تقييم خيارات خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الطاقة الكهربائية المستهلكة بالقطاع السكني في المملكة العربية السعودية: دراسة حالة منطقة القصيم

مريم الحربي ومها الصباغ *

قسم الموارد الطبيعية والبيئة، كلية الدراسات العليا،
جامعة الخليج العربي، ص.ب: 26671، مملكة البحرين

*بريد الكتروني : mahamw@agu.edu.bh

المُستَخلَص

تاريخ استلام البحث: 2021/06/12
تاريخ تعديل البحث: 2021/09/07
تاريخ قبول البحث: 2021/09/20

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى فاعلية مجموعة من الخيارات المتاحة لخفض الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية في القطاع السكني بالقصيم وما يتبعه من انبعاثات. ولتحقيق هذا الهدف، تم استخدام برنامج تحليل الانبعاثات المنخفضة (LEAP) لإعداد السيناريو المرجعي وسيناريوهات التخفيف المختلفة خلال الفترة 2018 – 2030 بالاعتماد على نتائج مسح الطاقة المنزلي. وتم دراسة مدى فاعلية خيارات تحسين كفاءة أجهزة التكييف، وتركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن، واستخدام سخانات المياه الشمسية، ورفع الوعي لدى الأسر لخفض استهلاك الطاقة الكهربائية وذلك بصورة سيناريوهات منفردة ومجتمعة. وأوضحت النتائج أنه، وبحسب نتائج مسح الطاقة المنزلي، فإن الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية سيواصل الارتفاع ليبلغ نحو 12.4 ألف جيجاوات - ساعة في عام 2030، في حين ستصل الانبعاثات إلى 7.4 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. وتوضح نتائج النمذجة الاحتمالية أن الطلب النهائي على الكهرباء في القطاع السكني في القصيم سيتراوح ما بين 6.5 و19.5 ألف جيجاوات - ساعة بنسبة ثقة تبلغ 90٪، في حين أن الحد الأدنى والحد الأعلى للطلب هما 4.8 و32.8 ألف جيجاوات – ساعة في عام 2030، وذلك بالاعتماد على نتائج مسح الطاقة المنزلي. وتشير النتائج إلى أنه من الممكن خفض الطلب على الكهرباء والانبعاثات بنحو 15٪ عند تطبيق الخيارات بصورة منفردة، وبما يصل إلى 90٪ عند تطبيق الخيارات بصورة مجتمعة، خلال الفترة 2022-2030 مقارنة بالسيناريو المرجعي. وتوصي الدراسة بإجراء تقييم اقتصادي لتطبيق خيارات التخفيف وتحديد الخيارات المتاحة لنماذج التمويل المقترحة، كما توصي أيضاً بجمع المزيد من المعلومات المتعلقة بنمط استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني وذلك لضمان الإفادة من نتائج مسح الطاقة المنزلي في تقييم السياسات المتعلقة بالطاقة وتغير المناخ في القطاع السكني.

الكلمات الدالة: برنامج LEAP، تغير المناخ، الطاقة المتجددة، كفاءة الطاقة، مسح الطاقة المنزلي

المقدمة

مرت ستة أعوام على توقيع اتفاقية باريس بشأن تغير المناخ، ولقد كان تغير المناخ ولا

يزال أحد أبرز القضايا البيئية التي تواجه المجتمع في العصر الحديث، إذ أصبح جلياً للجميع الارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة وما يترتب على ذلك من آثار. ومنذ ذلك الحين، أجمعت دول العالم على بذل الجهود اللازمة بهدف الحفاظ على متوسط ارتفاع درجات الحرارة في حدود 2°م مع استهداف 1.5°م مقارنة بما كانت عليه قبل الحقبة الصناعية. وعلى الرغم من الاهتمام العالمي المتزايد بتغير المناخ، إلا أن فجوة الانبعاثات أصبحت أكبر من أي وقت مضى، إذ ارتفع معدل انبعاث ثاني أكسيد الكربون المتعلقة بالطاقة بنحو 4٪ (Amin, 2019).

قدمت العديد من الدول مساهماتها لخفض انبعاث غازات الدفيئة المتسببة في ظاهرة تغير المناخ، وتحديداً ثاني أكسيد الكربون، وتضمنت تقارير المساهمات المحددة والبلاغات الوطنية للدول تدابير وسياسات تم اتخاذها للتكيف مع آثار تغير المناخ والتخفيف من الانبعاثات لمجموعة من القطاعات من بينها قطاع الطاقة، لاسيما وأن 70٪ من انبعاث غازات الدفيئة عالمياً متعلق بقطاع الطاقة (IPCC, 2014). ويعتبر القطاع السكني مسؤولاً عن الحصة الأكبر من هذه الانبعاثات، إذ يتسبب بنحو 25٪ من الانبعاثات على مستوى العالم كونه يعتمد في إنتاج الطاقة الكهربائية على الوقود الأحفوري بشكل أساسي. وتبدو إمكانية خفض الانبعاثات من القطاع السكني أحد الخيارات الواعدة. إذ يستهلك القطاع السكني نحو 27٪ من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة بالعالم. وبسبب النمو السكاني والاقتصادي، فإنه من المتوقع أن يرتفع الطلب على الطاقة الكهربائية من هذا القطاع بنحو 1.4٪ سنوياً خلال الفترة من 2018- 2050 (IEA, 2019).

في المملكة العربية السعودية، يستهلك القطاع السكني 50٪ من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة. ويختلف نوع الوقود المستخدم في محطات إنتاج الطاقة الكهربائية من محطة إلى أخرى، ولكنها تعتمد جميعها بشكل أساسي على الوقود الأحفوري (هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج، 2018). وينعكس اعتماد المملكة على الوقود الأحفوري في إنتاج الكهرباء على انبعاث غازات الدفيئة التي ازدادت بمعدل نمو سنوي بلغ 10٪ خلال الفترة 1990-2017 (IEA, 2017). ويعتبر نصيب الفرد من الانبعاثات في المملكة عاشر أعلى معدل على مستوى العالم، ويأتي ذلك على غرار دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية الأخرى، والتي جاءت جميعها ضمن قائمة أعلى عشرين دولة على مستوى العالم في نصيب الفرد من انبعاث غازات الدفيئة.

تهدف هذه الدراسة بشكل عام إلى تقييم مجموعة من الخيارات المعنية بخفض انبعاث ثاني أكسيد الكربون من الكهرباء المستهلكة بالقطاع السكني بمنطقة القصيم بالمملكة العربية السعودية. وتبرز أهمية هذه الدراسة في عدة جوانب بيئية واقتصادية؛ فعلى الجانب البيئي، ستسهم نتائج البحث في توفير المعطيات اللازمة لصنع السياسات المتعلقة بالطاقة وتغير المناخ، مما يسهم في تطوير الخطط الوطنية لكفاءة استخدام الطاقة والطاقة المتجددة. أما على الجانب الاقتصادي، فإن خفض الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني يسهم في توفير التكاليف المالية المرتبطة بإنشاء محطات جديدة لإنتاج الكهرباء لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة، ناهيك عن التكاليف الاقتصادية الناتجة عن تدهور البيئة بسبب إنتاج واستهلاك الوقود الأحفوري.

الدراسات السابقة

تختلف الدول في الخصائص الجغرافية، والاجتماعية، والاقتصادية، مما يؤثر في استهلاك القطاع السكني للكهرباء فيها، إلا أنه وبشكل عام، فإن غالبية استهلاك القطاع السكني للطاقة الكهربائية يتم

لأغراض التكييف أو التدفئة، متبوعاً بتسخين المياه والإنارة. ومن هنا يبرز الاهتمام بهذه الأجهزة عند وضع السياسات التي تستهدف تحسين كفاءة استهلاك الطاقة الكهربائية. ولتقييم مدى فاعلية تحسين كفاءة أجهزة الإنارة في خفض استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني في إحدى مناطق إسبانيا، فقد قام جاجو (Gago, *et al.*, 2011) ببناء نموذج حتمي Deterministic Model لتقييم خيارات خفض استهلاك الطاقة الكهربائية من الإنارة بالقطاع السكني. أما في دراسة بالاشيوس – جارسيا وآخرون (Palacios-Garcia *et al.*, 2015)، فقد تم بناء نموذج احتمالي Probabilistic Model يوضح الاستهلاك المفصل للكهرباء في الإنارة لنفس المدينة بإسبانيا. وتم أخذ عدد القاطنين بالمساكن بعين الاعتبار عند بناء النموذج بالإضافة إلى الأيام، سواء كانت أيام عمل أو نهاية الأسبوع. وخلصت الدراسة إلى أن استخدام مصابيح انبعاث الإضاءة الدايودي Light-Emitting (LED) Diodes من شأنه أن يحقق خفضاً يتراوح بين 40٪ و80٪ من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة في الإنارة، وهذا ما يعني خفضاً يصل إلى 360 ألف طن من ثاني أكسيد الكربون.

تحظى السياسات المتعلقة بإنتاج واستهلاك الطاقة في العالم بأهمية متزايدة، وتتبنى العديد من الدول سياسات تحفز على التحول إلى اقتصاد منخفض الكربون. ويمكن لسياسات تحسين كفاءة استخدام الطاقة في القطاع السكني أن تحقق نسبة خفض في استهلاك الطاقة الكهربائية تتراوح ما بين 25٪ و30٪ (IPCC, 2014). وبالرغم من أهمية سياسات تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، إلا أن العديد من الدراسات قد بينت أن تحقيق الخفض في استهلاك الكهرباء نتيجة تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في أجهزة ما، قد يصاحبه في كثير من الأحيان زيادة في استهلاك الكهرباء في أجهزة أخرى. وهذا ما أثبته سن - جانغ وبي - لينج (Xin-gang & Pei-ling, 2020) في دراسة حول ظاهرة الارتداد (Rebound Effect) عند تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في القطاع السكني في الصين، إذ خلصت الدراسة إلى أن تطبيق أية سياسات تتعلق برفع كفاءة استهلاك الطاقة في أجهزة معينة يمكنه فعلاً أن يحقق خفضاً في إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة، ولكن بنسبة 15٪ فقط، في حين أن النسبة الباقية يتم استهلاكها في أجهزة أخرى.

وبالإضافة إلى الخيارات التقنية، تبرز خيارات رفع الوعي وتغيير سلوك المستهلكين ضمن الخيارات المتاحة لخفض استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني، ويمكن أن يسهم الوعي بقضايا البيئة والمناخ في خفض الطلب على الطاقة الكهربائية وذلك بنسبة تصل إلى 20٪ على المدى القصير، وإلى 50٪ بحلول عام 2050 (IPCC, 2014). وبغية تغيير السلوك، فإنه لابد أولاً من فهم العوامل التي تؤثر في هذا السلوك. ومن هذا المنطلق، قام الباحث جاكوشويت - سكودين وأخرون (Jakučionytė-Skodienė, *et al.*,2020) بدراسة العوامل التي تؤثر على سلوك المستهلكين في القطاع السكني في ليتوانيا.

وفي المملكة العربية السعودية، تتنوع الخيارات التي تمت دراستها لخفض استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني بالمملكة وما يتبعه من انبعاثات. ومن أبرز هذه الخيارات هو تصميم المباني، وإعادة تجديد القائم منها، وتحسين كفاءة استهلاك الأجهزة الكهربائية للطاقة، بالإضافة إلى رفع وعي المستهلكين بغية تغيير سلوكهم، وأخيراً تركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن. وفي دراسة لكرارتي وآخرون (Krarti, *et al.*, 2017)، تم تقييم الآثار الاقتصادية والبيئية لبرامج كفاءة الطاقة المرتبطة بالمباني السكنية الجديدة والحالية بالمملكة، باستخدام منهجية من الأسفل إلى الأعلى. كما أجرى كرارتي وآخرون (Krarti, *et al.*, 2020 a) دراسة تم فيها تطوير 54 نموذجاً للبناء باستخدام منهجية من الأسفل إلى الأعلى، وتم في هذه الدراسة افتراض إعادة تجديد المساكن وتحسين

كفاءة استهلاك أجهزة التكييف والإضاءة فيها، بالإضافة إلى استخدام العزل الحراري. كما قامت التميمي (Al-Tamimi, 2017) بإجراء دراسة لتقييم السياسات التي اتخذتها المملكة لتحسين كفاءة الطاقة في القطاع السكني.

وتم إجراء عدد من الدراسات التي تستهدف الوقوف على مدى استجابة المستهلكين في القطاع السكني لتغيير السلوك، وانعكاس ذلك على كمية الكهرباء المستهلكة، فقد توصل ناهد الزمان وآخرون (Nahiduzzaman, *et al.*, 2018) إلى أن الأسر التي خضعت لتأثير مجموعة من مبادرات تغيير السلوك قد حققت خفضاً بنسبة 5٪ في متوسط استهلاكها للطاقة الكهربائية. وقام النخلة وآخرون (El-Nakla, *et al.*, 2018) بدراسة وعي المستهلك في القطاع السكني فيما يتعلق بترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية في مساكنهم، وبينت النتائج تدني وعي المستهلك بممارسات الحفاظ على الطاقة. وفي تقييم لجدوى مبادرة دعم المكيفات ذات الكفاءة العالية التي أطلقها المركز السعودي لكفاءة الطاقة، فقد توصل كرارتي و هووارث (Krarti, & Howarth, 2020 b) إلى إمكانية تحقيق خفض سنوي يبلغ 33.6 تيراوات – ساعة من استهلاك الكهرباء و24.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون، وذلك في حالة استجابة الأسر لهذه المبادرة.

ولم تقتصر الدراسات على تقييم خيارات تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتغيير السلوك فحسب، وإنما شملت أيضاً تقييم المنافع المتحققة من تركيب ألواح الخلايا الشمسية في المساكن، ففي دراسة خان وآخرون (Khan, *et al.*, 2017)، تم التوصل إلى أن استخدام الطاقة الشمسية في المساكن يمكن أن يلبي 30٪ من إجمالي الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني. كما توصلت دراسة لوبز – ريز وآخرون (Lopez-Ruiz, *et al.*, 2020)، إلى أنه يمكن أن تصل السعة الإجمالية للطاقة الشمسية المستخدمة في المساكن في مدينة الرياض إلى نحو 400 ميجاوات. وفيما يتعلق برغبة الأسر في تركيب ألواح الخلايا الشمسية في مساكنهم، فقد خلص الرشود و توكيماتسو (Alrashoud, & Tokimatsu, 2020) إلى أن 79.7٪ من الأسر ترغب في ذلك، ولكن عندما يتم دعم 40٪ من التكاليف الأولية من قبل الحكومة.

أما في منطقة القصيم، فقد قام إسماعيل وآخرون (Esmaeil, *et al.*, 2019) بدراسة أنماط استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني خلال الفترة 2012-2014. وبينت الدراسة أنه يمكن تحقيق خفض في استهلاك المكيفات للكهرباء بنسبة 43٪ عند تطبيق أنظمة العزل الحراري، كما يمكن أيضاً تحقيق خفض بنسبة 3٪ عند تركيب أجهزة إنارة ذات كفاءة عالية. وفي دراسة أخرى في منطقة القصيم، قام المصري وآخرون (Almasri, *et al.*, 2020) بدراسة استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني، وتقييم الآثار الاقتصادية والبيئية المترتبة على هذا الاستهلاك في عام 2017. وفي هذه الدراسة، تم جمع المعلومات المتعلقة بملكية الأجهزة الكهربائية واستخدامها من خلال مسح تضمن 100 مشارك من طلبة جامعة القصيم. وبينت نتائج المسح أن المتوسط السنوي لإجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة لكل مسكن بالقصيم يتراوح ما بين 30,832 و34,448 كيلووات - ساعة. كما أشارت النتائج إلى أن تطبيق أنظمة العزل الحراري يمكنه أن يسهم بخفض انبعاث غازات الدفيئة بنحو 383 طن، في حين أن فترة استرداد التكلفة تتراوح ما بين 10 و15 سنة.

وتعتبر نمذجة إنتاج واستهلاك الطاقة أحد أبرز الأدوات المستخدمة لتوفير المعطيات اللازمة لصنع السياسات وتخطيط الطاقة، إذ أنها أساسية للوقوف على الطلب المتوقع على الطاقة، سواء من القطاع السكني أو غيره من القطاعات. كما لا يمكن أيضاً من دونها الوقوف على مدى فاعلية الخيارات

المختلفة لخفض استهلاك الطاقة وما يتبعها من انبعاثات، سواء كانت من غازات الدفيئة أو من ملوثات الهواء. ولهذا، فقد قام ديوها وكومار (Dioha & Kumar, 2020) ببناء نموذج لمحاكاة استهلاك الطاقة في القطاع السكني في نيجيريا لتحديد المسارات المختلفة لتحقيق استدامة الطاقة في هذا القطاع. وقام واكياما وكراموشي (Wakiyama & Kuramochi, 2017) ببناء السيناريوهات وتحليلها وذلك بغية تقييم خيارات خفض استهلاك الطاقة الكهربائية وما يتبعها من انبعاثات من القطاع السكني في اليابان.

وبالإضافة إلى عملية بناء السيناريوهات والنماذج المحددة، فإن التوجه نحو بناء النماذج الاحتمالية واستخدام تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis)، وذلك لتوقع الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني، قد أخذ في الوضوح في السنوات القليلة الماضية. حيث أنه وبالإضافة إلى دراسة بالاشيوس – جارسيا وآخرون (Palacios-Garcia *et al.*, 2015) الآنفة الذكر، فقد قام فيجوريدو وآخرون (Figueiredo, *et al.*, 2020) ببناء نموذج احتمالي قائم على طريقة مونتي كارلو للمحاكاة (Monte Carlo Method) وذلك لاستهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني في البرتغال. وبيّنت نتائج الدراسة أنه من الممكن أن يرتفع الطلب على الطاقة الكهربائية من هذا القطاع بما يتراوح بين 5٪ و60٪ بحلول عام 2050، وذلك بحسب المتغيرات المستخدمة ومنها مساحة المسكن، واستخدام الكهرباء في تسخين المياه والطهي.

وتختلف البيانات المستخدمة في نمذجة الطاقة بحسب المنهجية المستخدمة، غير أنه وبغية تقييم فاعلية الخيارات المتعلقة بتحسين كفاءة استهلاك الأجهزة للطاقة الكهربائية، فإنه لابد من الاعتماد على بيانات تم جمعها من المسوحات. ولذلك قام بولساوات وآخرون (Poolsawat, et al., 2020) بإجراء مسح لاستهلاك الطاقة الكهربائية في نحو 7000 مسكن في تايلند. وخلصت الدراسة إلى أنه يمكن خفض استهلاك الكهرباء من القطاع السكني بنحو 14٪، بالإضافة إلى خفض انبعاث غازات الدفيئة بنحو 2.4 طن متري من مكافئ ثاني أكسيد الكربون وذلك من خلال تحسين كفاءة استهلاك الكهرباء في الأجهزة المنزلية.

ويعتبر برنامج تحليل الانبعاثات المنخفضة Low Emissions Analysis Platform (LEAP)[1] من أدوات نمذجة الطاقة المستخدمة على نطاق واسع، والتي تساعد في تحليل سياسات الطاقة وتقييم خيارات التخفيف من انبعاث غازات الدفيئة. وتم تطوير هذا البرنامج في معهد ستوكهولم للبيئة، ويتم استخدامه حالياً في العديد من المستويات المختلفة التي تتراوح ما بين المدن والدول وذلك لإجراء مختلف التطبيقات الوطنية والإقليمية والعالمية. وللبرنامج تطبيقات متعددة في مختلف قطاعات الطاقة، فقد استخدم لتحليل الخيارات المتعلقة بتحسين كفاءة استهلاك الطاقة وخفض انبعاث غازات الدفيئة بشكل عام كما في الدراسات التالية (Wang, *et al.*, 2017; Liya, & Jianfeng, 2018; Nieves, *et al.*, 2019). وتم استخدامه أيضاً لتقييم الخيارات المتعلقة بخفض انبعاث غازات الدفيئة من قطاع المواصلات كما في الدراسات التالية (Sadri, *et al.*, 2014; AlSabbagh, *et al.*, 2017; Kiani, 2017)، ومن القطاع الصناعي كما في دراسة أتيس (Ates, 2015).

وفيما يتعلق باستهلاك الطاقة في القطاع السكني تحديداً، فقد كانت غالبية الدراسات التي استخدمت برنامج LEAP قد تم إجراؤها في القارة الآسيوية باستثناء عدد محدود من الدراسات مثل دراستي سنيتا (Senata, 2011) في جنوب أفريقيا، وسبرامانيام (Subramanyam *et al.*, 2017) في ولاية ألبرتا بكندا. وفي القارة الآسيوية، تم توقع الطلب على الطاقة الكهربائية من مختلف القطاعات

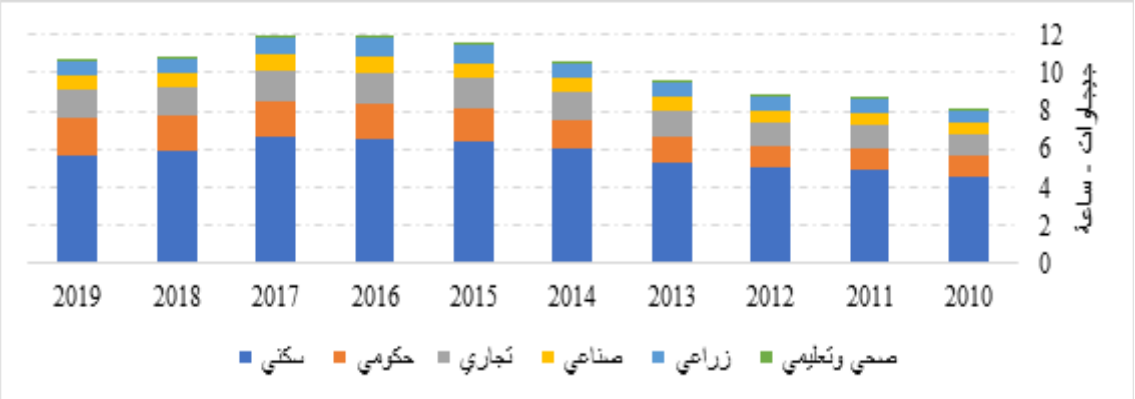
[1] كان يعرف إلى وقت قريب باسم برنامج تخطيط بدائل الطاقة على المدى البعيد. Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP)

في بنغلادش، وذلك في دراسة موندال (Mondal, *et al.*, 2010). وفي دراسة ثاي و ليمشوكشاي (Thuy, & Limmeechokchai, 2015)، تم تقييم خيارات خفض استهلاك الطاقة وانبعاث غازات الدفيئة في القطاع السكني في تايلاند وفيتنام. وفي تايلند أيضاً، أجرى شاشالوإمبرشا وآخرون (Chaichaloempreecha, *et al.*, 2017) دراسة لتقييم خيارات خفض انبعاث غازات الدفيئة من القطاعين السكني والتجاري. أما في باكستان، فقد قام جول وقرشي (Gul, & Qureshi, 2012) بدراسة هدفت إلى توقع الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني في باكستان. وفي إيران، قام مورادي وآخرون (Moradi, *et al.*, 2013) بإجراء دراسة حول توقع كمية الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني. وعلى مستوى دول مجلس التعاون الخليجي لم يتم الوقوف إلا على دراسة واحدة قامت بها (الصباغ، 2018) لتقييم مدى فاعلية عدد من الخيارات المتاحة لخفض استهلاك الطاقة الكهربائية، وما يتبعه من انبعاثات في القطاع السكني بمملكة البحرين، وذلك باستخدام برنامج LEAP.

منطقة الدراسة

تقع منطقة القصيم ضمن نطاق المنطقة الوسطى، والتي تعتبر ثاني أكبر مناطق المملكة العربية السعودية من حيث الكثافة السكانية. وهي إحدى المناطق الإدارية 13 بالمملكة، وعاصمتها مدينة بريدة، ويتبعها إدارياً 12 محافظة، وتبلغ مساحتها نحو 4٪ من إجمالي مساحة المملكة (أمانة منطقة القصيم، 2020). وتحتل منطقة القصيم المرتبة الخامسة في ترتيب المناطق من حيث النمو السكاني حيث بلغ عدد سكانها في عام 2017 نحو 1.4 مليون نسمة ويزداد بمتوسط نمو سنوي يبلغ نحو 2.4٪، فيما يشكل السعوديين نحو 70٪ من إجمالي السكان (الهيئة العامة للإحصاء، 2017). بلغ عدد المساكن المشغولة بأسر في القصيم في عام 2017 نحو 272,078 مسكناً، 61٪ منها مشغولة بأسر سعودية، كما وتشكل الفلل أكثر من نصف المساكن بالمنطقة (الهيئة العامة للإحصاء، 2017). تتميز منطقة القصيم بمناخ شبه جاف يتسم بشكل عام بارتفاع درجات الحرارة، كما ويؤثر تغير المناخ على درجات الحرارة بالمنطقة، حيث ارتفعت بنحو 0.12°م خلال الفترة 2004 – 2013، وتشير التوقعات إلى استمرار ارتفاع درجات الحرارة بمنطقة القصيم (وزارة الشؤون البلدية والقروية، 2019). وهذا ما انعكس على الطلب على الطاقة الكهربائية والذي يزداد تحديداً خلال أشهر الصيف، ويعود ذلك إلى زيادة الطلب على التكييف.

بلغ إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة في عام 2017 نحو 11.8 ألف جيجاوات - ساعة، استهلك القطاع السكني نحو 57.3٪ منها (شكل 1) (إدارة كهرباء منطقة القصيم، 2019). وتوجد علاقة ارتباط طردية قوية بين استهلاك الكهرباء وارتفاع درجات الحرارة بالقصيم تبلغ نحو 0.86°م (Howarth, *et al.*, 2020)، ولذلك فإن نحو 67٪ من إجمالي الكهرباء المستهلكة في القطاع السكني في عام 2017 كانت لأغراض التكييف خلال فصل الصيف (Almasri, *et al.*, 2020). وارتفع الطلب على الكهرباء من القطاع السكني بمتوسط نمو بلغ 6٪ سنوياً خلال الفترة 2010-2017 (شكل 1) (إدارة كهرباء منطقة القصيم، 2019)، إلا أن الاستهلاك قد بدأ في الانخفاض في عامي 2018 و2019 بسبب التصحيحات التدريجية التي حدثت في تعرفة استهلاك الطاقة الكهربائية، حيث كانت المرحلة الأولى لتصحيح الاسعار في عام 2016، في حين بدأت المرحلة الثانية في عام 2018.



منهجية الدراسة

لتحقيق هدف الدراسة، فقد تم أولاً تحليل نتائج مسح الطاقة المنزلي باستخدام الأساليب الإحصائية وذلك لتوصيف أنماط استهلاك الطاقة الكهربائية في مساكن القصيم، ومن ثم تم استخدام برنامج LEAP لبناء نموذج حتمي (Deterministic Model) قائم على بناء نموذج الوضع الحالي، والسيناريو المرجعي، بالإضافة إلى سيناريوهات التخفيف. كما وتم استخدام طريقة مونتي كارلو للمحاكاة (Monte Carlo Method)، وذلك لبناء نموذج احتمالي (Probabilistic Model) من خلال توظيف برنامج Risk@، وتم جمع البيانات الكمية اللازمة لبناء نموذج الوضع الحالي (Current Accounts) بالاستعانة بالتقارير المنشورة وغير المنشورة الصادرة عن الجهات الرسمية كالهيئة العامة للإحصاء، وهيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج. وبشكل أساسي، فقد تم الاعتماد على نتائج مسح الطاقة المنزلي للأعوام 2017 و2018 و2019 وذلك فيما يتعلق بمنطقة القصيم. وبالرغم من وجود عدد من الاختلافات في المنهجيات المتبعة في هذه المسوحات، إلا أنها جميعها توفر البيانات اللازمة لإجراء الدراسة.

ولبناء نموذج الوضع الحالي، فقد تم اختيار سنة 2017 لتكون سنة الأساس فيما كانت المساكن هي الوحدة التي تم على أساسها عملية النمذجة. وتم الاعتماد على الفرضيات الموضحة في (جدول 1)، حيث تم استخدام البيانات المتعلقة بمتوسط عدد الأجهزة في المسكن، ومتوسط عدد ساعات تشغيلها بحسب الفصول (الصيف والشتاء)[1]، وذلك بالاعتماد على نتائج مسح الطاقة المنزلي، بينما تم استخدام متوسط قدرة الأجهزة من تقارير الشركة السعودية للكهرباء ودراسة المصري وآخرون (Almasri *et al.*, 2020) (جدول 2). كما تضمن النموذج أيضاً إنتاج الطاقة الكهربائية وذلك بحسب نوع الوقود المستخدم، مع أخذ كفاءة الإنتاج والنقل والتوزيع بعين الاعتبار.

جدول 1: أبرز الفرضيات المستخدمة في بناء نموذج الوضع الحالي لعام 2017

المتغير	الفرضية
عدد المساكن في القصيم	272,078
إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة في القطاع السكني في القصيم (جيجاوات - ساعة)	6,702
إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة في القصيم (جيجاوات - ساعة)	11,863

[2] يستمر فصل الصيف فترة تسعة أشهر في حين أن مدة فصل الشتاء هي ثلاثة أشهر وذلك بحسب مسح الطاقة المنزلي.

كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية (٪)	28
نسبة الفاقد في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية (٪)	9.38

جدول 2: الفرضيات المتعلقة بالأجهزة الكهربائية المنزلية والمستخدمة في بناء نموذج الوضع الحالي

الجهاز	متوسط عدد الأجهزة في المسكن	عدد ساعات الاستخدام في الشتاء	عدد ساعات الاستخدام في الصيف	قدرة الجهاز (كيلووات - ساعة)
جهاز تدفئة	2.05	390	78	2.000
سخان مياه كهربائي	2.06	858	157	2.000
غلاية كهربائية	0.44	52	235	2.000
مروحة	0.56	26	431	0.100
مكيف شباك	2.79	104	1,292	2.100
مكيف منفصل	1.31	130	1,605	1.800
مكيف صحراوي	0.15	13	1,761	0.178
مكيف مركزي	0.00	130	313	3.500
لمبات عادية	8.73	312	1,213	0.060
لمبات موفرة للطاقة	8.26	507	1,605	0.020
لمبات النجف*	11.94	338	1,135	0.040
أباجورات	0.44	130	470	0.005
فرن كهربائي	0.12	78	313	3.000
مايكرويف	0.38	52	235	1.500
شواية كهربائية	0.04	52	157	1.300
ثلاجة	1.10	1,079	3,249	0.500
فريزر تجميد	0.69	1,157	3,484	0.150
تلفزيون	1.25	221	822	0.080
غسالة ملابس	0.95	65	235	0.750
مكواة	0.78	39	157	1.000
مكنسة كهربائية	0.71	39	157	0.700
غسالة صحون	0.04	39	235	1.500
برادة مياه	0.36	299	2,936	0.150
مضخة ماء	0.66	78	352	0.250
حاسب آلي	0.55	143	548	0.048

مصدر البيانات: (الهيئة العامة للإحصاء، 2017؛ Almasri et al., 2020؛ الشركة السعودية للكهرباء، 2020)

*المقصود بها مصابيح (الفلورسنت) Fluorescent

وباستخدام هذه المعطيات، تم بناء ميزان الطاقة والذي يوضح تفاصيل استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني بمنطقة القصيم. وتم ذلك بتطبيق المعادلات التالية (LEAP, 2019):

الطلب على الطاقة الكهربائية = إجمالي عدد الأجهزة x كثافة الطاقة (1)

إجمالي عدد الأجهزة = متوسط عدد الأجهزة بحسب نوع الجهاز x عدد المساكن (2)

كثافة الطاقة (كيلووات – ساعة / سنة) = متوسط قدرة الجهاز (كيلووات) x متوسط عدد ساعات التشغيل (ساعة / سنة) (3)

وتم احتساب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل نوع من أنواع الطاقة المستخدمة في إنتاج الكهرباء في المملكة على النحو التالي:

كمية الانبعاثات = كمية الطاقة الكهربائية المنتجة (كيلووات - ساعة) x معامل الانبعاثات (جرام)[2] (4)

وتم التحقق من صحة ميزان الطاقة الذي تم بناؤه وذلك بمقارنة القيمة المحسوبة للطلب النهائي على الكهرباء في القطاع السكني بالقيمة الفعلية للطلب على الكهرباء في عام 2017، وبلغت نسبة الاختلاف نحو 0.27٪، وبالتالي فهي نسبة مقبولة (ASHRAE, 2014). وحيث أن نتائج مسح الطاقة المنزلي للمملكة تتوافر للأعوام 2017-2019، فقد تم بناء نماذج أخرى لمحاكاة الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني في عامي 2018 و2019، غير أن نسبة الاختلاف بين الطلب النهائي المحسوب والفعلي قد بلغت نحو 49٪ و59٪، على التوالي. وبالنظر إلى أن نسب الاختلاف هذه مرتفعة، فإنه لا يمكن الاعتماد عليها لبناء السيناريوهات المستقبلية، ولذلك فقد تم الاقتصار على عام 2017 فقط [4].

وبالرغم من أن التوجه الأساسي لهذه الدراسة كان قائماً على إجراء النمذجة الحتمية، إلا أنه تم تنفيذ النمذجة الاحتمالية أيضاً، ويرجع السبب في ذلك إلى الرغبة في تحديد السبب وراء الاختلاف الواضح بين الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية الفعلي والمحسوب لعامي 2018 و2019. وتم ذلك باستخدام برنامج Risk@ من خلال تطبيق محاكاة Monte Carlo لحساب الحد الأدنى والأعلى للطلب النهائي على الطاقة الكهربائية في هذين العامين والوقوف على نسبة الثقة ذات العلاقة. وتم استخدام عدد من القيم المختلفة (أدنى قيمة، والمتوسط، وأعلى قيمة) لجميع المتغيرات المستخدمة في بناء نموذج الوضع الحالي (جدول 1 وجدول 2) وذلك بالاستعانة بالدراسات السابقة، بالإضافة إلى نتائج مسوحات استهلاك الطاقة لعامي 2018 و2019.

ولتوقع إجمالي الطلب على الطاقة الكهربائية في القطاع السكني بمنطقة القصيم حتى عام 2030، فقد تم بناء السيناريو المرجعي (Reference Scenario) باستخدام برنامج LEAP. وتم تحديد سنة الأساس (Base Year) لتكون 2017 وذلك كونها أحدث سنة تتوافر فيها جميع البيانات المطلوبة، في حين تم اختيار سنة 2030 لتكون سنة النهاية (End Year) وذلك تماشياً مع رؤية المملكة 2030. وتم الاعتماد على نتائج مسح الطاقة المنزلي لعام 2017 بافتراض أن عينة المسح لمنطقة القصيم ممثلة إحصائياً، وأنه يمكن الاعتماد عليها لبناء نموذج استهلاك الطاقة الكهربائية.

وفي ضوء توصيات الدراسات السابقة، وبالنظر إلى السياسات التي تبنتها المملكة لخفض انبعاث غازات الدفيئة، فقد تم اختيار أربع خيارات لتقييم مدى فاعليتها في خفض الطلب على الطاقة الكهربائية والحد من الانبعاثات، وتم جمع البيانات اللازمة لبناء سيناريوهات التخفيف من الدراسات المنشورة في المجلات العلمية المحكمة، بالإضافة إلى تقارير المراكز البحثية المتخصصة في المملكة. كما تم بناء سيناريو خاص لكل خيار من هذه الخيارات على افتراض تطبيقها بصورة منفردة (جدول 3)، وتم تصميم مجموعات من هذه السيناريوهات بحيث تتألف كل مجموعة من خيارين فأكثر (جدول 4).

[3] تم حساب المعاملات بناءً على المعطيات التالية: إنتاج الكهرباء يساوي 271,679 جيجاوات - ساعة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون تساوي 161,672 جيجا جرام. المصدر: (هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج، 2012؛ Ministry of Energy, 2018).

جدول 3: الفرضيات التي تم استخدامها في بناء سيناريوهات التخفيف

السيناريو	الفرضية	المرجع
تحسين كفاءة أجهزة التكييف	- مكيف1*: تم افتراض استبدال جميع أجهزة التكييف بأنواع مماثلة بحيث تكون كفاءة الطاقة للمكيف الشباك EER**9.8، وللمكيف المنفصل EER 11.8 - مكيف2: تم افتراض استبدال جميع أجهزة التكييف الشباك بأجهزة تكييف أخرى منفصلة ذات كفاءة طاقة تساوي EER 11.8 - مكيف3: تم افتراض استبدال جميع أجهزة التكييف الشباك والمنفصلة بأجهزة تكييف منفصلة ذات كفاءة عالية تساوي EER 13 - يتم تطبيق الفرضية تدريجياً بدءاً من عام 2022 حتى عام 2030	(Krarti, & Howarth, 2020 b)
تركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن	تم افتراض إن 25٪ من الفلل سيتم تركيب ألواح الخلايا الشمسية فيها تدريجياً بدءاً من عام 2022 حتى عام 2030	(الهيئة العامة للإحصاء، 2017؛ Kiani, 2017؛ Lopez-Ruiz, et al., 2020)
استخدام سخانات المياه الشمسية	تم افتراض تحول 50٪*** من مستخدمي سخانات المياه الكهربائية إلى السخانات الشمسية تدريجياً بدءاً من عام 2022 حتى عام 2030	(الهيئة العامة للإحصاء، 2017)
رفع الوعي لدى الأسر	تم افتراض انخفاض متوسط استهلاك الطاقة الكهربائية بنسبة 5% في 25٪ من المساكن من الطاقة الكهربائية تدريجياً بدءاً من عام 2022 حتى عام 2030	(Nahiduzzaman et al., 2018)

* تم تحديث نسبة كفاءة الطاقة في عام 2018

** نسبة كفاءة الطاقة Energy Efficiency Ratio (EER)

*** نسبة الأسر التي لديها اهتمام بخفض وترشيد استهلاك الطاقة بناء على نتائج مسح الطاقة المنزلي لعام 2017

جدول 4: سيناريوهات التخفيف المتضمنة في مجموعات السيناريوهات التي تم بناؤها

المجموعة	سيناريوهات التخفيف المتضمنة		
1	مكيف1	ألواح الخلايا الشمسية	
2	مكيف2	ألواح الخلايا الشمسية	
3	مكيف3	ألواح الخلايا الشمسية	
4	مكيف1	سخانات المياه الشمسية	
5	مكيف2	سخانات المياه الشمسية	
6	مكيف3	سخانات المياه الشمسية	
7	مكيف1	رفع الوعي	
8	مكيف2	رفع الوعي	
9	مكيف3	رفع الوعي	
10	مكيف1	ألواح الخلايا الشمسية	سخانات المياه الشمسية
11	مكيف2	ألواح الخلايا الشمسية	سخانات المياه الشمسية
12	مكيف3	ألواح الخلايا الشمسية	سخانات المياه الشمسية

[4] يرجع الاختلاف بين الطلب النهائي على الكهرباء المحسوب والفعلي إلى التفاوت الواضح بين قيم استهلاك الكهرباء في منطقة القصيم لعامي 2018 و2019 الواردة في نتائج مسح الطاقة المنزلي، وتلك التي تم الحصول عليها من إدارة محطة كهرباء القصيم لنفس الأعوام. وتبين أن السبب في الاختلاف يرجع إلى كون الأولى تقديرية في حين أن الثانية حقيقيه.

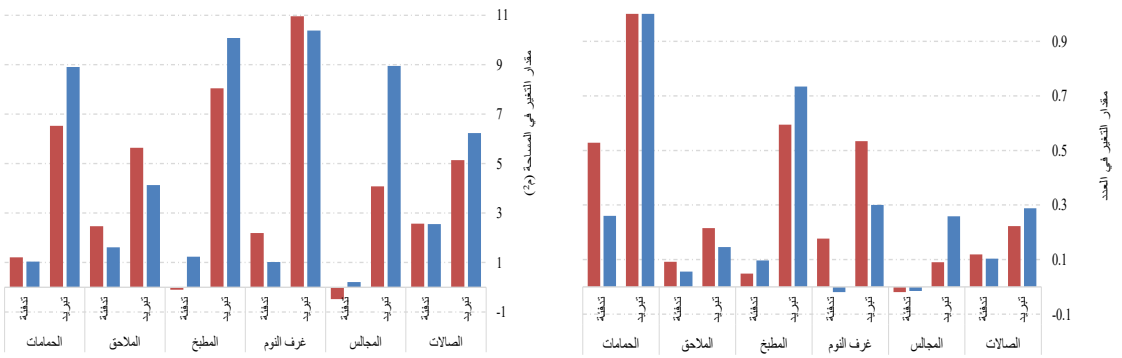
13	مكيف1	ألواح الخلايا الشمسية	رفع الوعي	
14	مكيف2	ألواح الخلايا الشمسية	رفع الوعي	
15	مكيف3	ألواح الخلايا الشمسية	رفع الوعي	
16	مكيف1	سخانات المياه الشمسية	رفع الوعي	
17	مكيف2	سخانات المياه الشمسية	رفع الوعي	
18	مكيف3	سخانات المياه الشمسية	رفع الوعي	
19	مكيف1	ألواح الخلايا الشمسية	سخانات المياه الشمسية	رفع الوعي
20	مكيف2	ألواح الخلايا الشمسية	سخانات المياه الشمسية	رفع الوعي
21	مكيف3	ألواح الخلايا الشمسية	سخانات المياه الشمسية	رفع الوعي

ملاحظة: تتألف كل مجموعة من عدد من سيناريوهات التخفيف المتضمنة، بحيث تتألف مجموعة 1 مثلاً من سيناريو مكيف1 وسيناريو ألواح الخلايا الشمسية.

النتائج والمناقشة

- **توصيف أنماط استهلاك الطاقة الكهربائية**

بحسب نتائج مسح الطاقة المنزلي للأعوام 2017 -2019، فقد زادت جميع مساحات وأعداد مكونات المساكن في القصيم التي يتم تكييفها وتدفئتها في عام 2019 مقارنة بعام 2017، باستثناء المجالس والمطابخ التي تراجعت فيها المساحات التي تتم تدفئتها (شكل 2). ويُلاحظ أن أجزاء المسكن التي يتم تكييفها في القصيم، والمملكة بشكل عام، أعلى من تلك التي تتم تدفئتها، وهذه نتيجة متوقعة بالنظر إلى ارتفاع درجات الحرارة نسبياً في معظم مناطق المملكة مما يزيد من الحاجة إلى التكييف. ويُلاحظ أيضاً ارتفاع مساحات غرف النوم والملاحق التي يتم تكييفها وتدفئتها في القصيم مقارنة بتلك في أرجاء المملكة، وقد يكون ذلك بسبب ارتفاع نسبة الفلل في القصيم والتي تبلغ نحو 57٪ من إجمالي عدد المساكن، بينما لا تتجاوز نسبتها 29٪ في أرجاء المملكة (الهيئة العامة للإحصاء، 2018).



شكل 2. مقدار التغير في مساحة وعدد مكونات المسكن في الفترة 2017 -2019 في القصيم والمملكة

وتستخدم الأسر بمنطقة القصيم، بالإضافة إلى باقي مناطق المملكة، مجموعة واسعة من الأجهزة الكهربائية كثيفة الاستهلاك للطاقة وذلك بحسب نتائج مسح الطاقة المنزلي للأعوام 2017 – 2019. وتختلف مستويات ملكية الأجهزة في المساكن بحسب نوع الجهاز، إذ تتراوح ما بين 29 و65 جهازاً في المسكن لأجهزة الإنارة، و5 مكيفات في المسكن لأجهزة التكييف، في حين لا تمتلك جميع المساكن في القصيم أجهزة طهي تعمل بالكهرباء. ومن هنا يتبين أن ملكية أغلبية الأجهزة الأعلى

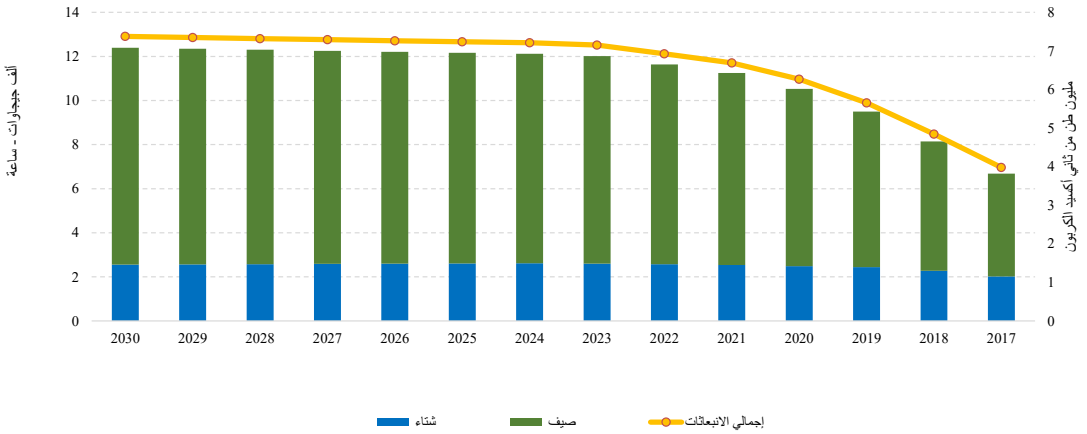
من حيث استهلاك الكهرباء في تزايد مستمر، ليس على مستوى القصيم وحدها فحسب وإنما على مستوى المملكة أيضاً.

وبشكل عام، وبحسب نتائج مسح الطاقة المنزلي، فقد زادت عدد ساعات الاستخدام خلال فصل الصيف في عامي 2018 و2019 مقارنة بعام 2017 لأغلب الأجهزة الكهربائية المنزلية في القطاع السكني بالقصيم، كما زادت أيضاً مساحات وأعداد مكونات المسكن التي يتم تكييفها وتدفئتها، بالإضافة إلى زيادة تملك الأجهزة الكهربائية المنزلية مما يؤدي إلى ارتفاع الطلب على الكهرباء بمنطقة القصيم.

- **نمذجة استهلاك الطاقة الكهربائية**

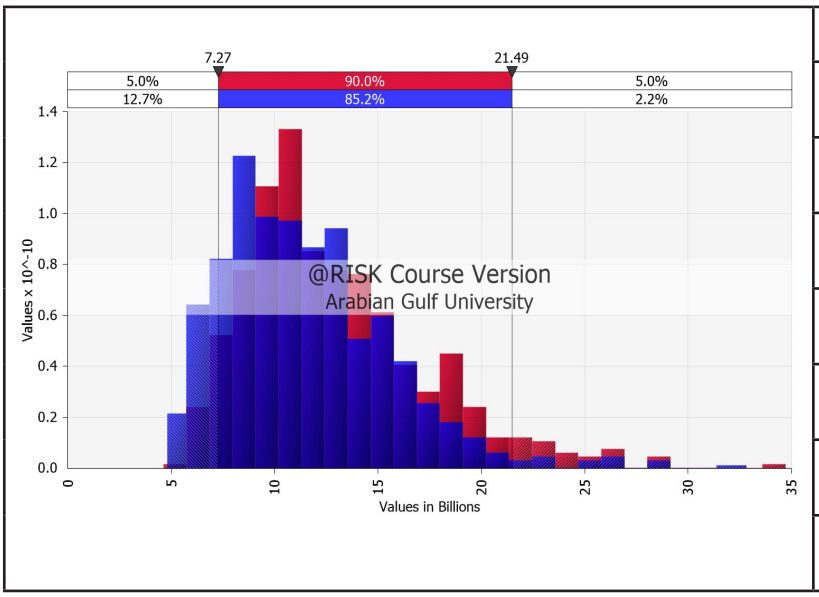
بيّنت نتائج ميزان الطاقة أن متوسط الاستهلاك السنوي للمسكن الواحد للطاقة الكهربائية يبلغ نحو 24,567 كيلووات – ساعة في عام 2017 (2,047 كيلووات - ساعة شهرياً)، في حين بلغ متوسط استهلاك الفرد للكهرباء السنوي في القطاع السكني بمنطقة القصيم نحو 4,697 كيلووات - ساعة في عام 2017 (391.4 كيلووات – ساعة شهرياً). تستهلك أجهزة التكييف نحو نصف الطاقة الكهربائية الإجمالية المستهلكة، في حين تستهلك الأجهزة الأخرى النسبة المتبقية. وبيّنت نتائج النمذجة الاحتمالية أنه لا يمكن الاعتماد على نتائج مسح الطاقة المنزلي لعامي 2018 و2019 في بناء السيناريوهات المستقبلية لوجود فرق واضح بين كمية الاستهلاك النهائي بحسب نتائج المسح وكمية الاستهلاك الفعلية. وبلغ الاستهلاك الفعلي للكهرباء من القطاع السكني بمنطقة القصيم في عامي 2018 و2019 نحو 5.9 و5.7 جيجاوات - ساعة، على التوالي، في حين كان الحد الأدنى للاستهلاك بحسب نتائج النمذجة الاحتمالية 5.4 و6.4 جيجاوات - ساعة، على التوالي، مما يعني أن احتمالية توقع الاستهلاك الفعلي لعامي 2018 و2019 كانت ضئيلة أو منعدمة. وفي المقابل، جاءت نتيجة النمذجة الاحتمالية المبنية على نتائج مسح الطاقة المنزلي مقاربة للاستهلاك الفعلي للكهرباء في عام 2017، ولذلك فقد تم الاعتماد على بيانات هذا العام.

وفيما يتعلق بالسيناريو المرجعي، فقد بينت النتائج بأن الطلب النهائي المتوقع على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني بمنطقة القصيم، سيستمر في النمو حتى يصل إلى نحو 12.4 ألف جيجاوات - ساعة في عام 2030، وذلك بمتوسط نمو سنوي يبلغ 6.6٪. وبما أن إنتاج الطاقة الكهربائية بمنطقة القصيم يعتمد بشكل أساسي على الديزل والزيت الخام، فإنه من المتوقع أن تصل كمية الانبعاثات بحلول عام 2030 إلى 7.4 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون مقارنة بنحو 4 مليون طن في عام 2017 (شكل 3).



شكل 3. إجمالي الطلب النهائي على الكهرباء من القطاع السكني وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في السيناريو المرجعي

وبينت نتائج محاكاة مونتي كارلو أن الطلب النهائي المتوقع على الطاقة الكهربائية من مساكن القصيم في عام 2022 سيتراوح ما بين 7.3 و21 ألف جيجاوات - ساعة بنسبة ثقة 90٪، في حين أنه سيتراوح بين 6.5 و19.5 ألف جيجاوات - ساعة في عام 2030 (شكل 4). وهذا ما يستدعي التخطيط المسبق لضمان تلبية الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية، مع أخذ تنويع مزيج الطاقة بعين الاعتبار.



النتائج (ألف جيجاوات - ساعة)		
المؤشر	2022	2030
الحد الأدنى	4.6	4.8
الحد الأعلى	34.7	32.8
المتوسط	12.9	11.5
المنوال	9.8	12.6
الوسيط	11.8	11.6
الانحراف المعياري	4.4	4.1

شكل 4. نتائج محاكاة مونتي كارلو للطلب النهائي على الطاقة الكهربائية المتوقعة من مساكن القصيم في عامي 2022 و2030 (ألف جيجاوات – ساعة)

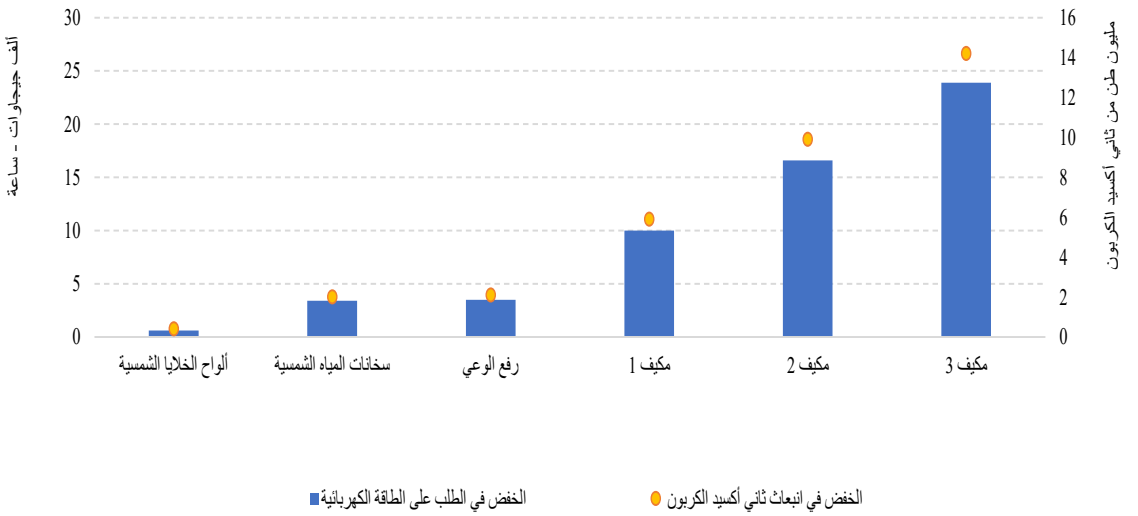
ملاحظة: يمثل اللون الأحمر الطلب النهائي المتوقع على الطاقة الكهربائية في عام 2022، أما اللون الأزرق فيمثل الطلب في عام 2030.

- **تقييم فاعلية الخيارات في خفض الطلب على الطاقة الكهربائية والانبعاثات**

تبين نتائج سيناريوهات التخفيف أن تطبيق أحد الخيارات المطروحة ينتج عنه خفض تراكمي في إجمالي الطلب النهائي على الكهرباء من القطاع السكني بمقدار يتراوح بين 0.6 و23.9 ألف جيجاوات

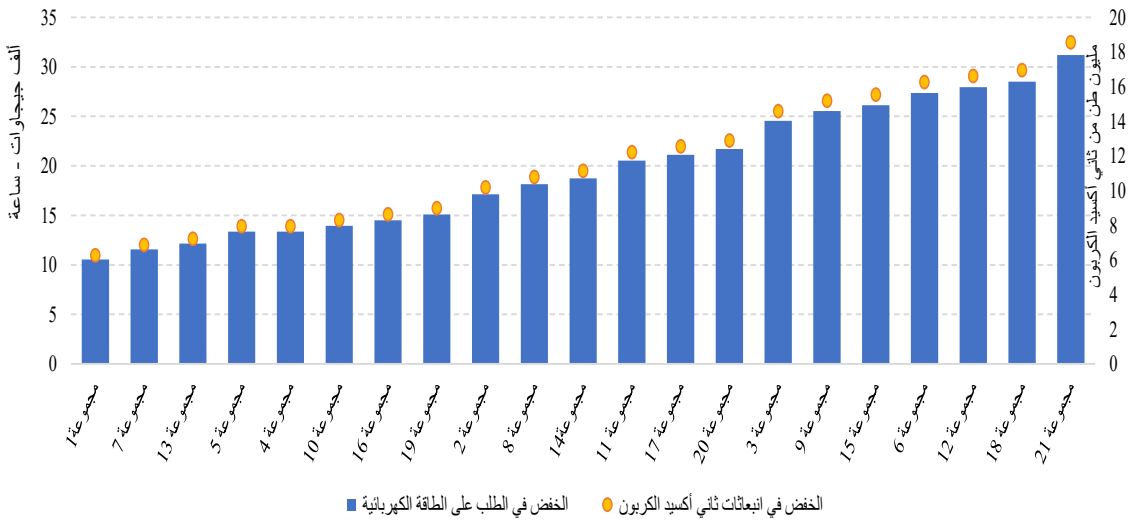
- ساعة في عام 2030 مقارنة بالسيناريو المرجعي (شكل 5). ويترتب على خفض الطلب النهائي على الكهرباء خفض تراكمي في الطلب على الطاقة الأولية بمقدار يتراوح بين 0.3 و7.3 مليون طن نفط مكافئ، والانبعاثات بمقدار يتراوح بين 0.4 و14 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون، بالإضافة إلى الوفر المالي المتحقق من خفض الكهرباء والذي يتراوح بين 100 مليون و5 مليار ريال سعودي.

وترتفع كمية الخفض المتوقعة في الطلب على الكهرباء، وما يصاحبها من انبعاثات، وذلك عند تطبيق مجموعة من الخيارات المطروحة معاً (شكل 6)، إذ تشير النتائج إلى إمكانية تحقيق خفض تراكمي في الطلب على الطاقة الكهربائية وذلك بنسب تتراوح بين 6.4٪ و19٪ مقارنة بالسيناريو المرجعي. ويمكن إيجاز أبرز النتائج التي خرجت بها سيناريوهات التخفيف، وذلك على النحو الموضح في جدول 5.



شكل 5. إجمالي الخفض التراكمي في الطلب النهائي على الكهرباء وثاني أكسيد الكربون في السيناريوهات المنفردة

ملاحظة: تم توضيح الفرضيات المستخدمة في بناء سيناريوهات التخفيف في جدول 3.



شكل 6. إجمالي الخفض التراكمي في الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية والانبعاثات بحسب السيناريوهات المجمعة

ملاحظة: تم توضيح الفرضيات المستخدمة في بناء السيناريوهات المجمعة في جدول 4.

جدول 5: مقارنة بين الخيارات المطروحة لخفض الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني بالقصيم

السيناريو		إجمالي الخفض في الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية (ألف جيجاوات – ساعة) *	قيمة الخفض في الطاقة الكهربائية (مليار ريال سعودي)	إجمالي الخفض في الطاقة الأولية (مليون طن نفط مكافئ)	إجمالي الخفض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (مليون طن)	نصيب الأسرة من الطاقة الكهربائية المستهلكة (جيجاوات - ساعة في السنة)
تحسين كفاءة أجهزة التكييف	مكيف1	10.0	2.0	3.0	5.9	41.1
	مكيف2	16.6	3.3	5.0	9.9	38.6
	مكيف3	23.9	4.8	7.3	14.2	35.9
ألواح الخلايا الشمسية		0.6	0.1	0.3	0.4	43.0
سخانات المياه الشمسية		3.4	0.7	1.0	2.0	44.8
رفع الوعي		3.5	0.7	1.0	2.1	43.2
مجموعة 1		10.6	2.1	3.4	6.3	41.5
مجموعة 21		31.4	6.3	9.7	19.0	33.0

* الطاقة الكهربائية المنتجة من الوقود الأحفوري

المناقشة

بينت نتائج الدراسة إمكانية تحقيق خفض في الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية وما يتبعه من انبعاثات لغازات الدفيئة في القطاع السكني بمنطقة القصيم، وهذا ما يعكس أهمية هذا القطاع في تحقيق استراتيجية تنوع مصادر الطاقة بالمملكة العربية السعودية، بالإضافة إلى المساهمة في خفض انبعاث غازات الدفيئة بما يتماشى مع تحقيق هدف المملكة المتعلق بخفض انبعاثاتها بنحو 31 مليون طن متري سنوياً.

اتفقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج الدراسات السابقة حيث أظهرت نتائج هذه الدراسة أن الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية سيواصل الارتفاع خلال الفترة 2018-2030، وهذا ما يتفق مع نتائج الدراسات السابقة التي توقعت زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية، نظراً للزيادة في أعداد السكان وارتفاع درجات الحرارة (Al Harbi, *et al*, 2019). ولكن في المقابل، وبالنظر إلى ارتفاع أسعار الكهرباء وسياسات كفاءة الطاقة وتغير أنماط سلوك المستهلكين، فإنه من الممكن أن ينخفض استهلاك الطاقة الكهربائية (بيربوكس، ; Wogan, *et al*, 2019) 2019.

في هذه الدراسة تم تقييم مدى فاعلية مجموعة من الخيارات في خفض الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية في القطاع السكني. وتضمنت الخيارات موضع الدراسة تحسين كفاءة أجهزة التكييف، وتركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن، واستخدام سخانات المياه الشمسية، بالإضافة إلى رفع الوعي لدى الأسر. ويمكن لهذه الخيارات تحقيق خفض تراكمي إجمالي في الطلب على الطاقة وانبعاث ثاني أكسيد الكربون بنسب تتراوح بين 0.3٪ و15٪ وذلك عند تطبيق الخيارات بصورة منفردة، في حين تصل نسبة الخفض إلى نحو 19٪ عند تطبيق الخيارات مجتمعة خلال الفترة 2022-2030 مقارنة بالسيناريو المرجعي.

ويعتمد تنفيذ الخيارات المطروحة لخفض الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية المنتجة من الوقود الأحفوري في القطاع السكني بشكل عام على تكلفة تنفيذها، بحيث تشكل تعرفة الكهرباء حافزاً نحو تبنيها (Ahmed & Asif, 2020). لقد بدأت المملكة في مراجعة وتصحيح تعرفة استهلاك الكهرباء

بدءاً من عام 2016، غير أن التكلفة المالية لتبني هذه الخيارات قد تمثل تحدياً أمام تنفيذها، فتكلفة استبدال جميع المكيفات مثلاً بأخرى أعلى كفاءة، أو تركيب ألواح الخلايا الشمسية، أو استخدام سخانات المياه الشمسية، يتطلب استثمارات مالية أولية تستلزم وضع سياسات تمويلية وحوافز مناسبة تجعل تنفيذ هذه الخيارات مجدياً من الناحية المالية. وبالرغم من أن تنفيذ هذه الخيارات، ينتج عنه خفض في الطلب على الطاقة الكهربائية وما يتبعه من قيمة الكهرباء (المتضمنة تكلفة الوقود المستخدم في إنتاج الكهرباء، وتكلفة الإنتاج والنقل، والتوزيع)، فإن التكلفة المالية قد تفوق هذا الوفر، ناهيك عن طول فترة استرداد التكلفة. إلا أنه وبحسب الدراسات السابقة، فإن تبني عددٍ من الخيارات المطروحة قد يكون مجدياً من الناحية المالية لدى الأسر التي تستهلك أكثر من 6,000 كيلووات - ساعة في الشهر (Krarti, *et al*., 2020 a).

لقد تبنت المملكة العربية السعودية العديد من السياسات المعنية بتحسين كفاءة استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني، والتي تبين أثرها في خفض الطلب على الطاقة الكهربائية في عامي 2018 و2019، غير أن كفاءة الأجهزة الكهربائية المنزلية لا تزال منخفضة نسبياً وذلك بسبب التحديات التي تواجه تطبيق هذه السياسات (Krarti, *et al*., 2020 a). وتشير الدراسات السابقة إلى وجود عدد من السياسات المطبقة في دول أخرى والتي يمكن للمملكة تبنيها، وتحديداً فيما يتعلق بالقروض منخفضة الفوائد وضرائب الكربون حيث أنه من الممكن أن يساعد تبني هذه السياسات في شراء أجهزة كهربائية عالية الكفاءة، كما يمكن تشجيع الأسر أيضاً على تركيب ألواح الخلايا الشمسية في مساكنهم، أو شراء السخانات الشمسية، أو تركيب العزل الحراري في المباني القائمة.

وبالنظر إلى الخيارات المطروحة في هذه الدراسة، يتبين وجود عدد من التحديات التي قد تعيق عملية التطبيق. ولعل من أبرز التحديات هو التكلفة المالية؛ فعلى سبيل المثال، يعتبر استبدال سخانات المياه الكهربائية بأخرى تعمل بالطاقة الشمسية ضرورياً كونها أكثر الأجهزة استهلاكاً للكهرباء في فصل الشتاء، إلا أن التكلفة المالية لهذه السخانات قد تكون عائقاً يحول دون التنفيذ، مما يستلزم تقديم الدعم المالي على غرار الدعم المقدم للمكيفات عالية الكفاءة. ولعله يمكن في هذا المجال الاستفادة من التجارب والخبرات الإقليمية، وتحديداً تلك الموجودة في الأردن، ودولة الامارات العربية المتحدة. وكذلك الحال بالنسبة لتركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن، فقد وضعت المملكة السياسات والتشريعات اللازمة إلا أن التكلفة المالية لتركيبها تعتبر عائقاً قد يحول دون ذلك. وقد يكون من المجدي إيجاد آليات لتمويل تركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن، لا سيما وأن الاستثمار في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني واعد لكونه الأكثر فعالية من حيث التكلفة وفترة الاسترداد (Al-Homoud & Krarti, 2021)، حيث تعتبر التكلفة الاقتصادية لتركيب ألواح الخلايا الشمسية بالمساكن منخفضة نسبياً مقارنة بإنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري، وذلك إذا ما تم أخذ التكاليف البيئية والصحية بعين الاعتبار(Alrashoud, *et al*, 2020) .

كما بيّن مسح الدراسات السابقة وجود عدد من الدراسات المتعلقة باستهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني في القصيم بشكل خاص، وفي المملكة بشكل عام، وكيفية خفض الاستهلاك، وإن كان عددها محدوداً نسبياً. و تختلف هذه الدراسة عن سابقاتها في بنائها لنموذج ديناميكي للطلب على الكهرباء من القطاع السكني وذلك بالاعتماد على نمط الاستهلاك الفصلي، وباستخدام نتائج مسح الطاقة المنزلي للأعوام 2017-2019 باتباع منهجية من الأسفل إلى الأعلى. ولعل هذه الدراسة هي الأولى، بحسب علمنا، والتي يتم فيها استخدام برنامج LEAP فيما يتعلق بنمذجة الطاقة في القطاع السكني في المملكة العربية السعودية. وبالرغم من أنه لم يكن من الممكن محاكاة الطلب على الطاقة

في عامي 2018 و2019، إذ أشارت بيانات محطة كهرباء القصيم إلى انخفاض الطلب، في حين تبين نتائج المسح عكس ذلك، إلا أن هذه الدراسة قد وضحت كمية الطلب المستقبلي المحتمل على الكهرباء من القطاع السكني في القصيم، ومدى فعالية مجموعة من الخيارات في خفض هذا الطلب، بالإضافة إلى التحديات الموجودة وكيفية مواجهتها.

الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا الدراسة تقييم الدور الذي يلعبه القطاع السكني في خفض الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية وذلك من خلال بناء نموذج لإنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية باستخدام برنامج LEAP، كما تم تقييم مجموعة من الخيارات المتعلقة بخفض الطلب النهائي على الطاقة الكهربائية وما يتبعه من انبعاثات في القطاع السكني. وأظهرت نتائج النمذجة أن الطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني بمنطقة القصيم سيواصل الارتفاع في الفترة من 2018 إلى 2030 ولكن من الممكن تحقيق خفض في الطلب على الطاقة الكهربائية والانبعاثات بما يصل إلى 19٪ بحلول عام 2030. ويبدو أن تطبيق خيارات التخفيف التي تمت دراستها ممكن في الوقت الحالي لوجود البنية التحتية التشريعية اللازمة لتطبيقها، بالإضافة إلى التقنيات المطلوبة. ولعل أبرز التحديات الموجودة حالياً هو إيجاد التمويل اللازم، أخذاً بعين الاعتبار أن تنفيذ هذه الخيارات يحقق وفراً في التكاليف المالية المترتبة على إنتاج الطاقة الكهربائية، ناهيك عن المنافع الأخرى المتمثلة في تحسين جودة الهواء، وما يترتب عليها من تحسن في صحة الانسان.

وثمة استنتاج آخر خلصت إليه هذه الدراسة، وهو عدم تطابق نتائج مسح استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني في منطقة القصيم مع الاستهلاك الفعلي في عامي 2018 و2019. وتم إثبات ذلك من خلال تنفيذ النمذجة الاحتمالية Probabilistic Modeling والتي بينت نتائجها عدم وجود احتمالية لتوقع الحصول على الاستهلاك الفعلي للطاقة الكهربائية، وذلك بالاعتماد على نتائج المسح لعامي 2018 و2019، وفي المقابل، فقد أظهرت نتائج المسح لعام 2017 إمكانية توقع الاستهلاك الفعلي للطاقة الكهربائية في منطقة القصيم. ولعل هذا الاستنتاج ذو أهمية للجهات القائمة على إجراء المسح السنوي للطاقة المنزلية بحيث يمكن تعزيز الإفادة من نتائج هذا المسح بحسب التوصيات المقترحة.

وتقترح هذه الدراسة مجموعة من التوصيات، لعل من أبرزها هو ضرورة إجراء دراسة اقتصادية لجدوى تطبيق خيارات التخفيف، وتحديد الخيارات المتاحة لنماذج التمويل المقترحة حيث بينت النتائج إمكانية تحقيق وفر مالي عند تطبيق مجموعة من الخيارات، غير أن التحدي الأبرز كان في توفير التمويل اللازم. وبالنظر إلى وجود عدد من المنافع البيئية والاجتماعية المتحققة والتي لم يتم تقديرها بصورة مالية، فإن الدراسة توصي بأخذ جميع المنافع المتحققة سواء كانت مالية أو غير مالية بعين الاعتبار مع تقييم نماذج التمويل الممكن تبنيها، ولعله يمكن أيضاً إجراء مسوحات اجتماعية للوقوف على مدى رغبة المستهلكين في المشاركة في تحمل التكاليف المالية، والدور الذي يمكن أن تلعبه مختلف الجهات المعنية في التوعية بهذا الشأن. كما توصي الدراسة بإجراء المزيد من الدراسات والبحوث المتعلقة بتقييم مدى استجابة المستهلكين في القطاع السكني لتغيير سلوك استهلاك الطاقة الكهربائية، وذلك لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في القطاع السكني.

وفيما يتعلق بإجراء مسح الطاقة المنزلي، فتوصي الدراسة بجمع المزيد من المعلومات المتعلقة

بنمط استهلاك الطاقة الكهربائية، وذلك لضمان إمكانية الإفادة من نتائج المسح في إعداد التوقعات المستقبلية. وتوصي الدراسة بتضمين استبانة المسح معلومات حول عمر الأجهزة الكهربائية المنزلية، وقدرة الجهاز، وسعة التبريد، بالإضافة إلى رغبة المستهلكين في الدفع مقابل تحسين كفاءة استهلاك الأجهزة الكهربائية المنزلية، وخفض الاستهلاك، وجمع القراءات الفعلية لاستهلاك الطاقة الكهربائية بصورة شهرية. وتوصي الدراسة أيضاً بتغيير الطريقة التي يتم فيها عرض نتائج المسح حيث يتم حالياً عرض النتائج بصورة تجميعية لكل منطقة من مناطق المملكة على حدة، في حين تقترح الدراسة أن يتم توفير النتائج بصورتها الأولية للباحثين، وهذا ما يتيح إمكانية دراسة فعالية تطبيق مجموعة خيارات التخفيف بدقة أكبر، ويتيح أيضاً فرصة دراسة وتقييم مجموعة أوسع من الخيارات.

أما بالنسبة لمدى دقة نتائج مسح الطاقة المنزلي، توصي الدراسة بتنفيذ النمذجة الاحتمالية لاستهلاك الطاقة في مختلف مناطق المملكة، وذلك للوقوف على ما إذا كان الاختلاف القائم ما بين كمية الاستهلاك النهائي بحسب نتائج المسح وقيم الاستهلاك الفعلية، موجود فقط في منطقة القصيم أو أنه يشمل مناطق أخرى من المملكة، ليتم بعده دراسة أسباب هذا الاختلاف. ويأتي ذلك لتحقيق الإفادة القصوى من نتائج هذه المسوحات، وبناء الثقة في استخدامها، وتعزيز توظيفها في إعداد التوقعات المستقبلية للطلب على الطاقة الكهربائية من القطاع السكني في المملكة العربية السعودية.

وبالنظر لأهمية مسح الطاقة المنزلي في توفير البيانات الأولية اللازمة للدراسات، توصي هذه الدراسة بإجراء مسح الطاقة المنزلي بصورة دورية وموحدة في جميع دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، إذ لا يتم تنفيذه حالياً إلا في المملكة. ويسهم إجراء مثل هذه المسوحات في عملية تكامل وتعزيز الجهود المبذولة لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة وخفض الانبعاثات في دول المجلس، بالإضافة إلى اختيار وتنفيذ السياسات الملائمة، ولعله من الممكن أن يضطلع المركز الإحصائي الخليجي بهذه المهمة.

المراجع العربية

أمانة منطقة القصيم. (2020). الموقع العام والحدود الإدارية لمنطقة القصيم. تم الاسترجاع من: https://www.qassim.gov.sa/AR/Qassim/pages/Geography.aspx

إدارة كهرباء منطقة القصيم. (2019). مؤشرات إنتاج واستهلاك الكهرباء بمنطقة القصيم. الشركة السعودية للكهرباء – إدارة كهرباء منطقة القصيم، المملكة العربية السعودية. بيانات غير منشورة.

بيربوكس، نواز. (2019). نمو الطالب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية: ركود أم تكيف هيكلي. مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية.

الشركة السعودية للكهرباء – المملكة العربية السعودية. (2020). جدول يوضح استهلاك الطاقة الكهربائية. تم الاسترجاع من https://www.se.com.sa

الصباغ، مها محمود. (2018). استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع المنزلي وعلاقته بتغير المناخ في مملكة البحرين: الوضع الحالي والسيناريوهات المستقبلية. مجلة عجمان للدراسات والبحوث، 17 (1)، 1-38.

الهيئة العامة للإحصاء – المملكة العربية السعودية. (2019). مسح الطاقة المنزلي. تم الاسترجاع من https://wwwstats.gov.sa

الهيئة العامة للإحصاء – المملكة العربية السعودية. (2018). نشرة المساكن. تم الاسترجاع من: https:// _2018_1.www.stats.gov.sa/sites/default/files/housing_statistics_pdf bulletin

الهيئة العامة للإحصاء – المملكة العربية السعودية. (2017). مسح الطاقة المنزلي. تم الاسترجاع من https://www.stats.gov.sa

هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج – المملكة العربية السعودية. (2012). نشاطات الهيئة وإنجازاتها للعام المالي (2012). تم الاسترجاع من: https://www.ecra.gov.sa/

هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج – المملكة العربية السعودية. (2018). الكتيب الإحصائي السنوي لصناعتي الكهرباء وتحلية مياه البحر. تم الاسترجاع من: https://wwwecra.gov.sa/

وزارة الشؤون البلدية والقروية – المملكة العربية السعودية. (2019). برنامج مستقبل المدن السعودية الرؤية العمرانية الشاملة لمدينة بريدة. تم الاسترجاع من https://unhabitat.buridah.pdf/2020/04/ org/sites/default/files

المراجع الأجنبية

Ahmed, W., & Asif, M. (2020). BIM-based techno-economic assessment of energy retrofitting residential buildings in hot humid climate. *Energy & Buildings, 227,*110406

Al Harbi, F., & Csala, D. (2019, June). Saudi Arabia's Electricity: Energy Supply and Demand Future Challenges. In *2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)* (pp. 467-472). IEEE

Al-Homoud, M. S., & Krarti, M. (2021). Energy efficiency of residential buildings in the Kingdom of Saudi Arabia: Review of status and future roadmap. *Journal of Building Engineering*, 102143

Almasri, R. A., Almarshoud, A. F., Omar, H. M., Esmaeil, K. K., & Alshitawi, M. (2020). Exergy and economic analysis of energy consumption in the residential sector of the qassim region in the Kingdom of Saudi Arabia. *Sustainability, 12*(7), 2606

Alrashoud, K., & Tokimatsu, K. (2020). An exploratory study of the public's views on residential solar photovoltaic systems in oil-rich Saudi Arabia. *Environmental Development,35,*100526

Alsabbagh, M., Siu, Y.L., Guehnemann, A., & Barrett, J. (2017). Mitigation of CO_2 emissions from the road passenger transport sector in Bahrain. *Mitigation & Adaptation*

Strategies for Global Change, *22*(1), 99–119

Al-Tamimi, N. (2017). Astate-of-the-art review of the sustainability and energy efficiency of buildings in Saudi Arabia. *Energy Efficiency*, *10*(5), 1129–1141

ASHRAE. (2014). Measurement of energy, demand and water savings. Retreived from https://upgreengrade.ir/admin_panel/assets/images/books/ASHRAE%20Guideline%2014-2014.pdf

Ates, S. A. (2015). Energy efficiency and CO_2 mitigation potential of the Turkish iron and steel industry using the LEAP (long-range energy alternatives planning) system. *Energy*, *90*, 417–428

Chaichaloempreecha, A., Winyuchakrit, P., & Limmeechokchai, B. (2017). Long-term energy savings and GHG mitigations in Thailand's building sector: impacts of energy efficiency plan. *Energy Procedia*, *138*, 847–852

Dioha, M. O., & Kumar, A. (2020). Exploring sustainable energy transitions in sub-Saharan Africa residential sector: The case of Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 117*, 109510

El-Nakla, S., Yahya, C. B., Peterson, H. P., Ouda, O. K., & Ouda, M. (2018). Residential Consumers Awareness of Energy Conservation Practices in Saudi Arabia. *KnE Engineering*, 244–258

Esmaeil, K. K., Alshitawi, M. S., & Almasri, R. A. (2019). Analysis of energy consumption pattern in Saudi Arabia's residential buildings with specific reference to Qassim region. *Energy Efficiency*, *12*(8), 2123-2145

Figueiredo, R., Nunes, P., Panão, M. J. N. O., & Brito, M. C. (2020). Country residential building stock electricity demand in future climate – Portuguese case study. *Energy and Buildings, 209*, 109694

Gago, E. J., García, J. O., & Estrella, A. E. (2011). Development of an energy model for the residential sector: Electricity consumption in Andalusia, Spain. *Energy and Buildings, 43*(6), 1315-1321

Gul, M., & Qureshi, W. A. (2012). Long term electricity demand forecasting in residential sector of Pakistan. *In 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting (*pp. 1–7). IEE

Howarth, N., Odnoletkova, N., Alshehri, T., Almadani, A., Lanza, A., & Patzek, T. (2020). Staying cool in A warming climate: temperature, electricity and air conditioning in Saudi Arabia. *Climate*, *8*(1), 4

IEA. (2017). Explore energy data by category, indicator, country or region. Retreived from https://www.iea.org

IEA. (2019). Global Energy Outlook: International Energy Agency. France: IEA

Imam, A. A., & Al-Turki, Y. A. (2020). Techno-Economic Feasibility Assessment of Grid-Connected PV Systems for Residential Buildings in Saudi Arabia—A Case Study. *Sustainability, 12*(1), 262

IPCC (2014 a). Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group lll to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Jakučionytė-Skodienė, M., Dagiliūtė, R., & Liobikienė, G. (2020). Do general pro-environmental behaviour, attitude, and knowledge contribute to energy savings and climate change mitigation in the residential sector? *Energy, 193*, 116784

Khan, M. M. A., Asif, M., & Stach, E. (2017). Rooftop PV Potential in the Residential Sector of the Kingdom of Saudi Arabia. *Buildings (2075-5309)*, *7*(2), 46

Kiani, A. (2017). Electric vehicle market penetration impact on transport-energy-greenhouse gas emissions nexus: A case study of United Arab Emirates. *Journal of Cleaner Production*, *168*, 386–398

Krarti, M., Aldubyan, M., & Williams, E. (2020a). Residential building stock model for evaluating energy retrofit programs in Saudi Arabia. *Energy*, *195,*116980

Krarti, M., & Howarth, N. (2020b). Transitioning to high efficiency air conditioning in Saudi Arabia: A benefit cost analysis for residential buildings. *Journal of Building Engineering, 31*, 101457

Krarti, M., Dubey, K., & Howarth, N. (2017). Evaluation of building energy efficiency investment options for the Kingdom of Saudi Arabia. *Energy, 134*, 595-610

Liya, C., & Jianfeng, G. (2018). Scenario analysis of CO_2 emission abatement effect based on LEAP. *Energy Procedia*, *152*, 965–970

Lopez-Ruiz, H. G, Blazquez, J., & Vittorio, M. (2020). Assessing residential solar rooftop potential in Saudi Arabia using nighttime satellite images: A study for the city of Riyadh. *Energy Policy, 140*, 111399

Ministry of Energy- Kingdom of Saudi Arabia. (2018). The First Biennial Update Report (BUR1). From https://unfccc.int/sites/default/files/resource/18734625_Saudi%20Arabia-BUR1-1-BUR1-Kingdom%20of%20Saudi%20Arabia.pdf

Mondal, M. A. H., Boie, W., & Denich, M. (2010). Future demand scenarios of Bangladesh power sector. *Energy Policy*, *38*(11), 7416–7426

Moradi, M. A., Shakouri, H., & Aboutaleb, A. M. (2013). Developing the Electricity Demand Model for Iran's Residential Sector; Based on LEAP. Unpublished. Tehran (pp. 1-5)

Nahiduzzaman, K. M., Aldosary, A. S., Abdallah, A. S., Asif, M., Kua, H. W., & Alqadhib, A. M. (2018). Households energy conservation in Saudi Arabia: Lessons learnt from change-agents driven interventions program. *Journal of Cleaner Production*, *185*,

998–1014

Nieves, J. A., Aristizábal, A. J., Dyner, I., Báez, O., & Ospina, D. H. (2019). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application. *Energy*, *169*, 380–397

Palacios-Garcia, E. J., Chen, A., Santiago, I., Bellido-Outeiriño, F. J., Flores-Arias, J. M., & Moreno-Munoz, A. (2015). Stochastic model for lighting's electricity consumption in the residential sector. Impact of energy saving actions. *Energy and Buildings, 89*, 245-259

Poolsawat, K., Tachajapong, W., Prasitwattanaseree, S., & Wongsapai, W. (2020). Electricity consumption characteristics in Thailand residential sector and its saving potential. *Energy Reports, 6*, 337-343

Sadri, A., Ardehali, M. M., & Amirnekooei, K. (2014). General procedure for long-term energy-environmental planning for transportation sector of developing countries with limited data based on LEAP (long-range energy alternative planning) and EnergyPLAN. *Energy*, *77*, 831–843

Subramanyam, V., Kumar, A., Talaei, A., & Mondal, M. A. H. (2017). Energy efficiency improvement opportunities and associated greenhouse gas abatement costs for the residential sector. *Energy*, *118*, 795–807

Thuy, V. T. H., & Limmeechokchai, B. (2015). Analyses of Energy use and CO_2 Emission in Residential Sector: Case Studies in Thailand and Vietnam. *Energy Procedia*, *79*, 290–295

Wakiyama, T., & Kuramochi, T. (2017). Scenario analysis of energy saving and CO_2 emissions reduction potentials to ratchet up Japanese mitigation target in 2030 in the residential sector. *Energy Policy, 103*, 1-15

Wang, P., Wang, C., Hu, Y., & Liu, Z. (2017). Analysis of energy consumption in Hunan Province (China) using a LMDI method based LEAP model. *Energy Procedia*, *142*, 3160–3169

Wogan, D., Carey, E., & Cooke, D. (2019). *Policy Pathways to Meet Saudi Arabia's Contribution to the Paris Agreement* (No. ks-2018-dp49)

Xin-gang, Z., & Pei-ling, L. (2020). Is the energy efficiency improvement conducive to the saving of residential electricity consumption in China? *Journal of Cleaner Production, 249*, 119339

An Assessment of CO2 Mitigation Options for Residential Electricity Consumption in the Kingdom of Saudi Arabia: A Case Study of Al-Qassim

Maryam Al Harbi and Maha Al Sabbagh*

Department of Natural Resources and Environment, College of Graduate Studies,

Arabian Gulf University, Kingdom of Bahrain,

*E-mail: mahamw@agu.edu.bh

Received: 22/04/2021
Revised: 19/08/2021
Accepted: 02/09/2021

Abstract:

This study examined the effectiveness of selected measures for reducing the final electricity demand of Al-Qassim's residential sector and the resulting CO2 emissions. Accordingly, the Low Emission Analysis Platform (LEAP) was used to develop reference and mitigation scenarios for the period 2018–2030 based on the results of the national household energy survey. Several mitigation measures were explored, including improving the efficiency of air conditioners, installing residential solar panels, using solar water heaters, and raising public awareness regarding electricity conservation, both as stand-alone and combined mitigation scenarios. An analysis of the results of the household energy survey revealed the continuing projected rise in the final electricity demand, reaching 12.4 thousand GWh by 2030, with CO2 emissions exceeding 7.4 million tons. The results of probabilistic modeling using the survey results indicated that by 2030, the final electricity demand of the residential sector in Al-Qassim will range between 6.5 and 19.5 thousand GWh at a confidence rate of 90%, with minimum and maximum demands of 4.8 and 32.8 thousand GWh, respectively. The study's findings also suggest that implementing the mitigation options on stand-alone basis can achieve 15% cumulative reduction in the final electricity demand and CO2 emissions, and 19% when implemented as combined scenarios during 2022-2030 compared with the reference scenario. This study recommends conducting a feasibility study for implementing these mitigation measures and exploring different financing models. A further recommendation is to collect additional data on electricity consumption patterns within the residential sector during the household energy survey's implementation, to ensure the provision of inputs into the assessment of energy and climate change policies targeting the residential sector.

Keywords: LEAP, climate change, renewable energy, energy efficiency, household energy survey.