

نموذج الطاقة السكني لتقييم الطلب على الطاقة وبرامج كفاءة استخدامها في المباني السكنية السعودية

محمد الدبيان ومنصف كرارتي وإريك وليامز

عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحوثاً مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بثتى 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 2020 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبته بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية –سواء مباشرة أو غير مباشرة– تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند –أو أي جزء منه– أو أن يفسر كنصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدي الدراسة، ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.

النقاط الرئيسية

يحاكي نموذج الطاقة السكني (REEM) المباني السكنية في المملكة العربية السعودية، مصنفة بحسب نوع وعمر وموقع المباني باستخدام نهج هندسي هرمي من القاعدة إلى القمة.

يستخدم هذا النموذج بيانات مفتوحة المصدر وأكواد البناء لتقدير كثافة استخدام الطاقة وفقاً لخصائص المبنى والمناخ.

يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) تقييم إجمالي استهلاك الطاقة وذروة الطلب لكل نوع من أنواع المباني بحسب عمره وظروفه المناخية، مصنفة بحسب المنطقة.

يمكن للنموذج تقييم تأثير برامج كفاءة استخدام الطاقة وإدارة الطلب على الاستهلاك الكلي وذروة الطلب، مما يوفر لصانعي القرار رؤى مفيدة لتصميم برامج كفاءة الطاقة.

يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) تقييم الآثار الاقتصادية والبيئية لبرامج كفاءة الطاقة "الجزئي" و"الكلي". كذلك بإمكان النموذج تقدير الانخفاض في كل من استهلاك الطاقة وذروة الطلب المرتبطين بتنفيذ تلك البرامج بحسب نوع المباني وعمرها وموقعها. ويمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) مساعدة واضعي السياسات في تحديث أكواد البناء وتصميم برامج كفاءة استخدام الطاقة للقطاع السكني في المملكة العربية السعودية.

يصف هذا البحث تطوير نموذج الطاقة السكني (REEM) للمملكة العربية السعودية باستخدام نهج هندسي هرمي من القاعدة إلى القمة، إذ يمكن لهذا النموذج تقييم استهلاك الطاقة في القطاع السكني وتأثير برامج كفاءة استهلاكها وإدارة الطلب. ويحاكي النموذج كامل الأبنية السكنية الحالية في المملكة العربية السعودية باستخدام 54 نموذجًا أوليًا للمباني السكنية مقسمة إلى ثلاثة أنواع من المباني وثلاث فئات عمرية وستة ظروف مناخية مختلفة. ويمكن باستخدام النماذج الناتجة البالغ عددها 54 نموذجًا أوليًا، تقدير إجمالي الطلب على مستوى المناطق الإدارية الثلاث عشرة أو التشغيلية الأربع-الوسطى والشرقية والغربية والجنوبية-أو حتى على مستوى المملكة. ومن ثم يمكن معايرة تقديرات الاستهلاك بحسب المناطق التشغيلية ومضاهاتها بالبيانات الفعلية المسجلة لاستهلاك الطاقة بالمناطق التشغيلية الأربع للمملكة.

كذلك يستخدم النموذج بيانات حكومية وغير حكومية مفتوحة المصدر لمحاكاة إجمالي المباني السكنية، مصنفة بحسب الخصائص الثلاث المذكورة أعلاه "النوع والعمر والظروف المناخية"، ومن ثم يسمح النموذج بمعايرة المزايا غير المرصودة التي تؤثر على استهلاك الكهرباء، بما فيها أنماط الاستهلاك وبعض الخصائص الحرارية واستخدام الأجهزة المنزلية. كما يوفر النموذج الذي تمت معايرته رؤى مفيدة حول كيفية اختلاف استهلاك الكهرباء وذروة الطلب باختلاف نوع المبنى وعمره وموقعه، كما أنه يصنف الاستهلاك بحسب الاستخدام النهائي لتحديد أكبر المساهمين في الطلب على الطاقة.

كفاءة استخدام الطاقة في الإنتاج والاستهلاك من أجل الحفاظ على الموارد الطبيعية للمملكة، وتعزيز الرفاهية الاقتصادية والاجتماعية لسكانها“ (SEEC 2020). كما اعتمد المنظمون أيضًا متطلبات حرارية جديدة في عام 2014م لتحسين أداء استخدام الطاقة في المباني السكنية الجديدة. ورغم ذلك، لا تزال كفاءة استخدام الطاقة في المباني في المملكة العربية السعودية منخفضة، ويرجع ذلك جزئيًا إلى صعوبة تطبيق اللوائح وخاصة الحديثة منها (Alrashed and Asif, 2014; Shenashen, Alshitawi, and Almasri 2016; Krarti, Dubey, and Howarth 2017).

يمكن للتحسينات في كفاءة استخدام الطاقة أن تعمل على خفض استهلاك الوقود وتقليل الحاجة إلى قدرة توليد الكهرباء، مما يجعلها استثمارات فعّالة من حيث التكلفة. ونظرًا لتكاليفها الأولية المتواضعة ومعدلات عوائدها المرتفعة، فغالبًا ما تكون برامج كفاءة استخدام الطاقة المستهدفة جذابة للأسر والشركات. ولقد توصل الباحثون (Krarti, Dubey and Howarth (2017) إلى أن لدى المملكة العربية السعودية إمكانات هائلة لتحقيق وفورات في الطاقة من خلال رفع كفاءة استخدامها، ليس فقط في الإنشاءات الجديدة فحسب، وإنما أيضًا من خلال رفع كفاءة استهلاك الطاقة في المباني القائمة. وقدرت دراسة هؤلاء الباحثون أنه كان من الممكن في عام 2014 أن يوفر برنامج تحسين كفاءة الطاقة، الذي يتضمن مكيفات الهواء والعزل للمباني المتوفرة حاليًا في المملكة العربية السعودية أكثر من 100 تيراواط في السنة (تيراواط ساعة/ سنة)، أو بمقدار 25٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء في المملكة، وخفض ذروة الطلب عليه بنسبة 25 جيجاواط أو بمعدل 27٪.

يصف هذا البحث الأسس المنهجية لنموذج الطاقة السكني (REEM) من منظور تقييم الفوائد الاقتصادية والبيئية لرفع كفاءة المباني السكنية الحالية في المملكة العربية السعودية. ويأخذ تحليلنا في الحسبان تأثيرات مجموعة واسعة من تدابير كفاءة استخدام الطاقة (EEM) على كل من استهلاك الطاقة وذروة الطلب،

تهيمن المباني السكنية على الطلب في قطاع الكهرباء في المملكة العربية السعودية. إذ مثل استهلاك المنازل في الفترة من عام 2009 إلى عام 2018، حوالي 50٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء في المملكة، وهي نسبة تفوق بكثير استهلاك المباني التجارية أو الحكومية (SAMA 2019). ونظرًا لمناخ المملكة المتسم بالحر الشديد، فقد شكّل تكييف الهواء وحده اعتبارًا من عام 2019 حوالي 64٪ من استخدامات الكهرباء المنزلية.

كذلك نما استهلاك الكهرباء في المباني السكنية بوتيرة متسارعة في الأعوام القليلة الماضية، إلى جانب النمو المطرد في عدد المساكن في البلاد. إذ شهدت الفترة بين 2007 إلى 2018 زيادة في الاستخدام السكني للكهرباء بنسبة بلغت 45٪ مدفوعة بزيادة قدرها 73٪ في الوحدات السكنية (SAMA 2019)، إلا أن الاتجاهين تباعدا منذ ذلك الحين. غير أن الطلب على المساكن لا سيما من الفئات العمرية الأصغر سنًا، استمر في الارتفاع لدرجة أن وزارة الإسكان أطلقت في أوائل عام 2020م مبادرة لتطوير 200 مليون متر مربع من المشاريع السكنية الجديدة في جميع أنحاء البلاد (الرياض 2020). غير أن نمو استهلاك الكهرباء شهد تباطؤ بعض القطاعات منذ عام 2016، بما في ذلك المباني السكنية، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى الجهود التي بذلتها الحكومة لإصلاح قطاع الطاقة بما في ذلك ارتفاع أسعار الكهرباء وزيادة كفاءة استخدام الطاقة، مما أدى بالتالي إلى تراجع الطلب.

الجدير بالذكر هنا، أن الحكومة السعودية عملت على مدى العقدين الماضيين وبالتدريج، على إدخال معايير وأنظمة أكثر صرامة للحد من استهلاك الطاقة في قطاع البناء. فيما طبقت الجهات المسؤولة منذ عام 2001 الحد الأدنى من معايير أداء استخدام الطاقة (MEPs) وتحديثها بانتظام للأجهزة المنزلية مثل الثلاجات والمجمدات والغسالات ومكيفات الهواء (SASO 2012, 2013, 2014b, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d). كما أنشأت الحكومة في عام 2010، المركز السعودي لكفاءة الطاقة (كفاءة) الذي ”يهدف إلى ترشيد ورفع

السكني (REEM) ويستعرض معيارته باستخدام بيانات استهلاك الطاقة المسجلة للقطاع السكني والمصنفة بحسب المنطقة التشغيلية. وأخيراً، يختتم البحث باستخدام نموذج الطاقة السكني (REEM) لتقييم الأبنية السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية في عام 2018 لتوضيح مخرجات النموذج.

لعدد 54 نموذجاً أولياً للمباني السكنية المحددة بحسب النوع والعمر والموقع (المنطقة المناخية). فيما يتم تنظيم ما تبقى من البحث على النحو التالي: يلخص القسم الأول خصائص وأداء استهلاك الطاقة للمباني السكنية المتوفرة حالياً في المملكة العربية السعودية بناءً على البيانات والمسوحات الواردة. فيما يصف القسم الثاني من البحث المنهج المتبع في نموذج الطاقة

خصائص الأبنية السكنية المتوفرة وجمع البيانات

كذلك يمكن بعد محاكاة النموذج للمباني السكنية الموجودة، معايرته ومضاهاته ببيانات الاستهلاك الفعلي للكهرباء لنفس العام بحسب المنطقة (الوسطى والشرقية والغربية والجنوبية) المأخوذة من هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج (ECRA). إذ تقدم هذه الهيئة تقريرًا سنويًا عن سوق الكهرباء في المملكة العربية السعودية يتضمن مبيعات الكهرباء موزعة بحسب الموردين، واستهلاك الكهرباء وفقًا للقطاع والمنطقة الجغرافية (ECRA 2018). وتعتمد آلية المعايرة على تغيير مؤشرات معينة لا يمكن العثور على البيانات الخاصة بها أو تقديرها بصورة مباشرة، مثل كثافة استخدام الإنارة وكفاءة استخدام الطاقة لبعض الأجهزة المنزلية والأوقات التشغيلية للمنازل وغيرها.

يمكن أن يكون إنشاء نموذج تصاعدي للأبنية السكنية المتوفرة بأكملها لدولة أو منطقة ما أمرًا بالغ التعقيد بسبب عدم اليقين المحيط بالعديد من العوامل التي تشكل الطلب على الطاقة. إذ تتمثل مسألتين من أصعب هذه الجوانب في الخصائص المادية للمنازل وأنماط استخدام الكهرباء بالنسبة للأسر، ويتطلب كلاهما وجود بيانات دقيقة ويعتبران ضروريان لمحاكاة استهلاك الأبنية السكنية الحالية ولتقدير خط الأساس لاستهلاك الكهرباء. بينما تقوم الهيئة السعودية العامة للإحصاء (GaStat) - وكالة حكومية مسؤولة عن إجراء المسوحات في المملكة العربية السعودية - بنشر تقريرين سنويين يتضمن كل منهما بيانات يدمجها نموذج الطاقة السكني (REEM) بنحو مباشر، وهما: مسح المساكن ومسح الطاقة المنزلية (GaStat 2018a, 2018b). وتوفر هذه التقارير عدد الوحدات السكنية وإجمالي المساحات المبردة والمُدفأة واستخدام الطاقة وعدد الأجهزة المنزلية، وغيرها من المعلومات المصنفة بحسب نوع المباني وعمرها أو المنطقة الإدارية التابعة لها. كذلك يستخدم نموذج الطاقة السكني (REEM) بيانات الهيئة العامة للإحصاء، إلى جانب الدراسات الأخرى المنشورة المتعلقة بقطاع الإسكان في المملكة، لإنشاء نماذج طاقة لـ 54 نموذجًا أوليًا للوحدات السكنية وفقًا للنوع والعمر والموقع (المنطقة المناخية). ويمكن استخدام هذه النماذج الأولية لتقدير كثافة استهلاك الطاقة لكل متر مربع (EUI) لكل نموذج ومن ثم استخدامها بعد ذلك لتقدير الاستهلاك الكلي للكهرباء في المباني السكنية بحسب المساحة الإجمالية في كل نوع من أنواع المباني، باختلاف أعمارها في المواقع المختلفة.

وصف نموذج الأبنية السكنية القائمة

النماذج الفردية باستخدام منهج التحليل الإحصائي أو الهندسي لتقدير القيم الإجمالية للأبنية السكنية المتوفرة بالكامل (Swan and Ugursal 2009; Kavgic et al. 2010; Oladokun and Odesola 2015). يختلف عدد نماذج المباني التمثيلية اختلافًا كبيرًا اعتمادًا على التطبيق وتنوع الأبنية السكنية المتوفرة (Caputo, Costa, and Ferrari 2013; Davila, Reinhart and Bemis 2016; Ludden et al. 2018).

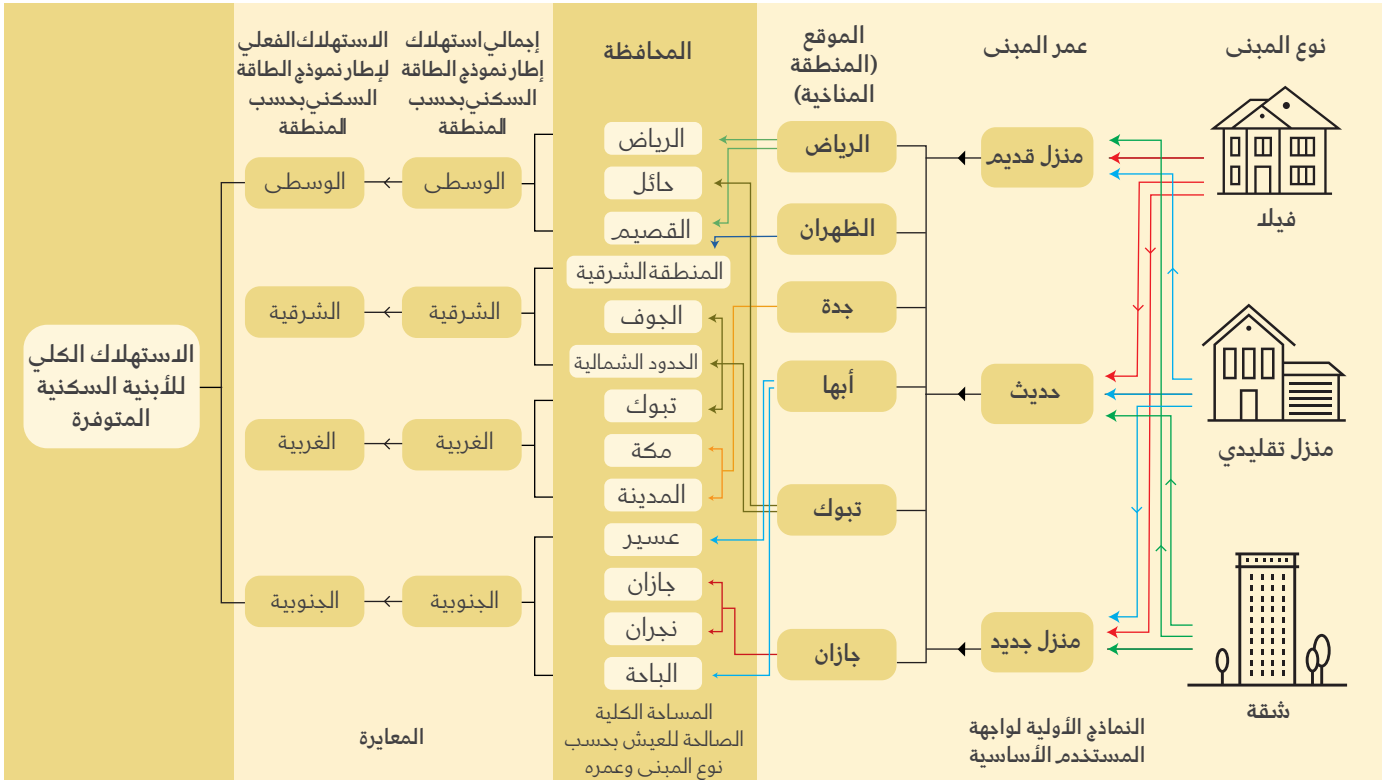
يطبق نموذج الطاقة السكني (REEM) نهجًا تصاعديًا باستخدام التحليل الهندسي لعدد 54 نموذجًا تمثيليًا للمباني للتنبؤ باستهلاك الكهرباء وذروة الطلب للأبنية السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية. ومن ثم يمكن للنموذج تقييم فعالية مجموعة واسعة من برامج كفاءة استخدام الطاقة التي تستهدف المباني القائمة. يوضح الشكل رقم (1) نهج النموذج الأولي للمباني السكنية المستخدم في هذه الدراسة.

تطوير نموذج الطاقة السكني (REEM)

عادة ما تبني النماذج السكنية للتنبؤ بالطلب على الطاقة في الأبنية السكنية بطريقتين شائعتين، هما:

- النمذجة التنازلية (من أعلى إلى أسفل): حيث تربط الطلب على الطاقة بمتغيرات أخرى مثل المؤشرات المناخية (على سبيل المثال: درجات الحرارة اليومية ودرجات الحرارة الخارجية) وعوامل الاقتصاد القياسي (مثل أسعار الطاقة ومستويات الدخل). وتعتمد هذه الطرق بدرجة كبيرة على مجموعات البيانات التاريخية وتستخدم على نطاق واسع في تحليلات الاقتصاد الكلي (Edmonds, Wise and MacCracken 1994; Sailor and Lu 2004; Kyle et al. 2010).
- النمذجة التصاعدية: والتي تستخدم نماذج البناء الأولية التي تمثل الأبنية السكنية المتوفرة لتقدير استهلاك الطاقة والاستخدامات النهائية، وتتم إضافة مخرجات

الشكل 1. إطار نموذج الطاقة السكني (REEM) للأبنية السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية.



المصدر: كابسارك.

وصف نموذج الأبنية السكنية القائمة

بتحديد خصائص كل منها باستخدام البيانات التي تم جمعها من دراسات سابقة لاستهلاك الطاقة (Taleb and Starples 2011؛ and Nutter 2013؛ Alaidroos and Krarti 2015). يلخص الجدول (1) السمات الرئيسية لأنواع المساكن المختلفة، وتمت معايرة نماذج الطاقة الأولية كما هو موضح في الشكل (2) بناءً على الاستهلاك الفعلي للكهرباء.

تتناول هذه الدراسة ثلاث خصائص لتمثيل الأبنية السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية، وهي: نوع المبنى وعمره وموقعه (المنطقة المناخية).

نوع المبنى: تتكون الوحدات السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية من ثلاثة أنواع أساسية، هي: فلل و وحدات سكنية "شقق" ومنازل تقليدية. نقوم

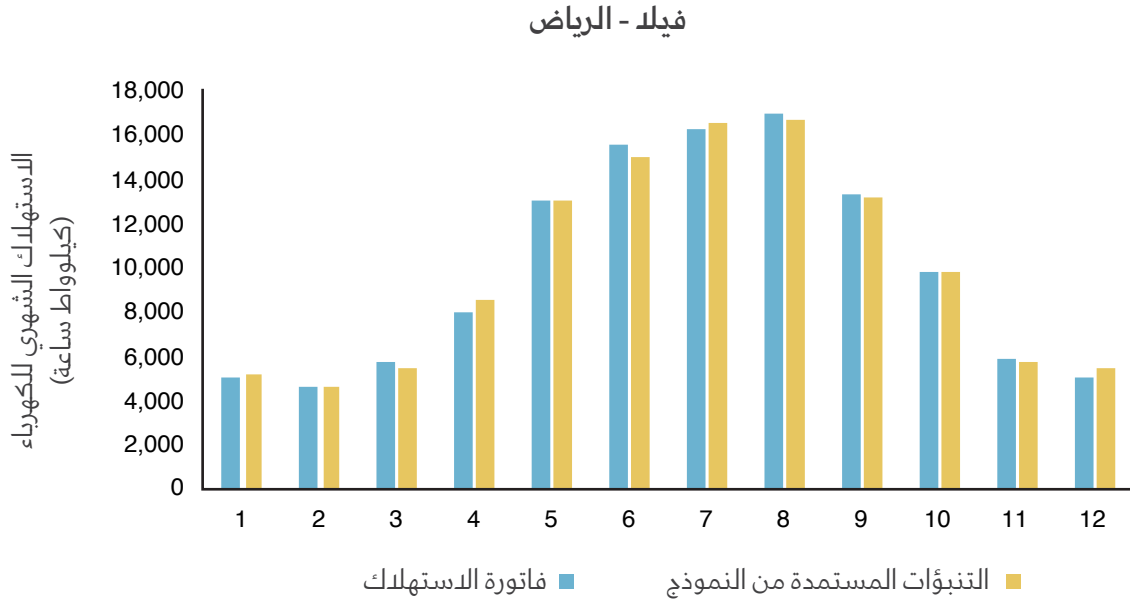
الجدول 1. مواصفات الأبنية المستخدمة في بناء نموذج الطاقة السكني (REEM)

نموذج البناء	فيلا	شقة	بيت تقليدي
عدد الطوابق	2	3	2
إجمالي مساحة البناء	525م ²	1,260م ²	232م ²
بناء الجدار	أسمنت بسماكة 20 ملم من الخارج + 150 ملم طوب خرساني أجوف + 20 ملم من الجص الداخلي	أسمنت بسماكة 20 ملم من الخارج + 150 ملم طوب خرساني أجوف + 20 ملم من الجص الداخلي	أسمنت بسماكة 20 ملم من الخارج + 150 ملم طوب خرساني أجوف + 20 ملم من الجص الداخلي
بناء السقف	سقف مُشَيّد بسماكة 10 ملم + 200 ملم بلاطة سقف خرسانية + 13 ملم من الجص الداخلي	سقف مُشَيّد بسماكة 10 ملم + 200 ملم بلاطة سقف خرسانية + 13 ملم من الجص الداخلي	سقف مُشَيّد بسماكة 10 ملم + 200 ملم بلاطة سقف خرسانية + 13 ملم من الجص الداخلي
بناء الأرضية	بلاط سيراميك + لوح خرساني بسماكة 100 مم	بلاط سيراميك + لوح خرساني بسماكة 100 مم	بلاط سيراميك + لوح خرساني بسماكة 100 مم
الزواحف	طبقة زجاج مفردة شفافة مع إطارات خشبية	طبقة زجاج مفردة شفافة مع إطارات خشبية	طبقة زجاج مفردة شفافة مع إطارات خشبية
نسبة النافذة إلى الجدار	13%	15%	15%
تسرب الهواء	0.8 تغير كامل للهواء في الساعة	0.8 تغير كامل للهواء في الساعة	0.8 تغير كامل للهواء في الساعة
نقطة ضبط التبريد	23 درجة مئوية	24 درجة مئوية	24 درجة مئوية
نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء	مكيف هواء أحادي النظام	مكيف شبك	مكيف شبك
نسبة كفاءة استهلاك الطاقة (EER)	7.5	8.5	8.5
فترة الإثغال	24 ساعة/ اليوم	24 ساعة/ اليوم	24 ساعة/ اليوم

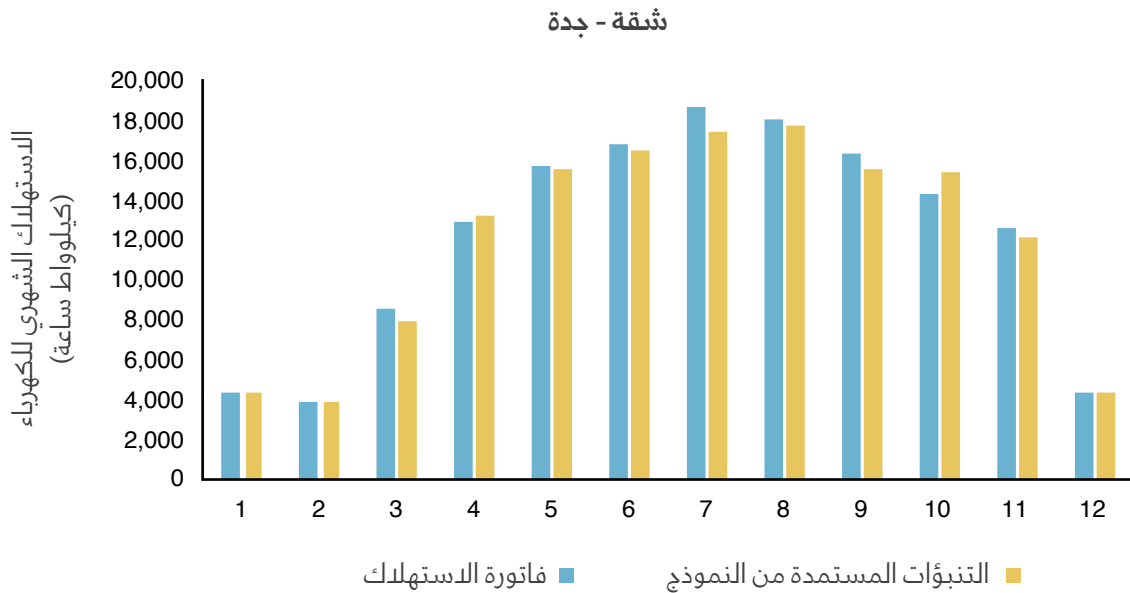
المصادر: Taleb and Starples 2011؛ Algarni and Nutter 2013؛ Alaidroos and Krarti 2015.

الشكل 2. نتائج تحليل المعايرة لنماذج الطاقة.

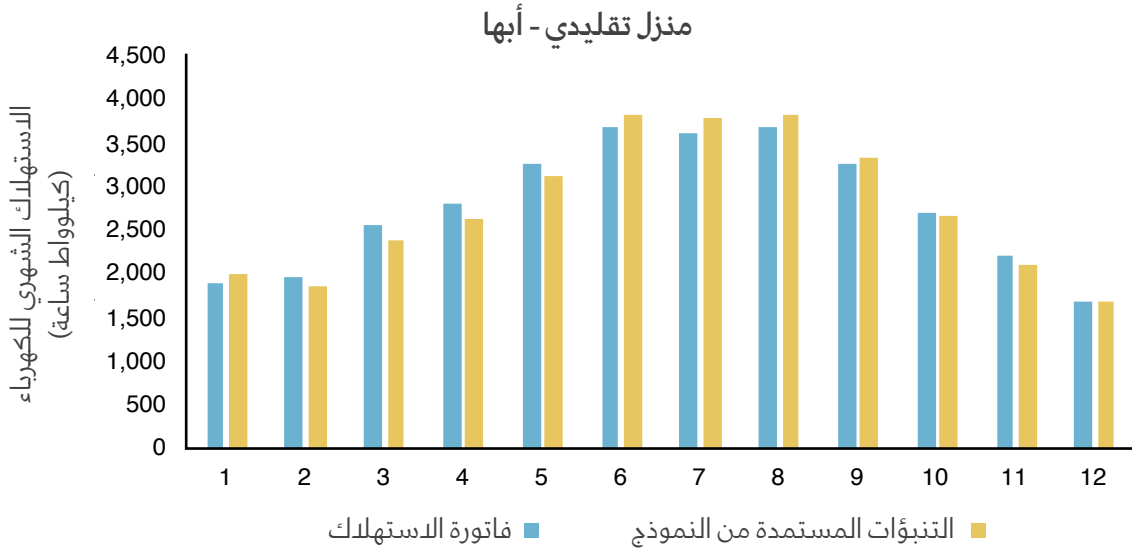
فيلا (مقارنة بالبيانات المأخوذة من دراسة [Alaidroos and Krarti 2015])



ثقة (مقارنة ببيانات الفاتورة المأخوذة من دراسة [Taleb and Staples 2011])



منزل تقليدي (مقارنة ببيانات الفاتورة المأخوذة من دراسة [Algarni and Nutter 2013])



- **النموذج (O):** المباني القديمة (عمرها أكثر من 10 سنوات، بدون عزل حراري وزجاج نوافذها أحادي).

يوفر المسح السنوي للمساكن الذي تجريه الهيئة العامة للإحصاء بيانات لأعمار الوحدات السكنية في المملكة العربية السعودية بحسب المنطقة الإدارية ونوع المسكن (GaStat 2018a).

الموقع: يعتمد استهلاك الطاقة في المساكن بدرجة كبيرة على موقعها الجغرافي والأحوال المناخية المرتبطة بها، وتتألف المملكة العربية السعودية من 13 منطقة إدارية، تتجمع عادة في أربع مناطق تشغيلية (الوسطى والشرقية والغربية والجنوبية). في حين أن المتطلبات الحرارية للهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة الخاصة بغلاف المباني تحدد ثلاث مناطق مناخية فقط للمملكة، وقد اقترحت دراسة أجراها كل من (Alrashed and Asif 2015) خمسة مناطق ممثلة في جدة والرياض والظهران وتبوك وأبها. وقد تضمنت هذه الدراسة، لمزيد من الدقة، البيانات المناخية لستة مواقع مختلفة (جدة والرياض والظهران وأبها وجازان وتبوك) التي تمثل مجموعة من الأحوال الجوية في البلاد، كما تم تلخيصها في الجدول رقم (2).

عمر المبنى: يعكس عمر المبنى كفاءة استهلاكه للطاقة. وللعلم فإن 33% من المنازل في المملكة العربية السعودية قد بنيت خلال العشر سنوات الماضية، إلا أن 20% منها فقط معزولة (GaStat 2019). ويرجع ذلك جزئياً إلى التطبيق الإلزامي للعزل الحراري الذي تم فرضه في عام 2010 (SEC 2020). كما تعمل الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة (SASO) بانتظام على تحديث الحد الأدنى من متطلبات أداء استهلاك الطاقة لمختلف القطاعات، بما فيها المباني السكنية. وبالتالي، يعكس عمر المبنى في المتوسط، كفاءته من حيث العزل إضافة للعديد من المؤشرات الأخرى، مثل مواصفات النوافذ والسقف. علاوة على ذلك، فإن المباني القديمة تكون بشكل عام في حالة سيئة وبحاجة ماسة إلى إصلاحات لرفع كفاءتها (GaStat 2018). اعتمدنا على ثلاث تصنيفات لعمر المباني في هذه الدراسة، وهي على النحو التالي.

- **النموذج (N):** مبنى جديد (عادة ما يكون عمر المبنى أقل من خمس سنوات، ويتضمن عزل الجدران والأسقف، ويكون زجاج النوافذ مزدوجاً).
- **النموذج (R):** مساكن تم بناؤها حديثاً (تتراوح أعمارها ما بين 5 و10 سنوات، وتتضمن العزل الحراري في الجدران والأسقف، إلا أن زجاج النوافذ أحادي).

الجدول 2. التوزيعات الجغرافية وخصائص الطقس وتصنيفات الأحوال الجوية للمملكة العربية السعودية.

الظروف المناخية المماثلة	المنطقة المناخية وفقاً للهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة	درجة التدفئة اليومية (درجة مئوية - أيام/ السنة)	درجة التبريد اليومية (درجة مئوية - أيام/ السنة)	المُمَثَل	المنطقة الإدارية	المنطقة التشغيلية
الرياض	المنطقة (1)	291	5,688	الرياض	الرياض	الوسطى
تبوك	المنطقة (2)	601	4,428	حائل	حائل	
الرياض	المنطقة (2)	389	5,361	بريدة	القصيم	
الظهران	المنطقة (1)	142	5,953	الظهران	المنطقة الشرقية	الشرقية
تبوك	المنطقة (2)	859	4,128	الجوف	الجوف	
تبوك	المنطقة (3)	1,168	3,395	طريف	الحدود الشمالية	
تبوك	المنطقة (2)	571	5,359	تبوك	تبوك	الغربية
جدة	المنطقة (1)	0	7,549	مكة	مكة	
جدة	المنطقة (1)	9	6,680	المدينة	المدينة	
أبها	المنطقة (3)	486	3,132	أبها	عسير	الجنوبية
جازان	المنطقة (1)	0	7,347	جازان	جازان	
جازان	المنطقة (1)	12	5,605	نجران	نجران	
أبها	المنطقة (2)	11	5,543	الباحة		

المصدر: (Alhadrami (2013).

حيث تتوافق $(f_{c,v,l})$ مع أجزاء الوحدات السكنية التي تنتمي إلى كل مجموعة من أنواع المباني وعمرها وموقعها. ويمكن كبديل للمعادلة الأولى أعلاه التنبؤ باستهلاك الطاقة للأبنية السكنية المتوفرة باستخدام المساحة الإجمالية للمباني $(A_{c,v,l})$ وكثافة استخدام الطاقة $(EUI_{c,v,l})$ التي يمكن اشتقاقها من النماذج الـ 54:

$$EC_S = \sum_{c,v,l} A_{c,v,l} \cdot EUI_{c,v,l} \quad (2)$$

طورت هذه الدراسة 54 نموذجاً أولياً مختلفاً للمساكن لمحاكاة أداء استهلاك الطاقة للأبنية السكنية الحالية في المملكة العربية السعودية. كما قمنا بتوليد قيم استهلاك الطاقة $(EC_{c,v,l})$ لكل نموذج من خلال تحليل محاكاة مفصل. وبالتالي، فإن المعادلة التالية تمثل استهلاك الطاقة الإجمالي (EC_S) للأبنية السكنية المتوفرة، المكوّن من وحدات سكنية (N_S) :

$$EC_S = \sum_{c,v,l} f_{c,v,l} \cdot N_S \cdot EC_{c,v,l} \quad (1)$$

وكمثال للمعايرة، قمنا بمحاكاة المباني السكنية المتوفرة لعام 2018 ومعايرة النتائج ومقارنتها بالاستهلاك الفعلي للكهرباء بحسب القطاع الذي أوردته مؤسسة النقد العربي السعودي (2018). يوضح الشكل رقم (3) تنبؤات نموذج المباني السكنية المتوفرة لإجمالي استهلاك الطاقة في المناطق الأربع والمملكة بأكملها بعد إجراء معايرة منهجية. وقد تم على وجه التحديد، تعديل ثلاث مؤشرات رئيسية لنماذج الطاقة الخاصة بأنواع المباني وأعمارها، على النحو التالي:

أ. تعديل نسبة كفاءة استخدام الطاقة في نظام التكييف (EER) لأعمار المساكن الجديدة التي تم تعديلها إلى 9.0 لتعكس الحد الأدنى من متطلبات كفاءة الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة (SASO) (2018a).

ب. تخفيض ضغط المروحة لمكيف الهواء (لأن معظم الأنظمة لا تحتوي على مجاري هواء).

ج. خفض كثافة طاقة الإنارة لتعكس الاستخدام الأكثر شيوعاً لمصابيح الفلورسنت المدمجة (CFL) ومصابيح الديود الإضاءة ذات الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED) في السنوات الأخيرة، حتى في المباني القديمة.

توصلنا بعد إجراء المعايرة، إلى وجود توافق جيد بين التنبؤات المأخوذة من نموذج الطاقة السكني المتوفرة، والبيانات التي أوردتها مؤسسة النقد العربي السعودي، مع وجود بعض الأخطاء النسبية بأقل من 2٪ لجميع المناطق والاستهلاك الكلي.

وتوفر الهيئة العامة للإحصاء (2018) GaStat توزيع الأبنية بحسب عمرها (أي: $f_{c,v,l}$) للمباني السكنية المتوفرة بأكملها لكل منطقة إدارية والبيانات اللازمة لتقدير المساحات الأرضية بحسب أنواع المباني والمحافظات (أي: $A_{c,v,l}$). ويمكن بالتالي، تقدير استهلاك الطاقة المرتبط بالمباني السكنية المتوفرة على النحو التالي:

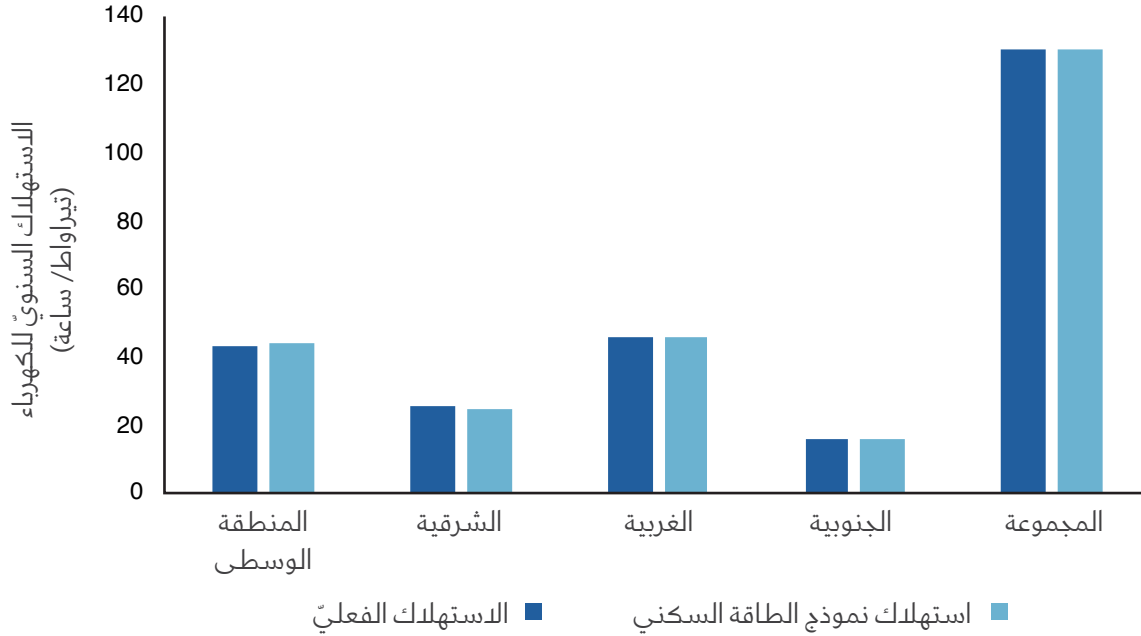
$$EC_S = \sum_{c,v,l} f_{c,v,l} \cdot A_{c,v,l} \cdot EUI_{c,v,l} \quad (3)$$

بإمكان نموذج التقييم التصاعدي الذي تمثله المعادلة الثالثة (3) التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية للجداول الزمنية بالساعة والشهر والسنة، ويتناول القسم التالي منهجية المعايرة لتقدير مساهمة كل منطقة في إجمالي الاستهلاك الوطني للكهرباء.

معايرة نموذج الطاقة السكني (REEM)

يتم كما أوضحنا في القسم السابق، تقدير استهلاك الطاقة بحسب المنطقة الإدارية من خلال تطبيق كثافة استخدام الطاقة (EUI) لكل نموذج أولي على إجمالي المساحة الأرضية الصالحة للعيش لكل نوع من أنواع المباني وعمرها في كل منطقة إدارية (على النحو الموضح في الشكل (1)). ثم يتم تجميع إجمالي استهلاك الطاقة لكل منطقة إدارية في المناطق السعودية الأربع (الوسطى والشرقية والغربية والجنوبية)، مما يتيح لنا معايرة نموذج الطاقة السكني (REEM) لمضاهاة الاستهلاك الفعلي الذي يصدر سنوياً من قبل هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج (ECRA). ونظراً لنقص البيانات المتاحة بشأن بعض خصائص الأبنية السكنية المتوفرة، مثل كثافة استخدام الإنارة وكفاءة استهلاك الطاقة في المعدات وأنماط الاستخدام وعدم القدرة على تقديرها بشكل مباشر، فإنّ بالإمكان تعديل مؤشرات النموذج لتحقيق مضاهاة معقولة تتلاءم مع الاستهلاك الفعلي.

الشكل 3. مقارنة بين تقديرات نموذج الطاقة السكني (REEM) وبيانات استهلاك الكهرباء الفعلية بحسب المنطقة (2018).



المصدر: مؤسسة النقد العربي السعودي (2018).

كذلك يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) تحديد الاستهلاك الشهري للكهرباء بحسب المباني السكنية في المملكة العربية السعودية، مصنفاً وفقاً لنوع المساكن وعمرها والمنطقة التي توجد فيها. إذ يمكن لهذه النتائج أن تقدم رؤى مفيدة حول كيفية استجابة استهلاك الطاقة المنزلية للتغيرات في درجة الحرارة المحيطة على مدار العام، وبالتالي تحديد أي من معايير الطاقة والتعديلات التحديثية لكفاءة استخدامها ستكون أكثر فعالية. فعلى سبيل المثال، لاحظنا في عام 2018، زيادة الطلب على الكهرباء خلال فصل الصيف في المنطقتين الوسطى والغربية، وتتميز كلاهما بكثافة سكانية عالية ومناخ حار كما هو موضح في الشكل (4). حيث إن تدابير كفاءة استخدام الطاقة التي تقلل من أحمال تبريد الأماكن بالنسبة لمثل هذه المناطق، تكون فعالة في الحد من استهلاك الطاقة والطلب في أوقات الذروة. ومن ناحية أخرى، لم تسهم المنطقة الجنوبية التي تعد الأكثر اعتدالاً في درجات الحرارة وأقل كثافة سكانية بدرجة كبيرة في زيادة الطلب على مستوى

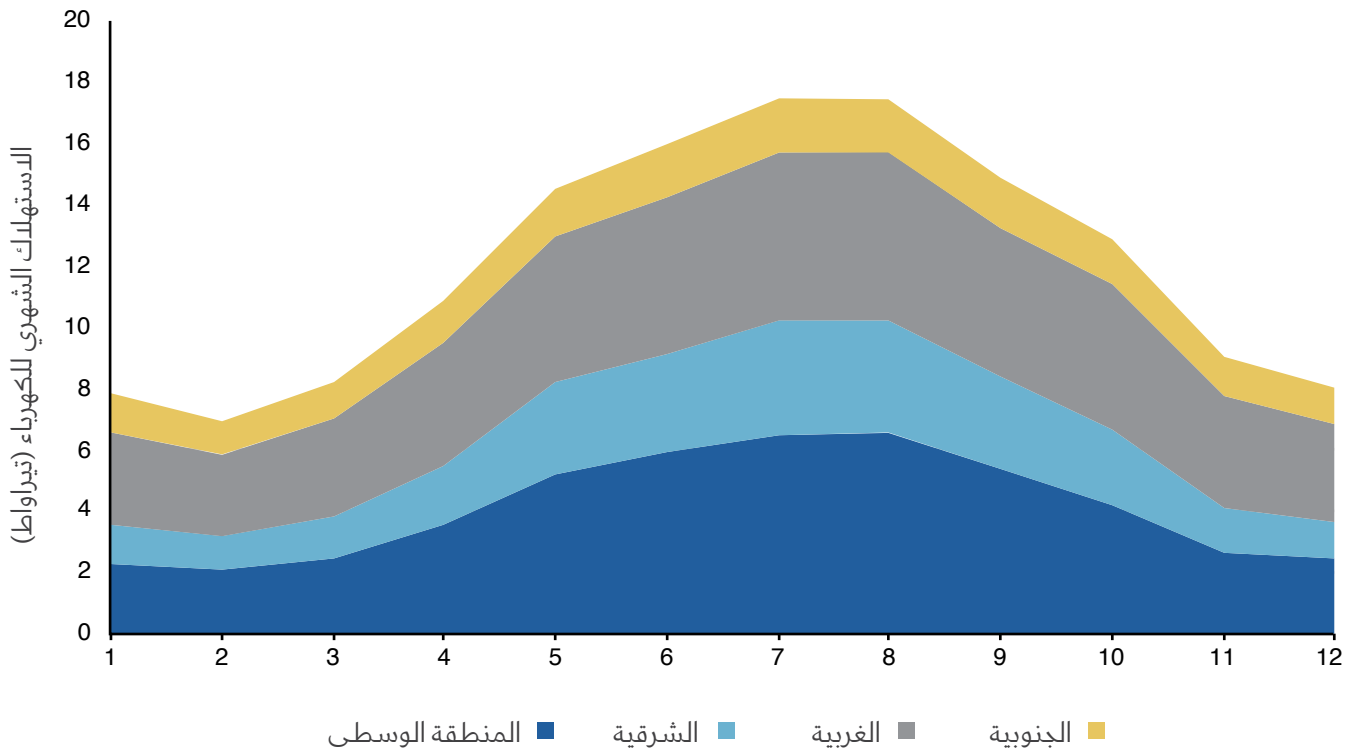
يوفر النموذج توزيعاً لإجمالي استهلاك الطاقة للمباني السكنية المتوفرة بحسب نوعها وعمرها وموقعها، كما يمكن أن يساعد أيضاً صانعي السياسات على تحديد إمكانات كل فئة من هذه المباني وتصميم برامج فعالة لكفاءة استهلاك الطاقة. فعلى سبيل المثال، يشير نموذج الطاقة السكني (REEM) إلى أن فلل وشقق الأسرة الواحدة استهلكت أكبر قدر من الكهرباء مقارنة بالأنواع الأخرى من المساكن في عام 2018، وهو ما يتراوح ما بين 32% و31% من إجمالي استخدام الكهرباء السكنية على التوالي، يليها استهلاك بنسبة 21% للمنازل التقليدية و16% للفئات الأخرى مثل الوحدات الأرضية في الفلل المقسمة لوحدات سكنية منفصلة والمنازل التقليدية. إذ تمثل الفلل والشقق نسبة 70% من المساحة المأهولة من المباني السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية. لذلك، ينبغي إعطاء الأولوية للبرامج المصممة خصيصاً للفلل والشقق لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني السكنية المتوفرة حالياً.

وصف نموذج الأبنية السكنية القائمة

وعمره وموقعه، لتبريد وتدفئة المساحات، والإضاءة والمعدات وتسخين المياه وغيرها من الوظائف الأخرى.

البلاد خلال فصل الصيف. علاوة على ذلك، يوفر نموذج الطاقة السكني (REEM) التوزيع السنوي للاستخدام النهائي لاستهلاك الطاقة، المصنف بحسب نوع المبنى

الشكل 4. تقديرات نموذج الطاقة السكني (REEM) الاستهلاك الشهري للكهرباء لعام 2018 وفقاً للقطاع السكني والمنطقة.



تقييم إجراءات كفاءة استخدام الطاقة

يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) تطبيق تعديلات الطاقة المذكورة أعلاه بشكل فردي، أو دمج اثنين أو أكثر منها لتقدير فعالية الخيارات المختلفة من تدابير كفاءة استخدام الطاقة (EEMs) مع مراعاة عامل التفاعل الحراري. كذلك يمكن أن يساعد في تقييم برامج كفاءة استخدام الطاقة المختلفة بشكل فردي صانعي السياسات على تحديد التحديتات ذات الأولوية القصوى، إلى جانب آثارها الاقتصادية والبيئية. كذلك يمكن أن يؤدي الجمع بين التدابير المختلفة لكفاءة استخدام الطاقة إلى توجيه خيارات السياسة الأكثر تعقيداً. فيما يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) بالتزامن مع الدراسات الاستقصائية لأسعار تدابير كفاءة استخدام الطاقة التي تم مسحها، حساب معدلات العائد وفترات الاسترداد من منظور الفرد والحكومة (سيكون الأخير مناسباً لا سيما بالنسبة لصانعي السياسات الذين يقومون بتقييم التمويل أو الحوافز النقدية).

يقوم نموذج الطاقة السكني (REEM) في مرحلته الثانية بعد المعايير، بتقييم التعديلات التحديثية على كفاءة استخدام الطاقة من حيث إجمالي استهلاك الكهرباء، وخفض الطلب في أوقات الذروة. ويأخذ النموذج في الاعتبار مجموعة واسعة من تدابير كفاءة استخدام الطاقة (EEMs) التي يمكنها تحسين أنظمة طاقة المباني المختلفة من خلال تعديل ما يلي:

مكونات الغلاف الخارجي للمبنى (إضافة عازل بقم¹ R "مقاومة حرارية" مختلفة للجدران والأسقف، واستبدال النوافذ أحادية الزجاج بنوافذ مزدوجة الألواح الزجاجية، والحد من تسرب الهواء، وإضافة الستائر المتدلية).

أنظمة الإضاءة (استخدام إضاءة عالية الكفاءة).

الأجهزة المنزلية (استبدال الثلاجات والمجمدات والغسالات والمجففات وغيرها من الأجهزة المنزلية بمعدات ذات كفاءة عالية وحاصلة على تصنيف "Energy Star").

أنظمة تكييف الهواء (استخدام أنظمة تبريد أكثر كفاءة أو استخدام تقنيات مختلفة لتكييف الهواء).

تغيرات سلوك الإشغال التي تحددها إعدادات درجة حرارة التبريد (على سبيل المثال: زيادة نقطة ضبط التبريد بمقدار درجة مئوية واحدة أو درجتين مئويتين، خاصة بالنسبة للغرف غير المأهولة).

الأسطح (وضع طلاء عاكس "بارد" على أسطح الأسقف الخارجية).

¹ يتم التعبير عن قيمة العزل (R) باستخدام (RSI (m². oC /W) أو (R (hr.ft².oF /Btu).

التطبيق: تأثير المقاييس المختلفة لكفاءة استخدام الطاقة

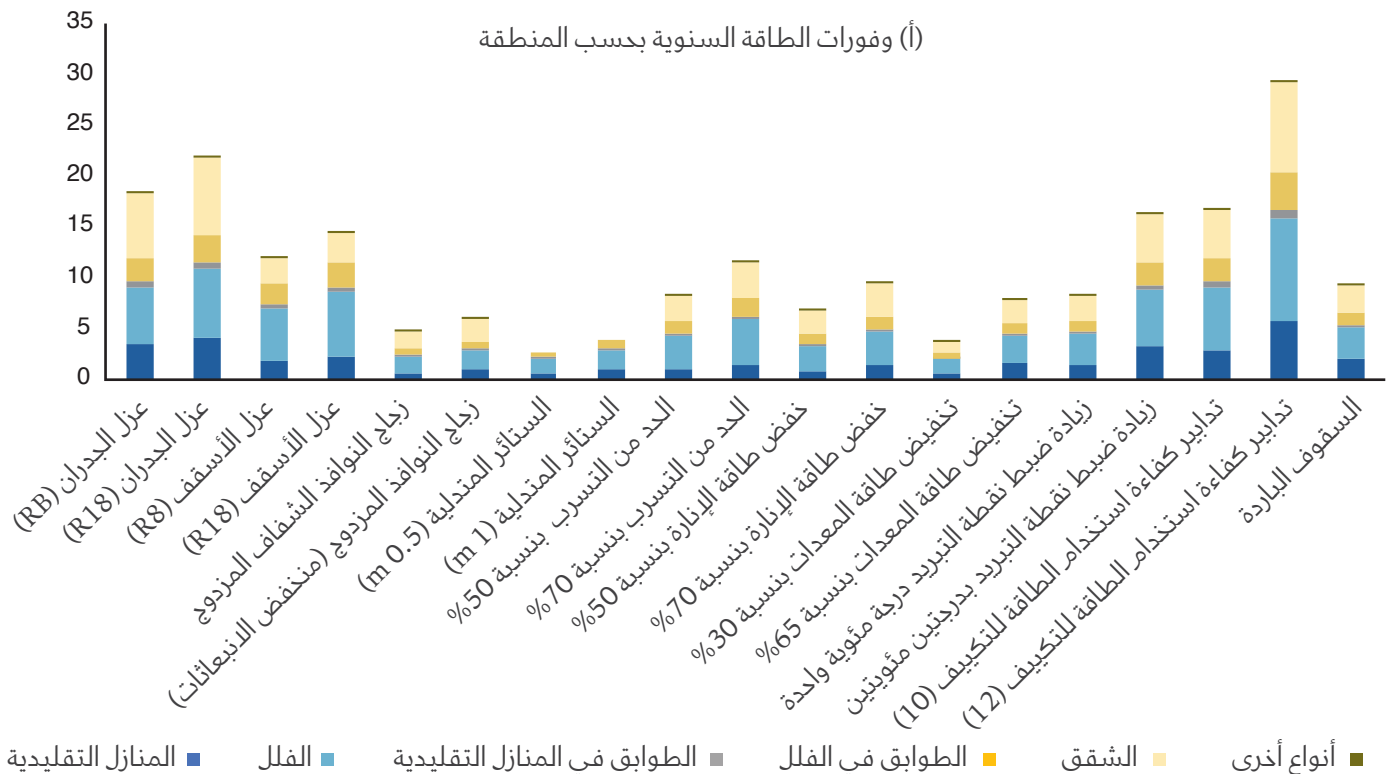
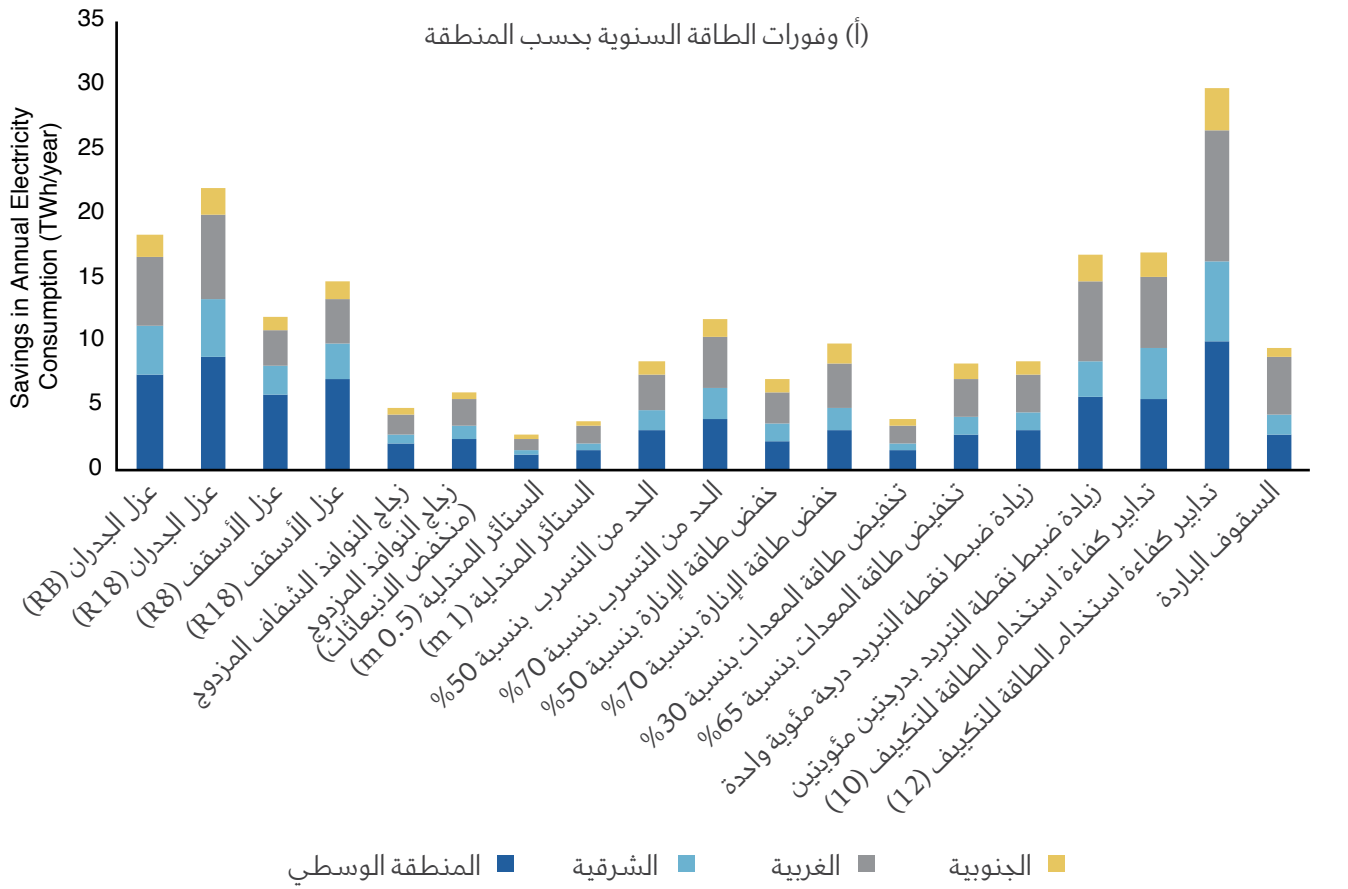
تؤكد نتائج التحليل الموضحة في الشكل رقم (5)، أن لدى رفع كفاءة أنظمة التكييف إمكانية أكبر لتقليل استهلاك الطاقة في المباني السكنية المتوفرة في المملكة العربية السعودية بالإضافة إلى العزل الحراري في الجدران والأسقف. إلا أن النوافذ ذات الزجاج المزدوج، على العكس من ذلك، تعتبر الأقل فعالية في رفع كفاءة الغلاف الخارجي للمباني لسببين، يتمثل السبب الأول منهما في أنه من المرجح وجودها في بعض المباني (بما فيها: جميع المنازل الجديدة، لتتوافق مع اللوائح الحرارية للهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة (SASO). ثانيًا، أن نسبة النافذة إلى الجدار لمعظم المباني السكنية تكون منخفضة نسبيًا (عادةً ما تكون حوالي 15%). وكما هو متوقع، يمكن أن يؤدي تعديل المباني السكنية المتوفرة في المنطقتين الوسطى والغربية إلى توفير أكبر قدر من الطاقة، حيث إن غالبية السكان والوحدات السكنية تقع في هاتين المنطقتين. بينما تمتلك الفلل والشقق من بين أنواع المساكن الأخرى، أكبر إمكانات لتوفير الطاقة كما يشير لذلك الشكل رقم 5(ب).

استخدمنا نموذج الطاقة السكني (REEM) لتقدير التوفير المحتمل للكهرباء في عام 2018 الناجم عن تطبيق مجموعة من تدابير كفاءة استخدام الطاقة وفقًا للمواصفات التالية:

- عازل للحوائط (R8) والأسقف (R18).
- زجاج مزدوج شفاف ومنخفض الانبعاثات.
- ستائر متدلية بطول متر ومترين.
- تقليل تسرب الهواء بنسبة تتراوح ما بين 50% و70%.
- تخفيض استهلاك كهرباء الإضاءة بنسبة تتراوح ما بين 50% و70%.
- خفض استهلاك المعدات الكهربائية بنسبة تتراوح ما بين 30% و65%.
- زيادة نقطة ضبط التبريد بمقدار درجة ودرجتين مئويتين.
- تحسين معدل كفاءة استخدام الطاقة لوحد التكييف (EER) إلى 10 و12.
- طلاء الأسطح بمادة شديدة الانعكاس (SR = 0.6).

التطبيق: تأثير المقاييس المختلفة لكفاءة استخدام الطاقة

الشكل 5. الوفورات المتوقعة في الاستهلاك السنوي للكهرباء للتدابير المختلفة لكفاءة استهلاك الطاقة في عام 2018



التطبيق: تأثير المقاييس المختلفة لكفاءة استخدام الطاقة

الدنيا الحالية لآداء الطاقة (MEPS) لأنظمة التكييف في المملكة، بما فيها قيم نسبة كفاءة استهلاك الطاقة (EER) المطلوبة في الظروف "SASO 2018a" (T3).

كما هو مَبين في التحليل السابق، فإنَّ استبدال أنظمة التكييف الحالية بوحدات عالية الكفاءة له الأثر الأكبر في تقليل استهلاك الطاقة في المباني السكنية بالمملكة العربية السعودية. إذ يلخص الجدول رقم (4) المعايير

الجدول 4. متطلبات الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة (SASO 2663) لأجهزة التكييف الشبّاك والاسبليت في المملكة العربية السعودية.

1 يناير 2018		قدرة التبريد (CC) في ظروف T1 بوحدة حرارية بريطانية/ ساعة	نوع التكييف
نسبة كفاءة استهلاك الطاقة (EER) عند ثلاث درجة مئوية (T3)	نسبة كفاءة استهلاك الطاقة (EER) عند درجة مئوية واحدة (T1)		
7.0	9.8	CC ≤ 24,000	مكيف شبّاك
6.2	9.0	CC ≤ 65,000 > 24,000	
8.30	11.8	CC ≤ 65,000	مكيف اسبليت

T1: شروط اختبار نسبة كفاءة استهلاك الطاقة عند 35 درجة مئوية بالخارج، و 27 درجة مئوية على المقياس الجاف في الداخل و 46.6% من الرطوبة النسبية.

T3: شروط اختبار نسبة كفاءة استهلاك الطاقة عند 46 درجة مئوية بالخارج، و 29 درجة مئوية على المقياس الجاف في الداخل و 38.2% من الرطوبة النسبية.

المصدر: (SASO 2018a).

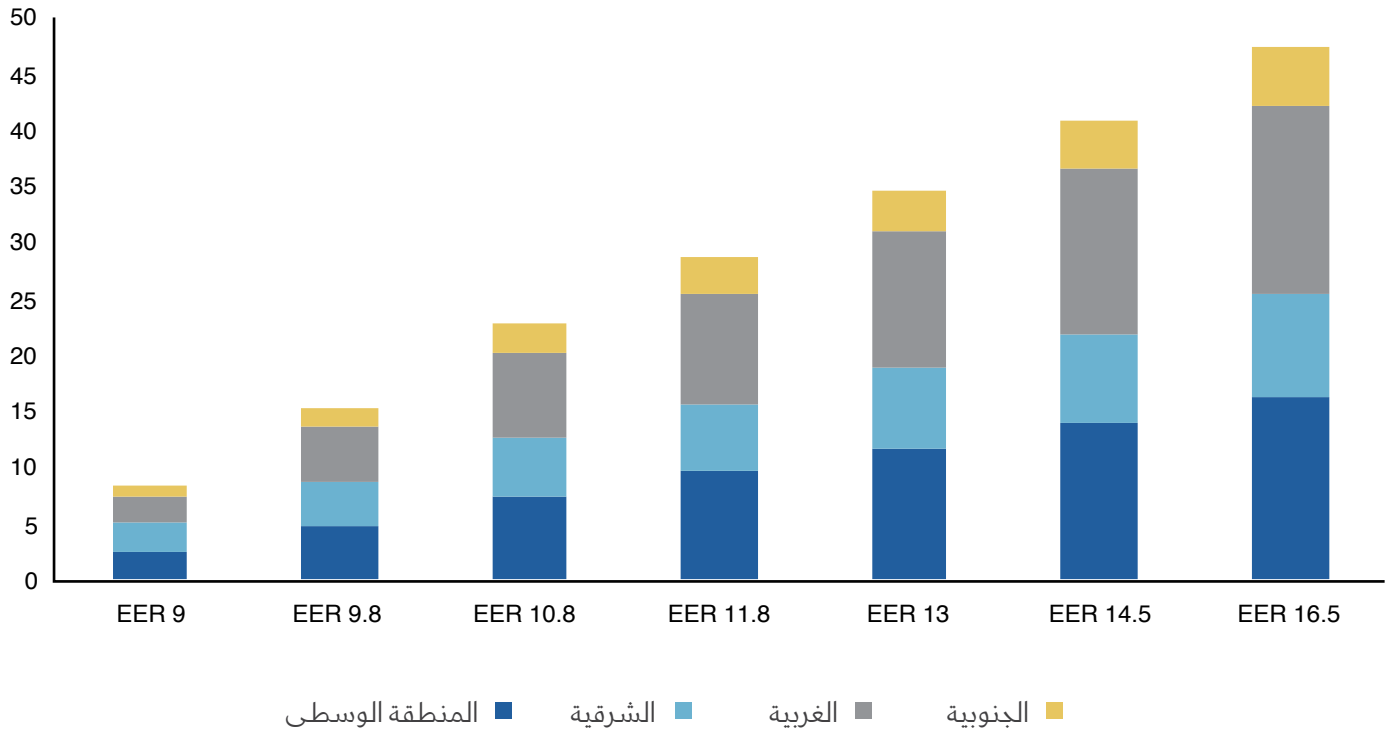
التطبيق: تأثير المقاييس المختلفة لكفاءة استخدام الطاقة

المختلفة لمحاكاة تأثير استبدال أنظمة التكييف الأكثر كفاءة بجميع وحدات التكييف الحالية، تتراوح كفاءتها لاستهلاك الطاقة من 9 إلى 16.5. وتوضح النتائج أنه يمكن لترقية جميع وحدات التكييف الحالية بأنظمة (EER 13) أن تخفض الاستهلاك السنوي للكهرباء بما يصل إلى 35 تيراواط لكل ساعة في السنة. أما إذا قامت جميع الأسر السعودية بتكريب 16.5 وحدة كفاءة استهلاك الطاقة، فإن ذلك سيؤدي إلى خفض في الاستهلاك بمقدار 47 تيراواط لكل ساعة/ سنة. يوضح الشكلان 6(أ) و6(ب) التوفير في استهلاك الطاقة لنطاق تقييمات معدل كفاءة الطاقة بحسب المنطقة ونوع المبنى، على التوالي.

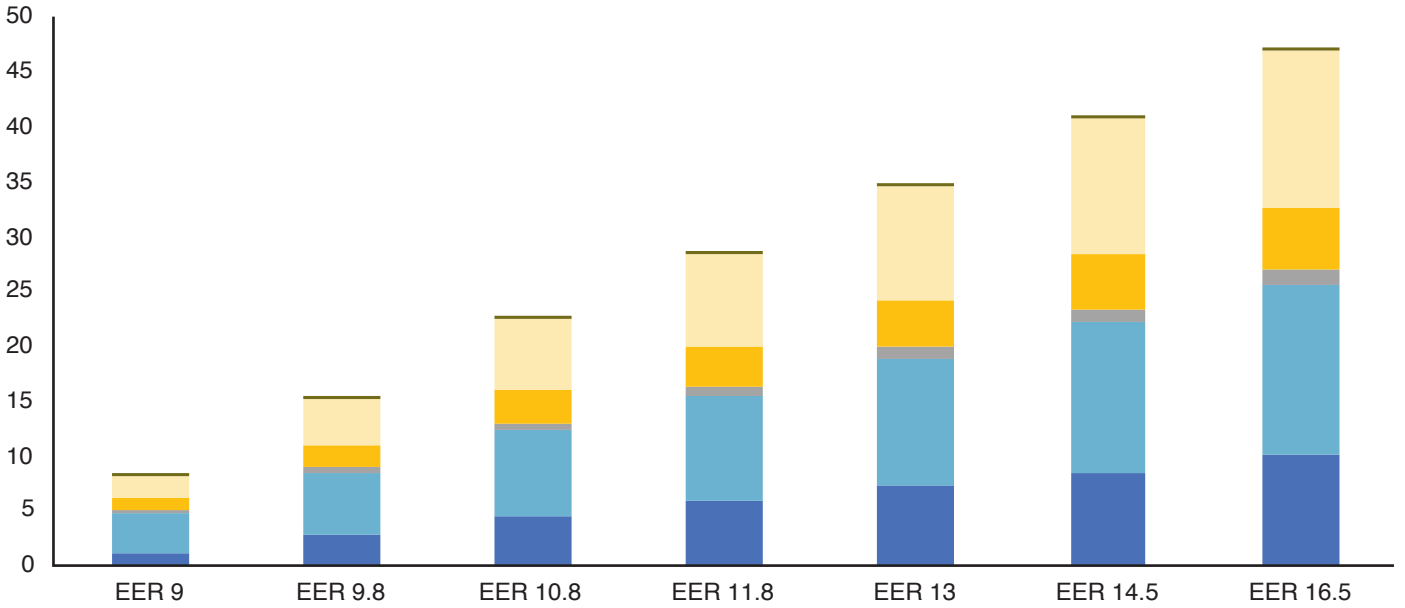
تتوفر أنظمة التكييف ذات معدل كفاءة استخدام الطاقة المرتفعة خاصة أنواع الوحدات اللاسبليت، في المملكة العربية السعودية في الوقت الحالي، وستؤدي إلى توفير أكبر من تلك الأجهزة التي تلبى المعايير الدنيا فقط. وقد أطلقت الحكومة في أوائل عام 2019 مبادرة التكييف عالي الكفاءة (HEAC) لتشجيع الإنتاج المحلي لأنظمة التبريد عالية الكفاءة في استخدام الطاقة وتحفيز المواطنين (على سبيل المثال: المواطنين السعوديين المؤهلين فقط) لشراء أنظمة ذات معدلات كفاءة عالية لا تقل عن 13 من خلال دعم مباشر بمبلغ 900 ريال سعودي (240 دولار أمريكي) لكل وحدة. قمنا من خلال نموذج الطاقة السكني بقياس تأثير برامج كفاءة الطاقة

الشكل 6. توقعات نموذج الطاقة السكني (REEM) للوفورات في الاستهلاك السنوي للكهرباء لمختلف تقييمات كفاءة التكييف حسب (أ) المنطقة و(ب) نوع السكن في عام 2018.

(أ) وفورات كفاءة التكييف السنوية بحسب المنطقة



(ب) الوفورات السنوية في كفاءة التكييف بحسب نوع المبنى



■ أنواع أخرى ■ الشقق ■ الطوابق في الفلل ■ الطوابق في المنازل التقليدية ■ الفلل ■ المنازل التقليدية

الناتج في استهلاك الوقود المحلي، مما يتيح خفض الاستهلاك المحلي للنفط ومن ثم تصديره بأسعار أعلى في الأسواق العالمية. فعلى سبيل المثال، لو تم استبدال جميع وحدات التكييف الحالية بأنظمة (EER 13) من خلال برنامج مبادرة التكييف عالي الكفاءة (HEAC) في عام 2018، فإن الحكومة كانت ستتنفق مبلغ 5.95 مليار دولار أمريكي، ولكن صادراتها السنوية من الوقود ستترفع بمقدار 3.0 مليار دولار أمريكي، وبالتالي استعادت استثماراتها في أقل من عامين (بحسب أسعار النفط).

كما هو متوقع، فإن استبدال وحدات التكييف في المنازل الواقعة في المناطق الوسطى والغربية يحقق أعلى توفير للطاقة. أما بالنسبة لأنواع المساكن، فإن الفلل والشقق لها التأثير الأكبر. أما من منظور الأسرة الفردية، فتتراوح فترة الاسترداد لاستبدال وحدة التكييف (EER 8 AC) الحالية بوحدة (EER 13)، مع احتساب خصم 900 ريال سعودي، ما بين 4.6 إلى 5.9 سنوات، اعتماداً على ظروف التشغيل. كما يبين تحليلنا أنه يمكن للحكومة استرداد إنفاقها بسرعة على حوافز كفاءة استهلاك الطاقة للمستهلكين من خلال التخفيض

الملخص والأعمال المُقبلة

تم تطوير نموذج الطاقة السكني (REEM) بشكل أساسي من أجل تزويد صانعي السياسات برؤى مفيدة حول كيفية استهلاك المباني السكنية المتوفرة في المملكة للطاقة، وإمكانات برامج كفاءة استخدام الطاقة المختلفة في تقليل الطلب عليها. لذلك، يمكن للدراسات اللاحقة استخدام نموذج الطاقة السكني (REEM) لنمذجة تأثير برامج كفاءة استخدام الطاقة على أنماط استهلاك الطاقة السكنية في المملكة العربية السعودية، بما فيها: ما إذا كانت الأسر تظهر "التأثيرات الارتدادية"، مما يزيد من استهلاكها استجابةً لانخفاض فواتير الكهرباء التي من المحتمل تحقيقها من خلال تدابير كفاءة استهلاك الطاقة. كذلك يمكن توسيع نطاق نموذج الطاقة السكني لتقدير تأثير التغيرات في أسعار الكهرباء على الطلب عليها على المديين القصير والطويل.

تم تطوير نموذج الطاقة السكني (REEM) باستخدام نهج هندسي هرمي تصاعدي "من أسفل إلى أعلى"، يتضمن نماذج طاقة لعدد 54 نموذجاً أولياً للمباني تمثل المباني السكنية المتوفرة حالياً في المملكة العربية السعودية. يتم تحديد المباني السكنية المتوفرة من خلال الخصائص الرئيسية لنوع المباني وعمرها وموقعها، ويستند النموذج على البيانات الحكومية المتاحة والدراسات والإحصاءات الأخرى المنشورة. يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) تقييم الاستهلاك الكلي للطاقة والاستخدامات النهائية للمباني السكنية المتوفرة في المملكة، ومحاكاة استهلاك الكهرباء وذروة الطلب مصنفة بحسب نوع المبنى والموقع والمقاييس الزمنية بالساعة والشهر والسنة. كذلك يمكن التحقق من إجمالي استهلاك الكهرباء الناتج عن نموذج الطاقة السكني (REEM) باستخدام بيانات استهلاك الكهرباء السكنية الفعلية لكل منطقة تشغيلية.

كذلك يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) تقدير تأثير برامج كفاءة الطاقة المختلفة على استهلاك الكهرباء وذروة الطلب وانبعثات الكربون. إذ يشير تحليلنا إلى أن فعالية ترقية كفاءة استخدام الطاقة تعتمد على نوع المبنى وعمره، والأهم من ذلك، ظروفه المناخية. كما يمكن للنموذج بالإضافة إلى ذلك، محاكاة العواقب الاقتصادية والبيئية لمجموعات مختلفة من تدابير كفاءة الطاقة. لذلك يمكن لنموذج الطاقة السكني (REEM) أن يقدم رؤى قيمة لتصميم برامج كفاءة استخدام الطاقة للقطاع السكني في المملكة العربية السعودية.

Alaidroos, Alaa, and Moncef Krarti. "Optimal design of residential building envelope systems in the Kingdom of Saudi Arabia." *Energy and Buildings* 86 (2015): 104-117. DOI: [10.1016/j.enbuild.2014.09.083](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.083)

Saudi Electricity Company (SEC). 2020. Electricity Information and Construction, Accessed September 22, 2020. <https://www.se.com.sa/ar-sa/Pages/ThermalInsulationinBuildings.aspx>

Algarni, S., and D. Nutter. "Geospatial representation of the residential energy use in Saudi Arabia." In *Proceedings of the 2013 ASME Early Career Technical Conference (ECTC)*, April, pp. 4-6. 2013.

Al-Hadhrami, L. M. "Comprehensive review of cooling and heating degree days characteristics over Kingdom of Saudi Arabia." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27 (2013): 305-314. DOI: [10.1016/j.rser.2013.04.034](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.034)

Alrashed, Farajallah, and Muhammad Asif. "Trends in residential energy consumption in Saudi Arabia with particular reference to the Eastern Province." *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 2, no. 4 (2014): 376-387. DOI: [10.13044/j.sdewes.2014.02.0030](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2014.02.0030)

Alrashed, Farajallah, and Muhammad Asif. "Climatic classifications of Saudi Arabia for building energy modelling." *Energy Procedia* 75 (2015): 1425-1430. DOI: [10.1016/j.egypro.2015.07.245](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.245)

Caputo, Paola, Gaia Costa, and Simone Ferrari. "A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale." *Energy Policy* 55 (2013): 261-270.

Saudi Energy Efficiency Center (SEEC). 2020. Accessed September 22, 2020. <https://www.seec.gov.sa/en/about/about-saudi-energy-efficiency-center-seec/>

Davila, Carlos Cerezo, Christoph Reinhart, and Jamie Bemis. "Modeling Boston: A workflow for the generation of complete urban building energy demand models from existing urban geospatial datasets." *Energy* 117 (2016): 237-250.

Electricity and Cogeneration Regulatory Authority (ECRA). 2018. ECRA Statistical Booklet 2018. Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.

Edmonds, James A., M. A. Wise, and C. N. MacCracken. *Advanced energy technologies and climate change: An analysis using the global change assessment model (GCAM)*. No. PNL-9798. Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States), 1994.

General Authority for Statistics (GaStat). 2018a. Housing Survey Data. Accessed December 25, 2018. <https://www.stats.gov.sa/en/911-0>.

— — —. 2018b. Energy Household Survey. Accessed December 25, 2018. <https://www.stats.gov.sa/en/1042>.

High Efficiency Air Conditioners Initiative (HEAC). 2019. Kingdom of Saudi Arabia. Accessed August 7, 2019. <https://heac.gov.sa/#/initiative>.

Hirsh. 2018. DOE2.2 Whole Building Energy Simulation Analysis Using eQUEST Version 3.65. Accessed December 15, 2018. <http://www.doe2.com>.

Humidan, Mohammad. 2020. "The Development of 200 Million Square Meters Across the Regions Supports the Balance Required in the Real Estate Market." *Al Riyadh*, February 10. Accessed March 10, 2020. <http://www.alriyadh.com/1803637>

Kavgic, Miroslava, Anna Mavrogianni, Dejan Mumovic, Alex Summerfield, Zarko Stevanovic, and Maja Djurovic-Petrovic. "A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector." *Building and Environment* 45, no. 7 (2010): 1683-1697. DOI: [10.1016/j.buildenv.2010.01.021](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021)

Khan, Mohammed Mumtaz A., Muhammad Asif, and Edgar Stach. "Rooftop PV potential in the residential sector of the Kingdom of Saudi Arabia." *Buildings* 7, no. 2 (2017): 46. DOI: [10.3390/buildings7020046](https://doi.org/10.3390/buildings7020046)

Krarti, Moncef. "Evaluation of large scale building energy efficiency retrofit program in Kuwait." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50 (2015): 1069-1080. DOI: [10.1016/j.rser.2015.05.063](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.063)

- Krarti, Moncef, Kankana Dubey, and Nicholas Howarth. "Evaluation of building energy efficiency investment options for the Kingdom of Saudi Arabia." *Energy* 134 (2017): 595-610. DOI: [10.1016/j.energy.2017.05.084](https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.084)
- Kyle, Page, Leon Clarke, Fang Rong, and Steven J. Smith. "Climate policy and the long-term evolution of the US buildings sector." *The Energy Journal* 31, no. 2 (2010). DOI: [10.5547/issn0195-6574-ej-vol31-no2-6](https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol31-no2-6)
- Luddeni, Giacomo, Moncef Krarti, Giovanni Pernigotto, and Andrea Gasparella. "An analysis methodology for large-scale deep energy retrofits of existing building stocks: Case study of the Italian office building." *Sustainable Cities and Society* 41 (2018): 296-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.038>
- Aldossary, Naief A., Yacine Rezgui, and Alan Kwan. "Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: A multiple-case study analysis." *Applied Energy* 114 (2014): 353-365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.061>
- Oladokun, Michael G., and Isaac A. Odesola. "Household energy consumption and carbon emissions for sustainable cities – A critical review of modelling approaches." *International Journal of Sustainable Built Environment* 4, no. 2 (2015): 231-247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2015.07.005>
- Saudi Arabian Monetary Authority (SAMA). 2019. "SAMA Annual Statistics." Accessed Feb 7, 2020. <http://www.sama.gov.sa/en-U.S./EconomicReports/Pages/YearlyStatistics.aspx>
- Saudi Arabia Standards Organization (SASO). 2012. Energy Labelling and Minimum Energy Performance Requirements for Air-Conditioners, Standard No. 3459.
- . 2013. Energy Labelling Requirements of Household Electrical Clothes Washing Machines. Standard No. 3569.
- . 2014a. Thermal Transmittance Values for Residential Buildings, Standard No. 28793/2014.
- . 2014b. Energy Performance Capacity and Labelling of Household Refrigerators, Refrigerator-Freezers, and Freezers, Standard No. 3620.
- . 2018a. Energy Labelling and Minimum Energy Performance Requirements for Air-Conditioners, Standard No. 2663.
- . 2018b. Energy Labelling and Minimum Energy Performance Requirements for Air-Conditioners, Standard No. 2892.
- . 2018c. Energy Labelling and Minimum Energy Performance Requirements for Air-Conditioners, Standard No. 2885.
- . 2018d. Saudi Arabia Standards Organization, Energy Labelling and Minimum Energy Performance Requirements for Air-Conditioners, Standard No. 2874.
- Sailor, David J., and Lu Lu. "A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas." *Atmospheric Environment* 38, no. 17 (2004): 2737-2748.
- Saudi Electricity Company (SEC). 2019. Electrical Data. <http://www.se.com.sa>.
- Shenashen, K. K. E., Mohammed Alshitawi, and Radwan Almasri. 2016. "Energy Efficiency in Residential Buildings in Qassim Region." Presentation at workshop "Industrial Energy Audits," Qassim University, February 9.
- Swan, Lukas G., and V. Ismet Ugursal. "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, no. 8 (2009): 1819-1835. DOI: [10.1016/j.rser.2008.09.033](https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033)
- Taleb, Hanan M., and Steve Sharples. "Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study." *Applied Energy* 88, no. 1 (2011): 383-391. DOI: [10.1016/j.apenergy.2010.07.029](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.029)

نبذة عن الباحثين

محمد الديبان

باحث في برنامج المناخ والبيئة التابع لكابسارك، يهتم في بحوثه بالتركيز على الطلب على الطاقة وكفاءة استخدامها. وهو حالياً جزء من مشروع نمذجة الطلب على الطاقة في المملكة العربية السعودية، حيث يقدر الآثار الاقتصادية لإصلاح أسعار الطاقة. كما أنه يعمل على نمذجة المباني السكنية في المملكة العربية السعودية لتقييم برامج كفاءة الطاقة المختلفة. وقد حصل على درجة الماجستير في الطاقة المتجددة والنظيفة من جامعة دايتون، بولاية أوهايو الأمريكية.



منصف كراتي

باحث زائر يتمتع بخبرة تفوق 30 عاماً في تصميم واختبار وتقييم كفاءة استخدام الطاقة وتقنيات الطاقة المتجددة المطبقة في المباني، وهو أستاذ ومنسق في برنامج أنظمة البناء في كلية العمارة والبيئة بجامعة كولورادو.



إريك وليامز

يتمتع بخبرة تزيد عن 20 عاماً، حيث عمل خبيراً اقتصادياً في مجال الطاقة والبيئة، ويركز على سياسة الطاقة وتغير المناخ وتحليل أنظمة الطاقة وخيارات التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معها. يعمل إريك حالياً على كتابة سلسلة من التقارير حول الاقتصاد الدائري للكربون. كان إريك مديراً لبرنامج تغير المناخ والبيئة في كابسارك. وقد عمل قبل انضمامه لكابسارك خبيراً اقتصادياً في هيئة مرافق كارولينا الشمالية، وكان مستشاراً في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. كذلك عمل إريك سابقاً في الأمم المتحدة ومعاهد البحوث الأكاديمية ومراكز البحوث والحكومة.



حول المشروع

يستهلك القطاع السكني في المملكة العربية السعودية معظم كهرباء البلاد ويعتبر المحرك الأساسي لذروة الطلب على الكهرباء. يحاكي نموذج الطاقة السكني (REEM) المباني السكنية المتوفرة بالكامل في المملكة لتقديم نظرة ثاقبة لواضعي السياسات الذين يسعون إلى فهم تأثير المباني السكنية على سوق الكهرباء وعلى الاقتصاد الوطني، ووضع وتنفيذ سياسات فعالة لكفاءة استهلاك الطاقة.

يعد المشروع جزءاً من مشروع نمذجة الطلب السكني على الطاقة وكفاءة استهلاكها في المملكة العربية السعودية، الذي يهدف إلى وضع نموذج دقيق للمباني السكنية في البلاد. فيما تتمثل الأهداف الرئيسية للمشروع في: (1) فهم أفضل للوضع الحالي لقطاع الإسكان في المملكة من حيث استهلاك الطاقة، و(2) تقييم إمكانات البرامج المختلفة لكفاءة استخدام الطاقة وإدارة الاستجابة للطلب لتقليل الطلب على الكهرباء من منظور الفرد والحكومة. كما يهدف المشروع على نطاق أوسع إلى مساعدة كابسارك على إجراء تقييمات تقنية واقتصادية وبيئية لخيارات إدارة جانب الطلب السكني، وبالتالي دعم صانعي السياسات الذين يسعون إلى تصميم استراتيجيات طاقة مؤثرة لقطاع الإسكان في المملكة العربية السعودية.



www.kapsarc.org