الأبحاث المشترك بالمفوضية الأوروبية لتحديد 58 تجمع متجانس لكثافة الضوء والكثافة السكانية ليلاً في الرياض. منذ أن نشر إلفيدج وآخرون الدراسة التأسيسية عام 1997، استخدم عدد متزايد من الدراسات صور أضواء ليلية خاصة بالإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي كدليل للنشاط

حللت بعض الدراسات الأكاديمية الجدوى الاقتصادية وفرص تقنية توليد الطاقة الشمسية في الشرق الأوسط. على سبيل المثال؛ تُشير نعمت الله وآخرون (2016) إلى أن الزيادة الكبيرة في الطلب على الطاقة والظروف الشمسية الجيدة تمثل الدوافع الرئيسية لاستخدام تقنية توليد الطاقة الشمسية في المنطقة، وخاصة المملكة العربية السعودية ومصر. يرى عبدالمولى وآخرون (2015) أن الزيادة الكبيرة في الطلب على الطاقة في بلدان مجلس التعاون الخليجي تخلق فرصة لاستخدام تقنيات الطاقة المتجددة.

يُعتبر انخفاض الأسعار السارية حالياً لمعظم مستهلكي الكهرباء في بلدان مجلس التعاون الخليجي العائق الرئيس الذي يؤثر على تعزيز الطاقة المتجددة بها، ويُشير غريفيث (2013) كذلك إلى أن انخفاض تعريفة الكهرباء لا تشجع على استخدام تقنية توليد الطاقة الشمسية في غياب مجموعة من السياسات المحفزة، وعلى غرار ذلك، يقول مطر وآخرون (2017) أن انخفاض الأسعار المفروضة للوقود الأحفوري تُلحق الضرر بالقدرة التنافسية لمحطات الطاقة الشمسية بالمملكة العربية السعودية. يرى مارتن بوماريس وآخرون (2017) وجود حاجة للوائح جديدة ومزيد من المحفزات لتعويض نقص القدرة التنافسية التجارية لتقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية في دولة قطر، ويعود ذلك بصورة جزئية إلى انخفاض أسعار الكهرباء. يقيم راملي وآخرون (2017) جدوى استخدام تقنيات توليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في المملكة العربية السعودية، ويشير إلى أن السياسة القياسية لمحفظه الطاقة المتجددة قد تكون آلية مناسبة يمكن من خلالها إدخال هذه التقنيات. ويوضح شهيد والعميم (2009) دور الطاقة الشمسية الكهروضوئية الهجينة لتزويد المناطق الريفية بالكهرباء في المملكة العربية السعودية، بينما يرى المسعود وجنديه (2015) أن الطاقة الشمسية يمكن أن تمثل منافساً جدياً لمولدات الطاقة من الوقود الحفري في المملكة العربية السعودية عند إدراج تكاليف غير مباشرة.

يقدر خان وآخرون (2017) أقصى انتشار محتمل للألواح الشمسية على أسطح المنازل في 13 مدينة بالمملكة العربية السعودية، وتوصلوا إلى أن هذه المدن مجتمعة

يمكن أن تولد 51 تيراواط من الكهرباء في الساعة سنوياً أو 30% من الطلب المحلي على الطاقة سنوياً بالمملكة العربية السعودية. يركز كلاً من غريفيث وميلز (2016) على دولة الإمارات العربية المتحدة ويلقيان الضوء على إمكانية تطوير تقنية الطاقة الشمسية في حالة وجود دعم حكومي واضح، ورغم ذلك، لا يمكن لتقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية منافسة الطاقة الكهربائية من شبكة الكهرباء حالياً. يدرس بيرن وآخرون (2015) إمكانية تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل في سول بكوريا الجنوبية، وقدروا عدد الأسطح المناسبة لاستخدام الألواح الشمسية وتوصلوا إلى أن المدينة يمكنها توليد نحو 11 جيجاواط. أجرى بنغ ولو (2013) تحليلاً مشابهاً لمدينة هونغ كونغ ووجد أن الأسطح المناسبة لاستخدام الألواح الشمسية تسمح بتوليد 6 جيجاواط. فضلاً عن ذلك، وجدوا كذلك أن التقنية الكهروضوئية تحتاج إلى مساندة حكومية لتمكينها من المنافسة مع الكهرباء المولدة من شبكة الكهرباء. يدرس كول وآخرون (2016) إمكانية الاستبدال بين تقنية الألواح الشمسية على أسطح المنازل ونظام محطات الطاقة الشمسية من منظور مخطط مركزي بالولايات المتحدة الأمريكية، ووجدوا استبدالاً مثالياً تقريباً بين التقنية الكهروضوئية الموزعة على أسطح المنازل والتقنية الكهروضوئية في محطات الطاقة الشمسية.

اتخذت دراسات أخرى نهجاً كلياً لاستخدام محطات الطاقة الشمسية في الشرق الأوسط. وجد بلازكويز وآخرون (2017) أن تقنية توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية لديها أثر اقتصادي كلي إيجابي على الرفاهية العامة في المملكة العربية السعودية. ويحلل الشرفا ومطر (2017) تكلفة الطاقة الشمسية لنظام الطاقة السعودي، وأشاروا إلى أن استخدام محطات الطاقة الشمسية قد يقلل من تكاليف النظام. وأخيراً، يشير كلاً من مطر وآخرون (2015) ومطر وأنور (2017) إلى أن تحرير الوقود الأحفوري أو استحداث هيكل مختلف للأسعار المفروضة يمكن أن يحفز استخدام محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة.

الديزيمترية بعد فيتوريو (2016).

تُقدم البيانات التي نشرتها الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي من مقياسها الراديوي للأشعة تحت الحمراء المرئية معلومات شهرية حول الإضاءة ليلاً. واستخدمت هذه الدراسة المركبات السنوية والشهرية التي قدمتها الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي لعام 2015. تعتمد الصور المستخدمة في هذه الدراسة على لقطات متعددة يومياً للرياض وبالتالي، فإن تلك اللقطات تصور متوسط الإشعاع بالرياض شهرياً، مما يستبعد القيم الخارجة عن النطاق ومشاعل الغاز. يوضح الشكل 1 صورة المقياس الراديوي للأشعة تحت الحمراء المرئية للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي للمنطقة في شهر مارس 2015.

بمجرد تقسيم الرياض إلى مائة تجمع متجانس وفقاً لكثافة السكان والإضاءة ليلاً، يستخدم هذا التحليل طبقة المستوطنات البشرية العالمية، التي وضعها مركز الأبحاث المشترك بالمفوضية الأوروبية (2016) لتقييم درجة التحضر في مناطق المجموعة الناتجة. وتعتمد طبقة المستوطنات البشرية العالمية على التحليل العالمي الخاص بمركز الأبحاث المشترك لصور القمر الصناعي سينتينيل. والأكثر من ذلك، تُقدم طبقة المستوطنات البشرية العالمية توزيعاً بيانياً للمستوطنات الحضرية والمناطق المأهولة. تستخدم هذه الدراسة هذه الأداة لاستبعاد مناطق التجمعات غير المأهولة والتي لا تمثل مناطق سكنية.³ يتيح استخدام طبقة المستوطنات البشرية العالمية اختيار أكثر دقة للمناطق التي يوجد بها استهلاك كهرباء في المنازل، وتوصل التحليل إلى خمس وستين مجموعة سكنية ذات صلة بالرياض.

تقدير استهلاك الأسر للطاقة في مدينة الرياض

تستخدم هذه الدراسة انحدار الاقتصاد القياسي لربط استهلاك الكهرباء للأسر الممثلة (متغير تابع) في ثلاث مناطق مختلفة من المملكة العربية السعودية بمتوسط درجة الحرارة شهرياً وكثافة الإضاءة ليلاً (متغيرات

تُحلل هذه الدراسة أولاً المناطق الحضرية بالرياض لتحديد تجمعات الأسر وكثافة الإضاءة ليلاً في المناطق الحضرية التي لديها حضور ثابت للسكان، ثم تُحول كثافة الإضاءة ليلاً إلى استهلاك الكهرباء وتُقدر متوسط استهلاك الكهرباء لكل أسرة في المجموعات المختلفة. علاوة على ذلك، تُقدر تكلفة الكهرباء التي تُولد باستخدام تقنية الألواح الشمسية على أسطح المنازل وفقاً لتكلفة التقنية وظروف التعرض للإشعاع بالرياض، ثم أخيراً، تناقش التكلفة والفوائد الاقتصادية من استخدام هذه التقنية، علماً أن الدراسة لا تأخذ في الاعتبار الفوائد المحتملة لخفض انبعاثات الكربون.

تفترض هذه الدراسة نهجاً اقتصادياً لتقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية، حيث تقارن الأسر تكلفة الكهرباء من الشبكة بتكلفة الكهرباء من تقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية. ستقوم الأسر بتركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل إذا بلغ إجمالي تكلفتها أقل من تكلفة شراء الكهرباء من شبكة الكهرباء، وهذا يعني أن جميع الأسر التي تواجه نفس تعريفه الكهرباء تتخذ نفس القرار بشأن تركيب الألواح الشمسية، أو بمعنى آخر تأخذ بعين الاعتبار أمور التكلفة المالية فقط.

تقسيم الرياض إلى تجمعات متجانسة وفقاً لكثافة الإضاءة ليلاً والسكان

في البداية، قسمت الدراسة المناطق الحضرية إلى مائة منطقة باستخدام منهجية التجميع متعدد المتغيرات المقيد بالمكانية.¹ ويحدد هذا الإجراء عدد محدد من المضلعات (التجمعات) في صورة (التقطها القياس الإشعاعي للقمر الصناعي) حيث يكون السكان وكثافة الإضاءة ليلاً داخل نفس التجمع في أقل تباين ممكن، مع ضمان أن التجمعات الناتجة مختلفة عن بعضها البعض قدر الإمكان.

تستخدم هذه الدراسة الطبقة المكانية لتقدير عدد سكان العالم الصادرة عن شركة آسري لحلول نظم المعلومات الجغرافية 2015² والنفقات الأسرية وبيان الدخل لعام 2013 لتقييم التوزيع السكاني. أنشئ التوزيع النهائي للسكان عبر المجموعات باستخدام تقنية الاستقراء

الشكل 1. بيانات المقياس الراديوي للأشعة تحت الحمراء المرئية للقمر الصناعي نهارًا وليلاً في شهر مارس 2015.



المصادر: الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي.

في التقدير. لدى هذا النهج نقاط ضعف محتملة: تنسب منهجية هذه الدراسة جميع نقاط الإضاءة ليلاً إلى الاستهلاك في المباني السكنية، ولكن يمكن أن تشمل المناطق السكنية نشاط تجاري أو صناعي كذلك. ولتقليل الأخطاء المحتملة، تستبعد هذه الدراسة أي تجمعات بها نسبة استهلاك عالية لكل أسرة والتجمعات التي يوجد بها أقل من مائة أسرة، على افتراض أنها مناطق تجارية أو صناعية بصورة أساسية ويستبعد التحليل، على وجه التحديد، التجمعات التي يتجاوز استهلاك الكهرباء شهرياً فيها خمسة أضعاف متوسط الاستهلاك القومي. يوضح الجدول 2 الإحصائيات الرئيسية المتعلقة باستهلاك الكهرباء في الرياض.

ولأغراض التفسير، يوضح الشكل 2 التوزيع السكاني المجمع بالرياض ويوضح الشكل 3 متوسط استهلاك الكهرباء للفرد في كل تجمع.

مستقلة). يعتمد الاستهلاك الشهري للكهرباء خلال عام 2015 على إحصائيات سنوية نشرتها مؤسسة النقد العربي السعودي. وبالتالي، يُحسب متوسط الاستهلاك الشهري للكهرباء لكل أسرة في كل منطقة. يُعد مصدر متوسط درجات الحرارة البوابة الإلكترونية للمعارف الخاصة بتغير المناخ على موقع البنك الدولي. يأتي استخدام بيانات المقياس الراديوي للأشعة تحت الحمراء المرئية للقمر الصناعي نهارًا وليلاً التي تُقدمها الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي لبناء المتغير المستقل لكثافة الإضاءة ليلاً. يوجد ست وثلاثون قراءة تخص ثلاث مناطق طيلة عام 2015. يقدر التحليل المؤشرات من خلال استخدام اندثار تقدير معيار المربعات الصغرى. يوضح الجدول 1 النتائج.

يمكن تقدير متوسط استهلاك الأسرة في كل منطقة من مناطق التجمع بالرياض باستخدام المؤشرات المحسوبة

الجدول 1. تقدير مؤشرات هذه الدراسة.

خطأ معياري	معاملات	
0.56	-1.24	تشويش
0.13	1.41	الإضاءة ليلاً
0.13	1.01	درجة الحرارة
	0.82	معامل التحديد
	0.81	معامل التحديد المعدل
	0.22	خطأ معياري

المصادر: كابسارك.

الجدول 2. الإحصائيات الوصفية الرئيسة للدراسة.

عدد التجمعات	58
إجمالي الأسر في عام 2015 ⁶	798,090
متوسط الاستهلاك الشهري لكل أسرة (بالكيلوواط في الساعة) في عام 2015	2,327
وسيط الاستهلاك الشهري لكل أسرة (بالكيلوواط في الساعة) في عام 2015	1,923
الانحراف المعياري	1,757
	0.81
	0.22

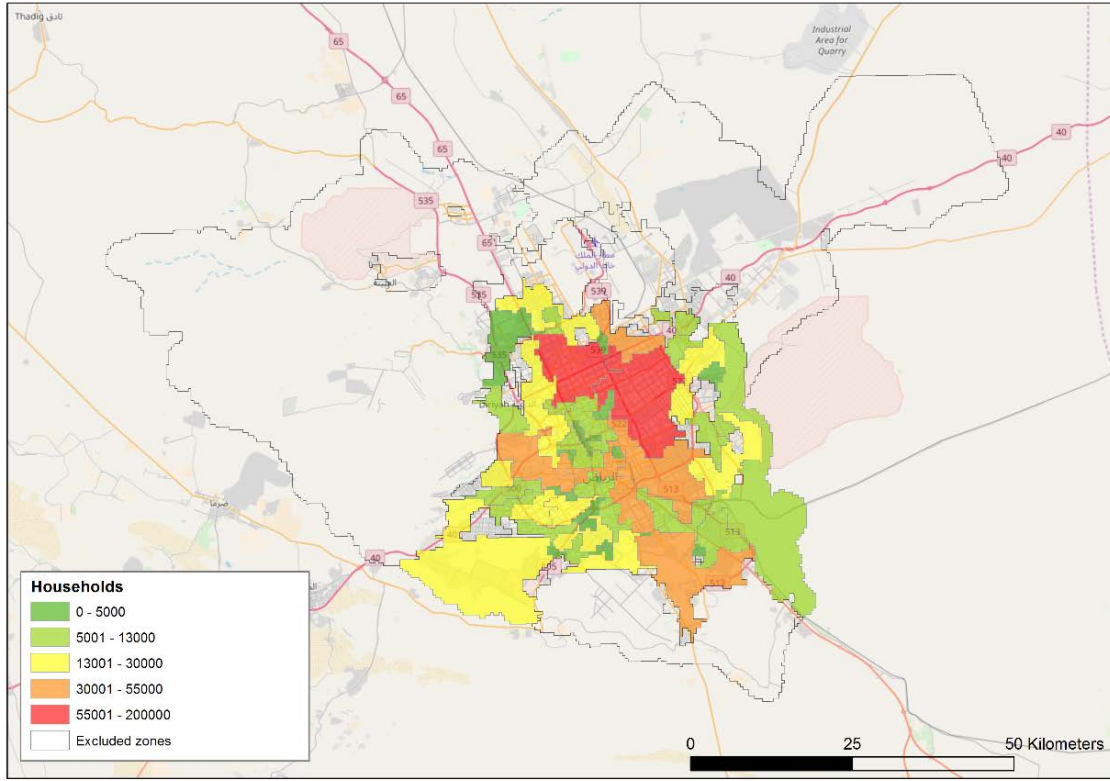
المصادر: الهيئة العامة للإحصاء ومؤسسة النقد العربي السعودي.

تقدير التكلفة النسبية للكهرباء للألواح الشمسية على أسطح المنازل

يتسم حالياً نطاق تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل في المملكة العربية السعودية بالمحدودية، ولا توجد معلومات مالية موحدة حول تكلفة الاستثمار. ولهذا السبب، يستخدم التحليل معلومات حول تكلفة تقنية تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل من بلدان أخرى. كانت تكلفة استثمار تقنية تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل بين 2.15 دولار لكل واط و5.25 دولار لكل واط في عام 2015 وفقاً لمجموعة أدوات كابسارك لقياس استخدام تقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية. توفر قاعدة البيانات العامة لكابسارك النفقات الرأسمالية (تكلفة الاستثمار) لستة

مشاريع مختلفة في أستراليا والصين وألمانيا وإيطاليا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية. ينخفض متوسط تكلفة تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل في أستراليا وفرنسا وألمانيا وإيطاليا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية بنسبة 10.7% سنوياً (توليد الطاقة المتجددة 2017). وبناءً عليه، وباستخدام متوسط النفقات الرأسمالية في عام 2015 (3.32 دولار / واط) كمعيار ومع افتراض انخفاض سنوي في تكلفة تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل بنسبة 10.7% في المائة في عامي 2016 و2017، ستقدر تكلفة الاستثمار بنحو 2.36 دولار / واط في عام 2018. يتراوح نطاق القدرة النموذجية لتركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل بين 1 كيلوواط و5 كيلوواط. علماً أن هذه الدراسة ستستخدم 2.2 كيلوواط كرقم للمعايرة. يبلغ

الشكل 2. التوزيع السكاني بالرياض لعام 2015.



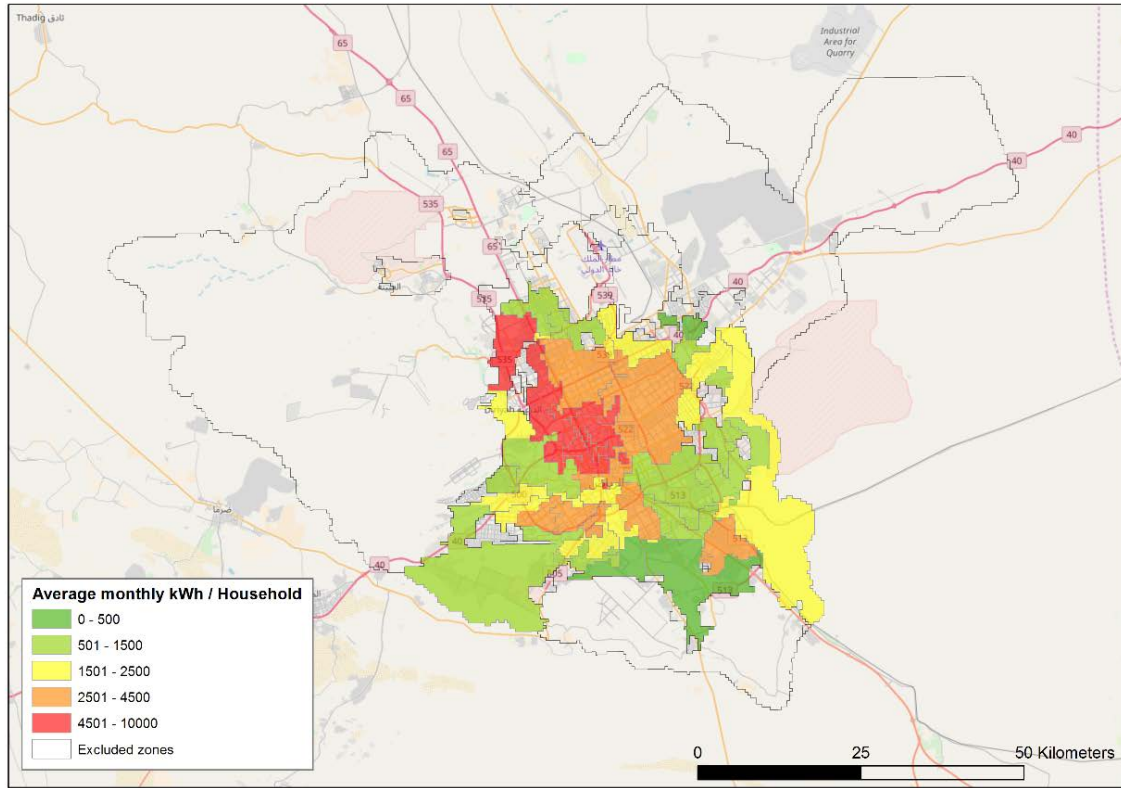
المصادر: الطبقة السكانية الصادرة عن شركة آسري لحلول نظم المعلومات الجغرافية 2015.

للطاقة المتجددة (آيرينا) (2017) التكلفة النسبية للكهرباء لمختلف تقنيات الطاقة المتجددة على نطاق محطات الطاقة الشمسية باستخدام معدل خصم بنسبة 7.5% في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ونسبة 10% لبقية العالم. ولا يوجد معدل خصم واضح للأمر لأن معدل الخصم هو انعكاس لتفضيلات الوقت الشخصية التي قد تختلف بين الأفراد. وأجرى هاريسون وآخرون (2002) تجربة للحكومة الدنماركية، ووجدوا أن معدل الخصم الفردي الكلي يمثل حوالي 28%. ووجد برودير وآخرون (2014) أن متوسط معدل الخصم للسكان السويسريين يمثل حوالي 27% إذا تم استبعاد القيم القصوى. ويرى هاوسمان (1979) معدل خصم متوسط قدره 26% لعمليات الشراء الفردية لمكيفات الهواء. وعلى جانب آخر، يستخدم كاميلو وآخرون (2017)

العمر القياسي لتركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل نحو 25 عامًا، ويبلغ عامل القدرة في الرياض نحو 21% بسبب الإشعاع الشمسي العالي للمدينة بنحو 2.130 كيلوواط في الساعة/ لكل م² لكل سنة (زيل 2015). ومع ذلك، يمكن أن تؤثر درجات الحرارة العالية والغبار سلبًا على كفاءة الخلايا الكهروضوئية (باراس 2012)، علماً أن الدراسة لا تبحث هذه العوامل. وأخيرًا، يمثل التلف التقني للخلايا الكهروضوئية نسبة 0.9% سنويًا، بينما يشكل عامل تدهور النظام نسبة 85%.

يعد معدل الخصم أمراً بالغ الأهمية في حساب التكلفة النسبية للكهرباء، كما يمثل معدل الخصم القياسي للشركات لأغراض تقييم مشروع ما هو التكلفة المرجحة لرأس المال. على سبيل المثال، تقدر الوكالة الدولية

الشكل 3. استهلاك الكهرباء لكل أسرة بالرياض عام 2015.



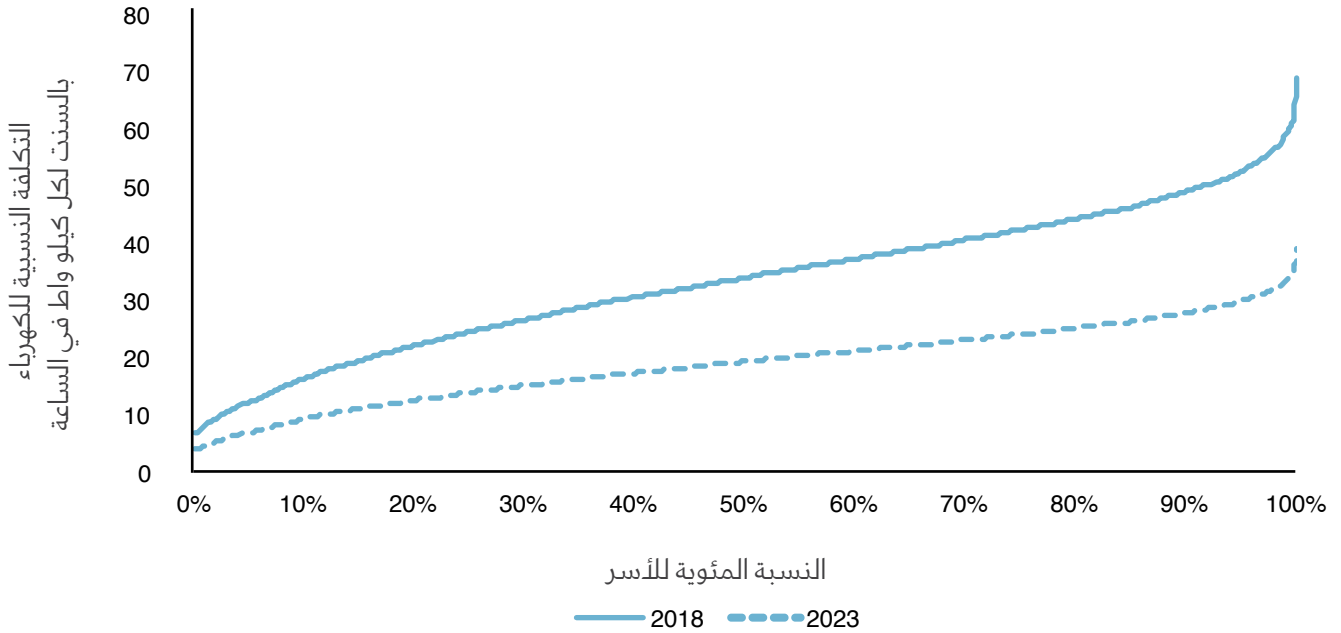
المصادر: كابسارك.

الأولى من السكان تتمتع بمعدل خصم قدره 0.6 ضعف المتوسط، مع العلم أيضًا أن التوزيع الطبيعي المقترح في هذه الدراسة يحظى بهذه الخاصية. وينشئ هذا النهج تكلفة نسبية للكهرباء مختلفة لكل أسرة، بالاعتماد على معدل الخصم. لهذا السبب، ولتجنب الالتباس، يُطلق على هذا المتغير "التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء" في هذه الدراسة. ومن الأهمية بمكان تسليط الضوء على أن التوزيع الطبيعي لمعدل الخصم لا ينشئ توزيعًا طبيعيًا للتكلفة النسبية المتصورة للكهرباء. ولهذا السبب، ينشئ هذا التحليل بشكلٍ عشوائي معدلات خصم تبلغ 5.000، باستخدام $N(0.27, 0.15)$ ، ثم يحسب التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء لكل معدل خصم. ويبين الشكل 4 التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء الناشئة باستخدام هذه المنهجية لمدة عامين. ويمثل خط 2018 التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء

معدل خصم قدره 4%، بما يتوافق مع معدل الخصم الاجتماعي المستخدم في نماذج الاقتصاد الكلي. ويرى هارتمان وداني (1986) أن معدل الخصم يعتمد على عمر وثروة كل فرد، ويمكن أن يتراوح من 15% إلى ما يقرب من الصفر. ويستخدم سامويك (1998) المسح الأمريكي لعمليات تمويل المستهلكين لعام 1992 لتوفير توزيع لمعدل الخصم باستخدام بيانات الأصول المالية وصافي القيمة، بمتوسط يبلغ 7.4%.

بدلاً من افتراض معدل خصم تمثيلي لجميع سكان الرياض، تفترض هذه الدراسة أن معدل الخصم يتبع التوزيع الطبيعي، بمعدل 27% في المتوسط (بما يتوافق مع باراس [2012]؛ والوكالة الدولية للطاقة المتجددة [2017]؛ وهاريسون [2002] ونسبة 15% كانحراف معياري. ووجد سامويك (1998) أن النسبة المئوية

الشكل 4. التكلفة النسبية للكهرباء المتصورة الناتجة باستخدام التوزيع الطبيعي.



المصادر: كابسارك.

للأسر التي تتمتع بمعدل خصم قدره 0%، ويبلغ الحد الأقصى 61.9 سنت لكل كيلوواط في الساعة للأسر التي تتمتع بمعدل خصم يبلغ 82.7%. جرى استبعاد أرقام التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء الناتجة عن معدلات الخصم السلبية.

للتكلفة المقدرة للاستثمار في عام 2018 (2.36 دولار/واط)، بينما يبين خط 2023 التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء، مع افتراض انخفاض مستمر في تكلفة الاستثمار بنسبة 10.7% سنويًا حتى عام 2023. ويبلغ الحد الأدنى للتكلفة النسبية المتصورة للكهرباء في عام 2018، 6.8 سنت (أمريكي) لكل كيلوواط في الساعة

تحليل النتائج ومناقشة السياسة

تقدير الحد الأقصى "المعقول" لاستخدام الألواح الشمسية على أسطح المنازل

تتمثل الطريقة القياسية لتقدير الاستخدام المحتمل للطاقة الشمسية في أحد المدن في تقييم عدد الأمتار المربعة (م²) المناسبة لتكريب الألواح الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل. ومع ذلك، تتبع هذه الدراسة نهج مختلف، حيث تقدر عدد الأسر التي يناسبها تركيب الألواح الشمسية الكهروضوئية على الأسطح، وهذا النهج مفيد لتقييم الفعالية المحتملة للسياسات المصممة لتعزيز توليد الطاقة الشمسية في المباني السكنية.

يصنف مسح المساكن السعودي خمسة أنواع مختلفة من الوحدات السكنية السعودية: شقة ومساحة طابق في منزل تقليدي ومساحة طابق في فيلا وفيللا ومنزل تقليدي. وقدّر خان وآخرون (2017) مساحة الطابق الكلية لكل نوع من أنواع منازل الرياض. حيث يبلغ متوسط مساحة الطابق للمنزل التقليدي 116 مترًا مربعًا، ويبلغ متوسط مساحة الطابق في الفيلا 268 مترًا مربعًا. وفي هذه الدراسة، يستلزم تركيب تقنية الطاقة الكهروضوئية على الأسطح 10 ألواح كهروضوئية بسعة طاقة مجمعة تبلغ 2.2 كيلوواط ويحتاج إلى مساحة تركيب على السطح بحجم أدنى 16 متر مربع. وتتمتع كل من أنواع الفيلا والمنازل التقليدية بمساحة سطح كافية لتكريب الألواح الشمسية. وتفترض هذه الدراسة أن الأسر التي تعيش في شقق أو تشغل طابقًا من المنزل أو الفيلا لا تملك مساحة كافية لتكريب الألواح الشمسية، علماً أن الفيلات والمنازل التقليدية تمثل 66.2% من إجمالي الوحدات السكنية في الرياض. ومن المنطقي أن نفترض أن هؤلاء السكان الذين يمتلكون منازلهم هم فقط الذين بإمكانهم تركيب الألواح الشمسية الكهروضوئية، بالنظر إلى فترة العمر الافتراضي الطويلة (حوالي 25 عامًا) من هذه الاستثمارات في الطاقة المتجددة. وفقًا لمسح المساكن، فإن 56% من الوحدات السكنية التي تشغلها الأسر السعودية مملوكة لسكانها. وفي هذه الدراسة، تحتوي المناطق السكنية في الرياض على 798.090

أسرة، بما في ذلك الأسر السعودية وغير السعودية. ولا يقدم مسح المساكن معلومات عن الوحدات السكنية التي تشغلها أسر غير سعودية. ويشكل السكان غير السعوديين أهمية بدرجة كافية (37.4% من مجموع السكان) ويجب أخذهم في الاعتبار، علماً بأن أي تحليل يركز فقط على مستهلكي الكهرباء السعوديين قد يكون مضللًا لأنه يستبعد شريحة كبيرة من الطلب على الكهرباء في المدينة. ومع ذلك، لا تملك الغالبية العظمى من الأسر غير السعودية مساكنها، وبالتالي، لن تستثمر في الطاقة الشمسية. وفي ضوء استخدام المعلومات الواردة أعلاه، تقدر هذه الدراسة أن هناك 185.213 فيلا أو منازل تقليدية مملوكة للسعوديين في الرياض، وهذه هي الأسر التي من المرجح أن تتركب ألواح شمسية كهروضوئية على الأسطح إذا كان لها قيمة اقتصادية إيجابية.

إذا ركبت جميع الأسر البالغ عددها 185,213 أسرة الألواح الشمسية الكهروضوئية بقدرة طاقة تبلغ 2.2 كيلوواط، سيكون مجموع الحد الأقصى لقدرة الطاقة الشمسية في المباني السكنية في الرياض 407 ميغاواط، وستبلغ التكلفة الإجمالية للاستثمار حوالي مليار دولار، وسينتج عن هذا الاستخدام حوالي 0.7 تيراواط من الكهرباء في الساعة سنويًا.

تقييم استخدام الألواح الشمسية في المباني السكنية في الرياض لأسباب اقتصادية

في عام 2015، تم تسعير الكهرباء في المملكة العربية السعودية على مقياس متدرج، وفقًا للاستهلاك الشهري للمستهلكين، وتم زيادة التعريفات في عام 2016 ومرة أخرى في عام 2018¹⁰. ويحتوي المقياس المتدرج لعام 2018 على معدلين: 0.18 ريال سعودي (ريال سعودي / كيلوواط ساعة) (4.8 سنت أمريكي / كيلوواط ساعة شهريًا) لأول 6.000 كيلوواط ساعة مُستهلكة و0.3 ريال سعودي / كيلوواط ساعة (8 سنتات / كيلوواط ساعة شهريًا) للكيلوواط ساعة التالية المستهلكة (مرسوم مجلس الوزراء بتاريخ

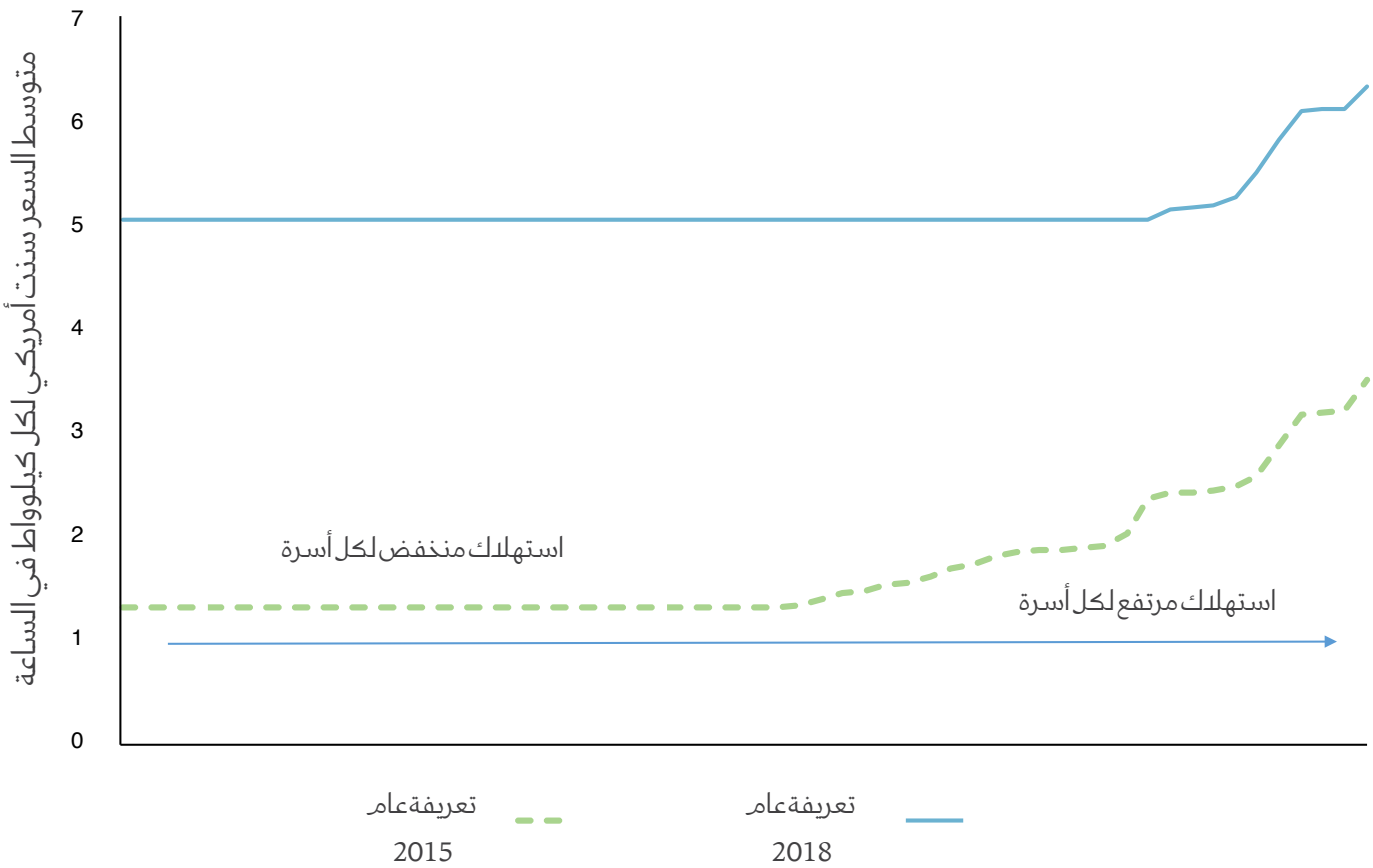
تحليل النتائج ومناقشة السياسة

لكل كيلوواط في الساعة. ويوضح الشكل 5 تعريفه الكهرباء في عامي 2015 و2018 للمجموعات المختلفة، من أدنى مستوى استهلاك لكل أسرة إلى أعلى مستوى.

تقارن هذه الدراسة تكلفة الكهرباء من الشبكة لجميع المجموعات مع التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء، لتقييم الاستخدام المحتمل للطاقة الشمسية الكهروضوئية في المباني السكنية لأسباب اقتصادية. كما هو موضح سابقاً، تُمنح الأسر معدل خصم من خلال دالة الاحتمال التي تنشئ التكلفة النسبية للكهرباء المتصورة. ويحدد متوسط تعريفه الكهرباء احتمالية تركيب الأسرة ألواح الطاقة الشمسية على الأسطح، كما هو موضح في الشكل 6.

11/2017/12/12). فرضت ضريبة القيمة المضافة بنسبة 5%، والتي تم تطبيقها في 1 يناير 2018، زيادة في أسعار الكهرباء في المملكة. لجعل هذه الدراسة ذات أهمية لواقعي السياسات، فهي تعيد تقدير استهلاك الأسر للطاقة في عام 2018، مع مراعاة التعريف الجديدة للكهرباء والنمو الاقتصادي للمملكة العربية السعودية بين عامي 2015 و2018. ¹² ويتم تقييم استهلاك الطاقة في عام 2018 باستخدام دخل طويل الأجل قدره 0.48 ومرونة سعرية تبلغ 0.16 (عطاالله 2016). ويقل إجمالي استهلاك الكهرباء المقدر لنحو 58 مجموعة تم تحليلها في عام 2018 بنسبة 15.7% عن عام 2015. وبمجرد تقدير استهلاك عام 2018 لكل أسرة في مجموعات مختلفة، يُمكن عندئذٍ حساب متوسط السعر

الشكل 5. تعريفه الكهرباء في المباني السكنية في المملكة العربية السعودية في عامي 2015 و2018.



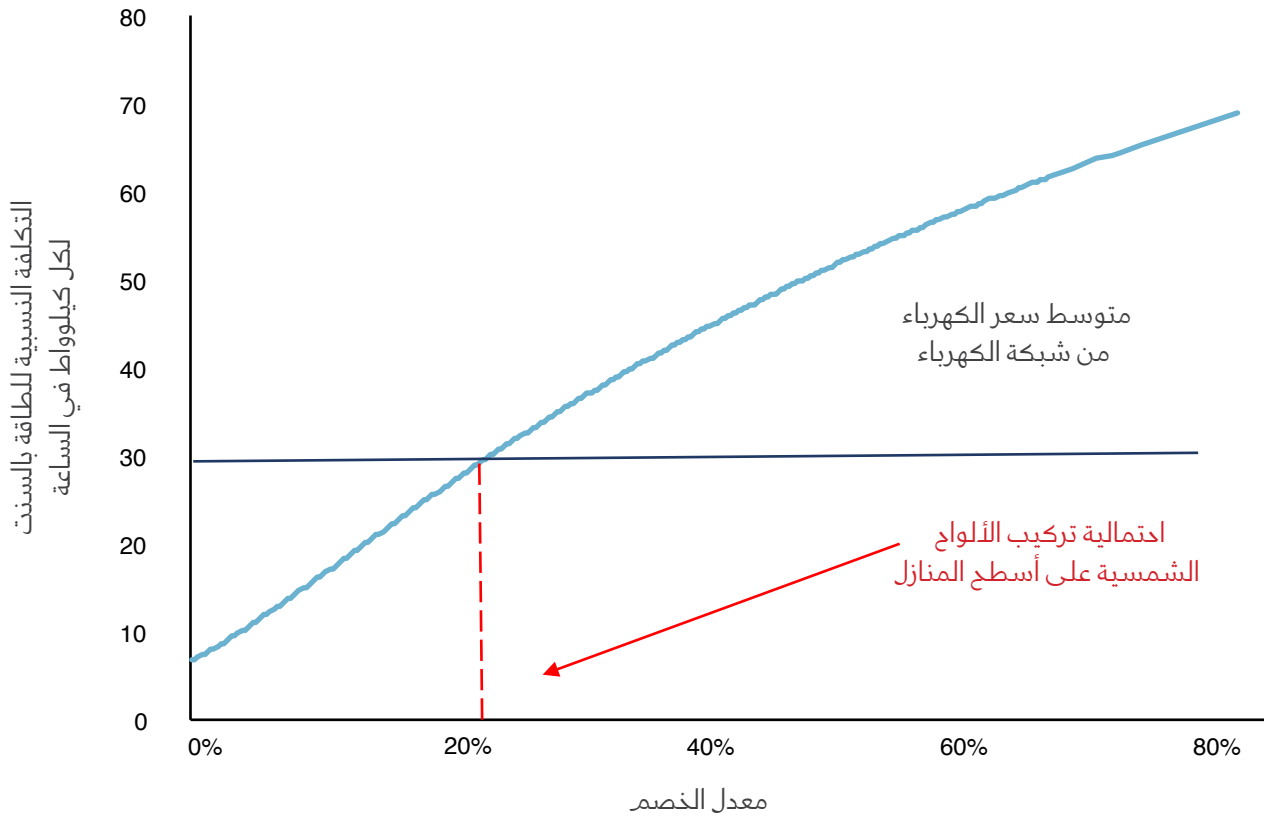
المصادر: كابسارك.

الأفراد تشكل قرارات محسنة خاصة تُنفذ وفقًا لدوافع شخصية، وسيقرر مجموع هذه القرارات الصغرى في النهاية استخدام أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح. وعلى ضوء ذلك، يمكن للأسر تركيب الألواح الشمسية على الأسطح لعدة أسباب، مثل المخاوف البيئية أو نمط الحياة البيئية أو تبني الابتكار في السوق، على النحو الذي أشار إليه تشن (2014) وفراج ومارتينيز (2006) وسمرفلد وآخرون (2017). وتجاهل هذه الدراسة الآثار المحتملة لتأثير النظراء أو التأثيرات الاجتماعية على استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح. على سبيل المثال، وجد بولينجر وجيلينغهام (2012) أدلة إحصائية قوية على وجود تأثير للنظراء على تركيب ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل في كاليفورنيا.

تمثل الأسر الموجودة في المجموعة 59 تلك الأسر التي تتمتع بأعلى مستويات الاستهلاك وأعلى متوسط سعر لكل كيلوواط مستهلك في الساعة، وتبلغ 6.34 سنت أمريكي / كيلوواط في الساعة. ويمثل هذا السعر أقل من الحد الأدنى للتكلفة النسبية المتصورة للكهرباء في عام 2018، مما يعني عدم وجود حافز مالي لتركيب الألواح الشمسية الكهروضوئية على الأسطح. ومن بين الأفكار الرئيسية في السياسة أن أسعار الكهرباء الحالية للاستهلاك السكني في المملكة العربية السعودية لا تزال منخفضة للغاية لتحفيز استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح لأسباب اقتصادية.

ومع ذلك، هذا لا يعني أن استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح يجب أن يكون معدوم. يزعم شيلينج (1978) أن الاختيارات اليومية التي يتخذها

الشكل 6. منهجية تقييم احتمالية تركيب الأسر ألواح الطاقة الشمسية على أسطح المنازل.



المصادر: كابسارك.

سعر الكهرباء للمستهلكين في المنازل في المدينة 18.8 سنت / كيلوواط في الساعة في نوفمبر 2017، وفقاً لإحصائيات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (إدارة معلومات الطاقة 2018). وفقاً للنموذج المستخدم في هذه الدراسة، وباستخدام نفس متوسط سعر الكهرباء، كان استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المباني السكنية في الرياض حوالي 56.1 ميغاواط في عام 2018.

أشار بلازكويز وآخرون (2017) إلى أن تحويل توليد الطاقة من استخدام النفط كوقود إلى استخدام الطاقة الشمسية له تأثير إيجابي على الاقتصاد السعودي. واكتشف مطر وأنور (2017) أن الطاقة الشمسية الكهروضوئية تصبح تنافسية من حيث التكلفة عندما يصل سعر النفط الخام إلى 30 دولاراً للبرميل. ولهذا السبب، قد يفكر صانعو السياسات في سياسات لتحفيز استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل. وبصرف النظر عن نوع أداة السياسة، ستركب الأسر ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح إذا كانت القيمة الحالية الصافية للاستثمار إيجابية، أو على الأقل صفر، علماً أن تمويل الفرق بين التكلفة النسبية للكهرباء ومتوسط سعر الكيلوواط المستهلك في الساعة من شأنه أن يجعل تركيب ألواح الطاقة الشمسية على الأسطح جذاباً من الناحية المالية. ولا يهتم الأسرة ما إذا كانت تستهلك الكهرباء من الشبكة أو الخلايا الشمسية. بمعنى آخر، سيكون نظام ألواح الطاقة الشمسية على الأسطح جذاباً من الناحية المالية إذا غطت الحكومة الفرق بين تعريف الكهرباء والتكلفة النسبية المتصورة للكهرباء. ثمة عنصران يجب مراعاتهما من منظور صانعي السياسة، أولاً، بسبب عدم اليقين في معدلات الخصم للأسر انعدام الوضوح فيما يتعلق بتكلفة السياسة وفعاليتها من حيث الميجاواط المثبتة، وثانياً، أن محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية أرخص بكثير. وفقاً لما أعلنت عنه الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (2018)، بلغت حوالي التكلفة النسبية للكهرباء عالمياً على نطاق محطات الطاقة الشمسية 10 سنتات / كيلوواط في الساعة في عام

في عام 2019، من المحتمل أن يؤدي الانخفاض في التكلفة النسبية المتصورة للكهرباء بسبب انخفاض تكاليف الاستثمار إلى تفضيل الاستخدام الهامشي للألواح الشمسية في المجموعات ذات أعلى مستوى من الاستهلاك لكل أسرة. ومع ذلك، فإن العدد الإجمالي المتوقع للأسر التي ستركب ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية في عام 2019 في الرياض منخفض للغاية، ويتمثل في ثلاث أسر فقط بشكل عام.

وفي ضوء تكرار التحليل لعام 2020، لا يزال عدد الأسر المهتمة في الرياض بتركيب ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية لأسباب اقتصادية منخفضاً جداً، إذ يبلغ 24 أسرة فقط. وعندما يتكرر هذا التحليل في الأعوام 2021 و2022 و2023، يرتفع عدد الأسر التي ترغب في تركيب ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية لأسباب اقتصادية إلى 55 و97 و145 على التوالي. وتتمثل الفكرة الرئيسية في أن أسعار الكهرباء في المباني السكنية في المملكة منخفضة ولا تفضل الأسر استخدام أنظمة الطاقة الشمسية في المباني السكنية، حتى بعد التخفيضات الكبيرة في تكاليف التقنية.

شرعت المملكة العربية السعودية، شأنها في ذلك شأن دول مجلس التعاون الخليجي الأخرى، في عملية تعديل أسعار الكهرباء لتحسين كفاءة قطاع الطاقة وجذب استثمارات جديدة وإلغاء دعم الوقود (الشرفا وآخرون 2017). ويشير مطر وأنوير (2017) أن سعر الكهرباء سيكون حوالي 7.1 سنت/ كيلوواط في الساعة في سيناريو لخفض أسعار الوقود والتسعير المتغير. ويوجد بعض استخدامات ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل في ظل هذا السيناريو، مع توليد حوالي 2.5 ميغاواط في عام 2018، ويرتفع إلى 26.5 ميغاواط في عام 2023.

وفقاً لموقع إحصائيات الطاقة الموزعة في كاليفورنيا (2018)، تولد لوس أنجلوس، التي تضم 3.3 مليون أسرة، 342 ميغاواط من قدرة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركبة على أسطح المنازل. وبلغ متوسط

/ كيلواط في الساعة ابتداءً من عام 2018 فصاعدًا. لهذين السببين، يمكن للحكومة السعودية التركيز على إنشاء محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتسريع عملية إزالة الكربون.

2017، فيما تشير أسعار قياسية منخفضة للمزادات في أبو ظبي وتشيلي ودبي والمكسيك وبيرو والمملكة العربية السعودية في عامي 2016 و2017 أنه يُمكن تخفيض التكلفة النسبية للكهرباء المولدة من تقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية إلى 3 سنتات أمريكية

ذلك إلى أن الأسر تميل إلى الحصول على معدل خصم، مما يقضي بإعاقه التكلفة النسبية للكهرباء المتصورة لتقنية الطاقة الشمسية. ثالثاً، تكون تكلفة سياسة الترويج لاستخدام ألواح الطاقة الشمسية فوق أسطح المنازل غير مؤكدة لأن معدل الخصم الذي تستخدمه الأسر لتقييم قيمة الاستثمار في تقنية الطاقة الشمسية غير واضح. ولهذه الأسباب، يبدو أن إنشاء محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية حلاً أفضل لتسريع عملية إزالة الكربون في المملكة.

اكتشفت هذه الدراسة أن التعريفات الحالية للكهرباء في المملكة العربية السعودية ودول مجلس التعاون الخليجي الأخرى تمنع الدوافع المالية من أن تكون محركاً لاستخدام ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل. ومع ذلك، كما توضح الدراسة، تتركب الأسر الألواح الشمسية الكهروضوئية على الأسطح لأسباب مختلفة، بما في ذلك المخاوف البيئية أو للحفاظ على نمط الحياة البيئية أو للتأثير الاجتماعي.

وتخلص الدراسة إلى أن توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المباني السكنية ليست اقتصادية للأسر وفقاً للتعريف الحالية للكهرباء في المملكة العربية السعودية، ومع ذلك تبدو محطات الطاقة الشمسية بديلاً فعالاً من حيث التكلفة. بالإضافة إلى ذلك، قد يكون نموذج عمل وسيط يستفيد من ميزة القرب من المستهلك النهائي بصورة متزامنة مع وفورات الحجم وإشراف إدارة محترفة، منافساً من الناحية الاقتصادية. ويعتمد نموذج العمل الجديد على إنشاء الحقول الشمسية على مستوى الأحياء، مما قد يتيح للمستثمرين توزيع تكاليف البنية التحتية على أكبر عدد من المشتركين، وبالتالي تخفيض التكلفة الثابتة للوحدة. وستكون هذه المخططات فعالة من حيث التكلفة بشكل خاص في الوحدات السكنية الكبيرة. ويمثل نموذج العمل المشار إليه لإنشاء حقول الطاقة الشمسية على مستوى الأحياء أحد الخيارات التي يمكن اختبارها واستكشافها.

يستكشف هذا البحث الاستخدام المحتمل للألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل في الرياض من منظور مالي. وحللت الدراسة كثافة الضوء ودرجات الحرارة ليلاً لتقدير استهلاك الكهرباء للأسر الموجودة في مناطق مختلفة من المدينة. وتكون المتغيرات المستخدمة لتقييم استهلاك الكهرباء على مستوى الأسرة المقياس الراديوي للأشعة تحت الحمراء المرئية نهاراً وليلاً للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي والطبقة المكانية لتقدير عدد سكان العالم الصادرة عن شركة آسري لحلول نظم المعلومات الجغرافية لعام 2015 وطبقات المستوطنات البشرية العالمية التي طورها مركز الأبحاث المشترك بالمفوضية الأوروبية. وتمكن هذه البيانات التفصيلية من رسم خرائط لاستهلاك الكهرباء في المنازل وتقييم الطلب المحتمل على تقنية تركيب ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المنازل.

تنقسم الرياض إلى 58 منطقة تضم 798.090 أسرة، ويبلغ متوسط استهلاك الكهرباء 2,327 كيلوواط في الساعة، ويبلغ الانحراف المعياري 1.923 كيلوواط في الساعة. وفقاً لتقديرات الدراسة، تستهلك 69% من الأسر في الرياض أقل من 3.000 كيلوواط في الساعة شهرياً.

توصلت هذه الدراسة إلى أن إجمالي الحد الأقصى من قدرة الطاقة الشمسية على مستوى أسطح المنازل في الرياض يمكن أن يصل إلى نحو 400 ميغاواط، ويستند هذا الرقم إلى خصائص الأسر وأنواع المنازل، وتتمتع حوالي 185.000 أسرة بالخصائص الصحيحة لتركيب الألواح الشمسية الكهروضوئية على أسطح منازلهم. وثانياً، لا تحفز تعريفه الكهرباء الحالية في الوحدات السكنية إنشاء الألواح الشمسية على أسطح المنازل، إذ على الرغم من زيادة أسعار الكهرباء في الوحدات السكنية في يناير 2018، لا تستطيع الألواح الشمسية على أسطح المنازل منافسة الكهرباء المولدة من شبكة الكهرباء حتى مع افتراض وجود تخفيضات كبيرة في التكلفة الاستثمارية لتقنية الطاقة الشمسية، ويرجع

¹ يُنفذ التجمع متعدد المتغيرات المقيد بالمكانية باستخدام أداة متوفرة في برنامج نظام المعلومات الجغرافية الصادر عن شركة آسري لحلول نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS Pro 1.2).

² <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=ac0401d78fa24a10a9151ffe50f35afe>

³ على سبيل المثال؛ توجد مناطق تجمعات بالرياض غالباً ما تكون مناطق ترفيهية بإنشاءات مؤقتة مثل خيام نهاية الأسبوع.

⁴ <http://www.sama.gov.sa/en-US/EconomicReports/Pages/YearlyStatistics.aspx>

⁵ http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisRegion=A-sia&ThisCCode=SAU

⁶ يبلغ متوسط عدد أفراد الأسرة السعودية 5.7 أفراد، وفقاً لإنفاق الأسرة وبيان الدخل (2013) الصادر عن الهيئة العامة للإحصاء.

⁷ [./https://www.kapsarc.org/openkapsarc/kapsarc-solar-photovoltaic-toolkit](https://www.kapsarc.org/openkapsarc/kapsarc-solar-photovoltaic-toolkit)

⁸ [.https://energy.gov/energysaver/planning-home-solar-electric-system](https://energy.gov/energysaver/planning-home-solar-electric-system)

⁹ الهيئة العامة للإحصاء: <https://www.stats.gov.sa/ar/911-0>

¹⁰ يوضح هذا الجدول تطور تعريفه الكهرباء في المملكة العربية السعودية.

Electricity tariff in U.S. cents per kWh.

2018	2016	2015	الفئة
4.8	1.3	1.3	يناير-00
4.8	2.7	2.7	4000-2001
4.8	5.3	3.2	6000-4001
8.0	8.0	4.0	7000-6001
8.0	8.0	5.3	8000-7001
8.0	8.0	5.9	9000-8001
8.0	8.0	6.4	1000-9001
8.0	8.0	6.9	-10001

¹¹ <https://www.se.com.sa/en-us/customers/Pages/TariffRates.aspx>

¹² صندوق النقد الدولي (2018).

- Abdmouleh, Zeineb, Rashid AM Alammari, and Adel Gastli. 2015. "Recommendations on renewable energy policies for the GCC countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50: 1181-1191.
- Almasoud, A. H., and Hatim M. Gandayh. 2015. "Future of solar energy in Saudi Arabia." *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 27, (2): 153-157.
- Atalla, Tarek N., and Lester C. Hunt. 2016. "Modelling residential electricity demand in the GCC countries." *Energy Economics* 59: 149-158.
- Baras, Abdulaziz, Wail Bamhair, Yahya AlKhoshi, Maher Alodan, and Jill Engel-Cox. 2012. "Opportunities and challenges of solar energy in Saudi Arabia." In *World Renewable Energy Forum*, Denver, vol. 1, p. 4721.
- Blazquez, Jorge, Lester Hunt, and Baltasar Manzano. 2017. "Oil subsidies and renewable energy in Saudi Arabia: A general equilibrium approach." *The Energy Journal* 38, (S11): 29-45.
- Bollinger, Bryan, and Kenneth Gillingham. 2012. "Peer effects in the diffusion of solar photovoltaic panels." *Marketing Science* 31, (6): 900-912.
- Byrne, John, Job Taminiau, Lado Kurdgelashvili, and Kyung Nam Kim. 2015. "A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 830-844.
- Camilo, Fernando M., Rui Castro, M. E. Almeida, and V. Fernão Pires. 2017. "Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal." *Solar Energy* 150 (2017): 353-362.
- Chen, Kee Kuo. 2014. "Assessing the effects of customer innovativeness, environmental value and ecological lifestyles on residential solar power systems install intention." *Energy Policy* 67: 951-961.
- Chen, Xi, and William D. Nordhaus. 2011. "Using luminosity data as a proxy for economic statistics." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, (21): 8589-8594.
- Cole, Wesley, Haley Lewis, Ben Sigrin, and Robert Margolis. 2016. "Interactions of rooftop PV deployment with the capacity expansion of the bulk power system." *Applied Energy* 168: 473-481.
- Doll, Christopher NH, Jan-Peter Muller, and Jeremy G. Morley. "Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. 2006. " *Ecological Economics* 57, (1): 75-92.
- Elshurafa, Amro M., and Walid Matar. 2017. "Adding solar PV to the Saudi power system: what is the cost of intermittency?" *Energy Transitions* 1, (1): 2.
- Elshurafa, Amro, Noura Mansouri, Walid Matar, Axel Pierru, Shreekar Pradhan, David Wogan. 2017. *Transitioning to Liberalized Energy Markets, Workshop Brief, KAPSARC, Riyadh.*
- Elvidge, Christopher D., Kimberly E. Baugh, Sharolyn J. Anderson, Paul C. Sutton, and Tilottama Ghosh. 2012. "The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data." *Social Geography* 7, (1): 23-35.
- Elvidge, Christopher, Kimberly Baugh, Vinita Hobson, Eric Kihn, Herbert Kroehl, Ethan Davis, and David Cocero. 1997. "Satellite inventory of human settlements using nocturnal radiation emissions: a contribution for the global toolchest." *Global Change Biology* 3 (5): 387-395.
- Enzler, Heidi Bruderer, Andreas Diekmann, and Reto Meyer. 2014. "Subjective discount rates in the general population and their predictive power for energy saving behavior." *Energy Policy* 65: 524-540.
- Fraj, Elena, and Eva Martinez. 2006. "Environmental values and lifestyles as determining factors of ecological consumer behaviour: an empirical analysis." *Journal of Consumer Marketing* 23 (3): 133-144.
- Griffiths, Steven, and Robin Mills. 2016. "Potential of rooftop solar photovoltaics in the energy system evolution of the United Arab Emirates." *Energy Strategy Reviews* (9): 1-7.

- Griffiths, Steven. 2013. "Strategic considerations for deployment of solar photovoltaics in the Middle East and North Africa." *Energy Strategy Reviews* 2, no. 1: 125-131.
- Harrison, Glenn W., Morten I. Lau, and Melonie B. Williams. 2002. "Estimating individual discount rates in Denmark: A field experiment." *American Economic Review* 92, (5): 1606-1617.
- Hartman, Raymond S., and Michael J. Doane. 1986. "Household discount rates revisited." *The Energy Journal* 7, (1): 139-148.
- Hausman, Jerry A. 1979. "Individual discount rates and the purchase and utilization of energy-using durables." *Bell Journal of Economics* 10, (1): 33-54.
- Henderson, J. Vernon, Adam Storeygard, and David N. Weil. 2012. "Measuring economic growth from outer space." *American Economic Review* 102, (2): 994-1028.
- IRENA. 2017. "IRENA Cost and Competitiveness Indicators: Rooftop Solar PV", International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA. 2018. "Renewable Power Generation Costs in 2017". International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Khan, Mohammed, Muhammad Asif, and Edgar Stach. 2017. "Rooftop PV potential in the residential sector of the Kingdom of Saudi Arabia." *Buildings* 7, (2): 46.
- Martín-Pomares, Luis, Diego Martínez, Jesús Polo, Daniel Perez-Astudillo, Dunia Bachour, and Antonio Sanfilippo. 2017. "Analysis of the long-term solar potential for electricity generation in Qatar." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73: 1231-1246.
- Matar, Walid, and Murad Anwer. 2017. "Jointly reforming the prices of industrial fuels and residential electricity in Saudi Arabia." *Energy Policy* 109: 747-756.
- Matar, Walid, Frederic Murphy, Axel Pierru, and Bertrand Rioux. 2015. "Lowering Saudi Arabia's fuel consumption and energy system costs without increasing end consumer prices." *Energy Economics* 49: 558-569.
- Matar, Walid, Frederic Murphy, Axel Pierru, Bertrand Rioux, and David Wogan. 2017. "Efficient industrial energy use: The first step in transitioning Saudi Arabia's energy mix." *Energy Policy* 105: 80-92.
- Nematollahi, Omid, Hadi Hoghooghi, Mehdi Rasti, and Ahmad Sedaghat. 2016. "Energy demands and renewable energy resources in the Middle East." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54: 1172-1181.
- Peng, Jinqing, and Lin Lu. 2013. "Investigation on the development potential of rooftop PV system in Hong Kong and its environmental benefits." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27: 149-162.
- Pesaresi, Martino, Daniele Ehrlich, Stefano Ferri, Aneta Florczyk, Sergio Freire, Matina Halkia, Andreea Julea, Thomas Kemper, Pierre Soille, and Vasileios Syrris. 2016. "Operating procedure for the production of the Global Human Settlement Layer from Landsat data of the epochs 1975, 1990, 2000, and 2014." Publications Office of the European Union.
- Pinkovskiy, Maxim, and Xavier Sala-i-Martin. "Lights, Camera... Income! Illuminating the National Accounts-Household Surveys Debate. 2016. " *The Quarterly Journal of Economics* 131, (2): 579-631.
- Ramli, Makbul AM, Ssenoga Twaha, and Zakariya Al-Hamouz. 2017. "Analyzing the potential and progress of distributed generation applications in Saudi Arabia: The case of solar and wind resources." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70: 287-297.
- Samwick, Andrew A. 1998. "Discount rate heterogeneity and social security reform." *Journal of Development Economics* 57, (1): 117-146.
- Schelling, Thomas C. *Micromotives and Macrobehavior*. New York: W.W. Norton & Company. 2006.
- Shaahid, S. M., and Ibrahim El-Amin. 2009. "Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—a way forward for sustainable development." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, (3): 625-633.

Shi, Kaifang, Bailang Yu, Yixiu Huang, Yingjie Hu, Bing Yin, Zuoqi Chen, Liujia Chen, and Jianping Wu. 2014. "Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: A comparison with DMSP-OLS data." *Remote Sensing* 6, (2): 1705-1724.

Sommerfeld, Jeff, Laurie Buys, and Desley Vine. 2017. "Residential consumers' experiences in the adoption and use of solar PV." *Energy Policy* 105: 10-16.

Townsend, Alexander C., and David A. Bruce. 2010. "The use of night-time lights satellite imagery as a measure of Australia's regional electricity consumption and population distribution." *International Journal of Remote Sensing* 31, (16): 4459-4480.

Vittorio, Michele. 2016. "A GIS tool to create human population distribution layers", in: Esri User Conf., Esri, San Diego, California, USA.

Zell, Erica, Sami Gasim, Stephen Wilcox, Suzan Katamoura, Thomas Stoffel, Husain Shibli, Jill Engel-Cox, and Madi Al Subie. 2015. "Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia." *Solar Energy* 119: 422-438.

شكر وعرهان

نحن ممتنون لتعقيبات الفاضل/ عمرو الشرفا والفاضل/ ديفيد هوبس والفاضلة/ نورا منصورى والفاضل/ وليد مطر وغيرهم من الزملاء فى كابسارك الذين ساعدوا فى تحسين البحث بشكل كبير. واقترح الفاضل/ هشام أخونباى فكرة نموذج أعمال جديد يعتمد على حقول الطاقة الشمسية على مستوى الأحياء. ومع ذلك، يتحمل المؤلفون المسؤولية عن جميع الأخطاء والإغفالات الموجودة فى البحث. علاوةً على ذلك، تعد الآراء المُعبر عنها فى هذا البحث آراء المؤلفين ولا تمثل بالضرورة آراء المؤسسات التابعين لها.

عن المؤلفين

هيكتر لوبيز روز

هيكتر زميل أبحاث متخصص فى اقتصاديات النقل. حصل على دكتوراه فى الاقتصاد من جامعة ليون.



هورى بلازكوز

هورى زميل أبحاث سابق متخصص فى الطاقة والاقتصاد، ولديه اهتمامات بحثية فى مجال الطاقة والاقتصاد الكلى وسياسات الطاقة والتحولت. حصل على دكتوراه فى الاقتصاد من جامعة كومبلوتنسى دي مدريد.



ميشيل فيتوريو

ميشيل زميل أبحاث فى كابسارك، وهو يقود الجهود المبذولة لإنشاء قدرات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد.



عن المشروع

يدرس إطار كابسارك لتحليل النقل ويصور النشاط الاقتصادي العالمي ونقل البضائع. وفى سبيل ذلك، يعتمد إطار كابسارك لتحليل النقل على بيانات عالمية مفتوحة المصدر من الأقمار الصناعية والتوزيع المكاني للأنشطة الاقتصادية المختلفة حسب القطاعات الواسعة. ويكمن الهدف الرئيس لإطار كابسارك لتحليل النقل فى تقديم رؤى كمية عن آثار تدابير السياسة على أنشطة النقل واستهلاك الطاقة المتعلقة بحركة البضائع.



www.kapsarc.org