

مستقبل التبريد في المملكة العربية السعودية: خيارات التكنولوجيا والسوق والسياسات

عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحوثاً مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بشتى أنواعها بالإضافة إلى الدراسات البيئية المرتبطة بها. وتتمثل مهمة كابسارك في تعزيز فهم تحديات الطاقة والفرص التي تواجه العالم اليوم وفي المستقبل من خلال بحوث غير منحازة ومستقلة وعالية الجودة لما فيه صالح المجتمع، ويقع كابسارك في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

إشعار قانوني

© حقوق النشر 2020 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبه بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية –سواء مباشرة أو غير مباشرة- تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند –أو أي جزء منه- أو أن يفسر كنصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدي الدراسة، ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.

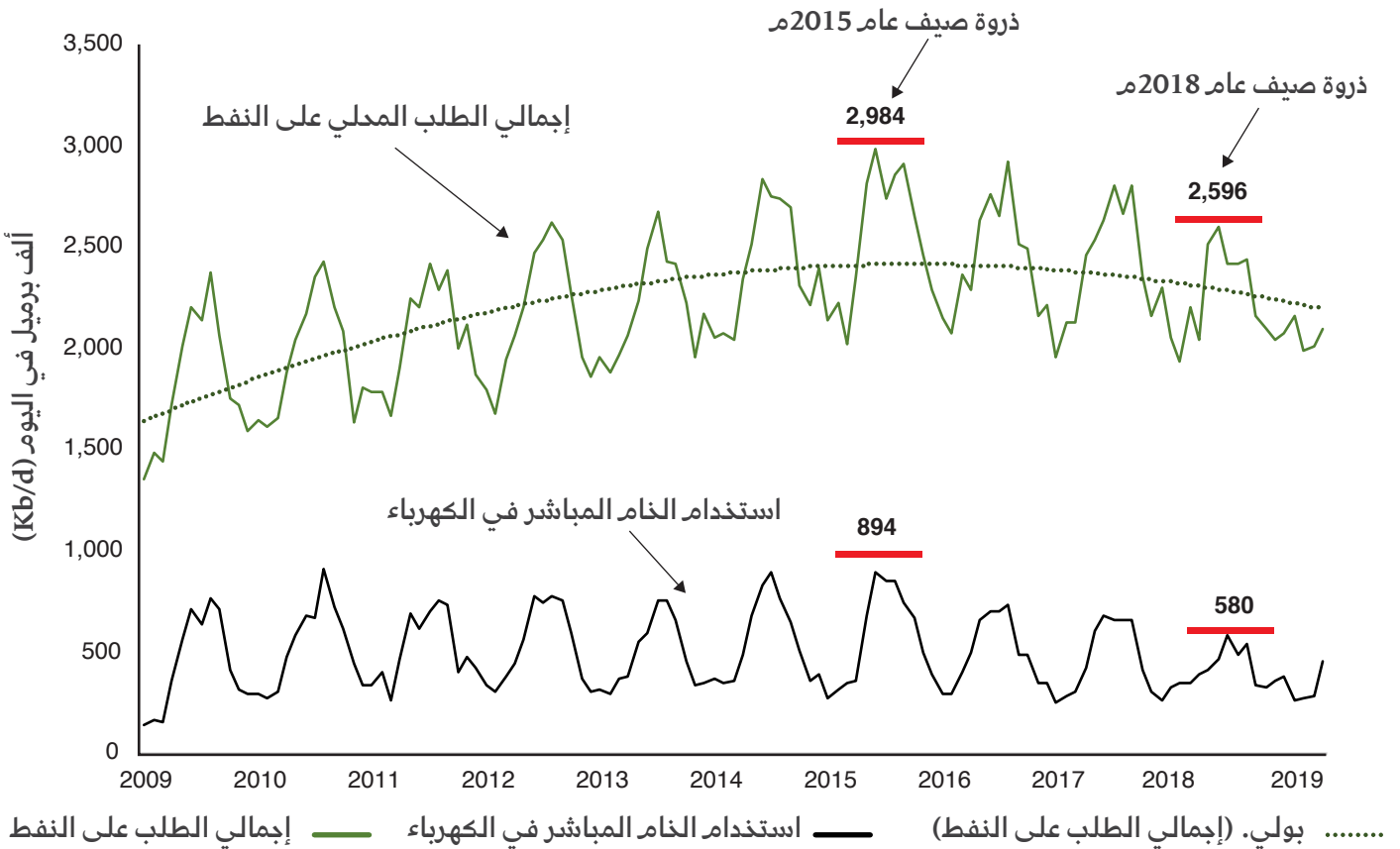
جمعت ورشة العمل التي تحمل العنوان أعلاه -والتي عقدت في اليوم الأول من شهر مايو عام 2019م- أكثر من 40 أكاديمياً وخبيراً في الصناعة لمناقشة أهمية التبريد بالنسبة لاتجاهات استهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية، وإمكانية قيام المملكة بتغيير جهودها العالمية لاستدامة التبريد خلال توليها مهام ترأس مجموعة العشرين في عام 2020م.

يتميز الموقع الجغرافي للمملكة العربية السعودية بوقوعه في نقطة ساخنة للاحتباس الحراري، وقد شهدت درجات الحرارة على مدار الأربعين عاماً الماضية في مدينة الرياض والعديد من المدن السعودية الأخرى ارتفاعاً بأكثر من 3 درجات مئوية.

إن المملكة لا تزال تتبوأ المركز الثالث عالمياً كأكبر دولة مستهلكة للكهرباء لأغراض تكييف الهواء بعد الولايات المتحدة الأمريكية والصين، إلا أنها لم تعد تحرق الكثير من النفط للحفاظ على البرودة بفضل سياسات إصلاحات الطاقة المحلية، والمعايير الأقوى لكفاءة استهلاك الطاقة في قطاع تكييف الهواء.

يشكل تكييف الهواء أكثر من 50% من إجمالي استهلاك الكهرباء السنوي في قطاع المباني، ونحو 70% من ذروة الطلب على التبريد. ويعد هذا أعلى استخدام لتكييف الهواء في العالم؛ إذ كان استخدام المنازل السكنية في عام 2018م 101 تيراواط/ ساعة (TWh)، بينما كان استخدام الشركات حوالي 70 تيراواط/ ساعة.

الشكل (1). الاستهلاك المحلي للمنتجات النفطية في المملكة العربية السعودية (2009-2019م).



المصدر: كابيسارك، بناءً على بيانات المبادرة المشتركة بين المنظمات لنشر البيانات (JODI).

يمكن لأنظمة تبريد المناطق والتخلص التدريجي من التكنولوجيات المتقادمة -مثل أجهزة تكييف النوافذ- أن تحقق تخفيضات كبيرة في استهلاك الكهرباء والانبعاثات الكربونية، فيمكن على سبيل المثال أن يؤدي التنفيذ الكامل لبرنامج حوافز أجهزة التكييف عالية الكفاءة في القطاع السكني بالمملكة إلى توفير ما مقداره 35 تيراواط/ ساعة من الكهرباء سنويًا، بتكلفة تبلغ حوالي 6 مليار دولار أمريكي للحكومة السعودية.

يمكن لنماذج الأعمال المبتكرة مثل بيع التبريد باعتباره خدمة وفق آلية الدفع مقابل الاستخدام، أن تزيد بشكل كبير من كفاءة السوق والمنافسة في كلا قطاعي التبريد التجاري والسكني.

يمكن لمفهوم "المختبرات الحية"¹، وهو نهج بحثي يركز على المستخدم لفهم سلوكه واستحداث ابتكارات جديدة، أن يساهم في سد الفجوات المعرفية والبيانات بالنسبة لأسواق الطاقة في المملكة العربية السعودية، وأن يساعد كذلك على جعل عملية التحول في قطاع التبريد مستدامة على مستويات المستهلك.

بإمكان مبادرة التبريد الجديدة الخاصة بمجموعة العشرين (G20) أن تساهم أيضًا في تحويل أسواق التبريد من خلال البناء على تعهد مجموعة الدول الصناعية السبع (G7) لعام 2019م، الخاص بتعجيل الإجراءات المتعلقة بكفاءة استهلاك طاقة التبريد وتعديل كيغالي (Kigali) لعام 2016م لبروتوكول مونتريال للتخلص من مركبات الكربون الهيدروفلورية (HFCs) في تقنيات التبريد.

لقد أبرز ظهور فيروس كورونا المستجد (كوفيد-19) في عام 2020م الحاجة لأنظمة التكييف لتوفير الهواء النقي والبارد، سواء أكان ذلك من خلال الاستخدام المتزايد للهواء النقي مقابل الهواء المعاد تدويره أم من خلال تقنيات الترشيح المختلفة. غير أنه يحتمل أن يؤدي ذلك إلى زيادة استهلاك أنظمة التبريد للطاقة.

إمكانية تحقيق مكاسب في كفاءة استهلاك الطاقة باستخدام مبردات ذات كفاءة أعلى.

وطبقاً لقاعدة بيانات (Enerdata من Enerdemand)، فإن المملكة العربية السعودية تعتبر ثالث أكبر دولة مستهلكة للكهرباء لأغراض التبريد في العالم بعد الولايات المتحدة الأمريكية والصين، وتمثل 10% من إجمالي الطلب على التبريد من مجمل دول مجموعة العشرين (على الرغم من أنها تمثل نسبة 1% فقط من سكان دول مجموعة العشرين و2% من اقتصادها). وينبغي التعامل مع إصلاحات قطاع التبريد بطريقة شمولية تتجاوز المتطلبات الإلزامية لآداء كفاءة استهلاك الطاقة. إلا أن المملكة العربية السعودية تواجه تحديات على ثلاث جبهات لزيادة كفاءة التبريد بدرجة ملحوظة، هي: أولاً: تعزيز تكنولوجيا التبريد للحد من استهلاك الكهرباء وهدرها. ثانياً: جعل نظام توليد الطاقة أكثر كفاءة وصديقاً للبيئة. ثالثاً: تأمين تبريد خال من الانبعاثات لقطاع النقل والشحن.

ويمكن تحقيق بعضاً من التأثير الأكبر والمزيد من المكاسب عن طريق انتهاج السياسات التي تعمل على التخلص من تقنيات التبريد المتقادمة؛ إذ توفر أجهزة التكييف والتبريد الأكثر كفاءة فوائد من منظور التكلفة تستمر مدى الحياة، ولكنها تتطلب استثمارات مبدئية أكبر حجماً. ويتمثل أحد الأمثلة على ذلك في التخلص التدريجي من الإضاءة المتوهجة لصالح بدائل أكثر كفاءة، حيث تم استخدام عمليات التخلص التدريجي بنجاح لتسريع عملية الانتقال إلى الأجهزة الأكثر كفاءة. كما أن السياسات التي تعزز نماذج الأعمال الجديدة التي تعمل على تحويل الأسواق نحو التبريد باعتباره خدمة والمدعومة بتمويل جديد- ستكون أساسية للمضي قدماً. فيما تتضمن الحلول الأخرى الاستراتيجيات التي تدمج الطاقة المتجددة، ومكيفات الهواء الموفرة لاستهلاك الطاقة، والتقنيات التي تلتقط البرودة والحرارة الضائعتين، ورفع كفاءة نقل البيانات، وأنظمة إدارة الطاقة التي تزيد من كفاءة استهلاك الطاقة وتخزينها.

العالم بحاجة إلى التبريد. يعمل تكييف الهواء والتبريد معاً على حماية صحتنا وإنتاجيتنا سواء في المنازل أو في أماكن العمل، ويدعمان كذلك مجموعة من الخدمات المهمة مثل مراكز بيانات الإنترنت وتوصيل الطعام والأدوية. كما يتم استخدام حوالي 1.6 مليار وحدة من أجهزة تكييف الهواء على مستوى العالم، وتستهلك أكثر من 2000 تيراواط/ ساعة من الكهرباء كل عام، أو حوالي 2.5 ضعف إجمالي استخدام الكهرباء في إفريقيا.

لا شك أن هذا الاستخدام الواسع النطاق لتكييف الهواء ترافقه الكثير من التحديات المصاحبة، كما يضع الطلب المتزايد على تبريد الحيز المكاني ضغوطاً هائلة على أنظمة الكهرباء في العديد من الدول، ويزيد بالتالي من حجم الانبعاثات الناجمة عن ذلك.

ويعني الاعتماد الأكبر على تكييف الهواء -بالإضافة إلى زيادة استهلاك الطاقة الكلي- ارتفاعاً كبيراً في الطلب أثناء موجات الحرارة الشديدة التي يمكنها أن تتجاوز قدرات توليد النظام وشبكات توزيعه.

علو على ذلك يتسبب التكييف والتبريد مجتمعيين في 7% من الانبعاثات العالمية لثاني أكسيد الكربون (CO2) واستخدام المركبات الهيدروفلوروكربونية (HFCs)، وهي عبارة عن غازات دفيئة تعد أقوى من ثاني أكسيد الكربون بألاف المرات. ولقد أصبحت المركبات الهيدروفلوروكربونية البديل الأساسي لمركبات الكلوروفلوروكربون المستنفدة لطبقة الأوزون، والتي يتم التخلص منها تدريجياً بموجب بروتوكول مونتريال لعام 1987م بشأن المواد المستنفدة لطبقة الأوزون. وإذا استمر استخدام المركبات الهيدروفلوروكربونية في الارتفاع، فقد تصبح مسؤولة عما يقرب من نصف جميع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية بحلول عام 2050م. كما أن التخلص التدريجي من استخدام المركبات الهيدروفلوروكربونية على النحو الذي دعا إليه تعديل كيغالي لبروتوكول مونتريال -الذي وقعت عليه المملكة العربية السعودية- لن يسهم في تقليل مستويات الغازات الدفيئة فحسب، ولكنه سيتيح أيضاً

خلفية عن ورشة العمل

تضمنت الورشة أربع جلسات، هي:

أهمية التبريد وتحولات الكهرباء في المملكة العربية السعودية.

الاتجاهات المستقبلية لتقنيات تكييف الهواء.

نحو "المختبر الحي" للتحليل السلوكي لاستهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية.

التبريد كخدمة طاقة ونماذج أعمال تتجاوز عدادات الاستهلاك.

ساعدت ورشة العمل هذه أيضًا على إثراء المشاريع التعاونية المحتملة بين مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) والمؤسسات الأخرى، بهدف إنشاء "مختبر حي" يركز على استهلاك الطاقة والراحة الحرارية في المملكة العربية السعودية، والانتقال إلى نماذج أكثر توجُّهاً نحو المستهلك لأسواق الطاقة.

شهد استهلاك الطاقة في قطاع المباني في المملكة العربية السعودية منذ عام 2010م ارتفاعًا بمعدل متوسط بلغ حوالي 6% سنويًا، مدفوعًا بالتنمية الحضرية السريعة، وارتفاع الدخل، وازدياد الكثافة السكانية. ويمثل التبريد حوالي 70% من استهلاك الكهرباء لقطاع المباني، وكان المحرك الرئيس لهذا الاتجاه. وفي الوقت ذاته، التزم واضعو السياسات بالتخلص التدريجي من السوائل النفطية من مزيج توليد الكهرباء، إلا أن هذه السوائل لا تزال في عام 2018م توفر حوالي 40% من مدخلات وقود الكهرباء، فيما يمثل الغاز الطبيعي النسبة المتبقية.

ولمواجهة هذه التحديات، فإن المملكة العربية السعودية تقوم بتنفيذ برنامج محلي لإصلاح أسعار الطاقة، يهدف إلى زيادة الكفاءة، وتقليل الفاقد، وتحفيز استثمارات القطاع الخاص في مصادر الطاقة المتجددة وغيرها من التقنيات المستدامة. وقد أدت موجتان من الإصلاحات منذ عام 2016م إلى ارتفاع أسعار الكهرباء بأكثر من ثلاثة أضعاف بالنسبة لغالبية المستخدمين. ورغم ذلك نفذت السلطات السعودية المعنية أيضًا حزمة دعم مدفوعات للمستفيدين، ترمي إلى تخفيف تأثير ارتفاع أسعار الكهرباء على الأسر ذات الدخل المحدود، وقد تم اختبارها وإطلاقها في شهر يناير من عام 2018م.

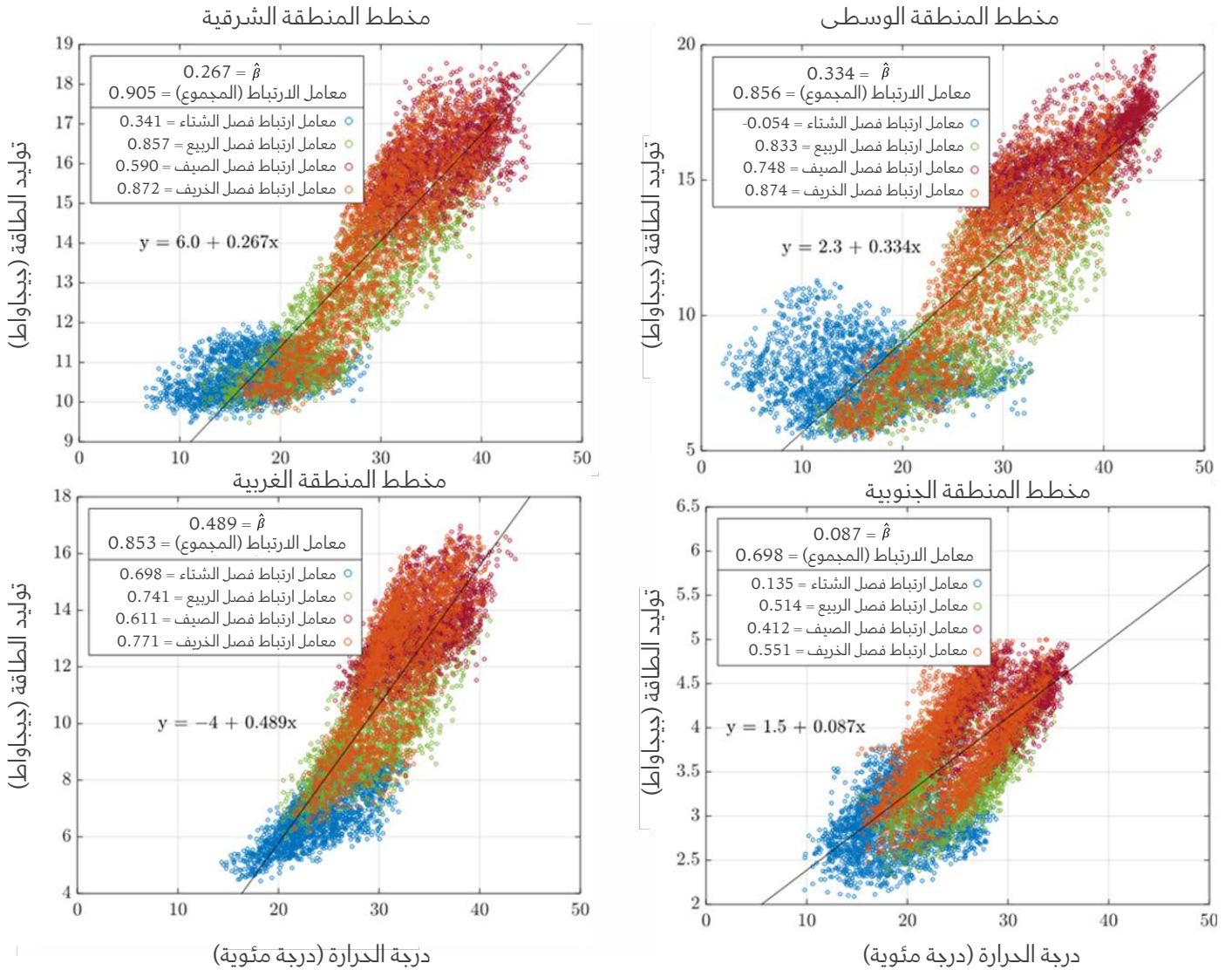
ركزت ورشة العمل على الخيارات التكنولوجية والاقتصاديات السلوكية المتعلقة بالتبريد والراحة الحرارية؛ وذلك لبيان أهمية تكييف الهواء بالنسبة للتطور المستقبلي للمملكة، والمسارات المحتملة لاستهلاك الطاقة.

أهمية التحولات السعودية في التبريد والكهرباء

ماليًا "مستعصيًا" بحلول عام 2022م إذا لم تقلل من استهلاكها للطاقة. وفي عام 2015م على سبيل المثال، أضيفت حوالي 1.2 جيجاواط (GW) من الكهرباء لكل زيادة بمقدار درجة مئوية واحدة في درجات الحرارة من فصل الشتاء إلى فصل الصيف (الشكل 2) (Howarth et al. 2020). وكما يتبين من الشكل (1) أعلاه، تمت إضافة حوالي مليون برميل يوميًا من الاستهلاك المحلي للنفط في عام 2015م لمقابلة هذه الزيادة في الطلب الصيفي.

شهد الطلب على الكهرباء في المملكة العربية السعودية في الفترة الواقعة ما بين عام 2010 إلى 2015م زيادة بنسبة 6% سنويًا، مما ساهم في زيادة استهلاك الكهرباء. ونشر معهد تشاتام هاوس البريطاني-المعروف رسميًا باسم المعهد الملكي للشؤون الدولية- في عام 2011م تقريرًا مثيرًا للجدل بعنوان "حرق النفط للحفاظ على البرودة" حذر فيه المملكة من أن تصبح مستوردًا صافيًا للنفط بحلول عام 2040م، وأن تواجه عجزًا

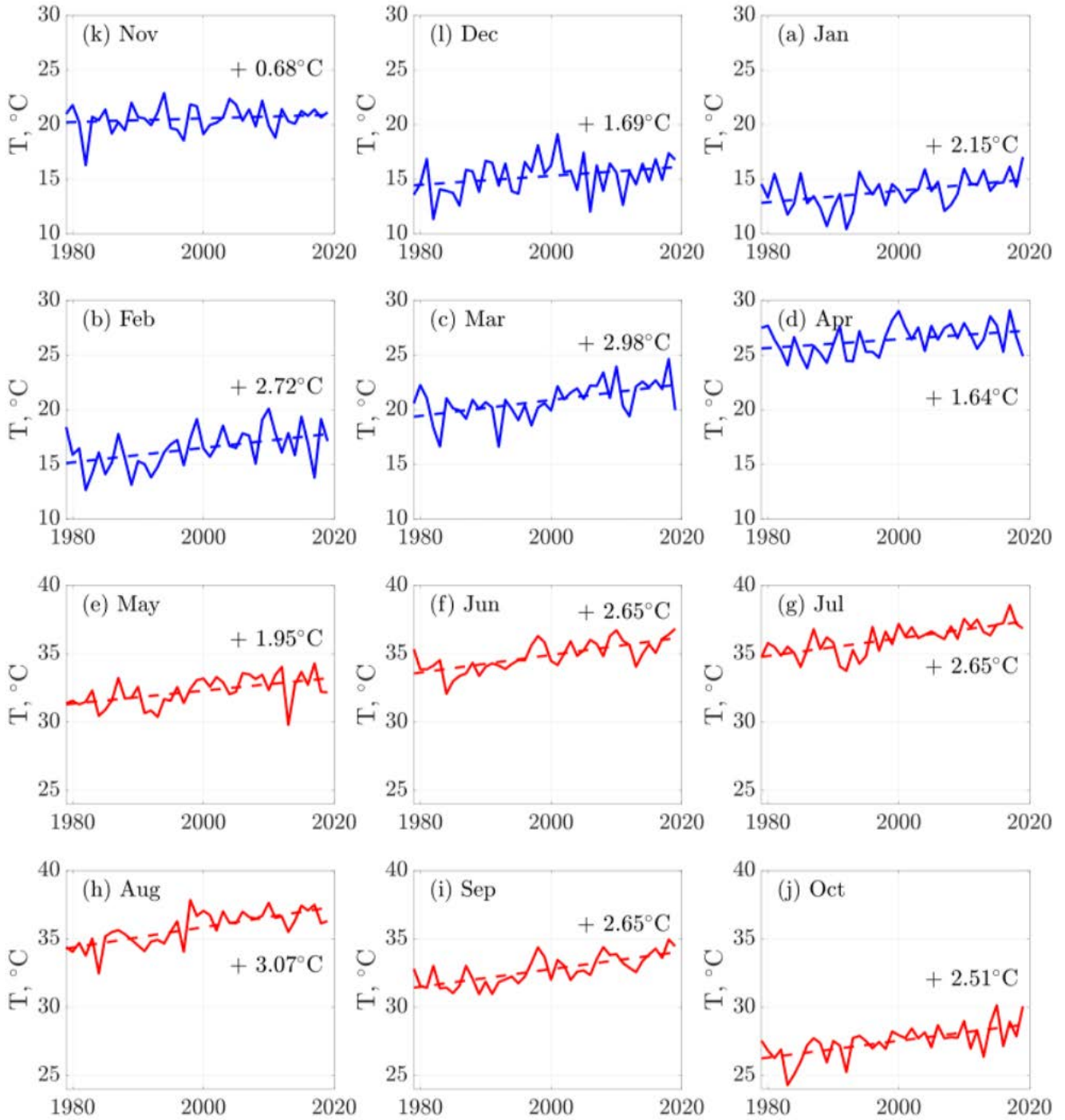
الشكل (2). توليد الطاقة ودرجة الحرارة في المملكة العربية السعودية (المناطق التي حددتها الشركة السعودية للكهرباء).



المصدر: (Howarth et al. (2020).

أهمية التحولات السعودية في التبريد والكهرباء

الشكل (3). متوسط درجات الحرارة الشهرية بمدينة الرياض للفترة (1979 - 2019م) واتجاهات الانحدار الخطي.



المصدر: جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية، (Odnoletkova (2020).

الحرارة) ومدة تشغيل أجهزة التكييف. وبالتالي فإن الطلب على التبريد يعتمد على درجة الحرارة وكفاءة أجهزة التكييف، إضافة إلى عوامل أخرى تتمثل في حجم ونوع المسكن، وسلوك المستخدمين، والتصورات الذاتية للراحة. غير أن العائلات في المملكة تميل إلى العيش في منازل كبيرة نسبياً من حيث المساحة، فتحتوي على العديد من أجهزة التكييف. كما تشير الدراسات إلى أن حوالي 73% من سكان المملكة يستخدمون أجهزة تكييفهم لفترات تتراوح ما بين 10 و24 ساعة في اليوم على مدار العام، لا سيما وأن معظم الناس يتركون هذه الأجهزة تعمل دون توقف في الفترة الواقعة ما بين شهر مايو وسبتمبر للتخفيف من آثار شدة حرارة فصل الصيف المرتفعة (الشكل 3).

يؤثر التبريد بشكل مباشر على استراتيجية المملكة العربية السعودية الرامية للحد من الاعتماد على النفط في مزيج توليد الكهرباء، والانتقال إلى الغازات الأقل كثافة للكربون والمزيد من مصادر الطاقة المتجددة. وقد نوقشت في الآونة الأخيرة الرغبة الأكيدة للمملكة في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن التبريد، في إشارة إلى استراتيجيتها للاقتصاد الدائري التي تشكل جزءاً من ترأسها لمجموعة العشرين 2020م.

ومن جانبٍ آخر، هنالك ثلاثة عوامل رئيسة تدفع استخدام تكييف الهواء السكني وتأثيره على استهلاك الكهرباء، هي: المساحة (الحيز المكاني)، وعدد الغرف التي يتم تبريدها في كل مسكن، ومنظم الحرارة (أو ضبط درجات

الاتجاهات المستقبلية لتقنيات تكييف الهواء

المنظمة للغاية وعالية الكثافة السكانية. بينما تلعب الكفاءة الحرارية لعزل المباني والنوافذ والسقوف كذلك دورًا رئيسًا في قرارات التبريد، وقد يتم تحديدها من خلال الجماليات أو التكاليف المسبقة بدلاً من استهلاك الطاقة وكفاءتها على المدى الطويل.

ستتزايد أهمية عناصر التحكم الأكثر تقدمًا بالنسبة لهذا القطاع من الآن فصاعدًا، بما فيها منظمات الحرارة "الذكية" وأنظمة إدارة الطاقة في المباني. كما سيظل اختيار المبردات في أنظمة ضغط البخار مجالًا رئيسًا للإصلاح التكنولوجي والتنظيمي. ولقد أدى بروتوكول مونتريال لعام 1987م إلى استبدال مركبات الكربون الهيدروفلورية بمركبات الكربون الكلورية الفلورية الضارة بطبقة الأوزون، حيث استهدفت مركبات الكربون الهيدروفلورية بالتخفيض التدريجي من خلال تعديل كيغالي.

في حين نجد أن كفاءة استهلاك طاقة التكييف مضمنة في اللوائح الإلزامية قانونيًا لأداء كفاءة استهلاك الطاقة، إلا أن ثمة حاجة ملحة للمضي قدمًا وإدخال الحظر التدريجي لتقنيات تكييف الهواء المتقدمة. فعلى سبيل المثال، ووفقًا لاتحاد صناعة التبريد والتكييف في اليابان، فإن عشر دول فقط تمثل 86% من المبيعات العالمية لأجهزة تكييف النوافذ، في حين أن الغالبية العظمى من الأسواق العالمية قد حظرت بالفعل استخداماتها أو قيدتها بشدة، وربما تكون هذه الأجهزة رخيصة الثمن نسبيًا وسهلة التركيب، إلا أنها أقل كفاءة بكثير من أنظمة التبريد المنفصلة (السبليت).

وتعتبر المملكة العربية السعودية ثاني أكبر سوق لأجهزة تكييف النوافذ في العالم بعد الولايات المتحدة الأمريكية؛ إذ بلغت مبيعاتها منها في عام 2018م عدد 772000 جهاز تكييف في المملكة. وإذا استبدلت أنظمة التكييف المنفصلة (سبليت) التي تلبى الحد الأدنى من متطلبات الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة (SASO) بأجهزة التكييف العاملة والمشتريات الجديدة من أجهزة تكييف النوافذ، فيمكن حينها توفير حوالي 20 تيراواط/

تعتمد قرارات المستهلكين والسياسات المتعلقة بتكنولوجيات التبريد على طبيعة سوق معينة، وكذلك على مجموعة محددة من المتغيرات الاجتماعية والتكنولوجية والاقتصادية. وتشمل عوامل جانب العرض المتعلقة بإمدادات الطاقة وسلوك المنتجين، وعوامل جانب الطلب المتعلقة بسلوك المستخدمين وكفاءة استهلاك الطاقة. ونجد أن لهذه العوامل مجتمعة تأثير متفاوت وفقًا لخصائص المستخدم النهائي وخيارات التكنولوجيا الحالية. إلا أن أنظمة التكييف الوطنية والمحلية تتباين أيضًا من حيث ظروف درجات الحرارة والرطوبة، واعتبارات الإسكان، والمعالم الطبيعية في المناطق الحضرية، فضلًا عن المعايير والتفضيلات التكنولوجية المتباينة.

بيد أن تدابير جانب العرض التي تتضمن النموذج التقليدي لتوليد الطاقة الذي تزود فيه الشركات التي لديها مرافق خدمية كبيرة المستخدمين النهائيين بالكهرباء، تستفيد من وجود عدد أقل من أصحاب المصلحة، والمزيد من الحلول المعيارية، وزيادة الاستثمارات، وانخفاض تكاليف المعاملات. أما على جانب الطلب، فإننا نجد أن أصحاب المصلحة غير متجانسين ومشتتين وأحجامهم صغيرة، مع عدم وجود حل "واحد يناسب الجميع"، فضلًا عن التكاليف المرتفعة للمعاملات الخاصة بتنفيذ التدابير. ويشمل تبريد الحيز المكاني المباني السكنية والتجارية والعام داخل وخارج الشبكة، بالإضافة إلى متطلبات التبريد اللازمة للعمليات الصناعية والنقل، و"سلاسل التبريد" الثابتة والمتنقلة للأغذية والأدوية.

سيؤثر المستهلكون -إضافة للاتجاهات السلوكية والسياسات الحكومية في المستقبل- على التبريد بعدة طرق، وتشمل أنواع أجهزة التكييف الشائعة أجهزة تكييف الغرف التي يمكن أن تكون أنظمة النوافذ، أو أجهزة التكييف المنفصلة (السبليت)، والأنظمة المركزية، والأنواع المختلفة من تكنولوجيا التبريد بما فيها امتصاص وضغط البخار، والتبريد التبخيري²، ومضخات الحرارة، والتبريد بواسطة الطاقة الشمسية والهواء السائل وغيرها. ويوفر تبريد المناطق إمكانات هائلة للتبريد على نطاق واسع، إلا أنه يصعب تنسيقه خارج السياقات الحضرية

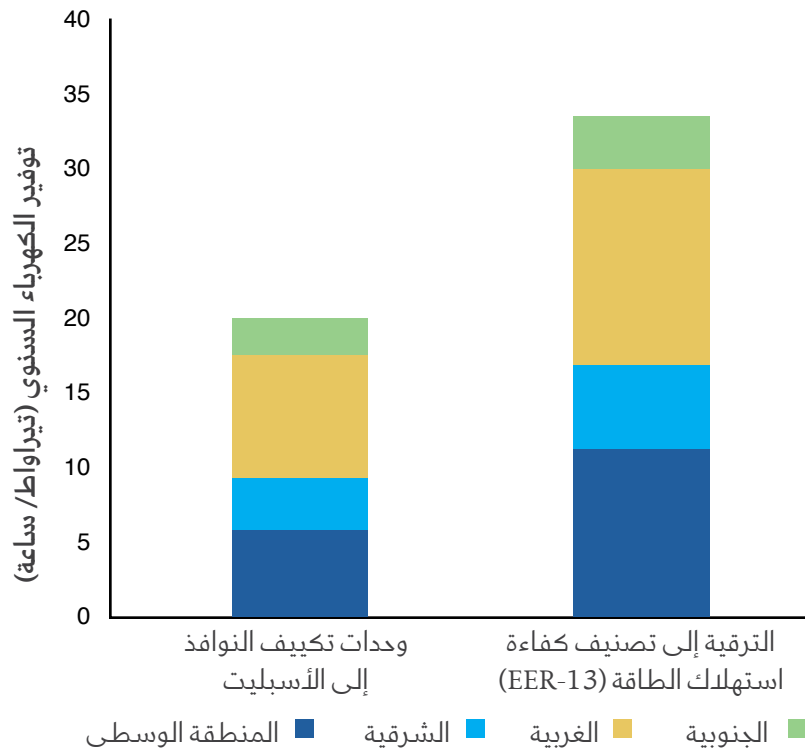
الاتجاهات المستقبلية لتقنيات تكييف الهواء

بموجب السيناريوهات المذكورة أعلاه بخفض الانبعاثات السنوية لثاني أكسيد الكربون بمقدار 14 و24 مليون طن على التوالي.

بالرغم من إمكانية تحقيق فوائد كبيرة من خلال استبدال أجهزة التكييف القديمة والمتقدمة بأخرى حديثة، إلا أن العديد من التقنيات الجديدة والناشئة ستزيد من كفاءة استهلاك الطاقة وتحول الأسواق المستقبلية. وتشمل هذه التقنيات التبريد بالامتصاص³ باستخدام زوج من هلام السيليكا الخامل الذي يمكنه الاستفادة من الحرارة الناتجة عن عمليات المعالجة والحرارة الشمسية لتحل محل الحرارة المولدة كهربائياً في أنظمة التبريد. كما أن التحول من ضغط البخار التقليدي-الذي يتم فيه ضغط بخار المبرد- إلى الامتصاص-الذي يتم فيه امتصاص وتسخين المبرد- سيجعل الأنظمة أكثر كفاءة وصديقة للبيئة.

ساعة من الكهرباء سنويًا. كما تقوم المملكة في الوقت الراهن بإدارة نظام حوافز المستهلكين، وهو عبارة عن مبادرة لأجهزة التكييف عالية الكفاءة (HEAC) توفر خصمًا بقيمة 900 ريال سعودي (240 دولارًا أمريكيًا) عند شراء أجهزة تكييف (سبليت) عالية الكفاءة وموفرة في استهلاك الطاقة -تصنيف كفاءة استهلاك الطاقة $EER = 13.8$ أو أعلى- بحد أقصى ستة مكيفات لكل أسرة. وإذا ما نفذت هذه المبادرة بالكامل، فيمكن حينها للقطاع السكني أن يوفر ما يقرب من 35 تيراواط/ ساعة من استهلاك الكهرباء في كل عام، ويمثل هذا التوفير 24% من إجمالي استهلاك الكهرباء السكني في المملكة في عام 2018م (144 تيراواط/ ساعة)، أو حوالي 35% من إجمالي استهلاك الكهرباء السكني (101 تيراواط/ ساعة). كما ستقوم كل من الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة ومبادرة أجهزة التكييف عالية الكفاءة

الشكل (4). توفير الكهرباء الناتج عن التخلص التدريجي من أجهزة تكييف النوافذ والتنفيذ الكامل لنظام حوافز المستهلكين عالية الكفاءة في المملكة العربية السعودية.



المصدر: دراسة Krarti and Howarth.

رکود معامل " كيلوواط لكل طن تبريد⁴" (kW/Rtonne) من تكييف الهواء، إذ يعالج هذا البرنامج نقاط الضعف الكامنة في ضغط البخار الميكانيكي (MVCs) الموجود في معالجة الهواء الخارجي، كما يحدد كذلك تسع مجموعات بحثية (العمليات والممّنّات⁵ الجديدة لإزالة الرطوبة) التي تركز على عمليات التبريد المسببة للخلل التي يمكنها تحسين كفاءة استهلاك الطاقة للأجهزة التكييف. وتهدف هذه المبادرة إلى تقليل استهلاك التكييف للكهرباء (بنسبة تتراوح ما بين 50%-60%) والمياه (بنسبة 25%-30%)، وبالتالي خفض الاستهلاك المحلي للنفط في المملكة بدرجة كبيرة.

كما يمكن-بالإضافة إلى ذلك- أن يوفر دمج تقنيات التبريد التي تعمل بالطاقة المتجددة حلاً مستدامة على نطاق واسع، لا سيما عند اقترانها بأنظمة التخزين المبرد وأنظمة تبريد المناطق. وتقوم كل من الشركة السعودية للكهرباء ومدينة الملك عبد الله للعلوم والتقنية بإجراء التجارب على مثل هذه التقنيات، وتقديم لمحات مثيرة عن مستقبلها.

والجدير بالذكر هنا، أن جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (كاوست) قد أطلقت مبادرة تبريد في الأول من شهر أبريل لعام 2019م-والتي من المتوقع أن تستمر حتى يوم 31 مارس عام 2022م- وذلك لمعالجة ظاهرة

المختبر الحي للتحليل السلوكي لاستهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية

وتتميز الخصائص الرئيسية في الشكل (5) "المختبرات الحية" عن الدراسات التجريبية والاختبارات الميدانية الأخرى (Lucassen et al. 2014).

تظل المشاركة النشطة للمستخدمين النهائيين -بغض النظر عن المزايا الأخرى- هي السمة الأكثر أهمية التي تميز المختبرات الحية عن الأساليب الأخرى التي تركز على المستخدم؛ إذ تركز المختبرات الحية على المستخدمين وتعتبرهم فاعلين رئيسيين يتعاونون باستمرار لتحقيق الأهداف المنشودة باستخدام تقنيات معينة، بدلاً من التركيز على التكنولوجيا نفسها.

كذلك تقدم منهجية المختبر الحي مزايا خاصة للبحث عن سلوك المستخدم في قطاع المباني السكنية، التي تخضع لعوامل معقدة وذاتية مثل الراحة والملاءمة والقيود الاجتماعية التي تختلف من شخص إلى آخر ومن منزل إلى آخر. على عكس المساحات الداخلية الأخرى التي يتم فيها تحسين مستويات التبريد عمومًا لتحقيق مستوى محدد من الراحة أو المهام بأقل تكلفة ممكنة، بيد أن استهلاك الطاقة في المباني السكنية ينزع إلى التباين وفقًا لتفضيلات المستخدمين.

قد تصبح أساليب البحث التقليدية للمستهلكين والأسواق في المستقبل أقل فعالية بنحو متزايد؛ ذلك لأن المنهجيات الشائعة غالبًا ما تخفق في التنبؤ بتكيف المستهلكين مع التقنيات الجديدة، أو توقع الآثار السياسية والتنظيمية لهياكل السوق الجديدة، مما يؤدي بالتالي إلى إخفاق الجهود التجارية مصحوبة بالعوائد الضعيفة، على الرغم من حجم الاستثمارات الكبيرة في مجال ابتكار المنتجات والخدمات.

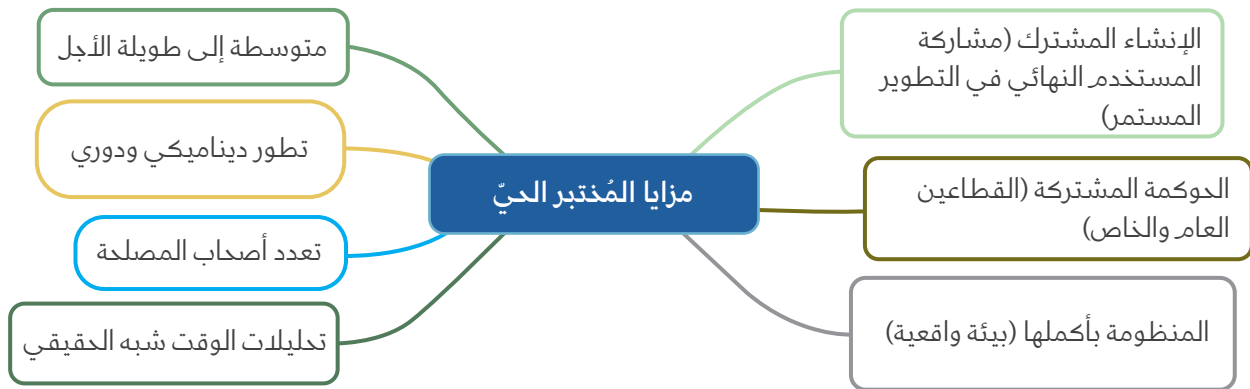
يعد "مختبر الطاقة الحي" منهجًا بحثيًا يركز اهتمامه على المستخدم، ويمكن استخدامه للأغراض التالية:

استخراج أنماط الاستهلاك المميزة والأنماط البيئية.

فهم سلوك المستهلكين.

توفير إطار عمل لتطوير أو اختبار منتجات الطاقة، والخدمات، ونماذج الأعمال المبتكرة في سيناريوهات واقعية تتسم بالشفافية.

الشكل (5). خصائص المختبرات الحية.



المصدر: كابسارك استنادًا إلى (Lucassen et al. 2014).

المختبر الحي للتحليل السلوكي لاستهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية

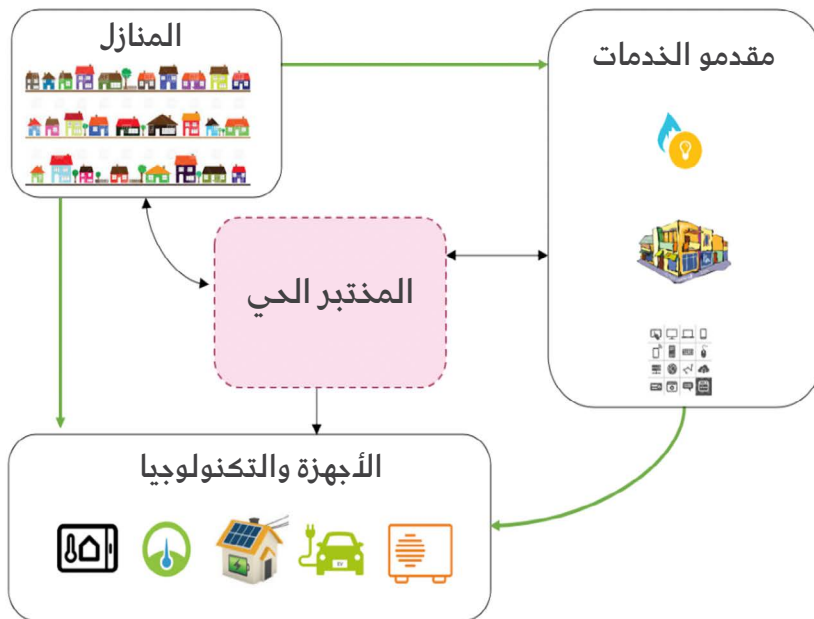
كما استكشفت ورشة العمل إمكانية تطبيق منهج المختبر الحي على استهلاك الطاقة السكنية والراحة الحرارية في المملكة العربية السعودية، حيث يتضاعف الطلب على الكهرباء تقريباً بسبب تنامي الطلب على تكييف الهواء.

وتتملك الأسر السعودية أعلى حصة في العالم في استهلاك تكييف الهواء ومن الطلب على الكهرباء بنسبة حوالي 70% من إجمالي استهلاك الكهرباء السكني. وطبقاً لتقرير الهيئة العامة للإحصاء لعام 2016م، فإن أكثر من 60% من أفراد الأسر السعودية تقل أعمارهم عن 20 عاماً، وسيكون فهم سلوك مستخدمي التكييف الأصغر سناً ذا قيمة خاصة في توجيه السياسات طويلة الأجل على مدى العقود القادمة.

استعرضت ورشة العمل مشاريع المختبر الحي الناجحة التي نفذت في دول أخرى، وركزت على كفاءة المباني والبيئات الداخلية لها. وقد أوضح كل من معهد باربارا هاردي (Barbara Hardy Institute) ومشروع تطوير الإسكان منخفض الطاقة (Low Energy Housing Development) في استراليا مدى إمكانية تحقيق منازل الطاقة الصفيرية الصافية للانبعاثات مع الراحة الحرارية الفعالة من خلال استخدام المختبرات الحية. وقد زودت أبحاثهم المتخصصين في مجال البناء والمنظمين له برؤى مهمة قائمة على الأدلة.

فيما عرضت Energy Systems Catapult (ESC⁶) مختبراً حياً على أحدث طراز مصحوباً بنهج متكامل لرؤية النظام وتم استخدام هذا المختبر كمحور لسد الفجوة بين أصحاب المصلحة المختلفين في هذا القطاع مع وضع المستهلكين في مركز الاهتمام.

الشكل (6). منهج المختبر الحي لطاقة المساكن وإدارة النظم الحرارية.



المصدر: Energy Systems Catapult 2019.

فضلاً عن توفير البيانات لقطاع الطاقة فيها. كما سيوفر أيضاً الأساس لدراسات مبتكرة حول استخدام الطاقة في قطاع المباني. وبالتزامن مع تحول المملكة نحو زيادة أسعار الطاقة المحلية وسعيها إلى تقليل كميات النفط المستهلكة في توليد الطاقة المحلية، فإن الفهم الأعمق لسلوك المستهلك النهائي يمكنه الإسهام في توجيه صنع السياسات ومبادرات البحث والتطوير في القطاع الخاص، وينبغي لهذا أن يعمل بدوره على تعزيز تطوير وتبني تقنيات تبريد أكثر كفاءة.

يمكن لخيارات كفاءة الطاقة والتقنيات في المباني مثل وحدات التكييف الأكثر كفاءة، أن توفر جزءاً مقدراً فقط من الحل الأشمل. إذ إن فهم سلوك المستهلك واستخدام الطاقة في البيئات المختلفة سيزود صانعي السياسات بالأدوات اللازمة لتصميم سياسات أفضل والتخفيف من المخاطر الاجتماعية.

ومن ناحية أخرى، خلص المشاركون في ورشة العمل إلى أن إنشاء مختبر حي في كل منطقة مناخية في المملكة العربية السعودية سيوسع قاعدة المعرفة في البلاد،

التبريد باعتباره خدمة من خدمات الطاقة، ونماذج أعمال تتجاوز عدادات الاستهلاك

لهذا أن يعالج الصعوبات التي تواجه قطاع التبريد. بلا شك أن هذا البند يتطلب تبني سياسات تأخذ في حسابها كيفية تقاطع التكنولوجيا مع الاقتصاد، وبخاصة سلوك المستخدمين النهائيين. فيمكن للتكنولوجيا الإسهام في إنشاء أعمال التبريد والتكييف وتخزينها ونقلها واستخدامها بكفاءة أكبر. وكذلك بإمكان الأطر الاقتصادية المبتكرة أن تعمل على توجيه السياسات، وبالتالي سلوك المنتج والمستهلك نحو الحد من استهلاك الكهرباء وتحقيق نتائج السياسات المنشودة الأخرى.

تناقش أبحاث المنشورات العلمية والصناعية الكيفية التي تمكن المشاركين في السوق من تبادل الكهرباء (والتبريد) كخدمة. فعلى سبيل المثال، اكتشف معهد جبال الروكي (Rocky Mountain Institute) إمكانية توفير "الإضاءة المتقدمة" كخدمة، وطور مركز كابسارك فكرة نموذج عمل تأمين الموثوقية لقطاع كهرباء تهيمن عليه موارد الطاقة الموزعة، واتخذ مركز (ESC) خطوات لإنشاء سوق "للتدفئة كخدمة" في المملكة المتحدة. كما تعمل شركة التكنولوجيا الألمانية (Siemens) على الكيفية التي يمكن أن تسهم بها الرقمنة في تصميم المنتجات التي تتيح حلولاً أفضل للتبريد، ويوضح الشكل (7) أدناه رسم بياني تخطيطي للطرق البديلة للتعبير عن قطاع التبريد.

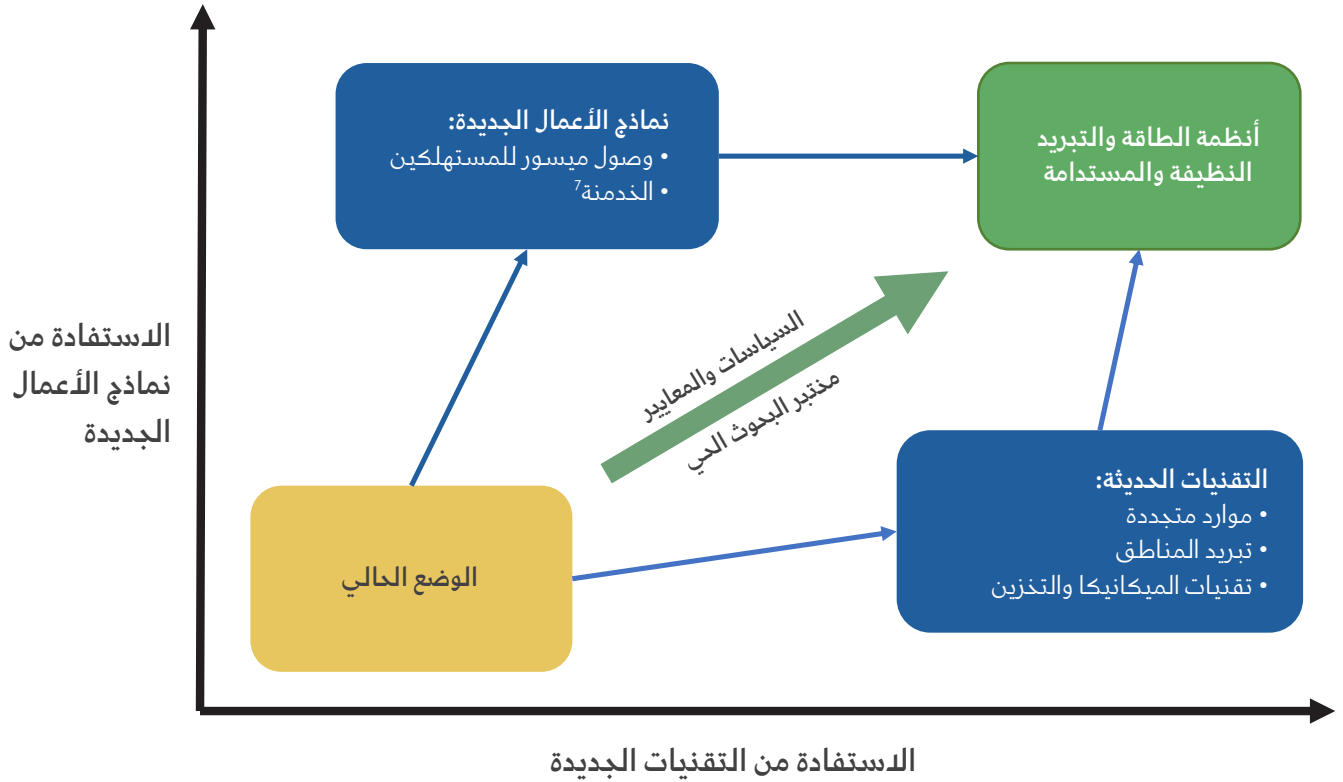
يمكن أن تتخذ نماذج الأعمال الجديدة نهجاً قائماً على الخدمة لتزويد المستخدمين النهائيين بالمزايا أو الخبرات التي يبحثون عنها. فعلى سبيل المثال، يمكن لشركة متخصصة ببيع التبريد على أساس الدفع مقابل الاستخدام أو الاشتراك كبديل للنموذج التقليدي للمستهلكين الذين يشترون أجهزة التكييف من تجار التجزئة، وشراء الكهرباء اللازمة لتشغيلها من مرفق منفصل. يمكن للمستهلكين طبقاً لنموذج التبريد كخدمة، أن تتاح لهم حرية اختيار كيفية استخدامهم للتبريد ومقدار إنفاقهم، كما يشجع هذا المنتجين على استخدام معدات أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، وبالتالي توفير التكاليف.

ينبغي النظر إلى التبريد من خلال منظور قطاع الكهرباء الأوسع، إذ يمكن أن يمثل تبريد الحيز المكاني في المملكة العربية السعودية وفقاً لبعض التقديرات المشتركة في ورشة العمل، أكثر من نسبة 70% من ذروة الطلب على الكهرباء السكنية في الأيام شديدة الحرارة. وقد كان استهلاك الكهرباء حتى الآن على رأس المساهمين في الانبعاثات الكربونية في المملكة. ومع ذلك يمكن للتكنولوجيات النظيفة الجديدة أن تدعم إزالة الكربون من قطاع الكهرباء من دون مطالبة العملاء بتغيير سلوكهم. كذلك لاحظ المشاركون في هذه الورشة أن التبريد وتكييف الهواء يتسببان في 10% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية، أي أكثر بثلاث مرات من الانبعاثات الناجمة عن قطاعي الطيران والشحن مجتمعين (Teverson et al. 2015).

ومن ناحية أخرى، نجد أن قطاع الكهرباء نفسه يمر باضطرابات كبيرة مدفوعة بظهور أنظمة توزيع الطاقة التي تجمع بين تقنيات الطاقة الكهربائية الموزعة مثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وتخزين الطاقة، والرقمنة. حيث أن بإمكان هذه التقنيات الثلاثة مجتمعة أن تتيح للعملاء جزئياً -على الأقل- تجاوز الشبكات وشركات المرافق التقليدية، غير أن هذا الأمر يثير بعض الأسئلة حول المنتجات أو الخدمات التي ينتجها قطاع الطاقة للمستخدمين النهائيين في نهاية المطاف، وكيف ينبغي تسعيرها؟ وما الذي سيظهر كنماذج أعمال مهيمنة في المستقبل؟

يمثل فصل الطلب على الكهرباء والتبريد تحدياً رئيساً لصانعي السياسات، لا سيما وأن قطاع الكهرباء ككل يتحول إلى توليد منخفض وصفري الانبعاثات، في حين أن بإمكان التحسينات التكنولوجية التي تحقق كفاءة أكبر أن تحل المشكلة من الناحية النظرية، إلا أن حلول السوق بإمكانها أيضاً أن تعزز السياسات والأهداف البيئية بدرجة ملحوظة، حتى إذا ظلت هذه التقنيات جامدة بلا تغيير. وقد ناقش المشاركون في هذه الورشة إمكانية توفير التبريد باعتباره خدمة من قبل أطراف ثالثة، وكيف يمكن

الشكل (7). مسار الانتقال إلى نظام طاقة تبريد مستدامة ونظيفة.



المصدر: كابسارك، استنادًا إلى (Teversen et al. 2015).

بصرف النظر عن كيفية توفير السوق له. وينبغي ببساطة أن يكون هناك سعر لطلب معين، ويجب بالتالي أن يكون هناك سوق محتمل. فإذا تم تقديم خدمة تبريد تضمنت على سبيل المثال تبريد منطقة معينة بدرجة حرارة معينة في مجموعة محددة من الساعات في اليوم، فإن الأسر ستستجيب بشكل منطقي على الأقل وتحدد مردود التكلفة الأمثل لمقدار التبريد الذي ستشتريه.

ولتطبيق هذا الإطار في نموذج الأعمال، فإن التجارب الأصغر ستكون مفيدة قبل اختبارها في السوق المفتوحة. ولقد ناقش مركز (ESC) في هذه الورشة الاستخدام الذي اقترحه لمختبره الحي، وكيف تمكن من تحديد مجموعات مختلفة من المستهلكين، ومجموعة الخدمات التي يقدرها هؤلاء المستهلكين، والسعر الذي قد يرغبون في دفعه للشركة نظير هذه الخدمات.

تتمثل إحدى العقبات المحتملة التي ناقشها المشاركون في الورشة في أن الأسر تميل إلى عرض أجهزة التكييف كأصول دائمة. فعلى سبيل المثال، لا تزال العائلة التي اشترت أجهزة التكييف قبل عشر سنوات تعتبرها عملية شراء جديدة نسبيًا ومن غير الضروري استبدالها، رغم أن التكنولوجيا في الواقع قد تقدمت كثيرًا ويمكن للنماذج الجديدة من هذه الأجهزة أن تحقق مكاسب كبيرة في كفاءة استهلاك الطاقة. وطبقًا للنموذج التقليدي الذي يتطلب من المستهلكين الاستثمار في أجهزة التكييف والعناصر الأخرى، فإن عملية استبدال المعدات العاملة بأحدث التقنيات بنحو متكرر تعد أمرًا غير عملي ومكلف. ورغم ذلك فإن بإمكان شركة متخصصة في التبريد كخدمة أن تطرح باستمرار أحدث التقنيات في هذا الصدد وأكثرها كفاءة.

كذلك يتمثل الأساس المنطقي الاقتصادي للنهج القائم على الخدمة في أن الأسر لديها طلب محدد للتبريد،

حول ورشة العمل

د. سكوت ميلن - رئيس الأفكار بشركة
(Energy Systems Catapult).

الأميرة نورة آل سعود - الشريك المؤسس لاستراتيجية
أيون.

الأميرة ميثاعل الثعلبان - الشريك المؤسس
لإستراتيجية أيون.

د. سعيد النعمان - مهندس بحث وتطوير بالشركة
السعودية للكهرباء (SEC).

د. مظهر باري - رئيس مركز تطبيقات (MindSphere)
شركة (Siemens).

السيدة جمانة باجبرا - تطوير الأعمال بشركة
(Siemens).

د. فهد القصمولى - مدير المركز الوطني للتبريد
وتكييف الهواء، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
(KACST).

د. أحمد المقبل - مدينة الملك عبد العزيز للعلوم
والتقنية (KACST).

المهندس جابر السليم - مدينة الملك عبد العزيز للعلوم
والتقنية (KACST).

المهندس محمد عساكر - مدينة الملك عبد العزيز
للعلوم والتقنية (KACST).

المهندس أحمد السويلم - مدينة الملك عبد العزيز
للعلوم والتقنية (KACST).

المهندس حكم بن عادل زمو - رئيس فريق البناء،
المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC).

المهندس عبد العزيز الصبيحي - المركز السعودي
لكفاءة الطاقة (SEEC).

عقد مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية
(كابسارك) ورشة العمل هذه (مستقبل التبريد في
المملكة العربية السعودية: خيارات التكنولوجيا والسوق
والسياسات) في الأول من شهر مايو عام 2019م. وذلك
لتسليط الضوء على أهمية التبريد بالنسبة للمملكة
العربية السعودية والمنطقة، على ضوء آثار ارتفاع درجة
حرارة المناخ والنمو الاقتصادي. كما استكشفت الورشة
كذلك خيارات الاقتصاد التكنولوجي والسلوكي التي
يمكنها المساهمة في تحقيق التبريد المستدام والفعال
والراحة الحرارية.

قائمة المدثرين

معالي الأستاذ صالح بن حسين العواجي - وزارة الطاقة
والصناعة والثروة المعدنية (MEIM).

البروفيسور كيم تشون نغ - جامعة الملك عبد الله
للعلوم والتقنية (KAUST).

الدكتورة آنا مارغريدا كوستا - رئيسة الاستدامة بجامعة
الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST).

دكتور عمر عبد العزيز - أستاذ مساعد بمدينة زويل
للعلوم والتكنولوجيا.

البروفيسور وسيم سمعان - جامعة جنوب استراليا.

السيد بينوا ليبوت - رئيس الأمانة بالشراكة الدولية
للتعاون في مجال كفاءة الطاقة.

د. أشوك سركار - كبير أخصائي الطاقة ورئيس فريق
المهام لكفاءة الطاقة، البنك الدولي.

د. سعيد الثهراني - مدير إدارة البحوث والدراسات
بالهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة
(SASO).

السيد سيمون بيرسون - رئيس الأعمال الرقمية بشركة
(Energy Systems Catapult).

- المهندس أحمد المسلم** - المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC).
- السيد كوينتين بلومارت** - جامعة بيوث للعلوم التطبيقية.
- المهندس عبد الله العنزي** - المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC).
- السيد آدم سيمينسكي** - رئيس مركز كابسارك.
- السيدة نادية كريم** - مديرة المشاركة البحثية بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST).
- السيد ثامر الشهري** - باحث مشارك في مركز كابسارك (منسق ورشة العمل).
- السيدة حنان الشرقي** - العلاقات التنموية بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST).
- د. نيكولاس هوارث** - زميل باحث في مركز كابسارك.
- د. رولاندو فوينتس** - زميل باحث في مركز كابسارك.
- السيدة ناتاليا أودنوليتكوف** - باحثة بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST).
- السيد نوانس بيربوكس** - مدير برنامج في مركز كابسارك.
- البروفيسور آلان ماير** - عالم أول بمختبر لورانس بيركلي الوطني.
- د. وسام حسن صالح الصبان** - نائب عميد جامعة أم القرى (UQU).
- السيد ميثال فرح** - مدير شركة داكن الشرق الأوسط وأفريقيا.
- السيد سناثين نحيتي** - مدير المنتج الأول، (Rheem Manufacturing MEA FZE).
- السيد محمد خوالدة** - مدير وحدات المنتج بمكيفات الزامل.
- السيد فهد الثنهراني** - مدير التصميم بشركة تطوير البحر الأحمر.
- د. محمد الغول** - مهندس أبحاث جامعة الملك فهد للبترول والمعادن (KFUPM).
- السيد تشارلز فيليبس** - معهد (OIES) ومعهد الدراسات الشرقية بجامعة أكسفورد.

¹ المختبر الحي: هو مفهوم بحثي يمكن تعريفه على أنه نظام إيكولوجي مبتكر ومفتوح يركز على المستخدم، ويعمل غالبًا في سياق إقليمي (مثل المدينة والتجمعات السكنية والمنطقة أو الحرم الجامعي) ويقوم بدمج عمليات البحث والابتكار المتزامنة داخل شراكة بين القطاعين العام والخاص. وتتيح هذه المختبرات بيئة ريادية مفتوحة للابتكار مبنية على مفهوم الابتكار المشترك، وذلك لدمج البحث والاختبار بشكل أفضل في حياة المجتمعات المضيفة، كما تقوم "المختبرات الحية" بقولبة الفرص التي تتيحها المفاهيم الجديدة لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات والحلول، لتتوافق مع الحاجات والتطلعات الخاصة للمجتمعات المحيطة.

² آلة التبريد التبخيري وتسمى أيضًا بـ(آلة التبريد الصحراوي أو مبرد الهواء الرطب)، وهي آلة تبريد الهواء من خلال تبخر المياه، وتختلف طريقة التبريد التبخيري عن أنظمة التكييف الميكانيكية التي تعتمد على الضغط البخاري أو دورات التبريد الامتصاصي. وتعمل هذه التقنية من خلال توظيف المحتوى الحراري للمياه من التبخر الذي يقوم بتخفيض درجة حرارة الهواء الجاف بشكل ملحوظ خلال المرحلة الانتقالية من الماء السائل إلى بخار الماء، والتي تتطلب طاقة أقل بكثير من أنظمة التبريد الميكانيكية. وهذا النوع من التبريد يعتبر طريقة مناسبة للمناطق التي يكون مناخها حار وجاف، حيث الجو حار والرطوبة منخفضة.

³ التبريد باستخدام مصدر للحرارة (مثل الطاقة الشمسية، والحرارة المهذرة من المصانع، والحرارة المباشرة من أنظمة التسخين) للتزود بالطاقة اللازمة لتشغيل نظام التبريد، وتعتبر هذه الطريقة الأكثر شهرة بعد التبريد بالضغط عندما يكون استخدام الكهرباء غير ممكن أو باهض الثمن أو غير مطلوب.

⁴ طن تبريد (يرمز لها بالرمز TR) هي وحدة لقياس القدرة تستخدم في بعض البلدان خاصة في أمريكا الشمالية لوصف السعة الحرارية للتبريد ولأجهزة تكييف الهواء، وطن التبريد هو كمية الحرارة اللازم سحبها لتحويل واحد طن من الماء السائل عند درجة 0° مئوية إلى ثلج عند درجة حرارة 0° مئوية خلال 24 ساعة أو العكس.

⁵ الامتزاز هو: "تجمع مادة ما على أسطح حبيبات مادة مازة، والامتزاز أو الاستجذاب أو اللدمصاص تراكم ذرات أو جزيئات مائع (يسمى المُمْتَز) على سطح مادة صلبة (تسمى الماز).

⁶ شركة بريطانية تعمل على تقييم تطوير الطاقة الرقمية لشركات قطاع الطاقة التي ترغب في اغتنام فرص الابتكار الصافي الصفري، وتقييم إمكانات التكنولوجيا الرقمية لتحويل أنظمة الطاقة.

⁷ يشير مصطلح الخدمة (Servitisation) بأبسط عباراته إلى الصناعات التي تستخدم منتجاتها لبيع "النتيجة كخدمة" بدلًا من البيع لمرة واحدة؛ إذ يمكن لشركات التصنيع مثلًا أن تقدم خدمات إضافية لتكملة منتجاتها التقليدية مثل الصيانة والاحتفاظ بأسطول من المركبات على الطريق كخدمة.

Howarth, Nicholas, Natalia Odnoletkova, Thamir Alshehri, Abdullah Almadani, Alessandro Lanza, and Tadeusz Patzek. 2020. "Staying Cool in A Warming Climate: Temperature, Electricity and Air Conditioning in Saudi Arabia." *Climate* 8 (1). <https://doi.org/10.3390/cli8010004>.

Krarti, Moncef, and Nicholas Howarth. Forthcoming. "Transitioning to High-Efficiency AC in Saudi Arabia: A benefit-cost analysis for residential buildings." *Journal of Building Engineering*.

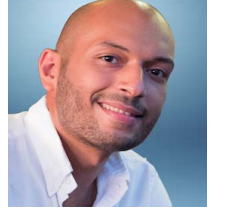
Lucassen, Inge, Bram Klievink, and Lori Tavasszy. 2014. "A Living Lab Framework: Facilitating the Adoption of Innovations in International Information Infrastructures." Proceedings of the Transport Research Arena 2014, Paris, France, April 14-17, 2014.

Odnoletkova, Natalia. 2020. "Presentation on Temperature Change in Saudi Arabian Cities and Climate Change Adaptation."

Teverson, Robin, Toby Peters, Martin Freer, Jonathan Radcliffe, Lenny Koh, Tim Benton, Dinah McLeod, Sally Uren, Robert Elliot, and Peter Fryer. 2015. *Doing Cold Smarter*. University of Birmingham. <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/policy/Doing-Cold-Smarter-Report.pdf>

نبذة عن الفريق

ثامر الشهرري



باحث مشارك في برنامج تحويلات الطاقة والطاقة الكهربائية. يركز أبحاثه حاليًا على استحداث أدوات تعتمد على البيانات لتحديد وتقييم سيناريوهات سوق الطاقة المختلفة، بالإضافة إلى استخدامه لتقنيات "البيانات الضخمة" لفهم تأثير سلوك المستهلك بنحو أفضل والبيئة المبنية على استهلاك الطاقة. كذلك يهتم باستخدام التقنيات لتسهيل سياسة الطاقة العامة وأنظمة اقتصاديات الطاقة. وقد عمل سابقًا محاضرًا في أستراليا. ولديه أيضًا خبرات ريادية وصناعية في العمل على المشاريع الحائزة على جوائز، مثل نظام إدارة المباني في برج خليفة.

الدكتور نيكولاس هوارث



زميل أبحاث في كابسارك، وخبير اقتصادي تطبيقي متخصص في الطاقة والتغير التكنولوجي وتغير المناخ. حصل على شهادة الدكتوراة في الجغرافيا الاقتصادية والماجستير في التغير البيئي والإدارة من جامعة أكسفورد، كما أنه حاصل على بكالوريوس في الاقتصاد مع مرتبة الشرف من جامعة (Adelaide) بجنوب أستراليا.

ناتاليا أودنوليتكوفا



باحثة في مركز علي النعيمي للأبحاث هندسة البترول، تركز على الطاقة المستدامة والتنمية. كما تركز أبحاثها الحالية على تغير درجة الحرارة واستهلاك الكهرباء وتكييف الهواء في المملكة العربية السعودية، ويعتمد هذا على عملها في المدن المستدامة كجزء من برنامج الطاقة المنزلية الذكية بجامعة (Duke). وهي حاصلة على درجة الماجستير في هندسة الطاقة المستدامة ودرجة البكالوريوس في هندسة البترول من جامعة (Gubkin) الروسية الحكومية للنفط والغاز في موسكو.

الدكتور رولاندو فوينتيس



زميل أبحاث زائر في كابسارك، يبحث في النماذج التجارية والتنظيمية في برنامج الابتكار في تحويلات الكهرباء، ولديه خبرة واسعة في قطاعي الطاقة والبيئة أكاديمي وصانع سياسات. يحمل درجة البكالوريوس (مع مرتبة الشرف) من تك دي مونتييري، ودرجة الماجستير من كلية لندن الجامعية، ودرجة الدكتوراه من كلية لندن للاقتصاد. وحصل على منحة (Chevening) لحكومة المملكة المتحدة في عام 2001م.

نواز بيربوكس



مدير برنامج تحويلات الطاقة والطاقة الكهربائية، كان كبير الاقتصاديين في الشركة السعودية للكهرباء (SEC) قبل انضمامه إلى مركز كابسارك، فقد قاد مشروع التحول الاستراتيجي وقدم المشورة بشأن قضايا التخطيط الاستراتيجي. وكان مدير استراتيجية السوق في شركة (Enbala) وكبير الاقتصاديين في شركة أونتايريو المستقلة للأنظمة الكهربائية قبيل التحاقه بالشركة السعودية للكهرباء.

تاديوس باتزيك



مدير مركز علي النعيمي لأبحاث هندسة البترول، وأستاذ هندسة البترول والكيمياء بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية في المملكة العربية السعودية، حتى شهر ديسمبر عام 2014م. كان أستاذ لويس ك. وريتشارد د. فولجر ورئيس قسم هندسة البترول والنظم الجيولوجية في جامعة تكساس في أوستن. كما شغل كرسي "Cockrell Family Regents Chair" (رقم 11) في الفترة ما بين (1990 و2008م)، وكان أستاذًا للهندسة الجيولوجية في جامعة كاليفورنيا في بيركلي. وقد شارك في تأليف حوالي 300 بحث وتقرير، وكتب خمسة كتب أحدها مقدم للنشر حاليًا.

نبذة عن المشروع

عقد مركز كابسارك ورشة العمل هذه (مستقبل التبريد في المملكة العربية السعودية: خيارات التكنولوجيا والسوق والسياسات) كجزء من مشروع الابتكارات في أسواق الكهرباء. فيمكن أن تؤدي الابتكارات التكنولوجية السريعة في تكنولوجيات التخزين منخفضة الكربون والاستجابة للطلب والتخزين إلى نظام كهرباء أكثر كفاءة وأمانًا. ومع ذلك يتطلب تحقيق الإمكانيات الكاملة لهذه الابتكارات مناهج جديدة للسياسة والتنظيم ونماذج الأعمال. إذا لم تواكب الإصلاحات التنظيمية وتصميم السوق والأنظمة الانتشار التكنولوجي، فقد تكون النتيجة سوق كهرباء أقل أمانًا وفترة انتقال أطول منخفضة الكربون. وإدارة التحول في القطاع بنجاح، يجب على صانعي السياسات الموازنة بين الحاجة إلى الابتكار والمنافسة مع تمكين نشر رأس المال لمصادر الكهرباء منخفضة الكربون. ويجب أن يوفر تصميم السوق المناسب لانتقال الطاقة إشارات سعر فعالة وتمكين عرض تنافسي مرن وكاف. ستسمح التقنيات الجديدة للمستهلكين بالمشاركة بشكل أكثر مباشرة في السوق استجابة لإشارات أسعار الجملة، مما سيساعد على إنشاء نظام كهرباء أكثر مرونة وأقل تكلفة. يمكن أن يؤدي ذلك إلى تحسين موازنة توليد الكهرباء مع خدمات الطاقة والتخزين، مما يزيد من قدرة النظام على دمج ناتج الطاقة المتجددة المتغيرة وتحسين أمن إمدادات الكهرباء. إن تنظيم شبكات التوزيع -من حيث المبدأ- يجب أن يمكن موارد الطاقة الموزعة من المشاركة في الأسواق المحلية وأسواق الجملة، ولا توجد في الوقت الحاضر حلول واضحة لهذه التحديات.



www.kapsarc.org