

# الجدوى الاقتصادية لاستخدام أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المساجد: نتائج دراسة تجريبية في المملكة العربية السعودية

عمرو الشرفاء وعبدالله السبيعي وأيمن العبدالجبارة  
وشافى الحصين

## إقرار

تولى المركز المشترك للأبحاث والتطوير في قطاع التوزيع بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وشركة الكهرباء دعم هذا المشروع وتنفيذه

## عن مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

هي مؤسسة حكومية علمية تدعم وتعزز البحث العلمي التطبيقي وتنسق أنشطة المؤسسات الحكومية ومراكز البحث العلمي وفقا لمتطلبات التطوير في المملكة العربية السعودية. كما تتعاون مع الجهات المعنية في مجال تحديد الأولويات والسياسات الوطنية في مجال التقنية والعلوم وذلك لوضع أساس علمي وتقني يخدم التطوير في قطاع الزراعة والصناعة والتعدين وغير ذلك. تسعى المدينة أيضا إلى تطوير الكفاءات الوطنية وتوظيف المتخصصين الذين يحملون مؤهلات عالية للمساعدة في تطوير ومراقبة التقنية الحديثة لخدمة حركة التطوير في المملكة. إلى جانب ذلك، تحتوي على جميع متطلبات البحث العلمي مثل المختبرات ووسائل الاتصال ومصادر المعلومات وجميع التسهيلات اللازمة.

## عن الشركة السعودية للكهرباء

هي المنتج الرئيس للطاقة الكهربائية في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية. وتشمل الأنشطة الرئيسية لها توليد الطاقة الكهربائية ونقلها وتوزيعها، حيث يتم تقديم هذه الخدمات للقطاعات الحكومية والصناعية والزراعية والتجارية والسكنية. كما يشمل الهيكل التنظيمي لها الأنشطة التنظيمية الكهربائية الرئيسية (وحدات الأعمال) المشتركة في مجال التوليد، النقل والتوزيع وخدمات العملاء إضافة إلى أنشطة الدعم التنظيمي المشتركة.

## عن المركز المشترك للأبحاث والتطوير في قطاع التوزيع بين مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية والشركة السعودية للكهرباء

يهدف المركز إلى إيجاد تبادل ثنائي للمعرفة بين الجهتين عن طريق إجراء البحوث المشتركة والمشاريع في قطاع التوزيع. و ينصب تركيزه على الأبحاث المتقدمة التي تساعد في تحسين الكفاءة التشغيلية للقطاع، ورفع الاستفادة من أصول شبكة التوزيع، وخلق الفرص الأجدى اقتصاديًا. إضافة إلى ذلك، يركز المركز على العديد من المجالات المتعلقة بقطاع التوزيع وهي جودة الطاقة الكهربائية، أنظمة الحماية، تكامل الموارد المتجددة، الأتمتة، الاتصالات، التحكم والتدريب. ويعمل فيه أكثر من 45 موظفا من الجهتين ومن جهات خارجية متعاونة ممن يحملون شهادات تعليمية مختلفة (الدكتوراه، الماجستير في العلوم، البكالوريوس في العلوم الفنون، الإداريون والخبراء) إما بدوام جزئي أو كامل وقد يزيد عددهم. وقد شارك في العديد من ورش العمل والمعارض، محليا ودوليا، وتعاون مع جامعات وخبراء محليين ودوليين، مما يضمن جودة البحث وتحسينه وتوسعة قدرة المركز وتم تجهيز المختبرات المتقدمة لاستيعاب متطلبات المشاريع الحالية والمقترحة.

## عن مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية

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 كمنصحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار.

تم تركيب وتشغيل نظام توليد يعمل بالطاقة الشمسية الكهروضوئية بسعة (124) كيلوواط على سطح أحد المساجد في مدينة الرياض.

يمكن إلى حد كبير توقع منحنى الحمل الكهربائي في المسجد لأن حركة الشمس تحكم أوقات صلاة الجماعة وبالتالي استخدام الطاقة. وهذا يعني أيضا أن أوقات الصلاة تتغير بحسب الفصول أثناء السنة التقويمية، ولكنها لا تتغير من سنة لأخرى.

كانت متطلبات التكلفة الرأسمالية لتركيب وتشغيل نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية تعادل ما يقارب 1.18 دولار أمريكي لكل واط عندما تم شراؤه في عام 2017. وقد انخفضت أسعار هذه التقنية منذ ذلك الحين.

لبي نظام الطاقة الكهروضوئية الذي تم تركيبه ما يقارب 25 % من احتياج المسجد للطاقة.

تبين أن عامل السعة للنظام كان 18.2 %، مقارنة بالنتيجة النظرية التي كانت 18.6 %.

لو تم تصدير الطاقة الفائضة التي تولدها الألواح الشمسية للشبكة من خلال آلية صافي القياس، فستنخفض فاتورة الكهرباء السنوية بنسبة تزيد على 50 %.

بالتخطيط المناسب في المراحل الأولى لبناء المسجد، يمكن لآلية صافي القياس خفض فاتورة كهرباء المسجد إلى الصفر.

50% . بل وإذا تم دمج الطاقة الشمسية الكهروضوئية في التصميم والتخطيط لبناء مسجد بحجم مماثل عن طريق زيادة مساحة السطح التي يمكن استغلالها فيمكن أن تكون فاتورة الكهرباء الصافية السنوية صفراً. هذا وقد قارنا نتائج النمذجة النظرية مع نتائج التشغيل الفعلي للنظام التجريبي، وكانت النتائج داعمة لتوقعاتنا النظرية. كان عامل السعة الذي حققه النظام 18.2%، واستطاع تغطية ما يقارب 25% من احتياجات المسجد للطاقة. وبإجراء التعديل المناسب يمكن أن تمتد نتائج هذه الدراسة لتشمل بيوت العبادة الأخرى والقاعات الاجتماعية والمباني العامة.

توضح دراستنا أن تفعيل الطاقة الشمسية الكهروضوئية مُجدٍ اقتصادياً للمساجد في المملكة العربية السعودية في الوضع الحالي. وإذا تم تطبيق آلية صافي القياس فسوف ينخفض صافي التكلفة الحالية للمساجد بنسبة 22%. وبناء على هذه الدراسة، يمكن الاستعانة بنتائجها لتكون جزءاً مشاركاً في توجيه صناعة السياسات المتعلقة بتفعيل الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية.

هناك ما يقدر بنحو 3.5 مليون مسجد في جميع أنحاء العالم. وتعتبر مساحة السطح الكبيرة نسبياً لمعظم المساجد عاملاً جاذباً لتكريب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية. ومن المعلوم أن المسلمين يؤدون الصلوات في المساجد جماعة خمس مرات يومياً: عند الفجر والظهر والعصر والمغرب والعشاء. ولأن هذه الأوقات تحكمها حركة الشمس فإنها تتغير زمنياً بحسب المواقيت خلال العام وفقاً للفصول، ولكنها لا تتبدل من عام إلى آخر. ولذلك يمكن توقع منحنى الحمل الكهربائي للمساجد إلى حد كبير .

أجرينا دراسة فنية-اقتصادية على نظام توليد يعمل بالطاقة الشمسية الكهروضوئية بسعة (124) كيلوواط تم تركيبه على سطح أحد مساجد مدينة الرياض في عام 2017. ويهدف هذا البحث إلى تقييم مدى إمكانية تقليل العبء المالي على وزارة الشؤون الإسلامية التي تدفع حالياً فواتير كهرباء المساجد إلى شركة الكهرباء .

بتكلفة رأسمالية قدرها 1.18 دولار أمريكي لكل واط، وجدنا أنه بافتراض تطبيق آلية صافي القياس، يمكن خفض فاتورة الكهرباء السنوية للمسجد بأكثر من

للطاقة المتجددة.

تعتبر المساجد مبان مناسبة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية نظرا لكبر مساحة أسطحها نسبيا واستوائها. لذا فإن تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية يمكن أن يسهم في تقليل فاتورة الكهرباء إلى حد كبير. ولكن تظل التكلفة الرأسمالية للأنظمة الشمسية العائق المالي الوحيد أمام استخدامها (الشرفاء وآخرون (2018).

يدين 1.6 مليار شخص بالإسلام، وهي الديانة السائدة في حوالي 50 دولة حول العالم (الشناوي وعبد الله (2017). ويجتمع المسلمون في المساجد لأداء صلواتهم اليومية وحضور الخطب الأسبوعية وإقامة احتفالاتهم وغيرها من الأنشطة الدينية والاجتماعية. تختلف المساجد اختلافاً كبيراً من حيث الحجم، فهناك المساجد الصغيرة التي تستوعب 50-100 مصل، وصولاً إلى المساجد الكبيرة التي تستوعب عشرات الآلاف من المصلين. وهناك نحو 3.5 مليون مسجد على مستوى العالم (ديلويت 2015). ونظرا لانتشارها الواسع في الدول الإسلامية، فإن الحكومات في العديد من تلك البلدان تولي استخدام المساجد للطاقة اهتماماً متزايداً.

تم إجراء بحوث عديدة حول جوانب مختلفة تتعلق في المساجد سيتم عرضها قريباً في هذا البحث. حللت الدراسات السابقة دورة حياة المساجد (معوض وآخرون (2014) وأثار تطبيق حلول مستدامة لبناء المساجد وتشغيلها. وقد وجد أن مثل هذه الحلول يمكن أن تقلل من تكاليف دورة الحياة بنسبة تصل إلى 9%. وبعبارة عن الناحية الأكاديمية، قدمت شركة ديلويت للاستشارات مفهوم "المسجد الذكي"، الذي يهدف إلى الحد من استخدام المساجد للطاقة من خلال مبادرات كفاءة الطاقة والطاقة المتجددة (ديلويت 2015).

توصلت دراسة أجريت في عام 2014 وبحثت إمكانية تفعيل تقنية الطاقة الكهروضوئية على سطح حوالي 1400 مسجد في دولة الكويت إلى أن استرداد رأس

انخفضت تكلفة تقنية الطاقة الشمسية الكهروضوئية انخفاضاً كبيراً على مدار العقود الأربعة الماضية حيث كانت تكلفة الوحدات الشمسية تقارب 100 دولار أمريكي لكل واط في منتصف السبعينيات، أما الآن فأصبحت حوالي 0.40 دولار أمريكي لكل واط. دفع هذا الانخفاض الكبير في التكاليف، إلى جانب الرغبة المتزايدة للحد من انبعاثات الكربون الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري، العديد من الدول على تركيب أنظمة الطاقة الكهروضوئية (تشاولا 2018 و إيزيك دوغروا وترك 2018 وبيغلز ولوتكنهورست 2014). بلغ المجموع الكلي للسعة العالمية لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية حوالي 400 جيجاواط بنهاية عام 2017 مقارنة بعام 1999 حيث لم يكن هناك أي استخدام يذكر لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (شبكة سياسة الطاقة المتجددة للقرن الحادي والعشرين 2018).

تنقسم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، في الجملة، إلى ثلاثة أقسام وذلك بحسب السعة: (ساهو (2015): أنظمة النطاق السكني (2 - 10 كيلوواط)، أنظمة النطاق التجاري والصناعي (100 - 500 كيلوواط)، وأنظمة نطاق المرافق (حوالي 1 ميغاواط وما فوقها). غالباً ما يُشار إلى أنظمة النطاق السكني والتجاري بأنظمة التوليد الموزع للطاقة ونعني بذلك وحدات توليد الطاقة الموجودة داخل شبكة التوزيع أو بالقرب من الحمل الكهربائي (تشانغ وآخرون 2015).

نركز في هذا البحث على أنظمة النطاق التجاري من خلال دراسة الجدوى الاقتصادية لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركب على سطح أحد المساجد. وقد تم دعم الدراسة النظرية ببيانات من مشروع تجريبي تم تنفيذه في مدينة الرياض، المملكة العربية السعودية. وفي بحوث سابقة، تم إجراء دراسات تقييم مشابهة لأداء التوليد الموزع للطاقة بواسطة، على سبيل المثال، هوانغ وآخرون (2001)، كومار وسودهاكر (2015)، ومور وبوست (2008). وقد ساعدت هذه الدراسات وغيرها في إطلاع صناعات السياسات والباحثين والشركات على الجوانب الفنية والاقتصادية لتركيب أجهزة التوليد الموزع

الوقت تستورد غالب احتياجاتها من الوقود لتوليد الطاقة (الربيع وسعيدان 2018).

وعلى غرار ذلك، فإن دولة المغرب التي تضم ما يقارب 50,000 مسجد تهدف إلى تركيب أنظمة الطاقة الكهروضوئية على سطح 600 مسجد بحلول عام 2019، بمساعدة من الحكومة الألمانية، وزيادتها في وقت لاحق (أوسبورن 2017). وكالاردن، تعتمد المغرب على الواردات لتلبية جميع احتياجاتها من الطاقة تقريباً (كوسكسو وآخرون 2015). إضافة إلى وفورات التكاليف نتيجة تركيب الألواح الشمسية على أسطح المساجد، ترى العديد من الحكومات أن المساجد الخضراء وسيلة لزيادة الوعي المجتمعي بقضايا الطاقة وتقنياتها المتجددة ومعينة على قبولها و تبنيها (نيسلن 2016).

وعلى الرغم من أن المملكة العربية السعودية تعتبر بلداً غنياً بالطاقة، إلا أنها تدرس كذلك التفعيل الأكبر لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح مساجد الدولة التي يزيد عددها على 90,000 مسجد. ومع وجود بعض أوجه التشابه مع مبادرات الطاقة الشمسية للمساجد التي تم إطلاقها أو يتم إطلاقها في أجزاء أخرى من العالم الإسلامي، إلا أن بعض المواصفات تعتبر خاصة بالمملكة العربية السعودية. وتشمل درجات الحرارة العالية خلال النهار في أشهر الصيف، والتي تحتاج إلى مستويات عالية من استهلاك الكهرباء لتشغيل وحدات التكييف في المساجد، والمساجد الكبيرة عموماً، والعدد الكبير من المساجد في المملكة الذي يزيد على 90,000 مسجد كما ذكر آنفاً (الخوتاني 2016).

أصدرت هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج في المملكة العربية السعودية لوائح مؤقتة لتنظيم تركيب أنظمة التوليد الموزع للطاقة داخل المملكة. وفي البداية تهدف المملكة العربية السعودية إلى طرح آلية صافي القياس لتعزيز تفعيل نظام التوليد الموزع للطاقة الشمسية (كوميلو ورايكليستين 2017 وهيغرمين وآخرون 2016). تبرر هذه المبادرات السياسية على

المال سيستغرق مدة تصل إلى 13 سنة بحسب أسعار الطاقة السائدة وأسعار تقنية الطاقة الكهروضوئية في ذلك الوقت (المطيري 2014). كان الهدف من الدراسة تقييم فرص خفض الاستهلاك خلال أوقات الذروة عبر تفعيل التوليد الموزع للطاقة. ولا يخفى أنه إذا تم إجراء نفس الدراسة الآن، ستكون فترة الاسترداد بلا شك أقل نظراً للتكاليف التقنية الأقل.

صممت دراسة أخرى أجريت في عام 2014 نظام شبكة هجينة لمسجد في ليبيا (مصطفى وآخرون 2014) يقع في منطقة ريفية ويستمد طاقته الكهربائية من مولد يعمل بالديزل. ونظراً لأن الحفاظ على إمداد ثابت للديزل كان مكلفاً، اقترح مؤلفو الدراسة تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية على السطح لتقليل الاعتماد على الوقود. وخلصت الدراسة إلى أن الحل الأكثر فاعلية من حيث التكلفة هو تركيب نظام طاقة كهروضوئية بالإضافة إلى نظام تخزين (بطاريات). وبطبيعة الحال، سوف تختلف الظروف والقيود المفروضة على مسجد متصل بالشبكة عن تلك الموجودة في مسجد خارج الشبكة. بالإضافة إلى ذلك، وخلصت دراسة أخرى أجريت على مسجد في ماليزيا إلى أن تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية سوف يقلل من فاتورة الكهرباء السنوية للمبنى بنسبة 47% (راشد، علوي، ومنان 2011).

ازدادت الجاذبية المالية لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المساجد في السنوات الأخيرة مع انخفاض التكاليف الرأسمالية للتقنية. وتعتبر دراسة الجدوى أكثر إلحاحاً في البلدان ذات التعرف الكهربي العالية. على سبيل المثال، وبسبب ارتفاع سعر الكهرباء المستمر في الأردن منذ عام 2012، فإن فاتورة الكهرباء السنوية لمسجد متوسط الحجم تصل إلى حوالي 17,000 دولار أمريكي. ومن هنا أعلنت الحكومة الأردنية في عام 2015 أنه على جميع المساجد في البلاد التي يبلغ عددها 6,300 مسجد استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتوليد الكهرباء (عبد الحميد 2015). للطاقة الشمسية جاذبية خاصة في الأردن فهي دولة تستقبل كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي وفي ذات

مستوى الدولة التقييم المخصص للجدوى المالية من تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المساجد في المملكة العربية السعودية. كما تجدر الإشارة إلى أن وزارة الشؤون الإسلامية تتولى دفع فواتير كهرباء المساجد في المملكة.

يقدم هذا البحث لأول مرة تحليلاً مفصلاً وشاملاً عن تكاليف تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على سطح أحد المساجد في المملكة العربية السعودية ويناقش بعض الآثار المترتبة على ذلك. تعتبر النمذجة النظرية والافتراضات الفنية ومعايير المصادر الطبيعية عنصراً أساسياً لهذه الدراسة وقد تم التحقق والتأكد منها من خلال تركيب وتشغيل نظام طاقة كهروضوئي على سطح أحد المساجد. وقد دعمت النتائج المستخلصة من النظام المعمول به النتائج النظرية التي أظهرها نموذجنا.

إضافة إلى ذلك، مثلنا تأثير التطبيق المستقبلي لصافي القياس على الجدوى المالية للمشروع. وتبين من ذلك أنه إذا تم تطبيق آلية صافي القياس - كما هو مقترح - على المسجد فسوف تزيد الجاذبية المالية للمشروع. وتظهر النتيجة التي توصلنا إليها أن لتفعيل الطاقة الشمسية الكهروضوئية جدوى مالية للمساجد في المملكة العربية السعودية. وفي حال تم تطبيق صافي القياس، سينخفض صافي التكلفة الحالية بنسبة 22%. علاوة على ذلك، يمكن للدراسة - بالنظر إلى تفاصيلها - أن تكون عنصراً مشاركاً في توجيه عملية صنع السياسات المتعلقة بتفعيل الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية.



## النظرة العامة والنطاق

وعلى الرغم من أن اللوائح لم تتم الموافقة عليها وقت كتابة هذا التقرير في (ديسمبر 2018)، إلا أن مسودة اللائحة متاحة على الإنترنت ([www.ecra.gov.sa](http://www.ecra.gov.sa)). وكما ذكر أعلاه، فإن سياسة صافي القياس هي السياسة المقترحة مبدئياً (بارنل 2017).

## الافتراضات

### معلومات الموقع ومنحنى الحمل الكهربائي

يقع المسجد المستخدم في هذه الدراسة في مدينة الرياض ويعتبر مسجداً كبيراً بمساحة تقريبية تبلغ 2,300 متر مربع. وليكون تحديد الحجم المناسب لنظام الطاقة الكهروضوئية (البرمجة) دقيقاً، يجب أن يكون منحنى الحمل الكهربائي معروفاً. وبالتالي تم جمع بيانات الحمل الكهربائي لسنة كاملة مع دقة زمنية قدرها خمس دقائق. ومع ذلك، استخدمنا دقة زمنية ساعة (8,760 نقطة بيانات للعام بأكمله) لتحقيق توازن بين الدقة وإمكانية تتبع نتائج النموذج بشكل أيسر.

يجتمع المسلمون لأداء صلاة الجماعة في المساجد خمس مرات يومياً: عند صلاة الفجر والظهر والعصر والمغرب والعشاء. وهذا يعني أن مواقيت الصلاة تحكمها حركة الشمس، وبالتالي فهي تتغير بحسب الفصول أثناء السنة التقويمية. وعلى الرغم من هذه التحولات الزمنية المعتمدة على حركة الشمس، فإن المواقيت معروفة تماماً على مدار العام. ولأنها تعتمد على حركة الشمس، فإنها لا تتغير من سنة إلى أخرى. هذا الانتظام يجعل التنبؤ بمنحنى الحمل الكهربائي للمساجد سهلاً، مع وجود فرصة بسيطة للاختلاف وتشمل المواقيت أيضاً الخطب الأسبوعية التي تلقى في وقت صلاة الجمعة. إذا لم يقم مسجد معين بتوسعة مبناه، أو الاستثمار في تدابير كفاءة استخدام الطاقة عن طريق شراء مكيفات هواء جديدة أكثر كفاءة أو بطريقة أخرى كاتخاذ تدابير من شأنها التأثير على استهلاك الكهرباء، فمن المتوقع أن يكون هناك اختلاف يسير في الحمل الكهربائي من سنة إلى أخرى.

يدرس هذا البحث تصميم وتركيب نظام توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية بسعة 124 كيلوواط على سطح أحد المساجد الكبيرة في مدينة الرياض، عاصمة المملكة العربية السعودية، مع التركيز على الجانب الاقتصادي.

على المستوى "الجزئي"، ركزت التقييمات السابقة لبرامج التوليد الموزع للطاقة على الجوانب المتعلقة بالأنظمة نفسها، بما في ذلك الجدوى المالية (نومبي ومالينغا 2017 ونيهولم وآخرون 2017 و سومرفيلدت ومدني 2017) والتحليل الهندسي (كو وآخرون 2018 و لوبانغو وبانسال 2017) ودور تقنية تخزين الطاقة (على سبيل المثال البطاريات) (لانغ وآخرون 2016 و ميري وآخرون 2016 و وانغ وآخرون 2016).

وعلى المستوى "الكلي"، قامت المؤلفات العلمية أيضاً بتقييم خيارات دعم السياسات (أتسو وآخرون 2016 و دوسونكت و تيلاريتي 2010 و زاو وآخرون 2015)؛ الآثار البيئية (كنان وآخرون 2006 و تشيان وآخرون 2008)؛ خلق فرص العمل (فيشر وآخرون 2016 و بيغلز لوتكينهورست 2014 و وي وآخرون 2010) نماذج الأعمال (فيشر وآخرون 2016 و ريتشتر 2013 و تونغسبويت وآخرون 2016)؛ مخاوف عدم استقرار الشبكة بسبب تدفق الطاقة ثنائي الاتجاه عندما يتم تصدير الطاقة الفائضة المولدة من نظام الطاقة الكهروضوئية إلى الشبكة (أنصاري و لو 2016 و كوستر وآخرون 2011 وباسي وآخرون 2011). وبالطبع لن تغطي هذه الدراسة جميع الموضوعات المذكورة أعلاه وإنما ستركز على الجاذبية المالية لتركيب الألواح الشمسية الكهروضوئية على أسطح المساجد.

أعلنت المملكة العربية السعودية عن أهداف الطاقة المتجددة والتي تأخذ بعين الاعتبار الأنظمة على مستوى التوليد الموزع للطاقة وعلى نطاق المرافق. إلى جانب ذلك، أصدرت هيئة تنظيم الكهرباء والاستهلاك المزدوج لوائح مؤقتة تنظم عملية تبني التوليد الموزع للطاقة.

تشهد الفترة الفاصلة بين صلاة الفجر والظهر أدنى مستويات من الحمل الكهربائي: فالحمل خلال هذا الوقت ينخفض إلى حوالي 2 كيلوواط. هذه الملاحظة مهمة وستتم دراستها لاحقًا في البحث.

حددنا أيضًا وقت بلوغ الحد الأقصى للحمل الكهربائي - وهذه المعلومة سوف تساعد في تحديد سعة نظام الطاقة الكهروضوئية المراد تركيبه. وعلى سبيل المثال، يوضح الشكل 2 الوقت الذي يصل فيه الحمل إلى الذروة للأشهر من يوليو وحتى ديسمبر ويظهر أن استهلاك الطاقة اليومي يبلغ ذروته في المسجد خلال وقت مبكر من المساء بالتزامن مع صلاة المغرب. ومع ذلك، فإن الفرق بين فترة الذروة في الظهرية وفي المساء قليل نسبيًا ويعزى بشكل أساسي إلى الإضاءة الإضافية اللازمة في المساء.

يوضح الشكل 3 الحد الأقصى للحمل الكهربائي اليومي خلال نفس الفترة كما هو موضح في الشكل 2. وكما هو متوقع، يبدأ الحد الأقصى للحمل الكهربائي اليومي في الانخفاض بشكل كبير في شهر أكتوبر حيث تبدأ درجات الحرارة في الانخفاض وبالتالي يقل استخدام تكييف الهواء. هذا وقد بلغ الحمل الكهربائي ذروته في نهاية يونيو عند 176 كيلوواط.

يوضح الشكل 1 منحنيي الحمل الكهربائي للمسجد محل الدراسة: أحدهما يمثل يومًا صيفيًا والآخر يمثل يومًا شتويًا. نستطيع من البيانات الموضحة في الشكل 1 أن نلاحظ:

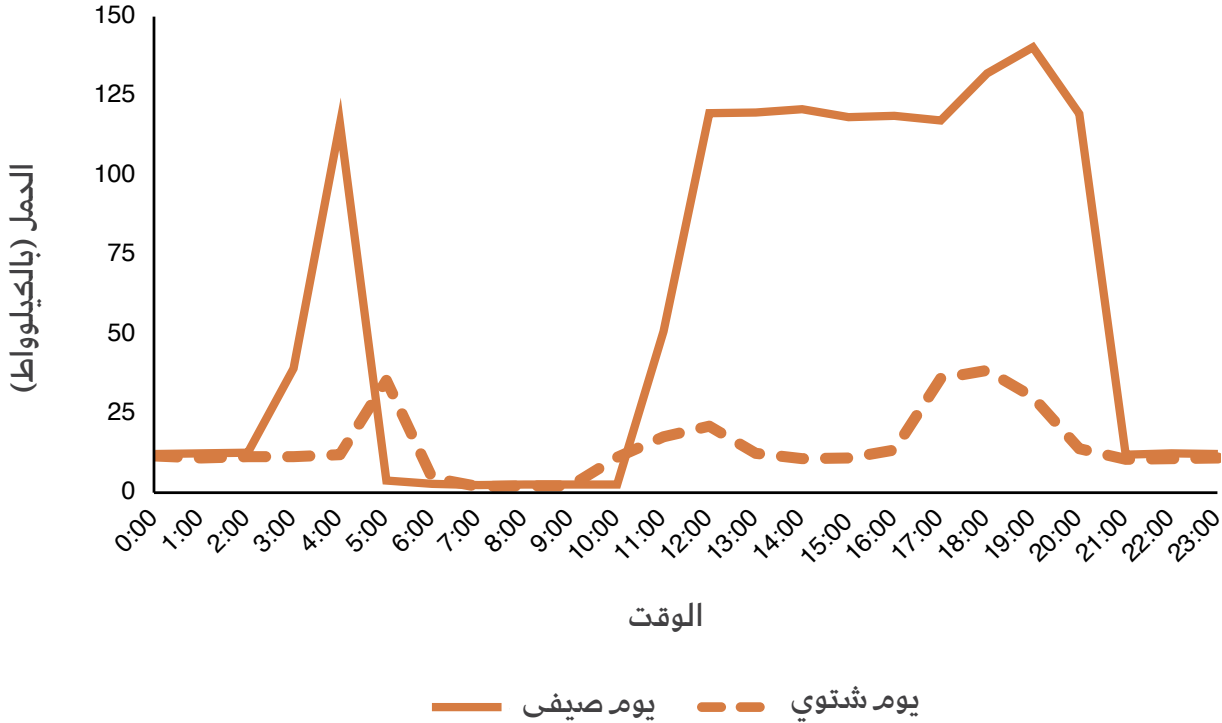
كما هو متوقع، يوجد اختلاف كبير في الحمل الكهربائي بين الصيف والشتاء بسبب ارتفاع متطلبات تكييف الهواء خلال أشهر الصيف. ويتجاوز فرق الحمل الكهربائي 100 كيلوواط خلال فترات الذروة الصيفية.

نظرًا لأن فترة النهار في الشتاء أقصر من الصيف (عند خط العرض لمدينة الرياض) فهناك فارق ساعة واحدة تقريبًا للذروة بين فصل الشتاء والصيف عند صلاة الفجر.

على الرغم من أنه لا توجد صلوات بين صلاة العصر والمغرب، إلا أن هناك أنشطة أخرى قد تقام في المساجد خلال هذه الفترة. وبالتالي يستمر عمل مكيفات الهواء في أشهر الصيف خلال هذا الوقت من اليوم.

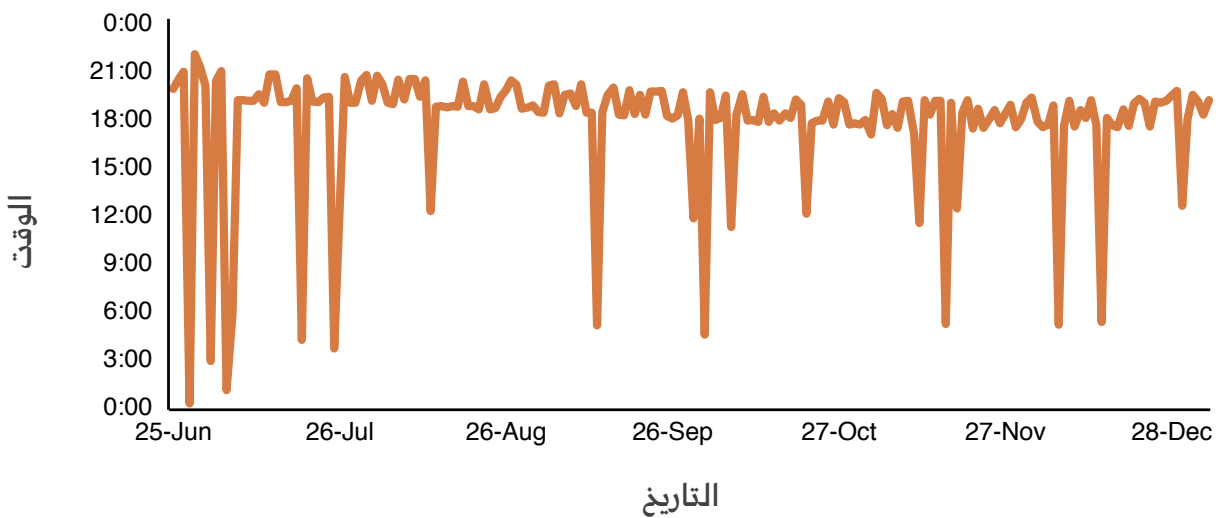
الحمل الكهربائي الأعلى (حسب مثال الشكل 1) يبلغ حوالي 140 كيلو واط، غير أن الحمل الذروي للمسجد كان 176 كيلو واط خلال فترة المساء.

**الشكل 1.** منحنيات الحمل الكهربائي للمسجد باستخدام يوم من أيام الصيف ويوم من أيام الشتاء كمثال. المنحنيات مبنية على البيانات التي تم قياسها.



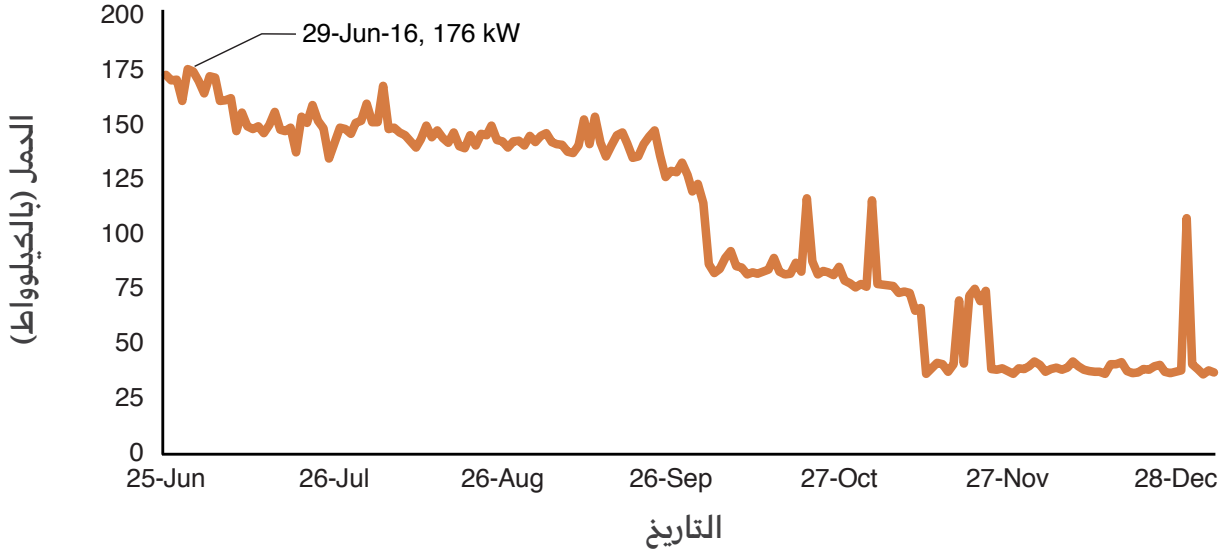
المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

**الشكل 2.** الفترة الزمنية من اليوم التي وصل فيها الحمل الكهربائي إلى الذروة. يرجى ملاحظة أن الحمل الكهربائي يصل ذروته عند حوالي الساعة 6 مساءً بالتزامن من صلاة المغرب.



المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

الشكل 3. الحد الأقصى للحمل الكهربائي اليومي (بالكيلوواط) للنصف الثاني من عام 2016. بلغ الحمل الكهربائي اليومي ذروته عند 176 كيلوواط في 29 يونيو.



المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

### الافتراضات المالية

الأمريكي لكل واط (دولار أمريكي/ واط)، بينما تم ذكر عناصر أخرى بالدولار الأمريكي فقط لأنه تم بيعها على أساس كل وحدة. وبالنسبة للافتراضات المالية الأخرى التي قد تؤثر على قرار المشتري المتعلق بتركيب أنظمة الطاقة الشمسية على السطح وليست مرتبطة بالتركيب المادي نفسه، مثل سعر الخضم وسعر شبكة الكهرباء المحلية فسيتم تغطيتها قريباً. سعر وحدة الألواح الشمسية المستخدمة في هذه الدراسة هو السعر الذي تم تطبيقه في أوائل عام 2017. ومع ذلك فإنه إن تم تشغيل المشروع في وقت كتابة هذا التقرير، فسوف تكون التكلفة أقل.

### الافتراضات الفنية والتشغيلية

الافتراضات الفنية والتشغيلية، بالإضافة إلى افتراضات التكلفة الرأسمالية، لها تأثير كبير على الجدوى المالية لتركيب الأنظمة الشمسية وقد تم تلخيصها في الجدول

تستفيد تقنيات الطاقة المتجددة – مثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية – من انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة. وبشكل أكثر تحديداً، تعتبر تكاليف التشغيل والصيانة المتغيرة، والتي ترتبط عادةً بتكاليف الوقود، غير موجودة عملياً. وهذا يترك عنصر تكلفة ثابت وصغير للتشغيل والصيانة يتم مراعاته. ولهذا السبب، تبلغ التكلفة الهامشية لتوليد معظم تقنيات الطاقة المتجددة ما يقارب الصفر (لاي و ماكلوتش 2017).

وبناء على ذلك، تعتبر التكلفة الرأسمالية هي العنصر المالي الرئيس الذي يؤثر على قرار تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية. يلخص الجدول 1 التكاليف المرتبطة بتركيب نظام الطاقة الشمسية على السطح لغرض الدراسة – كما هو موضح من قبل البائعين المحليين. لاحظ أنه تم ذكر بعض عناصر التكلفة بالدولار

الجدول 1: التكاليف الرأسمالية:

الوحدة	التكلفة	الصنف
دولار أمريكي/ واط	0.405	اللووح الشمسي
	0.133	العاكس الكهربائي
	0.343	التركيبات الأرضية (هيكل ميكانيكي)
	0.052	كابلات التيار المستمر
	0.011	كابلات التيار المتردد
	0.080	تكلفة اليد العاملة (للتكريب)
دولار أمريكي	782	صندوق توصيل التيار المستمر
	1.970	مُرَجِّل الحماية
	230	عدّاد الكهرباء
	75	مفتاح محكوم
	135	وحدة التحكم

المصدر: تحليل المؤلفين بناءً على أسعار البائعين المحليين باستثناء الوحدات وبعض أنشطة التصميم. (تم توفير الوحدات والعاكس عن طريق مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بسعر التكلفة، وتم إجراء أنشطة التصميم كجزء من أبحاث المؤلفين).

الخصم "الصحيح" ليس سهلاً. ولأن سعر الخصم يحدد القيمة الزمنية للاستثمار، تختلف معدلات الخصم باختلاف الأفراد المستثمرين والقطاع الخاص والحكومة. فبالنسبة للأفراد، تميل معدلات الخصم إلى أن تحسب من خلال الدراسات الاستقصائية ويمكن أن تصل إلى 60% (بنزيان و رابوبورت وياغل 1989 و إنزله وديكمن وماير 2014 و هاريسون و لاو وويليم 2002 وماير و ويتير 1983). بينما للقطاع الخاص، تكون إحدى الطرق لحساب معدل الخصم من خلال تكلفة فرصة المشروع الضائعة المتعلقة بالاستثمارات الأخرى (التي تنطبق أيضاً على الأفراد). وهذا سوف يختلف وفقاً للقطاع.

أما للحكومات، فهي لا تطرح المشاريع بهدف الربح غالباً، ولأن هذا المشروع يعتبر مشروعاً للبحث والتطوير، فقد اخترنا استخدام معدل خصم قدره 3 بالمائة، وهو أقل من المعدل المستخدم في القطاع الخاص (غراوت 2003 و بارك 2012). نحن على دراية بأن النقاش حول معدلات

تشمل هذه الافتراضات المواصفات المتعلقة بنظام الطاقة الكهروضوئية نفسه والمصادر الشمسية والافتراضات المالية "الخارجية" (مثل معدل الخصم والتضخم).

تعتبر المعايير المدرجة في الجدول 2 ذاتية ذاتية التفسير باستثناء ثلاثة منها وهي: عامل انخفاض الكفاءة البالغ 85%، ومعدل الخصم البالغ 3%، وسعر الكهرباء. عامل انخفاض الكفاءة هو المعيار الذي يصف كفاءة نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية. وهنا، فإن عامل انخفاض كفاءة 85% يعني أن النظام يخسر 15% من الطاقة. وفي حالتنا، يندرج تحت عامل انخفاض الكفاءة جميع خسائر نظام الطاقة الكهروضوئية، بما في ذلك الخسائر التي تحدث بسبب تظليل المنطقة. وبالنسبة لخسائر العاكس الكهربائي فهي تؤخذ بالاعتبار بشكل منفصل.

من الثابت في المؤلفات العلمية أن الوصول إلى معدل

مهمة لأن نوع الدعم وحجمه – إن وجد – سيؤثران على سعة نظام الطاقة الكهروضوئية (واتس وآخرون 2015 و ياماماتو 2012). ففي وضع لا يتم فيه تطبيق صافي القياس أو التعرفة حسب التغذية، سيتم تصميم حجم النظام ليتوافق مع الحمل الكهربائي (وقت الذروة). بينما إذا تم تطبيق صافي القياس فستكون هناك قيمة لزيادة حجم نظام الطاقة الكهروضوئية. وفي أي وقت من الأوقات، إذا كانت الطاقة الكهروضوئية المولدة أعلى من الحمل فسيتم تصدير الطاقة الفائضة على الفور إلى الشبكة بسعر الكهرباء. وإذا كان العميل في نهاية دورة الفوترة (شهرياً أو سنوياً) مستورداً، فسوف يسدد قيمة الطاقة المستخدمة. وبالمثل، إذا كان العميل مصدرًا في نهاية دورة الفوترة، فستدفع المرافق للعميل مبلغًا مقابل التصدير بسعر محدد مسبقًا يشار إليه بسعر صافي الطاقة المصدرة. يعتبر سعر صافي الطاقة المصدرة عمومًا أقل من سعر الكهرباء، ومعظم برامج صافي القياس تطلب من المرافق إعادة شراء الطاقة المولدة الفائضة من مالك العقار إما بسعر الجملة (بورينستاين 2017) أو بالتكلفة المجنبة (وان 1996). وتمثل التكلفة المجنبة عادة تكلفة الوقود دون تضمين تكاليف السعة والنقل. تجدر الإشارة إلى أن هيئة تنظيم الكهرباء في المملكة العربية السعودية لم تحدد سعر صافي الطاقة المصدرة، إلا أنه لتحقيق الغرض من هذا البحث افترضنا أن سعر صافي الطاقة المصدرة هو 0.02 دولار أمريكي/كيلوواط. ساعة.

يهتم تحليلنا بسيناريوين رئيسيين: سيناريو لا دعم لأي سياسة وسيناريو صافي القياس. وكما هو الحال مع أي عملية نمذجة أخرى، يجب وضع النتائج بعد الحصول عليها في سياقها وتفسيرها ضمن إطارها الصحيح. مراعاةً للعوامل مثل قيود الميزانية والمساحة.

الخصم واختيارها ليس موضوعًا متفقًا عليه، ولن تتناول هذه الورقة الموضوع بشكل أكبر لأنه ليس من أهدافها الأساسية. ومع ذلك، حتى لو تم استخدام معدل خصم أعلى (على سبيل المثال 5 بالمائة)، فإن الجوانب الرئيسية لهذه الورقة ستظل ذات صلة.

أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على جاذبية تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية هو سعر الكهرباء. يدفع القطاع الحكومي في المملكة العربية السعودية المعدل الأعلى من بين القطاعات: 0.32 ريال سعودي / كيلوواط. ساعة (0.0853 دولار أمريكي / كيلوواط. ساعة) بغض النظر عن الاستهلاك. ويدفع القطاع السكني والتجاري 0.18 ريال سعودي / كيلوواط. ساعة و 0.20 ريال سعودي / كيلوواط. ساعة لأول 6,000 كيلوواط. ساعة من الاستهلاك على التوالي، ويدفع كلاهما 0.30 كيلوواط ساعة إضافي. وللحفاظ على تنافسية الصناعات، يدفع القطاع الصناعي تعرفة ثابتة قدرها 0.18 ريال سعودي / كيلوواط. ساعة (0.048 كيلوواط/ساعة). تميل هذه الأسعار إلى أن تكون أقل من متوسط الأسعار في العالم إلا أنه تم تصحيحها في الفترة الاخيرة اعتبارًا من أوائل عام 2018 حيث كانت أسعار الكهرباء قبل ذلك أقل بكثير.

### المنهجية

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجدوى الاقتصادية لتركيبة نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على سطح أحد المساجد. وسيتم تحقيق الهدف الأخير بتقليل صافي القيمة الحالية للتكاليف، والتي نشير إليها باسم صافي التكلفة الحالية فيما بعد. وللمساعدة في برمجة وربط جميع المعايير المعروضة في القسم السابق، نستخدم HOMER، وهو منتج برمجي متوفر في السوق لتسهيل تحليل عملية توليد الطاقة المتجددة وتفاعلاتها مع الشبكة.

يرجى ملاحظة أن التفاصيل التنظيمية وتفاصيل السياسة

الجدول 2. الافتراض الفني والتشغيلي المستخدم لتحليل نظام الطاقة الكهروضوئية.

المعيار	القيمة	الوحدة
البيئي	المصدر الشمسي	الرياض
	درجة الحرارة	الرياض
	انعكاسية الأرض	20
الفني	كفاءة الوحدة في ظروف الاختبار الاعتيادية	16.6
	درجة حرارة التشغيل الاسمية	47
	معامل التراجع السنوي لكفاءة الوحدة	0.5
	معامل فقدان الطاقة التي تعتمد على درجة الحرارة	0.4
	ميل اللوح الشمسي من الخط العامودي	65
	السمت (شرق الجنوب)	20
	عمر العاكس	10
	كفاءة العاكس	96
	تكلفة استبدال العاكس	0.10
	عمر النظام	25
	عاما انخفاض الكفاءة	85
	المالي	تكلفة التشغيل والصيانة
معدل الخصم		3
التضخم السنوي		2
سعر شراء الكهرباء من الشبكة		0.0853

## ملخص النتائج

هو 0.02 دولار أمريكي/ كيلوواط. ساعة.

ومع ذلك، فإن المنطقة التي يمكن استغلالها من سطح المسجد تسمح فقط بتكريب نظام الطاقة الكهروضوئية بسعة 124 كيلوواط (انظر أدناه لمزيد من التفاصيل). تبين عند سعة 124 كيلوواط أن صافي التكلفة الحالية يساوي 581,606 دولار أمريكي، في حين أن التكلفة الرأسمالية تزيد لتصل إلى 134,030 دولار أمريكي وحصّة طاقة المسجد التي توفرها ألواح الطاقة الشمسية تزيد أيضاً لتصل إلى 25 بالمائة. تبلغ التكلفة المعيارية لإنتاج الطاقة عند هذه السعة لنظام الطاقة الكهروضوئية 0.054 دولار أمريكي / كيلوواط. ساعة، أي أقل بكثير من سعر الكهرباء القياسي البالغ 0.0853 دولار أمريكي/ كيلوواط. ساعة.

على الرغم من أن قيم التكلفة الرأسمالية المذكورة قد تبدو في البداية متناقضة مع المعلومات الواردة في الجدول 1، إلا أنه تجدر الإشارة إلى أن النموذج الرياضي في السيناريو (أ) يختار بناء عاكس من أي حجم (45 كيلوواط في هذه الحالة). بينما السيناريو (ب) يخصص عاكساً بإجمالي قدرة استيعابية تساوي 30 كيلوواط أو مضاعفات ذلك. وذلك لأن العواكس التي قدمتها مدينة

يلخص الجدول 3 أدناه نتائج التحليل. بالإضافة إلى السيناريوين المذكورين أعلاه (لا دعم لأي سياسة وصافي القياس)، أدرجنا سيناريو "عدم القيام بأي إجراء" ويدل على عدم تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية على السطح. ويشار إلى هذه السيناريوهات (أ- ب- ج) على التوالي.

بلغ الحد الأدنى لصافي التكلفة الحالية للسيناريو (أ) 726,522 دولار أمريكي بافتراض أن سعة نظام الطاقة الكهروضوئية المركب هي 65 كيلوواط التي يمكنها تلبية ما يقارب 16% من احتياجات المسجد للكهرباء سنويا من خلال نظام الطاقة الشمسية المثبت على السطح. إن مقدار الطاقة الذي تم إعادة بيعه للشبكة أو تصديره - الذي بلغ 38.927 كيلوواط/الساعة - لا يتم تعويضه في هذا السيناريو لأنه لا يوجد سياسة لصافي القياس. بينما مع تطبيق سياسة صافي القياس السنوي، يتضح أن سعة الطاقة الكهروضوئية المثلى لما يقارب 250 كيلوواط تحقق الحد الأدنى لصافي التكلفة الحالية بافتراض أنه لا يوجد قيود على مساحة ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية وأن صافي سعر تصدير الفائض

الجدول 3. نتائج نمذجة السيناريوهات الثلاثة. انظر إلى النص لمعرفة تفاصيل حسابات التكلفة الرأسمالية والقيم.

السياريو	سعة نظام الطاقة الكهروضوئية المركب (كيلوواط)	صافي التكلفة الحالية بالدولار الأمريكي	التكلفة الرأسمالية بالدولار الأمريكي	نسبة الحمل الكهربائي الذي خففه نظام الطاقة الكهروضوئية (النسبة المئوية)	الطاقة المصدرة سنوياً (كيلوواط/الساعة)
أ. الطاقة الكهروضوئية دون دعم	65	726,522	65,785	16	38,927
ب. الطاقة الكهروضوئية مع صافي القياس (السنوي)	124	581,606	134,030	25	94,184
ج. سياسة عدم القيام بأي إجراء (الشبكة فقط)	--	747,685	--	--	--



الرأسمالية للمشروع أقل بكثير في وقت كتابة هذا البحث (أي في ديسمبر 2018).

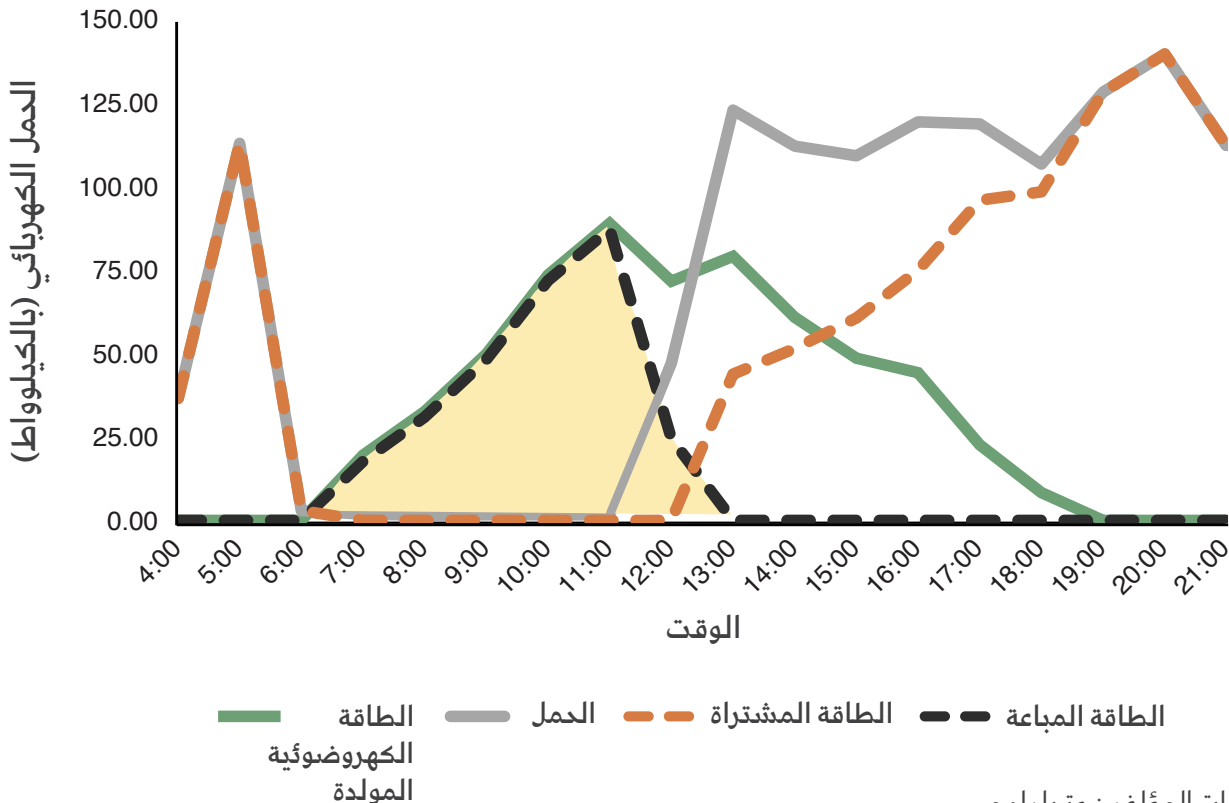
### دور صافي القياس

على الرغم من أن سيناريو صافي القياس يضاعف التكلفة الرأسمالية لمشروع الدراسة مقارنةً بسيناريو لا دعم لأي سياسة، إلا أن صافي التكلفة الحالية له يعتبر أقل بكثير. ولفهم السبب وراء ذلك، قمنا بتحليل منحنى الحمل الكهربائي وتوليد الطاقة الكهروضوئية ومشتريات الشبكة ومبيعاتها. وكما يوضح الشكل 1، فإنه لا يوجد أي حمل كهربائي تقريباً في الفترة بعد صلاة الفجر وقبل صلاة الظهر بقليل خلال أشهر الصيف والشتاء. فخلال هذه الفترة الصباحية، يمكن بسهولة تصدير أي طاقة مولدة من النظام الشمسي إلى الشبكة.

الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية للمشروع كانت عبارة عن عواكس بقدرة 30 كيلوواط. تعتبر قدرة العاكس الكلية التي تبلغ 124 كيلوواط هي الأمثل – ونتيجة لذلك تم تركيب خمسة عواكس بقدرة 30 كيلوواط لتصل قدرة العاكس الكلية في الموقع إلى 150 كيلوواط.

التكلفة الرأسمالية للسيناريو (ب) الذي تم تطبيقه كان 1.08 دولار أمريكي/ واط. ونظراً لطبيعة هذا المشروع، تم توفير كل من الوحدات والعواكس بسعر التكلفة وتوفير العديد من جوانب التصميم مجاناً. قرّبنا هذه التكاليف غير المُحصلة لتكون 0.10 دولار أمريكي/ واط وأضفناها إلى التكلفة الرأسمالية، وبالتالي أصبح إجمالي التكلفة الرأسمالية 1.18 دولار أمريكي/ واط تقريباً. ونذكر مرة أخرى أن هذه التكاليف تعكس الأوضاع السائدة في أوائل عام 2017 عندما كان المشروع في مرحلة التصميم. بيد أننا نتوقع أن تكون التكلفة

**الشكل 4.** الكهرباء المولدة من نظام الطاقة الكهروضوئية والحمل الكهربائي والطاقة التي تم الحصول عليها من الشبكة والكهرباء التي تم بيعها للشبكة خلال أحد أيام الصيف. تمثل المنطقة الصفراء إجمالي الطاقة التي تم إعادة بيعها للشبكة.



المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

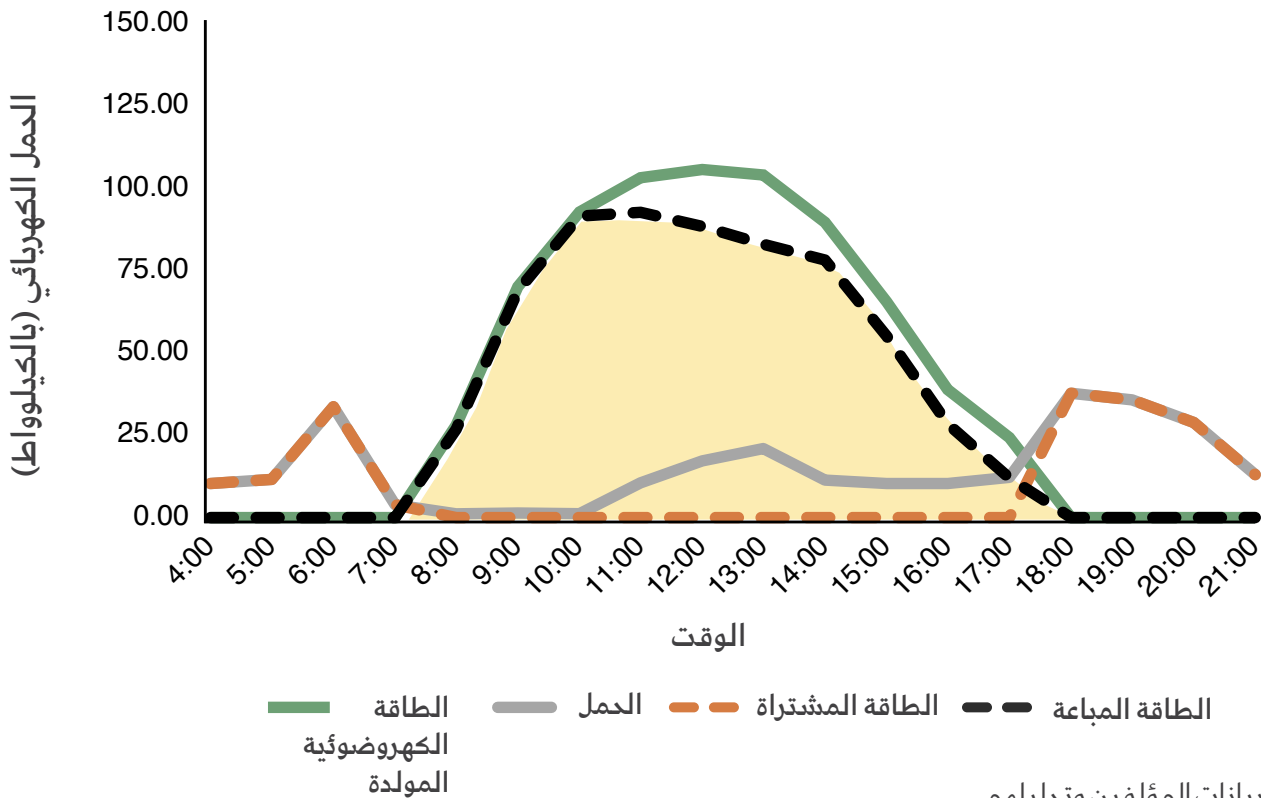
الشتاء تكون دائماً أكبر من الحمل الكهربائي باستثناء فترة زمنية قصيرة قبل المغرب. وبالتالي، يتم استخدام نسبة صغيرة من الطاقة المولدة من الألواح الشمسية لتغطية الحمل الكهربائي وتصدير الباقي إلى الشبكة. وكما هو متوقع، سيكون المسجد مع هذا الحمل الكهربائي ومنحنى توليد الطاقة الكهروضوئية مصدرًا لصافي الطاقة خلال أشهر الشتاء.

بترجمة المعلومات الواردة من الناحية المالية، يوضح الجدول 4 (أدناه) استهلاك الطاقة الشهري للمسجد واختلاف سيناريو "عدم القيام بأي إجراء" و سيناريو صافي القياس. ففي سيناريو عدم القيام بأي إجراء، يبلغ استهلاك الطاقة السنوي للمسجد 397,043 كيلوواط. ساعة بتكلفة 33,880 دولار أمريكي، إلا أنه بتركيب نظام الطاقة الكهروضوئية وتطبيق صافي

هذه الظاهرة موضحة في الشكلين 4 و 5، حيث تم عرض الطاقة المولدة من نظام الطاقة الكهروضوئية والحمل الكهربائي للمسجد ومشتريات الشبكة (أي الطاقة المشتراة من الشبكة) ومبيعات الشبكة (أي الطاقة المعاد بيعها إلى الشبكة) ليوم عادي في فصل الصيف والشتاء. في الشكل 4 (أحد أيام الصيف)، تتجاوز الطاقة المولدة من نظام الطاقة الكهروضوئية المركب على السطح الحمل الكهربائي من الساعة 6 صباحًا حتى الظهر تقريبًا لذا يتم تصديرها إلى الشبكة. أما في فترة ما بعد الظهر، يصبح الحمل الكهربائي أكبر من الطاقة المولدة في الموقع، وتزيد الحاجة إلى شراء الطاقة من الشبكة.

من ناحية أخرى، وكما هو مبين في الشكل 5، فإن الطاقة المولدة عبر نظام الطاقة الكهروضوئية خلال أحد أيام

**الشكل 5.** الكهرباء المولدة من نظام الطاقة الكهروضوئية والحمل الكهربائي والطاقة التي تم الحصول عليها من الشبكة والطاقة التي تم بيعها للشبكة خلال أحد أيام الشتاء. تمثل المنطقة الصفراء إجمالي الطاقة التي تم إعادة بيعها للشبكة.



المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

## نتائج النموذج

والاستهلاك الذاتي تصل إلى 101,006 كيلوواط. ساعة (غير موضحة في الجدول 4). وكما هو متوقع وفي ظل هذا السيناريو، يعتبر المسجد مستورداً لصافي الطاقة بشكل عام، على الرغم من أنه مصدر لها خلال أشهر يناير وفبراير ونوفمبر وديسمبر.

القياس تم خفض فاتورة الطاقة السنوية للمبنى بأكثر من 50 بالمائة لتصل إلى 16,546 دولار أمريكي. إن مصادر الوفورات مضاعفة: الطاقة التي يتم تصديرها (102,068 كيلوواط. ساعة)، والتي تصل إلى ما يقارب ربع إجمالي الاستهلاك السنوي، والطاقة التي يتم توليدها بواسطة نظام الطاقة الكهروضوئية

**الجدول 4.** استهلاك الكهرباء الشهري للمسجد وفاتورة الكهرباء اللاحقة لسيناريو الشبكة فقط وصافي القياس. أي اختلافات يرجع سببها إلى التقريب.

الشبكة+ الطاقة الكهروضوئية (124 كيلوواط) مع صافي القياس				الشبكة فقط		الحمل الكهربائي (كيلوواط. ساعة)	الشهر
فاتورة الكهرباء السنوية النهائية بالدولر الأمريكي*	صافي الطاقة المشتراة من الشبكة (كيلوواط. ساعة)	الطاقة المباعة للشبكة (كيلوواط. ساعة)	الطاقة المشتراة من الشبكة (كيلوواط. ساعة)	الفواتير مستحقة الدفع بالدولر الأمريكي	الطاقة المشتراة من الشبكة (كيلوواط. ساعة)		
-	(4,164)	11,706	7,542	896	10,505	10,505	يناير
-	(5,405)	11,924	6,518	807	9,455	9,455	فبراير
-	11,273	7,400	18,673	2,442	28,622	28,622	مارس
-	27,979	5,997	33,976	3,839	44,991	44,991	أبريل
-	27,288	6,602	33,890	3,892	45,614	45,614	مايو
-	52,452	7,718	60,170	6,045	70,845	70,845	يونيو
-	27,579	6,356	33,935	3,946	46,243	46,243	يوليو
-	27,742	6,525	34,266	3,961	46,418	46,418	أغسطس
-	27,585	6,375	33,960	3,877	45,438	45,438	سبتمبر
-	10,064	8,438	18,502	2,406	28,200	28,200	أكتوبر
-	(5,064)	12,152	7,089	866	10,146	10,146	نوفمبر
-	(3,360)	10,876	7,516	901	10,564	10,564	ديسمبر
<b>16,546</b>	<b>193,969</b>	<b>102,068</b>	<b>296,037</b>	<b>33,880</b>	<b>397,043</b>	<b>Total</b>	

المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

\* نظراً لتطبيق آلية صافي القياس سنوياً فلن يتم دفع الفواتير شهرياً.

# مقارنة النموذج بالقياسات الميدانية

في قاطع الدائرة الكهربائية الرئيسية في المسجد إضافة إلى تثبيت نظام اتصالات وربطه بواجهة المستخدم للتمكن من مراقبة النظام والتحكم فيه عن بعد.

في السنة الأولى من تشغيل المشروع تمكنا من الحصول على مجموعة كبيرة من البيانات. وللإيجاز، تقارن هذا البحث نتائج توليد الطاقة و حسب: فالجدول 5 يقارن أداء النظام الفعلي والمتوقع من سبتمبر 2017 إلى أغسطس 2018. وكما يتبين من الجدول 5 تتوافق نتائج النموذج النظري مع نتائج النظام الفعلي الذي تم تشغيله - مع متوسط اختلاف على مدار العام بحوالي 6 بالمائة شهرياً.

للنظام التجريبي الذي تم تركيبه، تم استخدام ما مجموعه 460 وحدة، بمعدل طاقة 270 واط لكل منها، لتصل بذلك السعة الإجمالية لتركيب نظام الطاقة الكهروضوئية على السطح في ظروف الاختبار القياسية إلى 124.2 كيلوواط. وكما ذكرنا آنفاً، تم استخدام خمسة عواكس للنظام، لكل منها قدرة 30 كيلوواط. يعكس الشكل 6 صورة للنظام المثبت بالكامل.

تم تشغيل نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على السطح في أغسطس 2017 ومراقبته عن كثب منذ ذلك الحين. كما تم تركيب جهازين لقياس جودة الطاقة كجزء من المشروع: أحدهما في طرف الإرسال لوحدية التغذية ذات الجهد المتوسط الذي يوفر الطاقة للمسجد، والآخر

**الشكل 6.** نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية بسعة 124 كيلوواط الذي تم تركيبه على سطح المسجد وتشغيله.



## مقارنة النموذج بالقياسات الميدانية

الجدول 5. توليد الطاقة الشهري من نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية المثبت على السطح كما تم حسابه من خلال النموذج وقياسه من النظام المركب.

الذئهر	إجمالي توليد الطاقة الكهروضوئية بالكيلوواط. ساعة (من النموذج)	التوليد الفعلي للطاقة الكهروضوئية بالكيلوواط. ساعة (من الميدان)	نسبة الاختلاف
سبتمبر 2017	17,853	17,434	2.3
أكتوبر 2017	18,136	17,671	2.6
نوفمبر 2017	15,209	12,978	14.7
ديسمبر 2017	13,924	13,371	4.0
يناير 2018	14,669	12,466	15.0
فبراير 2018	14,861	12,861	13.5
مارس 2018	17,349	19,246	10.9
أبريل 2018	17,012	16,850	1.0
مايو 2018	18,326	17,772	3.0
يونيو 2018	18,393	18,250	0.8
يوليو 2018	18,664	19,483	4.4
أغسطس 2018	18,677	19,451	4.1
معدل الاختلاف الشهري			6.4

ستشمل التدفق الخارجي للأموال، في حين أن الطاقة المولدة من نظام الطاقة الكهروضوئية (المستخدمة والمصدرة) تعتبر التدفق الداخلي للأموال. وبذلك يتم حساب معدل العائدات الداخلي بسهولة على أنه 11%، مما يعني أن أي معدل خصم أقل من هذه القيمة سيجعل المشروع صالحاً للتطبيق. اخترنا للدراسة نسبة 3% ومع ذلك فإن الخصم الأعلى من ذلك لن يغير الرسالة الجوهرية للورقة.

استناداً إلى النتائج الموضحة في الجدول 5، يتضح أن عامل السعة لنظام الطاقة الكهروضوئية باستخدام النموذج هو 18.7 بالمائة، مقارنةً بـ 18.2 بالمائة باستخدام البيانات المعيارية. لذا نعتبر هذه القيمة العددية التي تم الحصول عليها من الميدان قابلة للاستخدام في مشاريع مماثلة في المنطقة.

وبالنظر إلى الوضع المالي للمشروع من زاوية مختلفة، يمكن حساب معدل الداخلي للمشروع على افتراض أن التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل والصيانة الثابتة

ولتحقيق هذه الغاية أطلقت الهيئة العامة للأوقاف في المملكة العربية السعودية مشروع صناديق الاستثمار الذي يهدف إلى تحقيق الاستقرار المالي والاستدامة للهيئات غير الربحية (جريدة عرب نيوز 2018). وعلى الرغم من أنه لن تكون هناك عوائد مالية من تشغيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على أسطح المساجد، إلا أنها سيحقق وفورات كبيرة في التكاليف.

### التأثير على فواتير الكهرباء

لقد بين هذا البحث أن تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية على أسطح المساجد الكبيرة في المملكة العربية السعودية يعد مجدياً من الناحية المالية، بدون أي دعم. وعندما تمت دراسة آلية صافي القياس المقترحة للمملكة العربية السعودية أشارت النتائج الدولية للنموذج إلى أنه يلزم تركيب نظام بسعة 250 كيلوواط تقريباً لتقليل صافي التكلفة الحالية. وتبين أن فاتورة الكهرباء السنوية لذلك الحجم ونوع تركيب الطاقة الشمسية الكهروضوئية كانت قريبة من الصفر أي أن عائدات تصدير الطاقة الفائضة إلى الشبكة تعادل تقريباً تكلفة ما يشتري من طاقة من الشبكة.

ومع ذلك، لم يكن من الممكن تركيب هذا القدر من السعة على سطح مسجد الدراسة. وعلى الرغم من أن المساحة الكلية للسطح – من حيث القيمة المطلقة – كان من الممكن نظرياً أن تستوعب 250 كيلوواط، إلا أن المساحة التي يمكن الوصول إليها لم تكن كبيرة بما يكفي. عندما تم بناء المسجد، لم يؤخذ بالحسبان إمكانية تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية على السطح في المستقبل. يظهر الشكل 7 منظرًا جويًا تخطيطيًا لسطح المسجد ومكان تركيب الوحدات الكهروضوئية. تمثل المناطق المظللة قطرياً نظام الطاقة الكهروضوئية المركب – تشغل وحدات تكييف الهواء والقنوات ووحدات الخدمة الأخرى الجزء المتبقي من مساحة السطح.

تعتبر التكلفة الرأسمالية لنظام الطاقة الكهروضوئية العائق المالي الرئيس لتركيبه. فبالنسبة للمباني العامة – بما في ذلك المساجد – يوجد مصدران رئيسان لرأس المال: تمويل الدولة أو نموذج ملكية طرف ثالث (ديفيدسون وآخرون 2015 ؛ وهونج وآخرون 2018). ووفقاً لنموذج تمويل ملكية طرف ثالث، تقوم شركة خدمات الطاقة، على سبيل المثال، بتركيب نظام الطاقة الشمسية وتحمل جميع التكاليف الرأسمالية أو معظمها، وهي مسؤولة عن الحفاظ على النظام لفترة متفق عليها بعد التشغيل. تقوم الشركة بعد ذلك باسترداد استثماراتها من خلال اتفاقية شراء الطاقة (لام ويو 2016) أو اتفاقية التأجير (راي وسيغرن 2013). تنتشر ملكيات الطرف الثالث في مناطق عديدة حول العالم (ستروبيت وبام 2016)، وخاصة في الولايات المتحدة (فو وآخرون 2017). كما توجد في دول العالم اختلافات ونماذج تمويل أخرى (هورفيت و زيبو 2018).

تعتبر التبرعات الخيرية مصدراً آخر لتمويل المساجد ودور العبادة بشكل عام. ولكن التغييرات في البيئات الاقتصادية والاجتماعية والسياسية العالمية تجعل الموارد المخصصة للجمعيات الخيرية في شح متزايد (غريس و غريفن 2006). ويمكن اختصار الدوافع وراء المساهمة في الأعمال الخيرية العامة أو التبرعات فيما يلي: (أ) سياسية: بناء مكانة سياسية أو تغيير الرأي العام؛ (ب) مالية: للتمتع بمزايا مالية مثل الإعفاءات الضريبية؛ أو (ج) دينية: للحصول على الفائدة الروحية أو السعادة الأبدية (ديغاسبيري و ميناردس 2017). تندرج التبرعات المقدمة إلى دور العبادة – سواء أكانت من أفراد أو منظمات – ضمن الفئة الأخيرة ويتم الاعتماد عليها كآلية تمويل مهمة في العالم لجميع الديانات المختلفة.

على المستوى العالمي وفي المملكة العربية السعودية على وجه الخصوص، هناك اهتمام متزايد بتطوير الأوقاف المالية وإدارة عوائدها (عبيد الله 2016).

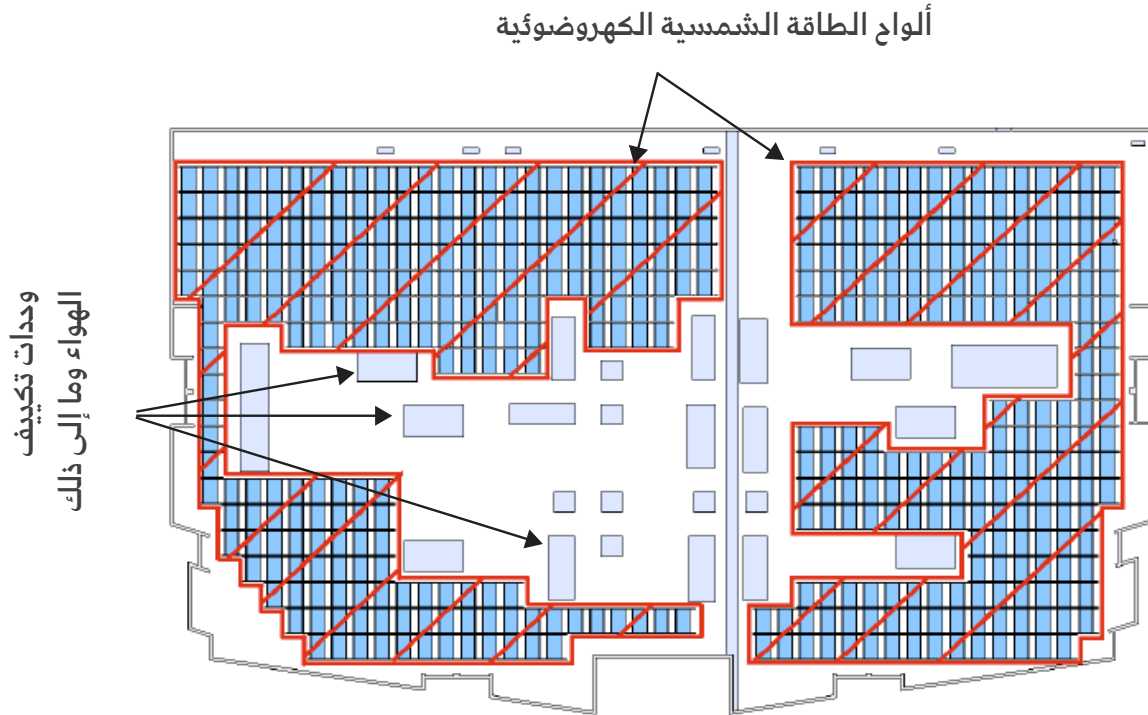
تعويض أقل مقارنةً بسيناريو صافي القياس السنوي حيث يتم تعويض الطاقة الفائضة شهرياً بسعر الكهرباء للأشهر التالية الذي يكون أعلى من سعر صافي تصدير الطاقة.

إذا كان صافي سعر تصدير الطاقة مرتفعاً بما يكفي فقد يحفز على تركيب أنظمة الطاقة الكهروضوئية فوق السطح بحجم أكبر من اللازم (شريطة أن يكون رأس المال مضموناً)، مما يسمح باستغلال الشبكة الإضرار بها، إن هدف السياسة الرئيس من تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية على أسطح المساجد يكمن في تقليل فواتير الكهرباء للمسجد قدر الإمكان - وليس بالضرورة كسب المال. لذا من المهم تصميم سياسة توفر الحوافز المناسبة لتحقيق الأهداف المرجوة.

تمكن تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية بسعة 124 كيلواط مع تطبيق صافي القياس من خفض فاتورة الكهرباء السنوية للمسجد بحوالي 50 بالمائة. لم يكن لصافي سعر تصدير الطاقة الذي افترضنا أنه 0.02 دولار أمريكي / كيلواط ساعة دور في التحليل حيث بلغ إجمالي صافي وارداته من الشبكة في نهاية دورة إعداد الفواتير (سنوياً في هذه الحالة) 194,000 كيلواط ساعة (انظر إلى الجدول 4).

إذا تم تطبيق سياسة صافي القياس الشهرية فسيكون وضع المسجد بالنسبة لصافي الاستهلاك هو وضع التصدير في أربعة أشهر في السنة (انظر إلى الجدول 4). ووفقاً لهذا السيناريو، سيتم منح المسجد كل شهر قيمة مساوية لنتاج صافي الطاقة المصدرة شهرياً ولسعر تصدير صافي الطاقة. وبذلك، يحصل المستهلك على

**الشكل 7.** منظر جوي لسطح المسجد، يُظهر أنه لا يمكن تركيب الألواح الكهروضوئية على كامل مساحة سطح المبنى بسبب وجود وحدات تكييف الهواء والقنوات وما إلى ذلك.



المصدر: بيانات المؤلفين وتحليلهم.

## الآثار المترتبة على الشبكة / المرافق

ذكرنا سابقاً في هذه الورقة أن نظام الطاقة الكهروضوئية المركب على سطح المسجد يعتبر نظاماً للتوليد الموزع للطاقة. وتوصلنا إلى أن تركيب نظام الطاقة الكهروضوئية مفيد للمسجد، فالتوليد الموزع للطاقة يقدم العديد من الفوائد للشبكة. فمثلاً قد يسهم النظام في تقليل الحمل الكهربائي وقت الذروة (يانغ وآخرون 2014)، والتحكم في التردد وتصحيحه (غوو وآخرون 2015)، وتأجيل الاستثمارات الرأسمالية التي قد تحتاجها المرافق لتلبية الطلب المتزايد (براون وآخرون 2001).

من ناحية أخرى، يفرض التوليد الموزع للطاقة بعض التحديات، مثل الحمل الزائد المحتمل للشبكة الموزعة (أكرمنن ونيازكن 2002) وتعطل الحماية (ماهات وآخرون

2011) بسبب التدفق ثنائي الاتجاه للكهرباء. علاوة على ذلك، عند تفعيل أنظمة التوليد الموزع للطاقة ستفقد المرافق بعض إيراداتها لأن العملاء أصبحوا لا يعتمدون على الشبكة لتلبية جميع احتياجاتهم من الكهرباء.

كل هذه الفوائد والتحديات بحاجة إلى تقييم دقيق عند صياغة السياسة. ويمكن أن يساعد تركيب أنظمة التوليد الموزع للطاقة بعناية في تحقيق الأهداف الإستراتيجية للمرافق (جورج لاكينس و هاتزياغريو 2013). لا تتضح هذه الفوائد والتكاليف المذكورة أعلاه إلا عند التوسع في تركيب أنظمة الطاقة الشمسية، ركزت هذه الورقة على الجدوى المالية لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية للمساجد، دون دراسة الآثار المالية المترتبة على المرافق ومشغلي الشبكات، حيث أن هذه الآثار والتبعات تتطلب دراسات أخرى تنظر إلى العوامل المحلية المتعلقة بشبكات التوزيع.



الفجر والظهر على وجه الخصوص الفترة التي يمكن فيها تصدير معظم الطاقة المولدة من خلال نظام الطاقة الكهروضوئية إلى الشبكة. فإذا كانت مساحة السطح كبيرة بما يكفي للسماح بتركيب نظام الطاقة الكهروضوئية بسعة كبيرة نسبياً، فسيكون وضع المسجد بالنسبة لصافي الاستهلاك هو وضع التصدير في نهاية دورة الفوترة. وبناء على ذلك، يُنصح بوضع حد أعلى لمقدار الطاقة الذي يمكن تصديره – أم ما يقوم مقام ذلك – لمنع استغلال الشبكة.

وبينت هذه الدراسة كذلك أن مساحة السطح التي يمكن استغلالها تحدد السعة القصوى التي يمكن تركيبها حتى ولو كانت الميزانية متوفرة لنظام يحمل سعة أكبر. ولمحدودية ما يمكن فعله لتغيير أسطح المساجد الحالية، يمكن بأن يتضمن تصميم المساجد مستقبلاً خيار بناء وتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على السطح. وعلى الرغم من أن هذه الدراسة ركزت على المساجد إلا أنه يمكن توسيع نطاق التحليل ليشمل دور العبادة الأخرى أو القاعات، مع إجراء التعديلات المناسبة.

درست هذه الورقة الآثار الاقتصادية المترتبة على تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على سطح أحد المساجد في مدينة الرياض عاصمة المملكة العربية السعودية. وتشير النتائج إلى أنه بالنظر إلى أسعار الكهرباء والتكاليف الرأسمالية لتركيب أنظمة الطاقة الكهروضوئية السائدة في عام 2018 سيكون تركيب أنظمة الطاقة الكهروضوئية للمساجد ذا جدوى مالية حتى بدون دعم.

أظهر التحليل أن الفاتورة السنوية للمسجد يمكن خفضها إلى الصفر تقريباً مع استخدام آلية صافي القياس. ولمساندة التحليل النظري، تم مقارنة النتائج من النموذج النظري موافقة لنتائج النظام المركب. ويجدر ذكر أن عامل السعة من النظام المركب كان 18.2%.

من بين الخصائص الفريدة للمساجد منحنيات الحمل الكهربائي التي يمكن التنبؤ بها بشكل كبير. فالناس يجتمعون في أوقات معينة تحكمها حركة الشمس ويترتب عليها معظم الحمل الكهربائي. ويعتبر الوقت بين صلاتي

Abdulhamid, Aisha. 2015. "All 6000 mosques in Jordan getting rooftop solar." *CleanTechnica*. Accessed June 25, 2018. <https://cleantechnica.com/2015/02/24/6000-mosques-jordan-getting-rooftop-solar>.

Ackermann, Thomas, and Valery Knyazkin. 2002. "Interaction between distributed generation and the distribution network: operation aspects." Paper presented at IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2002: Asia Pacific, Yokohama, Japan, October 6-10. [doi.org/10.1109/tdc.2002.1177677](https://doi.org/10.1109/tdc.2002.1177677)

Al-Khotani, Saheed. 2016. "60% of 94,000 mosques offer iftar." *Arab News*. Accessed June 30, 2018. <http://www.arabnews.com/node/942731/saudi-arabia>

Almutairi, Yousef B. 2014. "Peak Shaving Using Grid-Connected Solar Panels Case Study: Ministry of Islamic Affairs Mosque." *International Journal of Engineering Research and Applications* 4 (8):158-166.

Alrabie, K, and Motasem N Saidan. 2018. "A preliminary solar-hydrogen system for Jordan: impacts assessment and scenarios analysis." *International Journal of Hydrogen Energy* 43 (19):9211-9223. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.218>

Ansari, Nirwan, and Chun-Hao Lo. 2016. Alleviating solar energy congestion in the distribution grid via smart metering communications. U.S. Patent 9,246,334.

Arab News. *Saudi Islamic affairs body launches Endowment Investment Funds project* 2018. Accessed September 25. <http://www.arabnews.com/node/1319296/saudi-arabia>

Atsu, Divine, Emmanuel Okoh Agyemang, and Stephen AK Tsike. 2016. "Solar electricity development and policy support in Ghana." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53:792-800. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.031>

BBC. 2018. "Thousands of UK Churches Convert to Renewable Energy." Accessed August 5. <https://www.bbc.com/news/uk-england-45047544>

Ben Zion, Uri, Amnon Rapoport, and Joseph Yagil. 1989. "Discount rates inferred from decisions: An experimental study." *Management Science* 35 (3):270-284. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.3.270>

Borenstein, Severin. 2017. "Private net benefits of residential solar PV: the role of electricity tariffs, tax incentives, and rebates." *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 4 (S1):S85-S122. <https://doi.org/10.1086/691978>

Brown, Richard E, Jiuping Pan, Xiaorning Feng, and Krassimir Koutlev. 2001. Siting distributed generation to defer T&D expansion. Paper presented at IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Developing New Perspectives, Atlanta, Georgia, U.S., November 2, 2001. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7665>. <https://doi.org/10.1109/tdc.2001.971309>

Chawla, Kanika. 2018. "Drivers, Apparatus, and Implications of India's Renewable Energy Ambitions." In *The Geopolitics of Renewables*, 203-227. Springer.

Comello, Stephen, and Stefan Reichelstein. 2017. "Cost competitiveness of residential solar PV: The impact of net metering restrictions." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75:46-57. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.050>

Coster, Edward J, Johanna MA Myrzik, Bas Kruimer, and Wil L Kling. 2011. "Integration issues of distributed generation in distribution grids." *Proceedings of the IEEE* 99 (1):28-39. <https://doi.org/10.1109/jproc.2010.2052776>

Davidson, Carolyn, Daniel Steinberg, and Robert Margolis. 2015. "Exploring the market for third-party-owned residential photovoltaic systems: insights from lease and power-purchase agreement contract structures and costs in California." *Environmental Research Letters* 10 (2):024006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024006>

Degasperi, Nivea Coelho, and Emerson Wagner Mainardes. 2017. "What motivates money donation? A study on external motivators." *Revista de Administração (São Paulo)* 52 (4):363-373. <https://doi.org/10.1016/j.rausp.2017.08.002>

- Deloitte. 2015. The Digital Islamic Services Landscape. London: Deloitte.
- Dusonchet, Luigi, and Enrico Telaretti. 2010. "Economic analysis of different supporting policies for the production of electrical energy by solar photovoltaics in western European Union countries." *Energy Policy* 38 (7):3297-3308. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.053>
- Elshennawy, Tarek, and Lamiaa Abdallah. 2017. "An Initiative Towards Transforming Mosques in Egypt to be Environment-Friendly and Energy Saving." In *International Scientific Conference on Environment and Sustainable Development*. Cairo.
- Elshurafa, Amro, Shahad Albardi, Simona Bigerna, and Carlo Andrea Bollino. 2018. "Estimating the learning curve of solar PV balance-of-system for over 20 countries: implications and policy recommendations." *Journal of Cleaner Production* 196:122-134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.016>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.049>
- Fischer, Wolfgang, J-Fr Hake, Wilhelm Kuckshinrichs, T. Schröder, and S. Venghaus. 2016. "German energy policy and the way to sustainability: Five controversial issues in the debate on the "Energiewende." *Energy* 115:1580-1591. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.069>
- Fu, Ran, David J Feldman, Robert M Margolis, Michael A Woodhouse, and Kristen B Ardani. 2017. "U.S. solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2017." National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States). <https://doi.org/10.2172/1395932>
- Georgilakis, Pavlos S, and Nikos D Hatziargyriou. 2013. "Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research." *IEEE Transactions on Power Systems* 28 (3):3420-3428. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2012.2237043>
- Grace, Debra, and Deborah Griffin. 2006. "Exploring conspicuousness in the context of donation behaviour." *International Journal of Nonprofit and Voluntary Sector Marketing* 11 (2):147-154. <https://doi.org/10.1002/nvsm.24>
- Grout, Paul A. 2003. "Public and private sector discount rates in public-private partnerships." *The Economic Journal* 113 (486):C62-C68. <https://doi.org/10.1111/1468-0297.00109>
- Guo, Fanghong, Changyun Wen, Jianfeng Mao, and Yong-Duan Song. 2015. "Distributed secondary voltage and frequency restoration control of droop-controlled inverter-based microgrids." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 62 (7):4355-4364. <https://doi.org/10.1109/tie.2014.2379211>
- Hagerman, Shelly, Paulina Jaramillo, and M Granger Morgan. 2016. "Is rooftop solar PV at socket parity without subsidies?" *Energy Policy* 89:84-94. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.11.017>
- Hanna, Ryan, Mohamed Ghonima, Jan Kleissl, George Tynan, and David G Victor. 2017. "Evaluating business models for microgrids: Interactions of technology and policy." *Energy Policy* 103:47-61. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.010>
- 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. <https://doi.org/10.1257/000282802762024674>
- Hong, Taehoon, Hyunji Yoo, Jimin Kim, Choongwan Koo, Kwangbok Jeong, Minhyun Lee, Changyoon Ji, and Jaewook Jeong. 2018. "A model for determining the optimal lease payment in the solar lease business for residences and third-party companies—With focus on the region and on multi-family housing complexes." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82:824-836. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.068>
- Horváth, Dóra, and Roland Zs Szabó. 2018. "Evolution of photovoltaic business models: Overcoming the main barriers of distributed energy deployment." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90:623-635. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.101>

- Huang, Bin-Juine, T.H. Lin, W.C. Hung, and F.S. Sun. 2001. "Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems." *Solar Energy* 70 (5):443-448. [https://doi.org/10.1016/s0038-092x\(00\)00153-5](https://doi.org/10.1016/s0038-092x(00)00153-5)
- Isik, Cem, Tarik Dogru, and Ercan Sirakaya Turk. 2018. "A nexus of linear and non-linear relationships between tourism demand, renewable energy consumption, and economic growth: Theory and evidence." *International Journal of Tourism Research* 20 (1):38-49. <https://doi.org/10.1002/jtr.2151>
- Kannan, Ramachandran, K.C. Leong, Ramli Osman, Hiang Kwee Ho, and C.P. Tso. 2006. "Life cycle assessment study of solar PV systems: An example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore." *Solar Energy* 80 (5):555-563. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.04.008>
- Koo, Choongwan, Taehoon Hong, Jeongyoon Oh, and Jun-Ki Choi. 2018. "Improving the prediction performance of the finite element model for estimating the technical performance of the distributed generation of solar power system in a building façade." *Applied Energy* 215:41-53. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.081>
- Kousksou, T, A. Allouhi, M. Belattar, A. Jamil, T. El Rhafiki, A. Arid, and Y. Zeraouli. 2015. "Renewable energy potential and national policy directions for sustainable development in Morocco." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47:46-57. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.056>
- Kumar, B. Shiva, and K. Sudhakar. 2015. "Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India." *Energy Reports* 1:184-192. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2015.10.001>
- Lai, Chun Sing, and Malcolm D McCulloch. 2017. "Levelized cost of electricity for solar photovoltaic and electrical energy storage." *Applied Energy* 190:191-203. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.153>
- Lam, Patrick TI, and Jack S Yu. 2016. "Developing and managing photovoltaic facilities based on third-party ownership business models in buildings." *Facilities* 34 (13/14):855-872. <https://doi.org/10.1108/f-04-2015-0019>
- Lang, Tillmann, David Ammann, and Bastien Girod. 2016. "Profitability in absence of subsidies: A techno-economic analysis of rooftop photovoltaic self-consumption in residential and commercial buildings." *Renewable Energy* 87:77-87. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.059>
- Lupangu, Cedric, and Ramesh C. Bansal. 2017. "A review of technical issues on the development of solar photovoltaic systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73:950-965. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.003>
- Mahat, Pukar, Zhe Chen, Birgitte Bak-Jensen, and Claus Leth Bak. 2011. "A Simple Adaptive Overcurrent Protection of Distribution Systems With Distributed Generation." *IEEE Transactions on Smart Grid* 2 (3):428-437. <https://doi.org/10.1109/tsg.2011.2149550>
- Mawed, Mahmoud, Ammar Shemmary and Assem Al-Hajj. 2014. "The Impact of Sustainable Practices on UAE Mosques' Life Cycle Cost." Paper presented at Smart, Sustainable and Healthy Cities conference, Abu Dhabi, UAE, December 14-16: 307-324. [https://www.researchgate.net/publication/324169966\\_The\\_Impact\\_of\\_Sustainable\\_Practices\\_on\\_UAE\\_Mosques'\\_Life\\_Cycle\\_Cost](https://www.researchgate.net/publication/324169966_The_Impact_of_Sustainable_Practices_on_UAE_Mosques'_Life_Cycle_Cost)
- Meier, Alan K., and Jack Whittier. 1983. "Consumer discount rates implied by purchases of energy-efficient refrigerators." *Energy* 8 (12):957-962. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(83\)90094-4](https://doi.org/10.1016/0360-5442(83)90094-4)
- Merei, Ghada, Janina Moshövel, Dirk Magnor, and Dirk Uwe Sauer. 2016. "Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications." *Applied Energy* 168:171-178. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.083>
- Moore, Larry M, and Harold N Post. 2008. "Five years of operating experience at a large, utility-scale photovoltaic generating plant." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 16 (3):249-259. <https://doi.org/10.1002/pip.800>

- Mustafa, Alsharif, M. A. Alghoul, M. N. Mohammed, Kh. Abulqasem, K.h Glaisa, Nowshad Amin, and K. Sopian. 2014. "Techno-Economic Analysis of Renewable Power System for a Remote Mosque in Libya." Paper presented at Recent Advances in Energy, Environment and Development, Proceedings of the 9th International Conference on Energy & Environment (EE'14) Geneva, Switzerland, December 29-31: 117-125. <http://www.wseas.org/main/books/2014/Geneva/EE.pdf>
- Neslen, Arthur. 2016. "Morocco to give 600 mosques a green makeover." The Guardian Accessed June 29, 2018. <https://www.theguardian.com/environment/2016/sep/05/morocco-to-give-600-mosques-a-green-makeover>
- Numbi, B.P., and S.J. Malinga. 2017. "Optimal energy cost and economic analysis of a residential grid-interactive solar PV system-case of eThekweni municipality in South Africa." *Applied Energy* 186:28-45. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.048>
- Nyholm, Emil, Mikael Odenberger, and Filip Johnsson. 2017. "An economic assessment of distributed solar PV generation in Sweden from a consumer perspective—The impact of demand response." *Renewable Energy* 108:169-178. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.050>
- Obaidullah, Mohammed. 2016. "A framework for analysis of Islamic endowment (waqf) laws." *International Journal of Not-for-Profit Law* 18(1):54.
- Osborne, Louise. 2017. "Solar panels make Morocco's mosques a model for green energy." Accessed June 28, 2018. <http://www.dw.com/en/solar-panels-make-moroccos-mosques-a-model-for-green-energy/a-37583670>
- Park, Sangkyun. 2012. "Optimal discount rates for government projects." *ISRN Economics*.
- Parnell, John. 2017. "Saudi Arabia Approved Net Metering Framework for Systems up to 2MW." *PV Tech*. Accessed July 1, 2018. <https://www.pv-tech.org/news/saudi-arabia-approves-net-metering-framework-for-systems-up-to-2mw>
- Passey, Robert, Ted Spooner, Iain MacGill, Muriel Watt, and Katerina Syngellakis. 2011. "The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors." *Energy Policy* 39 (10):6280-6290. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.027>
- Pegels, Anna, and Wilfried Lütkenhorst. 2014. "Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV." *Energy Policy* 74:522-534. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.031>
- Qian, Kejun, Chengke Zhou, Yue Yuan, Xiaodan Shi, and Malcolm Allan. 2008. "Analysis of the environmental benefits of Distributed Generation." Paper read at IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, United States, July 20-24. <https://doi.org/10.1109/pes.2008.4596137>
- Rai, Varun, and Benjamin Sigrin. 2013. "Diffusion of environmentally-friendly energy technologies: buy versus lease differences in residential PV markets." *Environmental Research Letters* 8 (1):014022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014022>
- Rashid, Ezan Ezuani, Sharifah Rafidah Wan Alwi, and Zainuddin Abdul Manan. 2011. "Evaluation of photovoltaic system installation for a mosque in Universiti Teknologi Malaysia." *PERINTIS eJournal* 1.
- REN21. 2018. Global Status Report. Paris: Renewable Energy Network for the 21st Century.
- Richter, Mario. 2013. "German utilities and distributed PV: How to overcome barriers to business model innovation." *Renewable Energy* 55:456-466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.052>
- Sahu, Bikash Kumar. 2015. "A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43:621-634. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.058>

- Sommerfeldt, Nelson, and Hatem Madani. 2017. "Revisiting the techno-economic analysis process for building-mounted, grid-connected solar photovoltaic systems: Part one—Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74:1379-1393. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.232>
- Strupeit, Lars, and Alvar Palm. 2016. "Overcoming barriers to renewable energy diffusion: business models for customer-sited solar photovoltaics in Japan, Germany and the United States." *Journal of Cleaner Production* 123:124-136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.120>
- Tongsopit, Sopitsuda, Sunee Mungchareon, Apinya Aksornkij, and Tanai Potisat. 2016. "Business models and financing options for a rapid scale-up of rooftop solar power systems in Thailand." *Energy Policy* 95:447-457. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.023>
- Wan, Yih-huei. 1996. "Net Metering Programs." National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States).
- Wang, Yubo, Bin Wang, Chi-Cheng Chu, Hemanshu Pota, and Rajit Gadh. 2016. "Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage." *Energy and Buildings* 116:141-150. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.055>
- Watts, David, Marcelo F Valdés, Danilo Jara, and Andrea Watson. 2015. "Potential residential PV development in Chile: the effect of net metering and net billing schemes for grid-connected PV systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41:1037-1051. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.201>
- Wei, Max, Shana Patadia, and Daniel M Kammen. 2010. "Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the U.S.?" *Energy policy* 38 (2):919-931. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.044>
- Yamamoto, Yoshihiro. 2012. "Pricing electricity from residential photovoltaic systems: A comparison of feed-in tariffs, net metering, and net purchase and sale." *Solar Energy* 86 (9):2678-2685. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.001>
- Yang, Ye, Hui Li, Andreas Aichhorn, Jianping Zheng, and Michael Greenleaf. 2014. "Sizing strategy of distributed battery storage system with high penetration of photovoltaic for voltage regulation and peak load shaving." *IEEE Transactions on Smart Grid* 5 (2):982-991. <https://doi.org/10.1109/tsg.2013.2282504>
- Zhang, Fang, Hao Deng, Robert Margolis, and Jun Su. 2015. "Analysis of distributed-generation photovoltaic deployment, installation time and cost, market barriers, and policies in China." *Energy Policy* 81:43-55. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.010>
- Zhao, Xingang, Yiping Zeng, and Di Zhao. 2015. "Distributed solar photovoltaics in China: Policies and economic performance." *Energy* 88:572-583. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.084>

## نبذة عن المؤلفين

### د. عمرو الشرفاء

زميل باحث يعمل على سياسة تحولات الكهرباء. و يهتم في مجال أبحاثه بنمذجة نظام الطاقة وتصميم شبكات صغرى هجينة وتحسينها. له منشورات تزيد عن الأربعين وسُجلت له أربع براءات اختراع، وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الهندسة الكهربائية وماجستير إدارة أعمال في التمويل.



### د. عبد الله السبيعي

أستاذ بحث مساعد في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. تكمن اهتماماته البحثية في الشبكات الذكية والطاقة المتجددة وحماية البنية التحتية الحيوية. وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الهندسة الكهربائية من جامعة برتش كولومبيا الكندية.



### د. أيمن العبد الجبار

أستاذ بحث مشارك في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. تشمل اهتماماته البحثية نمذجة نظام الطاقة وتنفيذ حلول الجهد المتوسط بتصميم مخصص. وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الهندسة الكهربائية من جامعة مانشستر.



### ثنافي الحصين

هو مدير مركز التميز البحثي المشترك للتوزيع والمدير بالإنابة لإدارة الأبحاث والتطوير في الشركة السعودية للكهرباء. ترأس عدة مشاريع بحثية ونشر عددًا من الأوراق العلمية في عدة مناسبات دولية، وهو حاصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الكهربائية من جامعة الملك فهد وشهادة الماجستير من جامعة الملك سعود.



## نبذة عن المشروع

بالتعاون مع مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والشركة السعودية للكهرباء، وباستخدام نموذج نظري ونظام تشغيل فعلي تجريبي، بحث هذا المشروع في الآثار المالية المترتبة على تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على سطح أحد المساجد في المملكة العربية السعودية. أظهر التحليل أنه حتى بدون دعم أي سياسة، تعتبر الطاقة الشمسية الكهروضوئية مربحة. وتعد هذه الدراسة بمثابة أساس للدراسات الاقتصادية والتقنية اللاحقة التي تهدف إلى تحقيق أقصى استفادة من المبادرات المحتملة على مستوى المملكة فيما يتعلق بنشر الطاقة الكهروضوئية على أسطح المساجد. تجدر الإشارة إلى أن هناك أكثر من 90,000 مسجد في المملكة العربية السعودية.



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