

السعة الإجمالية للطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة التي يمكن تركيبها في الرياض: دراسة من خلال نظام المعلومات الجغرافية

عبد الرحمن محسن وعمرو الشرفاء

عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحثاً 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 ك نصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار.

النقاط الرئيسية

تم تقييم الحد الأعلى الذي يمكن تركيبه من أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة في مدينة الرياض عبر استخدام تحليل نظام المعلومات الجغرافية.

بالاستناد إلى مخططات وبيانات الأراضي (مساحة الأرض والحد الأقصى الذي يمكن بناؤه داخلها حسب القطاع الذي تنتمي له وفق قوانين البناء واللوائح المقررة)، تم تقدير مساحة الأسطح المناسبة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة.

بلغ إجمالي عدد قطع الأراضي المدرجة في مجموعة البيانات ما يقرب من مليون قطعة أرض.

شملت الدراسة أسطح المباني في القطاعات الأربعة التالية: السكنية والمساجد ومراكز التسوق والرعاية الصحية. وبلغ الحد الأعلى لسعة الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي يمكن تركيبها في مدينة الرياض 4.34 جيجا وات.

تمثل هذه السعة ما يقرب من 22% من الحمل الذروي، كما تلبى ما يقرب من 9% من متطلبات الطاقة في المنطقة الوسطى التي بها تقع مدينة الرياض.

تُقيّم هذه الدراسة الحد الأعلى لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة التي يمكن تركيبها في مدينة الرياض – عاصمة المملكة العربية السعودية – باستخدام نظام المعلومات الجغرافية. كما تستخدم الدراسة بيانات ما يقرب من مليون قطعة أرض، بالإضافة إلى فئات استخدام قطع الأراضي وأنواع المباني وقواعد البناء ذات الصلة. وتوصل البحث إلى أن السعة القصوى من الطاقة الشمسية الموزعة التي يمكن تركيبها في مدينة الرياض تقدر بـ 4.34 جيجاوات، ممثلة ما يقرب من 22% من الحمل الذروي للمنطقة الوسطى بالمملكة العربية السعودية وملبية لما يقرب من 9% من إجمالي احتياجات الطاقة لهذه المنطقة.

يمكن أن تلعب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي يتم تركيبها على الأسطح -والتي يشار إليها عادةً باسم أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة- دورًا رئيسيًا في مزيج الطاقة للمدن المستدامة. وكما هي الحال مع جميع أشكال توليد الطاقة، ينتج عن تبني أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة عدد من التبعات الفنية والمالية والسياسية والسوقية التي تؤثر في شركات الكهرباء والحكومات والأطراف المعنية الأخرى. لذلك، فإن تقدير السعة الإجمالية من الطاقة الشمسية الموزعة التي يمكن تركيبها في إقليم معيّن يساعد على تبصرة الأطراف المعنية عند اتخاذهم قرارات ذات صلة.

أنظمة طاقة الشمسية موزعة (Kakran and Chana- 2018). ويأتي هذا الاسم بسبب أن هذه الأنظمة تُركب داخل شبكة التوزيع أو بالقرب من الحمل (Ehsan and Yang 2018). وتُركب أنظمة الطاقة الشمسية للجبل الموزع بشكل عام على أسطح المنازل، ولكن يمكن تركيبها أيضا على مُثَبَّات أرضية في حال توفر مساحة كافية. أما أنظمة المرافق، فتتركب على المثبتات الأرضية نظرا لأنها تتطلب مساحات كبيرة.

تمتلك أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة وأنظمة نطاق المرافق نقاط قوة وضعف. فعلى نطاق المرافق مثلا، تستفيد حقول الطاقة الشمسية من وفورات الحجم، كما يسهل على شركات الكهرباء إدارتها من منظور التخطيط المركزي (Dobrotkova, Surana, and Audinet 2018). وعلى النقيض، يصعب إنشاء حقول شمسية في المدن، بل ويكاد يكون مستحيلا في مركز المدن، وذلك لعدم توفر قطع أراضٍ بمساحات كافية.

أما بالنسبة لأنظمة الطاقة الشمسية الموزعة، فهي لا تحتاج مساحة كبيرة لتركيبها، كما أنها تقدم عددا من المزايا (الاقتصادية وغيرها) لكلٍّ من الأفراد والشركات (Tascikaraoglu 2018). فيمكن لمالكي المنازل (أو المنشآت الصناعية، على سبيل المثال) خفض فواتير الكهرباء من خلال استهلاك الطاقة التي تنتجها أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة الخاصة بهم. إضافة إلى ذلك، تمكن أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة مالكيها من تصدير الطاقة إلى الشبكة وِجني أرباح مالية (Thopil et al. 2018). وبذلك، يحوّل هذا التمكين (Walters, Kaminsky, and Gottschamer 2018) مالكي أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة إلى ما يسمى بـ«المنتجون المستهلكون» – الأمر الذي يملك أهمية خصوصا في الدول التي تكون أسعار الكهرباء فيها مرتفعة. من ناحية أخرى، يمكن لأنظمة الطاقة الشمسية الموزعة إحداث حالة من عدم الاستقرار في شبكة التوزيع (Jeong, Lee, and Alleman 2019) مما يتطلب قيودًا تنظيمية دقيقة وتبني إجراءات تشغيل جديدة من جانب شركات الكهرباء.

إن الطلب العالمي على الكهرباء في ارتفاع مستمر، وتنتوق وكالة الطاقة الدولية -في تقريرها عن توقعات الطاقة العالمية لعام 2018- أن يرتفع الطلب العالمي على الكهرباء من 25,700 تيراوات/ساعة في عام 2017 إلى ما لا يقل عن 37,000 تيراوات/ساعة بحلول عام 2040 (IEA 2018). وفي مواجهة المخاوف البيئية المتزايدة، (Panwar, Kaushik, and Kothari 2015) (Cronshaw 2011) تتعرض الحكومات لضغوط لتلبية هذا الطلب والحد من استخدام الوقود الأحفوري وانبعثات الكربون في ذات الوقت. وعليه فمن المتوقع تلبية نسبة كبيرة من الزيادة المطلوبة في العرض عبر تقنيات الطاقة المتجددة، بما في ذلك الطاقة الشمسية الكهروضوئية (Moriarty and Honnery 2016 Weite-) (meyer et al. 2015).

تطورت صناعة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بشكل متسارع خلال العقد الماضيين، حيث ساهمت سياسات الدعم (Dusonchet and Telaretti 2015;)، التي اقترنت مع انخفاض تكاليف تكنولوجيا الطاقة الكهروضوئية (Elshurafa et al. 2016; Trappey et al. 2018) في الانتشار السريع للطاقة الشمسية الكهروضوئية. ففي أقل من عقدين، وصلت السعة العالمية المركبة للطاقة الشمسية الكهروضوئية من قدر لا يكاد يذكر في أوائل عام 2000 إلى أكثر من 500 جيجاوات بنهاية عام 2018. هذا، وتتمتع الطاقة الشمسية الكهروضوئية ببعض الميزات مثل انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة، وعدم تطلبها إلى وقود، وكونها صديقة للبيئة (لا ينتج عن استخدامها انبعثات كربونية). وعلى النقيض، تعاني هذه التقنية من كونها مصدرًا متقطعًا (أي: غير مستمر) للطاقة.

يمكن تصنيف أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الجملة من حيث السعة إلى أنظمة سكنية (2 كيلووات – 10 كيلووات) أو تجارية (20 كيلووات – 200 كيلووات) أو أنظمة نطاق المرافق (1 ميجاوات فما فوق). كما تُصنف الأنظمة السكنية والتجارية على أنها

السكنية تبايناً كبيراً [Mehigan et al. 2018]. ولأجل ذلك، سوف تساعد عملية تقييم السعة التي يمكن تركيبها من الأنظمة الموزعة صانعي السياسات في تخطيط أهداف الطاقة المتجددة وإعداد الميزانية الخاصة بها، بما في ذلك الحصة التي يمكن أن تساهم بها أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة (da Silva et al. 2019).

وعلى ضوء ما سبق، نقيم في هذا البحث – ولأول مرة – السعة القصوى التي يمكن تركيبها من أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة على الأسطح في مدينة الرياض، باستخدام نهج نظام المعلومات الجغرافية. ونستند في هذه الدراسة إلى بيانات قطع الأراضي، بما في ذلك المساحة والفئة العمرانية التي تنتمي إليها (على سبيل المثال: سكني، أو تجاري، صحي، إلخ)، من أجل تحديد الحد الأقصى للمساحة المناسبة لتركيب الأنظمة الموزعة في كل قطعة أرض على حدة. وخلصت الدراسة إلى أن السعة القصوى لأنظمة الطاقة الشمسية الموزعة التي يمكن تركيبها على الأسطح في مدينة الرياض هي 4.34 جيجا وات، وهذه السعة تشمل الأسطح في القطاعات الأربعة التالية: المباني السكنية والمساجد ومراكز التسوق ومباني الرعاية الصحية. ومما ينبغي التنويه عليه هو أن هذه النتيجة العددية تمثل الحد الأقصى دون الأخذ في الحسبان القيود التمويلية أو الهندسية.

ونظراً لكون المملكة العربية السعودية تمتلك خطاً طموحاً للطاقة المتجددة، أصدرت هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج اللوائح المبدئية التي سوف تحكم أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة، بما في ذلك تعويض أصحاب المنازل للكهرباء التي يتم تصديرها. وبذلك يكون هذا البحث قد أتى في الوقت المناسب حيث سيساعد صناع القرار المملكة في صياغة سياساتهم المتعلقة بالطاقة المتجددة عموماً والطاقة الموزعة على وجه الخصوص.

إن الحكومات التي دعمت الطاقة المتجددة قامت بذلك لتحقيق هدف (أو أكثر) مما يلي: خفض انبعاثات الكربون، وزيادة أمن الطاقة، وتعزيز الاقتصاد عبر إنشاء صناعات الطاقة المتجددة مما سيخلق الوظائف (Elshurafa, Farag, and Hobbs 2019). وتُحقّق هذه الأهداف المشار إليها عبر تحديد أهداف للسعة الإجمالية للطاقة المتجددة التي ينبغي تركيبها، ويشمل ذلك بطبيعة الحال تحديد أهداف خاصة لكل تقنية. ويمكن تنفيذ ذلك كجزء من خطة أكثر شمولية للطاقة المتجددة تستند إلى اعتبارات مالية وقانونية وصناعية واقتصادية وتجارية وغيرها، بالإضافة إلى الآثار المرتبطة على الأطراف المعنية.

إن أحد الاعتبارات التي تثير الطريق أمام تحديد سعة الحقل الشمسي الكهروضوئية المراد تركيبه يتمثل في توفر قطع الأراضي وإمكان الحصول عليها وملء ممتها (Bukhary, Ahmad, and Batista 2018). ويتعلق هذا الاعتبار بقرب الأرض من الأحمال والبنية التحتية لنقل الطاقة (Deetjen et al. 2018)، والمخاوف البيئية – مثل أن تكون الأرض موطناً لحيوانات محمية أو مهددة بالانقراض (Visser et al. 2019)، والتدخل المحتمل في الأنشطة الزراعية أو غيرها من الأنشطة (Semeraro et al. 2018). ولكن إذا تم اعتبار أرض معينة أنها مناسبة لإنشاء حقل شمسي، فإنه يسهل تقدير سعة هذا الحقل الذي يمكن بناؤها وبدقة عالية.

أما بالنسبة للأنظمة الشمسية الموزعة، فإنه يصعب تقييم السعة التي يمكن تركيبها. فإن المدن تشمل مبان سكنية ومراكز تسوق ومكاتب حكومية وأماكن عبادة وغير ذلك، وكل هذه المباني ذات أسطح متباينة على نحو كبير. كما تتفاوت الأحياء المختلفة فيما بينها في البنية التحتية للكهرباء والكثافة السكانية، وبالتالي فإن الأحمال سوف تتفاوت. وبناء على هذا، سوف تتباين قابلية تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة في الأحياء

مراجعة الإنتاج الفكري ودوافع الدراسة

للمناطق الريفية (Azeem, Narejo, and Shah 2018). فغالبًا ما تُزود المناطق الريفية في جميع أنحاء العالم بالطاقة عبر مولدات الديزل التي تُعد مكلفة بل وتحتوي عيوبًا أخرى لما يصاحبها من تلوث كربوني وتلوث ضوضائي وتقلب لسعر الديزل وتكاليف نقل الديزل وأخطار تعطل الإمدادات (Monyei, Adewumi, and Jenkins 2018). ويأتي دور نظم المعلومات الجغرافية في المناطق الريفية الكبيرة التي يصعب مراقبتها في عمليات التخطيط المتعلقة بالطاقة (Rosas-Flores, Rosas-Flores, and Zayas 2016; Van Hoesen and Letendre 2010) واكتشاف الانقطاعات والعيوب بأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (de Simón-Martín et al. 2017).

على النحو الوارد آنفًا، تتطلب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة اعتبارات هندسية متباينة وأوضاع تشغيل جديدة من جانب شركات الكهرباء. وقد استخدم تحليل نظم المعلومات الجغرافية في الدراسات الفنية لاختيار المواضيع المناسبة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة لتحقيق أهداف فنية معينة مثل: تحسين مستوى الجهد (Sadeghian, Athari, and Wang 2017) وتقليل الفاقد (Jamil and Anees 2016). كما استخدمت نظم المعلومات الجغرافية لاستكمال دراسات العرض والطلب لموازنة أحمال الذروة وتحسين استقرار الشبكة (Camargo et al. 2015).

هذا وقد استخدمت نظم المعلومات الجغرافية في البحوث الاجتماعية-الاقتصادية والسلوكية مثل معدلات انتشار أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة في الأحياء السكنية. فعند تركيب إحدى الأسر لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على السطح، عادة ما يتبعهم الجيران في ذلك. دُرست هذه الظاهرة عبر اقتراح تحليل نظم المعلومات الجغرافية مع نمذجة العوامل لوصف انتشار أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة وكيفية تغير تصور الجيران وسلوكهم تجاه الطاقة الشمسية الكهروضوئية في حالة تركيب منزل مجاور لهم لنظام شمسي (Muaafa et al. 2017; Robinson et al. 2013).

أدرجت العديد من الحكومات الدور الذي يمكن أن تلعبه الطاقة الموزعة في تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء والمساهمة في مكافحة ظاهرة التغير المناخي. وقد تقدم أعلاه أن أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة لها ميزة خاصة في المدن المكتظة والتي يندر بها وجود أراض واسعة لتلائم إنشاء الحقول الشمسية على نطاق المرافق.

يتطلب تقييم السعة التي يمكن تركيبها من أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة مراعاة مجموعة من العوامل، بما في ذلك التحليل الجغرافي. ولهذا تستند العديد من الدراسات المتضمنة لأنظمة نطاق المرافق وأنظمة الطاقة الشمسية الموزعة إلى تحليل نظم المعلومات الجغرافية بشكل كبير. فيما يتعلق بالطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق، يمثل تحليل نظم المعلومات الجغرافية أحد الوسائل الفعالة من حيث التكلفة والدقة لتحديد المواقع المناسبة لإنشاء الحقول الشمسية (Huld et al. 2005; Mondal and Islam 2011). وأما ما يتعلق بأبحاث أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة، يحظى تحليل نظم المعلومات الجغرافية بأهمية كبرى، حيث يستحيل عمليًا إجراء دراسة تحليلية للأسطح على نطاق كلي دون الاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.

تتباين الدراسات المتضمنة لتحليل نظم المعلومات الجغرافية وأنظمة الطاقة الموزعة فيما تشمله وفيما تركز عليه. فتأتي بعض الدراسات بالتركيز على مستويات الإشعاع الشمسي وبيانات أخرى تتعلق بالظروف المناخية كالغبار وحركة السحب، وبذلك يمكن حساب الطاقة التي يمكن توليدها في منطقة معينة (Sørensen 2001). وهذه الدراسات المذكورة قد أُجريت لأفريقيا (Huld et al. 2005) وبنغلاديش (Mondal and Islam 2011) وسلوفاكيا (among, Hofierka and Cebecauer 2008) ومواقع أخرى.

إضافة إلى ما ذكر، يحظى تحليل نظم المعلومات الجغرافية بأهمية خاصة في دراسات إمداد الكهرباء

يعتبر تقييم السعة التي يمكن تركيبها من أنظمة الطاقة الموزعة في مدينة أو ولاية أمراً مهماً لثلاثة أطراف رئيسية على الأقل.

الأول: صناعات السياسات الذين يعدون الميزانيات (Picciariello et al. 2015) ويقومون بتقدير فرص العمل الجديدة وغيرها من الفوائد الاقتصادية.

ثانياً: مشغلو الشبكات و شركات الكهرباء الذين يجب عليهم معرفة مقدار السعة الإضافية التي يمكن استحداثها في النظام من أجل التخطيط لتحديات الشبكة (Adefarati and Bansal 2016). وهذا يسمح أيضاً بتقييم الآثار المالية للعملاء الذين يشترون كميات أقل من الطاقة الكهربائية من الشبكة (Prehoda, Pearce, and Schelly 2019).

ثالثاً: الشركات التي تبيع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية أو تركيبها. فهي تستفيد من تقدير حجم السوق لتقييم فرص أعمالها وإيراداتها المحتملة (Zhang et al. 2015).

نظراً إلى الأثر البالغ الذي تملكه السعة التي يمكن تركيبها من الأنظمة الموزعة على القرارات الرئيسية، فليس من الغريب أن نرى عدداً كبيراً من الدراسات قد اهتم بهذا الموضوع. فعلى سبيل المثال قدرت إحدى الدراسات أن الطاقة الشمسية التي يمكن توليدها من أسطح المنازل في هونغ كونغ تبلغ 2.66 تيراوات/ساعة في العام، بناءً على تحليل متكامل استخدم نُظم المعلومات الجغرافية وبيانات الإشعاع الشمسي تقنيات الاستشعار عن بُعد (Wong et al. 2016). وعلى نطاق أصغر من ذلك، طور باحثون إطار محاكاة يستخدم تحليل نظم المعلومات الجغرافية يقوم بحساب السعة المثلى والمكان الأمثل لترتيب الأنظمة الشمسية الكهروضوئية في بيئة حرم جامعي (Kucuksari et al. 2014).

أجريت دراسة أكثر تفصيلاً في دكا ببنغلاديش، وفيها درس الباحثون سعة المحطات الفرعية المتوفرة في الأحياء الجاذبة لاهتمامهم (Jamal et al. 2014)، وعلى ضوءها قُدرت مساحة الأسطح المناسبة لترتيب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة لعدة مناطق بدكا باستخدام تحليل نظم المعلومات الجغرافية مقترناً بتكنولوجيا الكشف عن الضوء والمدى (أي: الليدار). وأجريت دراسة مماثلة لجورج تاون بالمليزيا ولكنها أضافت بعداً آخر وهو تحديد الأسطح المواجهة للجنوب وقياس درجة ميلانها (Latif, Zaki, and Salleh 2012).

تُستخدم نظم المعلومات الجغرافية أيضاً لتقدير السعة التي يمكن تركيبها من الأنظمة الشمسية على نطاق دول بأكملها. فقد حلل المختبر الوطني للطاقة المتجددة في الولايات المتحدة السعة التي يمكن تركيبها من الطاقة المتجددة من ناحية هندسية مع مراعاة توفر الموارد، والتضاريس (الطوبوغرافياً)، والقيود المرتبطة باستخدام الأراضي (Lopez et al. 2012). بل وشملت الدراسة تقنيات الرياح البرية والبحرية والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الجوفية. وخلصت الدراسة إلى إمكان تركيب ما يقرب من 664 جيجاوات من الطاقة الشمسية على الأسطح في الولايات المتحدة، مقارنة بـ 154 تيراوات من الطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق.

وبعد هذا البيان، والذي وضحنا فيه أن نظم المعلومات الجغرافية تعتبر من الأساليب الموثوقة لتقييم السعة التي يمكن تركيبها من الأنظمة الشمسية، تجدر الإشارة إلى دافعين رئيسيين لهذه الدراسة: يتمثل أولهما في خطط المملكة العربية السعودية الطموحة للطاقة المتجددة. فحالياً، لا تحتوي المملكة على سعة جديرة بالذكر لأنظمة الطاقة الشمسية الموزعة. ويتمثل ثانيهما في شروع المملكة العربية السعودية في إصلاحات كبيرة في أسعار الطاقة نجم عنها ارتفاع أسعار الكهرباء للضعف في الأعوام القليلة الماضية،

إلى الشبكة. وتحسباً للتسارع المحتمل لتركيب الطاقة الشمسية الكهروضوئية، أصدرت هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج السعودية الأنظمة الداخلية لكيفية التحكم في أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة.

كما يُحتمل استمرار ارتفاع الأسعار فيما بعد. وهذا يزيد من جاذبية أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة للأسر، خاصةً مع الانخفاض المستمر لتكاليف أنظمة الطاقة الشمسية وسماح اللوائح المحررة بإعادة بيع الكهرباء

الدقة أو بيانات الليدار لتحديد وقياس مساحة الأسطح المناسبة الملبية لمتطلبات تركيب الطاقة الشمسية الكهروضوئية. إلا أن هذه البيانات ليست موجودة. لهذا تستند هذه الدراسة إلى إحصاءات قطع الأراضي على النحو المحدد في مجموعات بيانات استخدام قطع الأراضي وتقسيماتها. ويمكن تعريف قطعة الأرض بأنها مساحة أرضية معينة ومخصصة لأن تستخدم في غرض محدد وفقاً للتقسيمات الرسمية، وتشمل التخصيصات السكنية والتجارية والصناعية والحكومية.

تم الحصول على بيانات قطع الأراضي وتخصيصاتها في مدينة الرياض إضافة إلى معلومات نظم المعلومات الجغرافية لهذه الأراضي من هيئة تطوير مدينة الرياض (<http://rda.gov.sa>). وتوفرت هذه البيانات للعام 2016. كما تضمنت تمثيلاً مكانيًا (أي: الموقع والشكل) لحوالي مليون قطعة أرض. وتُخصَّص قاعدة

تقع المملكة العربية السعودية في الركن الجنوبي الغربي من قارة آسيا، وهي أكبر دولة من حيث المساحة في الشرق الأوسط، ويبلغ عدد سكان عاصمتها – الرياض – ما يزيد على 7 ملايين نسمة. وتتمتع المملكة بإمكانات ممتازة لتوليد الطاقة الشمسية، حيث يبلغ معدل الإشعاع الأفقي العالمي في الرياض ما يقرب من 2200 كيلووات/ساعة للمتر المربع سنويًا، ويُعد هذا المعدل مرتفعًا (Zell et al. 2015). ولذلك تُعد الرياض مرشحًا قويًا لتكريبات أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة. ولأغراض المقارنة نذكر على سبيل المثال أن معدل الإشعاع الأفقي العالمي في جنوب ألمانيا يبلغ 1200 كيلووات/ساعة للمتر المربع سنويًا.

البيانات ونطاق البحث

في وضع مثالي، يُفضَّل استخدام صور جوية عالية

الجدول 1. قواعد استخدام قطع الأراضي

قواعد استخدام قطع الأراضي

سكنية
صناعية
التخزين والمستودعات
خدمات النقل
خدمات التواصل والخدمات العامة
تجاري
خدمات الأعمال
الخدمات الحكومية
المقابر
الرعاية الصحية
الخدمات التعليمية
المساجد
الاجتماعية والثقافية
الترفيهية والحدائق
الزراعية
الشاغرة
غير محدد

وبعد ذلك، تم إدراج البيانات الناتجة في شكل جدول من أجل معالجتها عبر لغة البرمجة بايثون (للمزيد من المعلومات عن مرحلة المعالجة وما بعدها، يُرجى الاطلاع على الملحق أ).

يوضح الشكل 1 لقطة فوتوغرافية للبيانات الجغرافية: فيوضح الشكل-1 أ صورة أولية لأحد الأحياء في مدينة الرياض، ويبين الشكل-1 ب تصنيف التقسيمات المقابل باستخدام ترميز لوني. ويرجى ملاحظة كيفية ترميز كل قطعة أرض على حدة لونياً لتيسير تحديدها (للمزيد من المعلومات، يُرجى الاطلاع على الملحق أ).

استخدام كل قطعة أرض على حدة بناءً على لوائح التقسيمات، ويتبع ذلك نوع المبنى الذي يمكن أن يبنى عليها. ويتضمن الجدولان 1 و 2 قواعد استخدام قطع الأراضي وأنواع المباني التفصيلية المحتملة.

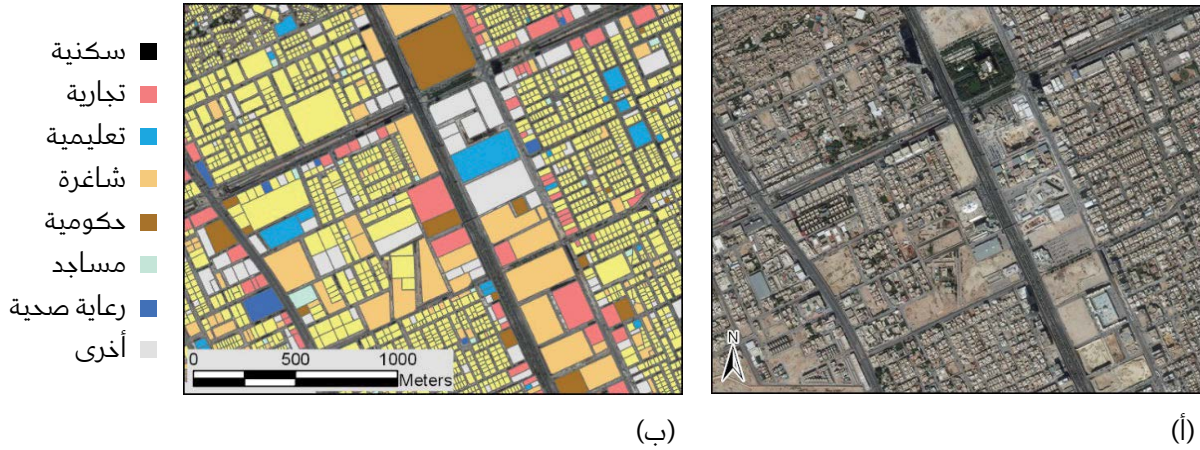
تم تحليل طبقة نظم المعلومات الجغرافية لاستخدامات قطع الأراضي بواسطة برنامج ArcGIS Pro المتوفر في السوق. كما سمح البرنامج باستكمال بيانات استخدام قطع الأراضي والوصول إلى خصائص إضافية. ومن ذلك استخدام محرك معالجة البيانات الجغرافية لبرنامج ArcGIS Pro لاستخلاص أحد أهم المعلومات التي يحتاجها هذا البحث وهي مساحة قطع الأراضي بالمتر المربع،

الجدول 2. أنواع المباني المميزة.

أنواع المباني

خيمة أو كوخ
بيت عربي تقليدي
فيلا
قصر
مبنى سكني
مبنى حضري
مبنى مكثبي
مبنى تجاري/مبنى مخصص لمتاجر البيع بالتجزئة
سوق
مستودع
مصنع
خدمات عامة
مجمع/ غير معلوم نوع مبنى
استخدام مختلط (ليس في مبنى متعدد الطوابق)
استخدام مختلط (في مبنى متعدد الطوابق)
مركز تجاري
الشاغرة
أخرى

الشكل 1. عينة من البيانات الجغرافية المتاحة عن حي بشمال مدينة الرياض ملاحظة: (أ) أحد الأحياء كما يظهر في صور الأقمار الصناعية باستخدام خريطة المعالم الأساسية لبرنامج ArcGIS؛ (ب) نفس الحي المشار إليه في الشكل (أ) ولكن تم ترميز الأحياء بواسطة الألوان عبر التخصيص النطاقيّ. فعلى سبيل المثال، يمثل اللون الأصفر قطع الأراضي السكنية، بينما يمثل اللون الأزرق الفاتح قطع أراضي المؤسسات التعليمية.



المصدر: تحليل الباحث.

لأي مبنى على الإطلاق. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تشمل فئة الخدمات الحكومية لمبانٍ مكتبية متجاورة أو قطع أراضٍ خالية من أجل القواعد العسكرية ومعسكرات التدريب.

تباين المساحة المبنية الفعلية: قد تتباين المساحات المبنية للفئة الواحدة تبايناً شاسعاً، فعلى سبيل المثال في فئة الخدمات التعليمية التي تشمل المدارس والكليات والجامعات، تتباين مساحات الأسطح بشكل كبير بناءً على كيفية استخدام قطعة الأرض (عدد المباني وحجم الملاعب ولوازمها والصالات الرياضية الداخلية ومواقف السيارات وما إلى ذلك).

عدم تهيؤ المبنى: على الرغم من وجود المبنى، يمكن أن يكون السقف غير مناسب هيكلياً.

نظراً لتركيز هذا البحث على أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة المركبة على الأسطح، سوف تُستبعد بعض فئات قطع الأراضي المدرجة في الجدول 1 من التحليل للأسباب التالية:

عدم قابلية التطبيق: لا تُعد قطع الأراضي المخصصة للخدمات الزراعية والترفيهية والحدائق والمقابر وخدمات النقل (مثل: مواقف السيارات) مناسبة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة بشكل عام، وذلك لعدم احتواء هذه الأراضي المشار إليها على مبانٍ أو احتوائها على عددٍ قليل منها بشكل عام.

تعدد الأنشطة: قد ترتبط الفئة الواحدة بعدد من الأنشطة مما يؤدي إلى تضمين قطعة الأرض لكثافات متباينة من المباني أو حتى عدم تضمينها

بشكل عام، يجدر التنبيه هنا على أنه لا يمكن بناء نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية ليغطي كامل السطح. فقد يكون السطح شديد الميلان أو مكسواً بالوواح تزيينية تُعيق تركيب الأنظمة الشمسية. كما قد لا تتوفر أجزاء من السطح بسبب أطباق الأقمار الصناعية، أو خزانات المياه، أو مكيفات الهواء، أو غير ذلك. وربما كانت بعض الأجزاء من السطح يغطيها الظل بسبب المباني المجاورة (Khan, Asif, and Stach 2017). وكما هو متوقع، لا تتوفر هذه المعلومات التفصيلية لجميع المباني، ولذلك تستخدم هذه الدراسة تحليلاً للحساسية لتقدير التباين بين المباني فيما يتعلق بمساحة السطح الداعمة لتركيب الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

يمكن تقدير سعة الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي يمكن تركيبها في كل قطعة أرض باستخدام مساحة كل قطعة أرضية على حدة والمساحة القصوى المسموح بناؤها، بالإضافة إلى افتراض مساحة السطح التي يمكن استخدامها من أجل وحدات الطاقة الشمسية. ويستند حجم نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية الذي يمكن تركيبه إلى معدل إنتاج الطاقة المتعلق بوحدات الطاقة الشمسية المستخدمة (أي: وات/متر مربع)، والزاوية التي يتم تثبيتها عليها. ونظرًا لوقوع المملكة العربية السعودية في نصف الكرة الشمالي، تفترض حسابات هذا البحث تركيب وحدات الطاقة الشمسية في اتجاه الجنوب بميلان قدره 25 درجة من الأفق.

فعلى سبيل المثال، غالبًا ما تتضمن فئة التخزين مستودعات ذات أسطح بالوواح معدنية غير قادرة على حمل تركيبات الطاقة الشمسية الكهروضوئية. وينطبق هذا على الخيام أيضًا.

وعليه، تحلل هذه الدراسة الفئات الأربع التالية: وهي ثلاث فئات رئيسية تتمثل في الفئات السكنية والمساجد والخدمات الصحية، بالإضافة إلى فئة المراكز التجارية التي تمثل فئة فرعية من الفئة التجارية، وسوف يُشار إليها بلفظ «مراكز التسوق».

مساحة السطح وحساب سعة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

لا تشغل المباني قطع الأراضي بالكامل، فقواعد ولوائح البناء تشترط وجود مسافة لا تقل عن حد أدنى معين من المبنى وبين الشوارع وحدود الأراضي والعقارات الأخرى. ويشار إلى ذلك بلفظ "الارتداد"، ويضمن الارتداد التجانس المعماري، والقدرة على الالتفاف حول المبنى، وكذلك استقبال أشعة الشمس، وتوفير مساحة للتشجير والنزيبين النباتي، وغيرها من الأسباب.

من هنا تُحدد قواعد البناء المساحة القصوى المسموح بناؤها على قطعة الأرض، وكما هي الحال مع الارتداد تتباين المساحة القصوى المسموح بناؤها عبر الفئات، وفيما يتعلق بهذا البحث، تشكل المساحة القصوى المسموح بناؤها تقديرًا واقعيًا لأقصى مساحة سطح ممكنة في أي قطعة أرض.

حساب مساحة السطح

يتضمن الجدول 3 ملخصاً لبيانات القطع الأرضية المستخدمة لحساب السعة التي يمكن تركيبها من الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة، ويشمل الجدول الفئات الأربع التالية: السكنية، والمساجد، والرعاية الصحية، ومراكز التسوق. وصُنفت كل فئة بشكل فرعي عند الحاجة لذلك، للسماح باستخدام المساحة القصوى المسموح بناؤها أو النسبة المئوية للسطح الممكن استخدامها. وفيما يتعلق بجميع الفئات الفرعية، تم حساب مساحة متوسطة نعتبرها مؤشراً معقولاً لصحة التحليل الذي تم الحصول عليه.

قُسمت الفئة السكنية إلى ثلاث فئات فرعية، وهي: فيلا، ومبنى سكني، وقصر. ويرجى ملاحظة انخفاض القيمة المتوسطة لفئة الفيلا بشكل كبير عن القيمة المتوسطة لفئة القصر، كما متوقع. وبالمثل، تشمل فئة المساجد فئات صغيرة وكبيرة، فتمثل الفئات الصغيرة المساجد التي تُقام بها الصلوات اليومية، أما الفئات الكبيرة فتمثل المساجد التي بها تُقام صلاة الجمعة وغيرها من المناسبات الاجتماعية والاحتفالية. أخيراً، تشمل فئة الرعاية الصحية كلاً من المستشفيات العامة والخاصة والعيادات (أي: مراكز الرعاية الصحية الصغيرة). ولم تُقسم فئة مراكز التسوق لكونها بالفعل فئة فرعية من الفئة التجارية.

تم الحصول على بيانات المساحة القصوى المسموح بناؤها من الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية (www.modon.gov.sa). ويلاحظ أن جميع قيم المساحة القصوى المسموح بناؤها تبلغ نسبة 60% لجميع أنواع المباني باستثناء القصور والعيادات. وقد تم الحصول على النسب المئوية للأسقف المتاحة من أجل تفعيل الطاقة الشمسية الكهروضوئية من (Khan, Asif, and Stach (2017). كما استخدمنا سيناريو هين للمساحة التي يمكن استثمارها على السطح: يمثل أحدهما سيناريو متفائل، حيث يكون جزء السطح متاح لتفعيل الطاقة الشمسية الكهروضوئية كبيراً، ويمثل الآخر سيناريو محافظاً، حيث تكون المساحة التي يمكن استثمارها صغيرة. ويزود السيناريو هان المُشار إليهما صانعي السياسات بمدى واقعي للسعة المحتملة التي يمكن تركيبها في مدينة الرياض، بحيث تستخدم النسب التفاؤلية والمحافظلة لحساب قيمة متوسطة.

يمكن تقدير مساحة السطح القصوى المتاحة من إجمالي مساحة القطعة الأرضية باستخدام المساحة القصوى المسموح بناؤها، بعدد تُشكل النسبة المئوية للسطح التي يمكن استخدامها لتركيب الطاقة الشمسية الكهروضوئية جزءاً من مساحة السطح القصوى المتاحة المُشار إليها. ويتضمن الجدول 3 تلخيصاً لجميع الحسابات المُشار إليها.

الجدول 3. بيانات قطع الأراضي، والمساحة القصوى المسموح بناؤها على قطعة الأرض، ومساحة السطح المتاحة لتركيبة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في مدينة الرياض

سكنية	المساجد			تجاري		الرعاية الصحية		تجاري	كبير	صغير	قصر	مبنى سكني	فيلا
	عيادة	مستشفى خاصة	مستشفى عامة	مركز تسوق	مركز تسوق	مركز تسوق							
عدد قطع الأراضي	84	54	30	82	1,063	3,098	1,688	38,009	276,862				
إجمالي مساحة قطعة الأرض (متر مربع)	1,803,029	712,802	3,172,713	2,261,226	3,177,452	5,472,329	17,557,758	22,689,746	171,626,281				
متوسط مساحة قطعة الأرض (متر مربع)	21,465	13,200	105,757	27,576	2,989	1,766	10,420	597	620				
المساحة القصوى المسموح بناؤها ١	%45	%60	%60	%60	%60	%60	3%30	%60	2%60				
مساحة السطح القصوى (متر مربع)	811,363	427,681	1,903,628	1,356,736	1,906,471	3,283,397	5,267,327	13,613,848	102,975,768				
النسبة المئوية للسطح المتاحة لتركيبة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة (التقاولية) ٢	%40	%50	%50	%50	%50	%20	%60	%50	%50				
النسبة المئوية للسطح المتاحة لتركيبة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (المحافظة) ٣	%10	%10	%10	%10	%10	%10	%20	%10	%10				
مساحة السطح المتاحة لتركيبة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بالمتر المربع (التقاولية)	324,545	213,841	951,814	678,368	953,236	656,679	3,160,396	6,806,924	51,487,884				
مساحة السطح المتاحة لتركيبة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بالمتر المربع (المحافظة)	81,136	42,768	190,363	135,674	190,647	328,340	1,053,465	1,361,385	10,297,577				
مساحة السطح الكهروضوئية بالمتر المربع (متوسط) ٤	202,841	128,304	571,088	407,021	571,941	492,510	2,106,931	4,084,154	30,892,730				

المصدر: تحليل الباحث.

1. المساحة القصوى المسموح بناؤها على قطعة أرض معينة، استُخدمت القيم من الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية (modon.gov.sa).
2. بدءًا من عام 2019، ارتفعت المساحة القصوى المسموح بناؤها للفيلات إلى 70%. وعلى الرغم من ذلك، نستخدم نسبة 60% فقط، بما أن هذه النسبة تمثل المساحة القصوى المسموح بناؤها قبل تغيير النسبة.

3. تبلغ نسبة المساحة القصوى المسموح بناؤها في هذا البند 60%، وعلى الرغم من ذلك، فمن المستبعد للغاية أن يشغل القصر نسبة 60% من مساحة قطعة الأرض. تتضمن القصور بشكل عام مساح وملاعب وحدائق، وعلى هذا النحو، افترض انخفاض نسبة المساحة القصوى المسموح بناؤها من 60% إلى 30%.

4. اُختيرت هذه القيمة بناءً على التحليل الوارد في (Khan, Asif, and Stach 2017).

5. استُخدم متوسط القيمة في الحسابات.

حساب سعة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

إلى أن هذه المساحة تنتج عن متوسط القيم المحسوبة في الجدول 3. وعلى النحو المتوقع، نلاحظ أيضًا أن القطاع السكني هو المسؤول عن النصيب الأكبر من المساحة، وتساهم الفئة الفرعية -الفيلد- المدرجة ضمن الفئة السكنية في الحصة الأكبر.

بتقدير مساحة السطح المتاحة لتركيب النظام الكهروضوئي، يمكن احتساب السعة الكهروضوئية ذات الصلة. وبنبغي التنويه على أن السعة تعتمد على الوحدات التي ستستخدم وكيفية تركيبها. والأهم من ذلك، يجب فصل صفيين أو أكثر من الوحدات الكهروضوئية (أي السلاسل) بحد أدنى من المسافة لضمان عدم حجب ضوء الشمس، والسماح كذلك بالوصول إليها لأغراض الصيانة والتنظيف.

لخص الجدول 3 المساحة المتاحة المناسبة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة في كل فئة على حدة بناءً على قطع الأراضي والمساحة القصوى المسموح بناؤها ونسبة السطح المثوية التي يمكن استخدامها من أجل التفعيل. ويتضمن الجدول 4 تلخيصًا لمتوسط المساحات لجميع المناطق (أي: الصف الأخير للجدول 3) بشكل منفصل بغرض التيسير وتسهيل الاطلاع عليها.

على النحو الموضح، يبلغ إجمالي مساحة السطح المتاحة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة في مدينة الرياض ما يقرب من 39.5 مليون متر مربع. ويجدر الإشارة

الجدول 4. المساحة المتاحة لتركيبات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة في مدينة الرياض، والسعة التي يمكن تركيبها. في حال وجود تناقضات رقمية فهي ناجمة عن التقريب.

سعة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة (ميجاوات) التي يمكن تركيبها	المساحة (متر مربع)	الفئة الفرعية لقطع الأراضي	فئة قطع الأراضي
3,398	30,892,730	فيلد	سكنية
449	4,084,154	مبنى سكني	
232	2,106,931	قُصْر	
4,079	37,083,816	إجمالي الفئة السكنية	
54	492,510	صغير	المسجد
63	571,941	كبير	
117	1,064,451	إجمالي المساجد	
45	407,021	مركز تسوق	تجاري
45	407,021	إجمالي مراكز التسوق	
63	571,088	مستشفى عامة	الرعاية الصحية
14	128,304	مستشفى خاصة	
22	202,841	عيادة	
99	902,233	إجمالي الرعاية الصحية	
4,340	39,457,521	المجموع الكلي	

أن الطلب على الطاقة عادةً ما يرتبط بدرجات الحرارة (أي درجات الحرارة المرتفعة تتطلب الزيادة في استخدام المكيفات الهوائية)، يمكن لأنظمة الطاقة الشمسية الموزعة أن تساهم في تقليل الفجوة بين الحمل وسعة توليد الطاقة في المنطقة الوسطى، مع ملاحظة أن العديد من شركات الكهرباء والمرافق لا تعتبر مصادر الطاقة المتجددة بأنها سعة ثابتة.

يبلغ إجمالي استهلاك الطاقة بالمنطقة الوسطى 91 تيراوات/ساعة. ونستطيع احتساب حصة أنظمة الطاقة الشمسية من الجيل الموزع التي يمكن توفيرها على أساس: (1) مساحة السطح المُشار إليها في القسم السابق، أو (2) السعة القصوى لأنظمة الطاقة الشمسية التي يمكن تفعيلها. باستخدام مساحة السطح المُحتسبة مُسبقاً، أي 39.46 مليون م²، وقيمة إشعاع شمسي قدره 2,200 كيلو واط لكل ساعة/م²/سنة، يمكن احتساب الطاقة المولدة سنوياً بـ 8.46 تيراواط/ساعة. وذلك يفترض أن كفاءة الوحدة 15%، وأن عامل الخسارة الإجمالية للنظام الشمسي هو 35%، والذي يشمل الفاقد من العاكس والكابلات والحرارة والأعطال وعوامل أخرى (Khan, Asif, and Stach, 2017).

وبطريقة أخرى، يمكن احتساب الطاقة المولدة سنوياً من تقدير السعة القصوى لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والتي احتُسبت في هذه الدراسة بـ 4.34 جيجاواط. بافتراض عامل سعة قدره 21.4%، (Baras et al. 2012)، تحسب الطاقة التي يمكن توليدها سنوياً بـ 8.14 تيراوات ساعة، وذلك موافق للقيمة المحتسبة أعلاه باستخدام المساحة المتاحة. ويعادل ذلك 9% تقريباً من إجمالي حمل المنطقة الوسطى.

وضع النتائج في سياقاتها: الحد الأعلى مقابل الاعتبارات البراجماتية

يحسب هذا البحث الحد الأعلى للسعة التي يمكن تركيبها من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

تتفاوت ساعات الوحدات وأحجامها بين جهات التصنيع المختلفة. وبالنظر إلى جداول المواصفات لدى عدد من مُصنعي وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية حول العالم، وُجد أن معدل نسبة طاقة الوحدة إلى المساحة يتراوح عادة من 0.15 إلى 0.2 كيلو واط/م². هذا المعدل لا يتضمن المسافة الفاصلة بين السلاسل كما هو مبين أعلاه، ولا يشمل كذلك المساحة اللازمة لتركيب العاكس الذي يحول التيار المباشر الذي تولده الوحدات إلى تيار متردد. بافتراض أن المسافة الفاصلة بين السلاسل متر واحد، يقل معدل الطاقة إلى المساحة إلى 0.10 – 0.12 كيلوواط/م².

استناداً إلى المساحات الواردة في الجدول 4 وإلى متوسط معدل نسبة الطاقة إلى المساحة قدره 0.11 كيلو واط/م²، فإن السعة التي يمكن تركيبها من أنظمة الطاقة الكهروضوئية تبلغ 4,340 ميغا واط (أو 4.34 جيجاوات) (كما يتضح في العمود الأيسر). يسهم القطاع السكني بالنسبة الأكبر من هذه السعة – كما هو متوقع - لأنها تحوي المساحة الأكبر من الأسطح بين القطاعات ذات الصلة.

وضع النتائج في سياقاتها: منظور نظام الطاقة

استناداً إلى هذا البحث، يمكن لسعة قصوى قدرها 4.34 جيجاوات من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية أن تتركب على الأسطح في مدينة الرياض. ولصياغة هذه النتيجة في سياق مناسب، من المفيد مراجعة الملف الحالي لتوليد الطاقة بالمملكة العربية السعودية، وبالمنطقة الوسطى على نحو أكثر تحديداً، حيث تقع مدينة الرياض.

وفقاً لهيئة تنظيم الكهرباء، فإن الحمل الذروي للمنطقة الوسطى هو 20 جيجاوات وهذا الحمل أكبر من سعة التوليد الموجودة في هذه المنطقة والتي تبلغ 16 جيجاوات (ECRA 2017). وتتحمل سعة توليد الطاقة المتاحة في المنطقة الشرقية العجز في الإمداد. وبما

الأحياء الثرية، لا سيما أن الأسر الثرية تملك غالباً منازل كبيرة بأسطح أكثر اتساعاً، مما يجعلها أكثر ملاءمة لت تركيب أنظمة الطاقة الشمسية.

إضافة إلى ما سبق، ينبغي ملاحظة أن السكان الذين يسكنون في منازل مستأجرة لن يستثمروا – في الغالب – في أنظمة الطاقة الشمسية، لأنهم لن يتمكنوا من جني المنافع المالية على المدى الطويل. وفي بعض الحالات، قد تكون مساحة السطح متاحة، لكن مالك البيت لا يرغب في تركيب نظام شمسي (Tidwell, 2018). وهذا مشاهد في العديد من البلدان حيث تختلف قناعات الناس ونظرتها تجاه التقنيات وامتلاكها وكيفية التعامل معها. أخيراً، يجدر ذكر أنه في عدة حالات يختار مالك البيت عدم تركيب نظام شمسي على سطح منزله رغبة في عدم تأثر المظهر الجمالي والمعماري للمنزل.

على الأسطح في الرياض. ولأن تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة سيواجه عدداً من القيود الأخرى، لا يمكن اعتبار هذا الرقم حدّاً أو هدفاً عملياً.

تُعدّ جاهزية البنية التحتية، وما إذا كانت المرافق مستعدة للتعامل مع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة إحدى أكبر العوائق التي تقف في طريق انتشار أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة.

ومن العوائق الأخرى التي تعرقل انتشار الأنظمة الشمسية أمام الأسر متوسطة المستوى هو ارتفاع التكاليف نسبياً. فمثلاً، يكلف نظام شمسي بسعة 5 كيلووات حوالي 7,500 دولار على فرض تكلفة 1.5 دولار/وات. وهو مبلغ كبير بالنسبة إلى العديد من الأسر. وبذلك، يمكن أن ينتهي المطاف بتفعيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة بشكل رئيسي في

هذا وينبغي التنبه و عدم الخلط بين السعة القصوى المحتسبة في هذا البحث مع الحد أو الهدف العملي (البرامجاتي). كما هو متوقع، هناك العديد من العوامل التي من شأنها أن تعيق تركيب هذه السعة القصوى، بما في ذلك: قيود الشبكات الفنية والحدود المالية لمالكي البيوت والاعتبارات الجمالية. هذه العوامل وغيرها تعني أن السعة الفعلية التي يمكن تركيبها أقل بكثير من الحد الأعلى المُحتسب. واستنادًا إلى النتائج المعروضة في هذا البحث، يمكن إجراء تحليل مكاني أكثر تفصيلاً للأحياء والمناطق التي تُظهر استعدادًا لتفعيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

حدد هذا البحث سعة أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة التي يمكن تركيبها في مدينة الرياض، بتحليل البيانات للمباني السكنية والمساجد ومراكز التسوق ومراكز الرعاية الصحية. وقد بلغت هذه السعة حوالي 4.34 جيجاوات. وتُعد هذه السعة كبيرة، حيث إن متطلب الحمولة للمنطقة الوسطى -حيث تقع الرياض- في ساعات الذروة يصل إلى 20 جيجاواط. وعلى أساس معامل سعة يبلغ 21.4%، تستطيع هذه السعة المحسوبة أن تلبى 9% تقريبًا من استهلاك الطاقة في المنطقة الوسطى.

Adefarati, T. and R.C. Bansal. 2016. "Integration of renewable distributed generators into the distribution system: a review." *IET Renewable Power Generation* no. 10 (7):873-884.

Azeem, Fawad, Ghous Bakhsh Narejo, and Usman Ali Shah. 2018. "Integration of renewable distributed generation with storage and demand side load management in rural islanded microgrid." *Energy Efficiency*:1-19.

Baras, Abdulaziz, Wail Bamhair, Yahya AlKhoshi, Maher Alodan, and Jill Engel-Cox. 2012. "Opportunities and challenges of solar energy in Saudi Arabia." Paper read at World Renewable Energy Forum," Denver.

Bukhary, Saria, Sajjad Ahmad, and Jacimaria Batista. 2018. "Analyzing land and water requirements for solar deployment in the Southwestern United States." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82:3288-3305.

Camargo, Luis Ramirez, Roland Zink, Wolfgang Dorner, and Gernot Stoeglehner. 2015. "Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale." *Computers, Environment and Urban Systems* 52:58-69.

Chung, Donald, Carolyn Davidson, Ran Fu, Kristen Ardani, and Robert Margolis. 2015. US photovoltaic prices and cost breakdowns. Q1 2015 benchmarks for residential, commercial, and utility-scale systems. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States).

Cronshaw, Ian. 2015. "World Energy Outlook 2014 projections to 2040: natural gas and coal trade, and the role of China." *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 59 (4):571-585.

da Silva, Patrícia Pereira, Guilherme Dantas, Guillermo Ivan Pereira, Lorrane Câmara, and Nivalde J. De Castro. 2019. "Photovoltaic distributed generation – An international review on diffusion, support policies, and electricity sector regulatory adaptation." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 103:30-39.

de Simón-Martín, Miguel, Ana-María Díez-Suárez, Laura Álvarez-de Prado, Alberto González-Martínez, Álvaro De La Puente-Gil, and Jorge Blanes-Peiró. 2017. "Development of a GIS tool for high precision PV degradation monitoring and supervision: Feasibility analysis in large and small PV plants." *Sustainability* 9 (6):965.

Deetjen, Thomas A., Henry Martin, Joshua D Rhodes, and Michael E Webber. 2018. "Modeling the optimal mix and location of wind and solar with transmission and carbon pricing considerations." *Renewable Energy* 120:35-50.

Dobrotkova, Zuzana, Kavita Surana, and Pierre Audinet. 2018. "The price of solar energy: Comparing competitive auctions for utility-scale solar PV in developing countries." *Energy Policy* 118:133-148.

Dusonchet, L, and E Telaretti. 2015. "Comparative economic analysis of support policies for solar PV in the most representative EU countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42:986-998.

Ehsan, Ali, and Qiang Yang. 2018. "Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques." *Applied Energy* 210:44-59.

Electricity and Cogeneration Authority (ECRA). 2017. *Annual Statistical Booklet for Electricity and Seawater Desalination Industries*, Riyadh.

Elshurafa, Amro M., Shahad R. 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.

Elshurafa, Amro M., Hind M. Farag, and David A. Hobbs. 2019. "Blind spots in energy transition policy: Case studies from Germany and USA." *Energy Reports* 5:20-28.

- Hofierka, Jaroslav, and Tomáš Cebecauer. 2008. "Spatially distributed assessment of solar resources for energy applications in Slovakia." *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis. Prírodné vedy, Folia Geographica* 12:97-114.
- Huld, Thomas, Marcel Suri, Ewan Dunlop, Michel Albuissou, and Lucien Wald. 2005. "Integration of Helioclim-1 database into PV-GIS to estimate solar electricity potential in Africa." Paper read at Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference.
- International Energy Agency (IEA). 2018. *World Energy Outlook 2018*. Paris: International Energy Agency. ISBN: 978-92-64-30677-6.
- Jamal, Taskin, Weerakorn Ongsakul, Jay Govind Singh, Sayedus Salehin, and S.M. Ferdous. 2014. "Potential rooftop distribution mapping using Geographic Information Systems (GIS) for Solar PV Installation: A case study for Dhaka, Bangladesh." Paper read at 2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET).
- Jamil, Majid, and Ahmed Sharique Anees. 2016. "Optimal sizing and location of SPV (solar photovoltaic) based MLDG (multiple location distributed generator) in distribution system for loss reduction, voltage profile improvement with economical benefits." *Energy* 103:231-239.
- Jeong, Yu-Cheol, Eul-Bum Lee, and Douglas Alleman. 2019. "Reducing voltage volatility with step voltage regulators: A life-cycle cost analysis of Korean solar photovoltaic distributed generation." *Energies* 12 (4):652.
- Kakran, Sandeep, and Saurabh Chanana. 2018. "Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81:524-535.
- 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.
- Kucuksari, Sadik, Amirreza M Khaleghi, Maryam Hamidi, Ye Zhang, Ferenc Szidarovszky, Guzin Bayraksan, and Young-Jun Son. 2014. "An Integrated GIS, optimization and simulation framework for optimal PV size and location in campus area environments." *Applied Energy* 113:1601-1613.
- Latif, Zulkiflee Abd, Nurul Ain Mohd Zaki, and Siti Aekbal Salleh. 2012. "GIS-based estimation of rooftop solar photovoltaic potential using LiDAR." Paper read at 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications.
- Li, Hongmei, Hantao Cui, and Chunjie Li. 2019. "Distribution network power loss analysis considering uncertainties in distributed generations." *Sustainability* 11 (5):1311.
- Lopez, Anthony, Billy Roberts, Donna Heimiller, Nate Blair, and Gian Porro. 2012. "US renewable energy technical potentials: A GIS-based analysis." NREL.
- McCormick, P.G., and H. Suehrcke. 2018. "The effect of intermittent solar radiation on the performance of PV systems." *Solar Energy* no. 171:667-674.
- McPherson, Madeleine, and Bryan Karney. 2017. "A scenario-based approach to designing electricity grids with high variable renewable energy penetrations in Ontario, Canada: Development and application of the SILVER model." *Energy* no. 138:185-196.
- Mehigan, L, JP Deane, BP Ó Gallachóir, and V Bertsch. 2018. "A review of the role of distributed generation (DG) in future electricity systems." *Energy*.
- Mondal, Md. Alam Hossain, and AKM Sadrul Islam. 2011. "Potential and viability of grid-connected solar PV system in Bangladesh." *Renewable Energy* 36 (6):1869-1874.
- Monyei, C.G., A.O. Adewumi, and K.EH. Jenkins. 2018. "Energy (in) justice in off-grid rural electrification policy: South Africa in focus." *Energy Research & Social Science* 44:152-171.

- Moriarty, Patrick, and Damon Honnery. 2016. "Can renewable energy power the future?" *Energy Policy* 93:3-7.
- Muaafa, Mohammed, Iqbal Adjali, Patrick Bean, Rolando Fuentes, Steven O. Kimbrough, and Frederic H. Murphy. 2017. "Can adoption of rooftop solar panels trigger a utility death spiral? A tale of two US cities." *Energy Research & Social Science* 34:154-162.
- Panwar, N.L., S.C. Kaushik, and Surendra Kothari. 2011. "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (3):1513-1524.
- Picciariello, Angela, Claudio Vergara, Javier Reneses, Pablo Frías, and Lennart Söder. 2015. "Electricity distribution tariffs and distributed generation: Quantifying cross-subsidies from consumers to prosumers." *Utilities Policy* 37:23-33.
- Prehoda, Emily, Joshua M. Pearce, and Chelsea Schelly. 2019. "Policies to overcome barriers for renewable energy distributed generation: A Case study of utility structure and regulatory regimes in Michigan." *Energies* 12 (4):674.
- Quitow, Rainer. 2015. "Dynamics of a policy-driven market: The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany." *Environmental Innovation and Societal Transitions* 17:126-148.
- Ranalli, J., K. Calvert, M. Bayrakci Boz, and J.R.S. Brownson. 2018. "Toward comprehensive solar energy mapping systems for urban electricity system planning and development." *The Electricity Journal* 31 (1):8-15.
- Robinson, Scott A., Matt Stringer, Varun Rai, and Abhishek Tondon. 2013. "GIS-integrated agent-based model of residential solar PV diffusion." Paper read at 32nd USAEE/IAEE North American Conference.
- Rosas-Flores, Jorge Alberto, Dionicio Rosas-Flores, and José Luis Fernández Zayas. 2016. "Potential energy saving in urban and rural households of Mexico by use of solar water heaters, using geographical information system." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53:243-252.
- Sadeghian, Hamidreza, Mir Hadi Athari, and Zhifang Wang. 2017. "Optimized solar photovoltaic generation in a real local distribution network." Paper read at 2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT).
- Semeraro, Teodoro, Alessandro Pomes, Cecilia Del Giudice, Danilo Negro, and Roberta Aretano. 2018. "Planning ground based utility scale solar energy as green infrastructure to enhance ecosystem services." *Energy Policy* 117:218-227.
- Sørensen, Bent. 2001. "GIS management of solar resource data." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 67 (1-4):503-509.
- Taşçıkaraoğlu, Akın. 2018. "Economic and operational benefits of energy storage sharing for a neighborhood of prosumers in a dynamic pricing environment." *Sustainable Cities and Society* 38:219-229.
- Thopil, M.S., R.C. Bansal, L. Zhang, and G. Sharma. 2018. "A review of grid connected distributed generation using renewable energy sources in South Africa." *Energy Strategy Reviews* 21:88-97.
- Tidwell, Jacqueline, Abraham Tidwell, and Steffan Nelson. 2018. "Surveying the Solar Power Gap: Assessing the Spatial Distribution of Emerging Photovoltaic Solar Adoption in the State of Georgia, USA." *Sustainability* 10 (11):4117.
- Trappey, Amy J.C., Charles V. Trappey, Hao Tan, Penny HY Liu, Shin-Je Li, and Lee-Cheng Lin. 2016. "The determinants of photovoltaic system costs: an evaluation using a hierarchical learning curve model." *Journal of Cleaner Production* 112:1709-1716.
- Van Hoesen, John, and Steven Letendre. 2010. "Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning." *Renewable Energy* 35 (9):2114-2122.

Visser, Elke, Vonica Perold, Samantha Ralston-Paton, Alvaro C. Cardenal, and Peter G. Ryan. 2019. "Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa." *Renewable Energy* 133:1285-1294.

Walters, Jeffrey, Jessica Kaminsky, and Lawrence Gottschamer. 2018. "A systems analysis of factors influencing household solar PV adoption in Santiago, Chile." *Sustainability* 10 (4):1257.

Weitemeyer, Stefan, David Kleinhans, Thomas Vogt, and Carsten Agert. 2015. "Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage." *Renewable Energy* 75:14-20.

Wong, Man Sing, Rui Zhu, Zhizhao Liu, Lin Lu, Jinqing Peng, Zhaoqin Tang, Chung Ho Lo, and Wai Ki Chan. 2016. "Estimation of Hong Kong's solar energy potential using GIS and remote sensing technologies." *Renewable Energy* 99:325-335.

Wouters, Carmen. 2015. "Towards a regulatory framework for microgrids — The Singapore experience." *Sustainable Cities and Society* 15:22-32.

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.

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.

يصف هذا القسم الخطوات المتخذة لمعالجة بيانات استخدام الأراضي لإعداد الجداول والرسومات المبينة أعلاه. كما يتضح أدناه مقتطفات مختارة من كود بايثون.

1. الحصول على مخطط استخدام الأراضي من بوابة نظم المعلومات الجغرافية لهيئة تطوير مدينة الرياض.

توريد مكتبات الباندا باسم "
توريد "نمي" باسم "
توريد نظم المعلومات الجغرافية من ..

```
(ago_gis = GIS("http://www.arriyadhmap.com/adagis", verify_cert=False
("search_subset = ago_gis.content.search("Land use", item_type = "Feature Layer
[landuse_item = search_subset[0
landuse_item
```

استخدام الأراضي

جمع طبقات الخصائص بواسطة sde@ADANET



فتح الطبقة أعلاه في ArcGIS Pro، إضافة خاصية مساحة الأراضي (بالمتر المربع) لكل قطعة عبر تنفيذ أداة «إضافة خصائص علم الهندسة». ثم تصدير البيانات إلى نسق ملفات بقيمة مقسومة بالفاصلة على شكل جداول. حيث إن معظم الحقول تم ملؤها باللغة العربية، وقد أُخِذَت خطوات إضافية لترجمة القيم في الخصائص ذات الصلة (مثل كود استخدام الأراضي ونوع البناية) إلى اللغة الإنجليزية.

2. توريد بيانات استغلال الأراضي حسبها تم تصديرها من نظام المعلومات الجغرافية.

```
landuse_raw = pd.read_csv(r'.\KSA\output\landuse_raw_solar_use_v2.csv')
```

```
landuse = landuse_raw[['Unnamed: 0',
                        'RULEID',
                        'Btype',
                        'ParcelUse',
                        'AREA_GEO'
                       ]]
landuse.head(1)
```

	Unnamed: 0	RULEID	Btype	ParcelUse	AREA_GEO
0	0	1	4	1110	779.494

3. إعداد البيانات - خطوة 1: توريد فئات استخدام الأراضي.

```
landuse_type = pd.read_csv(r'.\KSA\domains\landuse_types_DG_categories.csv')
landuse_type.Landuse_type = landuse_type.Landuse_type.str.strip()
landuse_type.drop(columns=['OID', 'DG_Category'], inplace=True)
```

```
landuse = landuse.merge(landuse_type, how='inner', on='RULEID')
landuse.head()
```

Landuse_type	AREA_GEO	ParcelUse	Btype	RULEID	Unnamed: 0	
سكنية	779.494	1110	4	1	0	0
سكنية	651.353	1110	4	1	1	1
سكنية	724.642	1110	6	1	2	2
سكنية	643.559	1110	4	1	3	3
سكنية	1130.485	1110	4	1	4	4

4. إعداد البيانات - خطوة 2: توريد أنواع المباني والفئات التفصيلية لاستخدام قطع الأراضي.

```
btype = pd.read_csv(r'.\KSA\domains\Btypes.csv')
btype[["bType_desc_eng", "bType_desc"]] = btype[["bType_desc_eng", "bType_desc"]].applymap(np.str.strip)
landuse = landuse.merge(btype, on="Btype")
```

```
pUse = pd.read_csv(r'.\KSA\domains\ParcelUse_domain.csv')
pUse.use_code_desc = pUse.use_code_desc.str.strip()
pUse.drop(columns=['OID'], inplace=True)
pUse.rename(columns={'use_code': 'ParcelUse'}, inplace=True)
landuse = landuse.merge(pUse, on="ParcelUse")
```

```
landuse.head()
```

use_code_desc*	bType_desc_eng	Landuse_type	AREA_GEO	ParcelUse	Btype	RULEID	Unnamed: 0	
فيلا/شقة	فيلا	سكنية	779.494	1110	4	1	0	0
فيلا/شقة	فيلا	سكنية	651.353	1110	4	1	1	1
فيلا/شقة	فيلا	سكنية	643.559	1110	4	1	3	2
فيلا/شقة	فيلا	سكنية	1130.485	1110	4	1	4	3
فيلا/شقة	فيلا	سكنية	1052.932	1110	4	1	5	4

5. إعداد البيانات - خطوة 3: إعادة تسمية الحقول والاحتفاظ بالحقول ذات الصلة فقط.

```
landuse.rename(columns={'Unnamed: 0': 'land_id',
                        'AREA_GEO': 'land_area_m2',
                        'bType_desc_eng': 'building_type',
                        'use_code_desc': 'detailed_use'}, inplace=True)

landuse = landuse[['land_id',
                  'landuse_type',
                  'buildingType',
                  'detailedUse',
                  'land_area_m2']]

landuse.head()
```

land_area_m ²	detailed_use	building_type	Landuse_type	land_id	
779.494	فيلا/شقة	فيلا	سكنية	0	0
651.353	فيلا/شقة	فيلا	سكنية	1	1
643.559	فيلا/شقة	فيلا	سكنية	3	2
1130.485	فيلا/شقة	فيلا	سكنية	4	3
1052.932	فيلا/شقة	فيلا	سكنية	5	4

6. إعداد البيانات - خطوة 4: إدراج الأكواد الفريدة لاستخدام الأراضي وأنواع المباني (مصدر الجدول 1 و2).

```
list(landuse.landuse_type.unique())
```

<سكنية>،
 <المساجد>،
 <خدمات الأعمال>،
 <تجاري>،
 <أرض خالية>،
 <مجهول>،
 <الحدائق وأماكن الترفيه>،
 <خدمات. الحكومية>،
 <الخدمات الصحية>،
 <خدمات النقل>،
 <التخزين والمستودعات>،
 <الخدمات الحكومية>،

«تقنية المعلومات والاتصالات والخدمات العامة»
 «الاجتماعية والثقافية»
 «الصناعية»
 «الزراعية»
 «مقابر»

(()list(landuse.building_type.unique

«فيللا»
 «مبنى حضري»
 «ثقة»
 (استخدام مختلط (في مبنى متعدد الطوابق
 مبنى تجاري/مبنى به مساحات مخصصة لمتاجر البيع بالتجزئة
 قَصْر
 «أخرى»
 مجمع/ غير معلوم نوع مبنى
 «أرض خالية»
 خيمة أو كوخ
 خدمات عامة
 (استخدام مختلط (ليس في مبنى متعدد الطوابق
 مركز تجاري
 بيت عربي تقليدي
 مبنى مكثبي
 مستودع
 مصنع
 سوق

7. إعداد البيانات - خطوة 5: تصفية كل قطع الأراضي التي تحمل علامة «مبانٍ فارغة» أيّ خالية.

landuse = landuse[landuse.building_type.str.upper()!>Vacant land>.upper()]

8. إعداد البيانات - خطوة 6: تقييد البيانات لتشمل فقط قطع الأراضي برمز استخدام أراضي موسومة على أنها: سكنية ومساجد وتجارية وخدمات صحية.

landuse = landuse[landuse.landuse_type.isin(['<residential>,>mosques>,>commercial>,>health services>])]

9. تجميع البيانات على أساس رموز استغلال الأراضي.

```
agg = {'land_id': ['count'],
      'land_area_m2': ['sum', 'mean'],
      }
totals = landuse.groupby(['landuse_type']).agg(agg)
totals.columns = ["total_"+"_" + join(col) for col in totals.columns.values]
totals.sort_values(["landuse_type", "total_land_area_m2_sum"], ascending=[False,
False], inplace=True)
الإجمالي
```

total_land_area_m2_mean	total_land_area_m2_sum	total_land_id_count	landuse_type
712.178	272387977.486	382472	سكنية
2173.327	9675650.631	4452	المساجد
8743.687	7222285.302	826	الخدمات الصحية
2432.076	22961228.784	9441	تجاري

10. تجميع البيانات على أساس رموز استخدام الأراضي وأنواع المباني.

```
agg = {'land_id': ['count'],
      'land_area_m2': ['sum', 'mean']
      }
grouped_LU = landuse.groupby(['landuse_type', 'building_type']).agg(agg)
grouped_LU.columns = ["_" + join(col) for col in grouped_LU.columns.values]
grouped_LU.reset_index(inplace=True)
grouped_LU.sort_values(["landuse_type", "land_area_m2_sum"], ascending=[False, False],
inplace=True)
```

من خلال إطار البيانات "dataframe" تصنيف استخدام الأراضي يمكننا حساب المساحة الإجمالية للأراضي التي يشغلها القطاع السكني في الرياض، تحديداً: الفيلات والقصور والشقق.

```
res_LU = grouped_LU[grouped_LU.landuse_type=="Residential"]
res_LU = res_LU[res_LU.building_type.isin(['Villa', 'Mansion', 'Apartment Building'])]
res_LU
```

land_area_m2_mean	land_area_m2_sum	land_id_count	building_type	landuse_type	
619.898	171626280.502	276862	فيلا	سكنية	38
596.957	22689745.934	38009	فيلا	سكنية	40
10401.515	17557757.849	1688	شقة	سكنية	39

11. تجميع البيانات على أساس رموز استخدام الأراضي وكود الاستخدام التفصيلي.

```
agg = {'land_id': ['count'],
      'land_area_m2': ['sum', 'mean'],
      }
grouped_dUse = landuse.groupby(['landuse_type', 'detailed_use']).agg(agg)
grouped_dUse.columns = ["_".join(col) for col in grouped_dUse.columns.values]
grouped_dUse.reset_index(inplace=True)
grouped_dUse.sort_values(['landuse_type', "land_area_m2_sum"], ascending=[False,
False], inplace=True)
```

من خلال إطار البيانات "dataframe" تصنيف استخدام الأراضي "يمكننا الوصول إلى إجمالي مساحة الأراضي المستغلة لبناء المساجد في الرياض

```
mos_LU = grouped_dUse[grouped_dUse.landuse_type=="Mosques"]
mos_LU = mos_LU[mos_LU.detailed_use.isin(['مساجد صغيرة بالأحياء (مساجد محلية)', 'مساجد جمعة (مساجد محلية)'])]
mos_LU
```

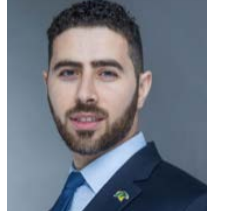
land_area_m2_mean	land_area_m2_sum	land_id_count	detailed_use	landuse_type	
1785.480	5811737.911	3255	مساجد صغيرة بالأحياء (مساجد محلية)	المساجد	122
2972.669	3237236.049	1089	مساجد جمعة	المساجد	121

وبالمثل، يمكن حساب إجمالي مساحة الأراضي المخصصة لمراكز التسوق (أي المباني التجارية) ومرافق الخدمات الصحية، مثل: العيادات والمستشفيات الخاصة والعامة.

نبذة عن الفريق

عبد الرحمن محسن

باحث مشارك أول ومهني معتمد في مجال نُظم المعلومات الجغرافية. تركز أبحاثه على النقل والتحليلات المكانية وإدارة المعلومات الجغرافية، وهو حاصل على درجة الماجستير في الهندسة الجيوماتيكية من جامعة كالجاري بكندا.



عمرو الشرفاء

زميل باحث يعمل على تحويلات الطاقة، وتشمل اهتماماته البحثية نمذجة أنظمة الطاقة واقتصادات تقنية أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتصميم الشبكات الهجينة. كتب ما يزيد على 40 بحثًا وتقديرًا، وسجل العديد من براءات الاختراع، وهو حاصل على درجة الدكتوراه في الهندسة الكهربائية والماجستير في التمويل.



نبذة عن المشروع

يمكن أن تلعب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي يتم تركيبها على الأسطح، والتي يشار إليها عادةً باسم أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة، دورًا رئيسيًا في مزيج الطاقة للمدن المستدامة. وكما هو الحال مع جميع أشكال توليد الطاقة، ينتج عن تبني أنظمة الطاقة الشمسية الموزعة عدد من التبعات الفنية والمالية والسياسية والسوقية التي تؤثر شركات الكهرباء والحكومات والأطراف المعنية الأخرى.

ولتحقيق هذا الغرض، تحدد هذه الدراسة الحد الأعلى لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح التي يمكن تفعيلها في الرياض، عاصمة المملكة العربية السعودية، باستخدام تحليل نظام المعلومات الجغرافية. كما تُستخدم الدراسة مجموعة من البيانات تضم ما يقرب من مليون قطعة أرض، بالإضافة إلى فئات استخدام قطع الأراضي وأنواع المباني وقواعد البناء ذات الصلة. وأثبت البحث بلوغ السعة القصوى المحتملة لـ 4.34 جيجاوات، ممثلة ما يقرب من 22% من الحمل الذروي للمنطقة الوسطى بالمملكة العربية السعودية، وملبية لما يقرب من 9% من إجمالي احتياجات الطاقة في هذه المنطقة.



www.kapsarc.org