



# تَبني تقنيات الشبكة الذكية الجديدة

الحوافز، والنتائج والفرص

كريستوفر جيو (Christopher Guo)، كريج إيه بوند (Craig A. Bond)، أنو نارايانان (Anu Narayanan)

لمزيد من المعلومات حول هذا المنشور، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني [www.rand.org/t/rr717](http://www.rand.org/t/rr717)

تم النشر بواسطة مؤسسة RAND Corporation، سانتا مونيكا، كاليفورنيا.  
© حقوق الطبع والنشر محفوظة لمؤسسة RAND Corporation - 2015  
® **RAND** هي علامة تجارية مسجلة.

صورة الغلاف: *cherezoffiFotolia*

حقوق الطبع والنشر الإلكتروني محدودة

هذه الوثيقة والعلامة (العلامات) التجارية الواردة فيها محمية بموجب القانون. هذا العرض لحقوق الملكية الفكرية لمؤسسة RAND مخصص فقط للاستخدام غير التجاري. ويُحظر النشر غير المرخص لهذا المنشور عبر الإنترنت. ولا يتم التصريح بنسخ هذه الوثيقة سوى للاستخدام الشخصي فقط، طالما كانت كاملة وبدون تغيير. يجب الحصول على إذن من مؤسسة RAND لإعادة الإنتاج، أو إعادة الاستخدام في شكل آخر لأي من وثائقها البحثية للاستخدام التجاري. لمزيد من المعلومات حول أذون إعادة الطبع واستخدام روابط الويب، برجاء زيارة موقع الويب [www.rand.org/pubs/permissions.html](http://www.rand.org/pubs/permissions.html).

مؤسسة RAND Corporation هي مؤسسة بحثية تقوم بتطوير حلول لمواجهة تحديات السياسة العامة للمساعدة على جعل المجتمعات أكثر أماناً وسلامة، وأكثر صحة وأكثر رخاءً على مستوى العالم. وتعد RAND مؤسسة غير ربحية، ومؤسسة حيادية ملتزمة بخدمة الصالح العام.

لا تعكس منشورات مؤسسة RAND بالضرورة آراء وكلاء الأبحاث والرعاة التابعين لها.

ادعم مؤسسة RAND

يمكنك القيام بمساهمة خيرية معفية من الضرائب على الموقع الإلكتروني

[www.rand.org/giving/contribute](http://www.rand.org/giving/contribute)

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

لقد وفرت التقنيات الجديدة فرصاً هائلة لتحديث شبكة الكهرباء، والتي من شأنها أن تتيح اتصالات مُحسَّنة بين المستهلكين والمشغلين في مجالي النقل والتوزيع. وتُعرف طبقة الاتصالات هذه وما يرتبط بها من تقنيات تمكين والبنية التحتية اللازمة لتوفير الكهرباء جميعاً باسم الشبكة الذكية. ومن المُقدَّر أن تحقق الشبكة الذكية العاملة بكامل طاقتها منافع صافية كبيرة تعود على المجتمع من خلال القدرة على إدارة عمليات نقل الكهرباء وتوزيعها واستهلاكها بكفاءة أكبر، فضلاً عن إدراج ودمج تقنيات توليد الطاقة الموزَّعة إلى جانب مصادر متجددة ومتقطعة من الوقود. ومع ذلك، تشير بعض الأدلة إلى أنه إما أن هناك مبالغة في تقدير قيمة المنافع الصافية أو أن الحوافز لا تتماشى مع شركات المرافق والعملاء الحاليين من أجل تحديث الشبكة بالكامل.

يستعرض هذا التقرير الحالة الراهنة لتطوير الشبكة الذكية، بما في ذلك بعض فرص الأعمال التي تنشأ في هذا الخصوص والعوائق التي تعترض إجراء تحديث كامل للشبكة. ونحدد بعض التوصيات للمساعدة في التغلب على هذه العوائق، كما نتناول بالتفصيل المكونات والأدوات الداعمة للسياسة المتاحة للجهات التنظيمية في ظل المنظومة التنظيمية القائمة لتحفيز (أو تثبيط) عملية اعتماد أو استخدام الشبكة الذكية.

يشار إلى أن هذا البحث حظي برعاية معهد Kauffman-RAND للسياسة العامة لتنظيم المشروعات والأعمال (KRI)، والذي يقع مقره داخل معهد RAND للعدالة المدنية. ويختص معهد Kauffman-RAND للسياسة العامة للمشروعات بتقييم عملية وضع السياسات التنظيمية والقانونية وتطويرها وذلك فيما يتعلق بتنظيم الأعمال والمشروعات الصغيرة في الكثير من المجالات، والتي من بينها الرعاية الصحية والعدالة المدنية. يتضمن الجمهور المستهدف لهذا التقرير المهنيين المتخصصين في مجال الكهرباء، ومستهلكي الكهرباء، والباحثين وواضعي السياسات ممن يساعدون في تشكيل بيئة عمل سوق الكهرباء. وبصفة عامة، سيعود هذا التقرير بالفائدة على أي شخص أو مجموعة أشخاص يسعون إلى فهم العقبات التي تعترض تحديث الشبكة الكهربائية، فضلاً عن بعض الفرص المحتملة التي قد تتيح تجاوز هذه العقبات. وتأتي هذه الدراسة استكمالاً لبحث سابق أجرته مؤسسة RAND في إطار برنامج البيئة والطاقة والتنمية الاقتصادية التابع للمؤسسة، والذي يتناول موضوعات متعلقة بالجودة البيئية واللوائح التنظيمية الخاصة بذلك، إلى جانب أنظمة وموارد الطاقة والمياه والمناخ والكوارث والمخاطر الطبيعية والتنمية الاقتصادية، وذلك على الصعيدين المحلي والدولي. ويمكن الاطلاع على أبحاث سابقة تركز على موضوع الطاقة على الرابط <http://www.rand.org/topics/energy.html>.

### معهد Kauffman-RAND للسياسات العامة في ريادة الأعمال

يختص معهد Kauffman-RAND للسياسات العامة في ريادة الأعمال بتقييم عملية وضع السياسات وتطويرها فيما يتعلق بتنظيم المشروعات والأعمال. وقد يساعد تنظيم المشروعات والأعمال في التعامل مع المشكلات الحرجة وتعزيز القيمة في مجالات مهمة، من بينها الرعاية الصحية والعدالة المدنية، وذلك عن طريق تطوير طرق جديدة لخدمة الأشخاص الذين لم تتم تلبية احتياجاتهم بعد، أو التعامل بشكل أفضل مع الاحتياجات التي تجري تليبيتها أو القيام

بذلك بتكلفة أقل. ويسعى المعهد إلى تحسين فهم الطرق التي من خلالها تعزز السياسة العامة أو تعرقل المشروعات والأعمال التجارية الصغيرة. وقد تأسس المعهد في 2004 تحت اسم مركز Kauffman-RAND للتنظيم والأعمال التجارية الصغيرة بتمويل من مؤسسة Ewing Marion Kauffman Foundation. ويعمل المعهد على إثراء أبحاث RAND وتوسيع نطاقها في إطار مجموعة كبيرة من الموضوعات المتعلقة بالسياسات، بما في ذلك الصحة والعدالة المدنية والدفاع وقانون العمل وقانون المستهلك وتنظيم الأوراق المالية.

يعد المركز جزءاً من وحدة RAND للعدالة والبنية التحتية والبيئة، وهي قسم من أقسام مؤسسة RAND المتخصصة في تحسين السياسات وصناعة القرار على نطاق مجموعة كبيرة من مجالات السياسات، والتي من بينها العدالة المدنية والجنائية، وحماية البنية التحتية والأمن الوطني، والنقل، وسياسات الطاقة، وسياسات الموارد الطبيعية والبيئية.

يرجى إرسال أية أسئلة أو تعليقات حول هذا التقرير إلى المؤلف الرئيسي كريستوفر جيو (Christopher Guo) (Christopher\_Guo@rand.org)، أو رئيس المشروع، كرايج بوند (Craig Bond) (Craig\_Bond@rand.org). ولمزيد من المعلومات حول معهد Kauffman-RAND للسياسة العامة للمشروعات، يُرجى الرجوع إلى <http://www.rand.org/jie/centers/entrepreneurship.html> أو الاتصال بالمدير عبر (kri@rand.org).

iii	تمهيد
ix	الأشكال
xi	الملخص
xv	شكر و عرفان
xvii	الاختصارات

### الفصل الأول

1	مقدمة
1	البنية التحتية للكهرباء في الولايات المتحدة
2	الإمداد بالكهرباء
3	الطلب على الكهرباء
3	التنظيم في سوق الكهرباء
5	المشاكل والتحديات الرئيسية التي تواجه الشبكة الحالية
5	خطر الطلب
6	الفروق في أسعار البيع بالجملة والبيع بالتجزئة
6	دمج مصادر الطاقة المتجددة
7	استخدام التقنية للتغلب على المشكلات: الشبكة الذكية
9	أسئلة البحث
9	النهج
10	تنظيم هذا التقرير

### الفصل الثاني

11	نظرة عامة حول المنافع المحتملة للشبكة الذكية
11	المنافع المحتملة لجهات التوليد والإمداد
12	المنافع المحتملة التي تعود على الموزعين والمرافق
13	المنافع المحتملة التي تعود على المستهلكين
15	المنافع المحتملة لجميع المشاركين في السوق والمجتمع ككل
15	المنافع المحتملة الإجمالية للشبكة الذكية

### الفصل الثالث

	إمكانية تطوير أعمال ومشروعات ريادة الأعمال بفضل تقنيات الشبكة الذكية: الفرص والتحديات المتعلقة
17	بالاستفادة من البيانات الضخمة
17	وصف البيانات الضخمة الخاصة بالكهرباء
18	مشكلة التجزئة
18	الحلول القائمة على أجهزة
18	الحلول البرمجية

20	مشكلات في التجزئة
20	القيمة الاقتصادية للبيانات المجزأة
20	المستهلكون
21	المرافق والسياسات
22	المنافع خارج سوق الكهرباء
22	فرص الأعمال القائمة على بيانات الشبكة الذكية
23	مشاريع كفاءة الطاقة
23	تحسين البيانات

#### الفصل الرابع

25	الاستخدام العملي للشبكة الذكية: بعض الأدلة التجريبية
26	استجابة المستهلكين لهياكل التسعير البديلة
26	البرامج الإرشادية
27	الدراسات واسعة النطاق
28	مخاوف المستهلكين وتجاربهم السلبية
28	مجموعة مختارة من التجارب والمشكلات المتعلقة بالشبكة الذكية: دراسات حالة موجزة
28	SmartGridCity (مدينة الشبكة الذكية): بولدر، كولورادو
29	عملية تحديث الشبكة الكهربائية بولاية ماساتشوستس
30	ملخص بشأن الأدلة التجريبية

#### الفصل الخامس

33	شرح الأدلة: عوائق استخدام تقنية الشبكة الذكية
33	الحوافز التنظيمية المتعلقة بالعرض
37	نقص المعايير التقنية
38	التكاليف الملموسة بالنسبة للمستهلكين
38	التسعير على أساس الزمن الحقيقي ووقت الاستخدام وتكاليف المعاملات
39	المخاطر التي تهدد الخصوصية والصحة
40	العوائق التي تؤثر على البيانات الضخمة فيما يتعلق بالتقنيات والموظفين
41	تكاليف البنية التحتية للإرسال بين الولايات
41	تكاليف التوليد الموزع للطاقة
41	التكاليف المحتملة الإجمالية للشبكة الذكية

#### الفصل السادس

43	استخدام السياسة العامة للتشجيع على استخدام تقنية الشبكة الذكية
43	الأدوات المساعدة للسياسة المستخدمة لتحفيز الاستثمار في الشبكة الذكية
43	فرض الاستثمارات في الشبكة الذكية
43	الالتزام بتضمين استثمارات الشبكة الذكية في أساس السعر
44	زيادة المعدل المسموح به من العائد على رأس المال
44	تغيير عملية توزيع نفقات الاستثمار وتميرير وفورات التكاليف إلى المستهلكين
44	فصل الإيرادات عن المبيعات
45	تغيير إجراءات قضايا تحديد الأسعار
45	المبادئ العامة لتنظيم الشبكات الذكية

45	تحويل التركيز التنظيمي من تكاليف الاستثمار إلى المنافع الصافية للاستثمار
46	ضبط هياكل التسعير لتناسب مع التقنيات الجديدة
46	وضع سياسات تسعير فعالة للتوليد الموزع للطاقة
47	وضع معايير للشبكة الذكية وفرضها
47	التعرف على الاختلافات في الأنظمة الكهربائية المحلية
47	إدارة توقعات المستهلكين
48	الإلزام بالشفافية في جمع البيانات واستخدامها
48	الانتقال إلى حالة الاختبار التطلعي

#### الفصل السابع

49	الخاتمة
----	---------

53	قائمة المراجع
----	---------------



2	الشبكات الفرعية للنظام الكهربائي بأمريكا الشمالية	1-1
3	نظام توصيل الطاقة الكهربائية	2-1
4	استهلاك الكهرباء في القطاع السكني	3-1
8	تحليل مكونات الشبكة الذكية	4-1
14	نموذج لمنحنى توزيع يتعلق بالإمداد بالكهرباء	1-2
19	مثال على تجزئة البيانات	1-3
42	تكاليف الاستثمار المقدر لشبكة ذكية تعمل بكامل طاقتها	1-5



تشهد شبكات الكهرباء على مستوى العالم تحولات تنطوي على ترقيات لأنظمة التوزيع والنقل والتوليد الخاصة بها، والتي تكون بصورة أساسية في شكل تقنيات مراقبة واتصال تتيح المزيد من المعلومات الأكثر دقة حول حالة النظام عند أي نقطة في الوقت المناسب. وفي الولايات المتحدة، تُعرف هذه الطبقة من البنية التحتية للاتصالات المضمنة في المحطات والمحطات الفرعية وخطوط التوزيع والنقل التي تنقل الكهرباء وتوزعها بصفة عامة باسم الشبكة الذكية. وعلى الرغم من اختلاف المفاهيم حول ما قد أو ينبغي أن تكون عليه الشبكة الذكية تحديداً، فإن جميع الرؤى تتضمن فعلياً تشغيلاً أكثر آلية عند كل عقدة، مصحوباً بعمليات تشغيل وتوصيل بيانات بين جميع العناصر داخل النظام، بما في ذلك الموزعون والمشغلون القائمون على عملية النقل والمستهلكون.

قد توفر طريقة الاتصال ثنائي الاتجاه بين الشبكة والمستهلك عبر عدادات القياس الذكية معلومات حول استهلاك الطاقة بمقياس أكثر دقة مقارنة بأساليب القياس التقليدية، الأمر الذي يؤدي بشكل فعال إلى زيادة المرونة السعرية المتعلقة بالطلب وإتاحة أنظمة تسعير وتحديد معدلات أكثر كفاءة، مثل نظام التسعير الديناميكي على أساس الزمن أو الوقت الحقيقي. ومع وجود أسعار تعكس على نحو أكثر دقة التكاليف المتزايدة للإمداد بالكهرباء، يمكن تحسين الكفاءة الاقتصادية الإجمالية لنظام الكهرباء. ويحدث ذلك بشكل أساسي من خلال تقليل الأحمال في وقت الذروة بحيث لا يقتضي الأمر إدخال مصادر توليد الطاقة الأعلى تكلفةً في المجموعة المختلفة لمصادر التوليد، ومن خلال أيضاً تأجيل استثمارات البنية التحتية المكلفة التي يتم تمريرها في نهاية الأمر ليتحمل تكاليفها المستهلكون.

بالإضافة إلى ما سبق، هناك فرص لظهور أنشطة أعمال تتعلق باستخدام الشبكة الذكية في تطبيقات "البيانات الضخمة". ومن خلال تطبيق الأدوات التحليلية على قراءات العدادات الذكية، ستتمكن شركات المرافق ليس فقط من استخراج قيمة من تقديم حلول للحصول على كفاءة الطاقة، وإنما أيضاً من فهم عادات مستهلك الكهرباء واحتياجاته على نحو أفضل. وإذا تم التخفيف من حدة المخاوف المتعلقة بالخصوصية وتمكنت شركات المرافق من التغلب على العقبات التقنية المتعلقة بتنظيم كميات هائلة من البيانات، فحينها ستتمكن شركات المرافق ليس فقط من التحسين الأمثل لعملية تشغيل شبكة الكهرباء، وإنما أيضاً الانتقال إلى نموذج عمل لا تستفيد فيه من الكهرباء كسلعة فحسب، وإنما تحول أيضاً المعلومات لتكون بمثابة سلعة يمكن الاستفادة منها. وقد تتوفر فرص إضافية في قطاعات أخرى تتطلع إلى الاستفادة من هذا التدفق الجديد للمعلومات، مثل مصممي المباني وصانعي الأجهزة والمسوقين وحتى مسؤولي السلامة العامة.

تشير تقديرات المنافع الصافية للشبكة الذكية من منظور النظام العام والمجتمع ككل إلى أن جهود التحديث ستتحقق المخاطرة. فمن خلال تطبيق تقنيات التشغيل الآلي (الأمثلة الجديدة)، ستقوم الشبكة الذكية بدمج مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة للكهرباء (هدف بيئي ومتعلق بأمن الطاقة كثيراً ما يتم الاستشهاد به) والتوليد الموزع للطاقة بشكل أكثر سهولة. علاوة على ذلك، قد تؤدي قدرة مشغلي الشبكة على مراقبة النظام إلى تحقيق مكاسب تتعلق بالكفاءة من خلال الموازنة بين العرض والطلب على نحو أكثر دقة وخفض تكاليف القياس (المتعلق بالعدادات) وتقليل حالات ومدة انقطاع التيار الكهربائي.

على الرغم من المنافع الصافية المتوقعة، فإن وتيرة استثمارات الشبكة الذكية بدون وجود حوافز من الحكومة الفيدرالية (مثل منح الاستثمار في الشبكة الذكية [SGIGs] الفيدرالية التي تُقَم بموجب قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار لعام 2009 [قانون عام رقم 111-5]) لم تكن بالسرعة التي قد يتوقعها المرء. وعلى الرغم من أن منح الاستثمار في الشبكة الذكية وغيرها من البرامج قد أدت إلى زيادة وتيرة عمليات اعتماد واستخدام العدادات الذكية وغيرها من التقنيات، فإن هذه الحوافز ليست دائمة. فضلاً عن ذلك، عانى بعض المستهلكين وشركات المرافق من تجارب ليست إيجابية بالقدر الكافي عند استخدام تقنيات الشبكة الذكية. لذا، فإنه عندما ينتهي التمويل من خلال المنح سألفة الذكر، ستكون هناك شكوك كثيرة بشأن مسار وسرعة تطوير الشبكة الذكية.

بالتالي، فإننا من منظور مرتبط بالسياسات، نسعى إلى تحليل الأسئلة التالية:

- ما فئات المنافع المحتملة التي قد توفرها الشبكة الذكية لشركات المرافق ومستهلكي الكهرباء؟
- ما هي فرص الأعمال ومشروعات ريادة الأعمال التي من المحتمل أن تظهر في سياق مجال الشبكة الذكية؟
- إلام تشير الأدلة التجريبية بشأن مدى احتمال تحقق هذه المنافع المحتملة؟
- ما هي العقبات التقنية والاقتصادية والتنظيمية التي تؤدي إلى تقليل حجم هذه المنافع بالنسبة للمرافق والمستهلكين أو احتمال استخدام تقنيات وسياسات يمكن أن تولد هذه المنافع؟
- ما السياسات التي يمكن تنفيذها أو تغييرها للمساعدة في التغلب على العقبات التقنية والاقتصادية والتنظيمية المحددة؟

ولنتناول هذه الأسئلة، يستعرض هذا التقرير البحثي المواد المنشورة ذات الصلة بتطوير الشبكة الذكية ويحلل العقبات والفرص المحتملة المرتبطة بتحديث الشبكة. كما أننا نحدد المصادر الرئيسية للمنافع النظرية المحتملة ونحلل المنافع والتكاليف المحتملة لفرص الأعمال والمشروعات الناشئة المتعلقة بالشبكة الذكية، والتي تركز على تحليلات البيانات وتحويل المعلومات لتكون بمثابة سلعة يتم الاستفادة منها. بعد ذلك، نستعرض بإيجاز الأدلة التجريبية المتعلقة باستخدام تقنية الشبكة الذكية ونحلل الحوافز الاقتصادية الناتجة عن البيئة التقنية والاقتصادية والتنظيمية السائدة لدعم واستخدام تقنيات الشبكة الذكية فضلاً عن سياسات التسعير. ثم نناقش المكونات والأدوات الداعمة للسياسة التي يمكن استخدامها لتعزيز (أو تثبيط) استخدام الشبكة الذكية، ونقدم بعض المبادئ العامة التي يتعين على الجهات التنظيمية اتباعها.

تشير النتائج التي توصلنا إليها إلى أنه بالرغم من أن المنافع الصافية للشبكة الذكية تكون إيجابية عند النظر إليها من منظور اجتماعي، فهناك العديد من العقبات (أي التكاليف) التي تعترض استخدام هذه الشبكة، والتي قد تقلل من حجم المنافع الإجمالية وتخلق رابحين وخاسرين على حد سواء بين المستهلكين في المنازل وغيرهم من المستهلكين. ويمكن أن توفر الحلول التقنية على مستويي النقل والتوزيع (مثل زيادة القدرة على مراقبة النظام لاكتشاف المشكلات ودمج مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة) بعض المنافع لكل من شركات المرافق والمستهلكين على حد سواء (من خلال الوفورات التي يتم تمريرها إليهم في النهاية). وقد تكون هناك منافع كبيرة للغاية ناتجة عن الكفاءة المرتبطة بنظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي والاستجابة للطلب المدعومين بواسطة تقنيات الشبكة الذكية.

مع ذلك، ورغم أن الفرص والمنافع المحتملة والمتوقعة تشير إلى أن التطور نحو شبكة كهرباء حديثة أمر يستحق الجهد من المنظور الاجتماعي، فإن العقبات التنظيمية والاقتصادية أمام الاستخدام الطوعي لتقنيات الشبكة الذكية قد تعوق عملية التطوير بمجرد انقطاع التمويل الفيدرالي. وتتضمن هذه العقبات ما يلي:

- احتمالية أن يؤدي التسعير على أساس الزمن الحقيقي أو شبه الحقيقي المدعوم بواسطة الشبكة الذكية إلى ارتفاع أسعار فواتير الكهرباء لبعض المستهلكين، حتى وإن تمكن البعض الآخر من تحقيق وفورات
- زيادة التكاليف التي يتحملها المستهلك من جراء خدمة مراقبة أو رصد المعلومات، ومن ثم احتمالية شراء "أجهزة ذكية"

- احتمالية زيادة أسعار الكهرباء على المدى القصير للدفع نظير الاستثمار في البنية التحتية، إلى جانب مخاطر عدم تحقق المنافع المرجوة
- احتمالية عدم قدرة استثمارات الشبكة الذكية على استرداد التكاليف في إطار قضايا تحديد الأسعار
- المخاوف المتعلقة بتداعيات وضع قدر هائل من بيانات العملاء في أيدي جهات احتكارية مقيدة بضوابط تنظيمية
- نقص المعايير التقنية التي تجعل الاستثمار في التقنيات الجديدة أكثر خطراً
- عدم التوافق المحتمل بين الأهداف التنظيمية واستخدام تقنيات الشبكة الذكية
- وجود خلافات حول تحديد الأطراف التي يجب أن تتحمل في النهاية التكاليف الخاصة بعملية النقل باستخدام تقنيات الشبكة الذكية بسبب طبيعة نظام النقل ذي النفع العام.

للمساعدة في التغلب على هذه العقبات، نقدم التوصيات التالية المتعلقة بالسياسات:

- يتعين على الجهات التنظيمية استخدام دعائم تكون تحت تصرفها لتعزيز استخدام تقنيات الشبكة الذكية استناداً إلى مبدأ تعظيم المنافع الصافية للنظام (مقابل تقليل تكاليف الاستثمار فقط).
- يتعين على الجهات التنظيمية تطوير أنظمة تسعير تتسم بالكفاءة لتوليد الطاقة الموزعة، الأمر الذي ينعكس في النهاية في شكل منفعة (أو تكلفة) حدية صافية عامة للتوليد وإقرار استخدام نظام التوزيع كنوع من أنواع المنفعة العامة.
- يجب وضع معايير للأداء التقني على المستوى الفيدرالي للحد من الشكوك تجاه الاستثمار.
- يتعين على الجهات التنظيمية أن تدرك أن المنافع الصافية لتقنيات الشبكة الذكية قد تختلف من نظام فرعي إلى نظام فرعي آخر بسبب المتغيرات الخاصة بكل نظام، مثل مسارات الاستثمار السابقة ودرجة استجابة العملاء لأسعار الكهرباء.
- يتعين على الجهات التنظيمية وشركات المرافق أن تكون واقعية بشأن توزيع المنافع الصافية العائدة من حلول الشبكة الذكية، وتحديد مواضع الشك حيثما وجدت، وعدم المغالاة في وعودها للعملاء بشأن المنافع.
- يتعين على الجهات التنظيمية مطالبة شركات المرافق بوضع سياسات تتعلق بالخصوصية وتطبيقها على إدارة البيانات وطرح هذه السياسات وتشجيع شركات المرافق على الترويج لها لدى المستهلكين.
- يتعين على الجهات التنظيمية التفكير في إجراء حالات اختبارات تطلعية نظراً لأن البيانات السابقة لن تمثل بشكل كافٍ الوظائف الجديدة لشبكة مُحدّثة.



نتوجه بخالص الشكر إلى الزميلين دانييل إيجل (Daniel Egel) ونيكولاس برجر (Nicholas Burger) لما قدّمَا من مناقشات وتعليقات مفيدة بشأن هذا المشروع، كما نتقدم بالشكر لكل من جيمس دي باورز (James D. Powers) وميخائيل تومان (Michael Toman) لما بذلاه من مراجعة متأنية ودقيقة ساهمت في تحسين هذا التقرير بدرجة كبيرة للغاية. ونتوجه أيضاً بالشكر لكل من سوزان إم جيتس (Susan M. Gates) وكيث كرين (Keith Crane) لإتاحة الفرصة للبحث في هذا الموضوع ودعمهما طوال فترة تنفيذ هذا المشروع.



الجمعية الأمريكية للسرطان	ACS
البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم	AMI
قانون إعادة الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار لعام 2009	ARRA
الخطة الشاملة للقياس المتقدم للاستهلاك	CAMP
مصباح فلورسنت مضغوط	CFL
تسعير الذروة الحرجة	CPP
وزارة الطاقة الأمريكية	DOE
إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس	DPU
إدارة معلومات الطاقة الأمريكية	EIA
قانون استقلال وأمن إمدادات الطاقة لعام 2007	EISA
التداخل الكهرومغناطيسي	EMI
معهد أبحاث الطاقة الكهربائية	EPRI
مجلس موثوقية الكهرباء بولاية تكساس	ERCOT
لجنة تنظيم الطاقة الفيدرالية	FERC
مكتب المحاسبة الحكومي الأمريكي	GAO
جيجاواط	GW
أجهزة تكييف الهواء والتهوية والتدفئة	HVAC
معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات	IEEE
مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة	IRES
مشغل النظام المستقل	ISO
تقنية معلومات	IT
كيلوواط في الساعة	kWh
إدارة الإضاءة البلدية في مربلهد (Marblehead)	MMLD

المختبر الوطني لتقنيات الطاقة	NETL
المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا	NIST
أوكلاهوما للغاز والكهرباء	OG&E
شركة المحيط الهادئ للكهرباء والغاز	PG&E
الخصم في أوقات الذروة	PTR
الفولتوضوئية	PV
معيير حافظة مصادر الطاقة المتجددة	RPS
هيئة نقل إقليمية	RTO
نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي	RTP
منحة استثمار في الشبكة الذكية	SGIG
وقت الاستخدام	TOU

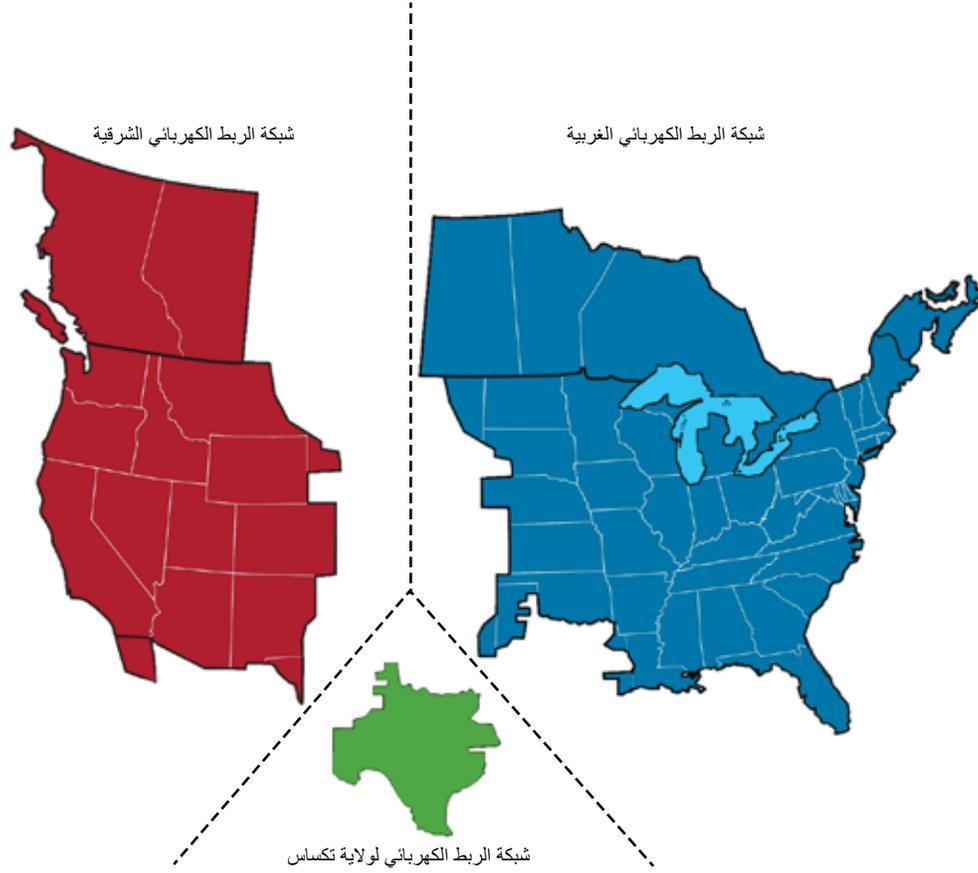
تم تطوير شبكة الطاقة القديمة بالولايات المتحدة بهدف توفير خدمة كهربائية تكاد تكون شاملة للعملاء في جميع أنحاء البلاد. وهي تعتمد على نظام يتألف من جهات توليد لامركزية تعمل على تزويد نظامي النقل (جهد عالٍ) والتوزيع (جهد منخفض) بالكهرباء في تدفق أحادي الاتجاه من الجهة المولدة إلى المستهلك. وفي ضوء السمات الاحتكارية الطبيعية التي تميز نظام التوزيع، يُنظَّم الإمداد بالكهرباء على مستوى التجزئة في العادة، حيث لا يواجه المستهلكون نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي (RTP) الذي يعكس التكلفة الحدية الحقيقية للتوصيل. ونظراً لتعذر تخزين الكهرباء وتقلب مستوى الطلب على مر الوقت، ستكون النتيجة هي عدم الكفاءة الاقتصادية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن العوامل الخارجية السلبية المرتبطة بالإمداد بالكهرباء المعتمدة على الوقود الحفري تمثل مصدراً آخر للتكاليف الاجتماعية المتزايدة، وقد تسببت في إنشاء معايير حافظة مصادر الطاقة المتجددة (RPS) التي تفرض توليد الطاقة من الرياح والشمس ومصادر أخرى. وعلى الرغم من هذا، فإنه من الصعب دمج هذه المصادر في الشبكة القديمة. يتناول هذا الفصل مقدمة إلى شبكة الكهرباء القديمة بالولايات المتحدة، بما في ذلك البنية التحتية والهيكل التنظيمية المستخدمة في سوق الكهرباء. وفي هذا الإطار، فإننا نوثق التحديات الرئيسية التي تواجه الشبكة الحالية ونقدم مفهوم الشبكة الذكية التي تم اقتراحها للتغلب على هذه التحديات.

### البنية التحتية للكهرباء في الولايات المتحدة

تتكون الشبكة الكهربائية في الولايات المتحدة من ثلاث شبكات فرعية مستقلة تقريباً تُعرف باسم شبكة الربط الكهربائي الشرقية (Eastern Interconnection) وشبكة الربط الكهربائي الغربية (Western Interconnection) ومجلس موثوقية الكهرباء بولاية تكساس (ERCOT)، أو شبكة الربط الكهربائي بولاية تكساس (انظر الشكل 1-1). وقبل مرحلة بدء التحرر من القيود التنظيمية في تسعينيات القرن الماضي، كانت الشبكات الفرعية عبارة عن أنظمة متكاملة رأسياً تتألف من جهات التوليد ومرافق النقل والتوزيع. وقد أدى التحرر من القيود التنظيمية بشكل أساسي إلى الفصل بين وظائف التوليد والنقل والتوزيع بالشبكة على الصعيد المشترك بين الولايات، وتم إنشاء عدد من مشغلي الأنظمة المستقلين (ISOs) لإدارة البنية التحتية لعملية النقل ([GAO، U.S. Government Accountability Office]، 2008). وقد أدى إنشاء هيئات نقل إقليمية (RTOs) إلى رفع مستوى تطوير سوق الجملة التنافسي (GAO، 2008). وهناك حالياً ست هيئات نقل إقليمية تديرها لجنة تنظيم الطاقة الفيدرالية (FERC)، مع وجود هيئة سابعة (وهي مجلس موثوقية الكهرباء بولاية تكساس "ERCOT") تديرها ولاية تكساس (GAO، 2008). ومع ذلك، فإنه بعد ظهور أزمة الطاقة في ولاية كاليفورنيا وانهيار شركة Enron في بداية العقد الأول من الألفية الجديدة، تباطأت عملية التحرر من القيود التنظيمية في مجال التجزئة، وتم الحفاظ على نموذج احتكاري يخضع للقيود التنظيمية المحلية (مرفق عام) ويتولى مسؤولية إمداد معظم العملاء بالكهرباء.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ومع ذلك، هناك استثناءات عبر الولايات وفئات العملاء (Joskow، 2008).

الشكل (1-1)  
الشبكات الفرعية للنظام الكهربائي بأمريكا الشمالية



المصدر: وزارة الطاقة الأمريكية (DOE)، غير مؤرخ.

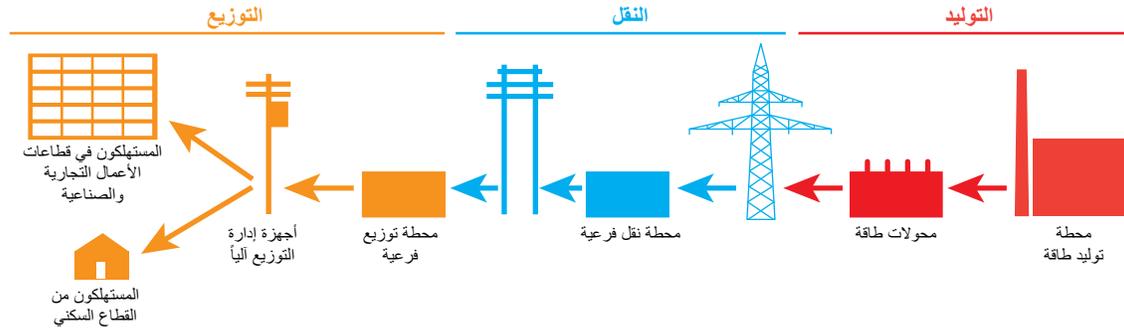
RAND RR717-1.1

## الإمداد بالكهرباء

تخدم الشبكة الكهربائية في الولايات المتحدة جميع السكان تقريباً، حيث توفر الطاقة الكهربائية لما يصل إلى 144 مليون عميل عبر نحو 60000 محطة فرعية و600000 دائرة توزيع (Resnick Institute، 2012). توفر جهات التوليد الطاقة الكهربائية من خلال مجموعة متنوعة من التقنيات، وهي تغذي شبكة النقل ذات الجهد العالي بالكهرباء، ومن ثم تنقل هذه الشبكة الكهرباء عبر مجموعة من المحولات التي "تخفّض بشكل تدريجي" الجهد بحيث تصبح الكهرباء مناسبة للاستهلاك على مستوى التجزئة (U.S. Energy Information Administration [EIA]، 2014a). ويتحمل الموزعون، وهم في العادة عبارة عن شركات مرافق مملوكة للمساهمين أو تُدار من قبل السلطة البلدية، المسؤولية فيما يخص توفير الطاقة للمستهلكين في المجال الصناعي والتجاري والمنزلي.<sup>2</sup> وما يضمن التنسيق عبر الشبكة الكهربائية المترابطة هو وجود نظام من المعايير الاختيارية التي وُضعت بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية (EIA، 2013b). انظر الشكل (2-1) للتوضيح.

<sup>2</sup> يشير جوسكو (Joskow) (2002) إلى أن الموزعين يقومون أيضاً بمهام تتعلق بالبيع بالتجزئة، بما في ذلك شراء الطاقة من جهات التوليد والقياس والفوترة وغيرها من المهام. (تستطيع عناصر أخرى في سلسلة الإمداد القيام بهذه المهمة، ولكن الموزعين هم الجهات الفاعلة الرئيسية في هذا الدور). وفي هذا التقرير، سنجمع هذه المهام المتعلقة بالموزعين (شركات المرافق).

## الشكل (2-1) نظام توصيل الطاقة الكهربائية



المصدر: Byrne، 2010.  
RAND R717-1.2

ولا يمكن تخزين الكهرباء أو حصرها بطريقة اقتصادية، مما يجعلها السلعة الأساسية "المتوفرة حسب الحاجة" (Joskow، 2002). وقد يتسبب عدم التوازن بين العرض والطلب في عواقب وخيمة، مثل انقطاع التيار الكهربائي أو حتى انهيار كبير في النظام. بالإضافة إلى ذلك، لا يكون هناك أي اتصال مباشر بين جهة التوليد والمستهلك، مع ربط العرض والطلب من خلال شبكات النقل والتوزيع. وهذه الشبكات المادية يمكن أن تصبح مزدحمة بشكل مفرط، وهو ما يعني أن القيود المادية للنظام تتطلب توزيعاً لطاقة يتم توليدها بتكلفة أعلى، والتي لن تُستخدم بالضرورة عند غياب القيود (Lesieutre و Eto، 2003). وتتسبب هذه العوامل الخارجية السلبية في تكاليف حدية مختلفة فيما يتعلق بإمداد الطاقة إلى كل عقدة في الشبكة.

### الطلب على الكهرباء

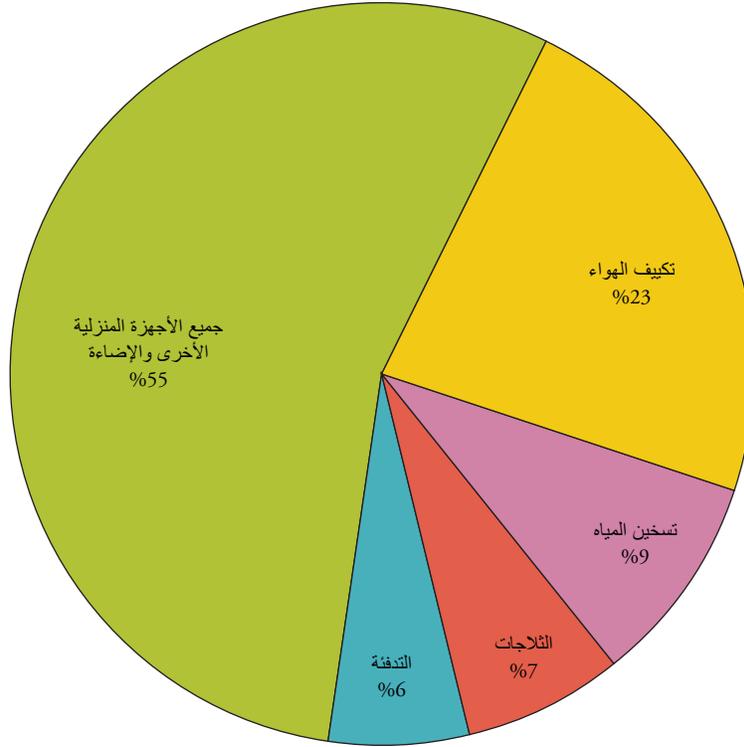
في الوقت الحالي، تُقسَّم الكهرباء التي يتم استهلاكها في الولايات المتحدة تقريباً بالتساوي عبر ثلاثة قطاعات رئيسية تتمثل في: القطاع السكني والتجاري والصناعي (EIA، 2013c). وتُستهلك نسبة صغيرة نسبياً من الكهرباء في قطاع رابع، وهو قطاع النقل، حيث تُستخدم بشكل أساسي لتشغيل القطارات والسيارات الكهربائية. يقدم الشكل (1-3) لقطة توضيحية لاستعمال الكهرباء داخل منزل.

ولا يحتاج مستهلكو الكهرباء مستوى ثابت يمكن التنبؤ به من الكهرباء. وتشمل العوامل المحفزة للطلب على الكهرباء أحوال الطقس واللوائح التنظيمية المعززة لكفاءة الطاقة وظروف الاقتصاد الكلي والتفضيلات الشخصية. وتؤدي درجات الحرارة الحارقة خلال الصيف ودرجات الحرارة شديدة الانخفاض في فصل الشتاء إلى زيادة الطلب على الكهرباء، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات يومية وموسمية في الطلب. وتتسبب الخدمات التي لا تتم الاستفادة منها إلا بشكل متقطع طوال اليوم (مثل الإضاءة) في حدوث تغيرات في الطلب من ساعة إلى ساعة وحتى من ثانية إلى أخرى، على الرغم من أن الأنماط اليومية مستقرة إلى حد ما.

### التنظيم في سوق الكهرباء

على مستوى التوزيع، يشتري معظم المستهلكين (في القطاعات السكنية والتجارية والصناعية) الكهرباء من موردين محتكرين يُعرفون باسم شركات المرافق (Joskow، 1997). وقد تكون هذه المرافق مملوكة لمستثمر أو قد تكون مملوكة للبلديات أو قد تعمل كهيئات تعاونية. وبموجب القانون، يجب أن توفر المرافق الكهرباء للعملاء داخل مناطق

### الشكل (3-1) استهلاك الكهرباء في القطاع السكني



المصدر: EIA، 2014b.  
RAND R717-1.3

الخدمة الخاصة بهم طبقاً للالتزامات الخدمة الشاملة، فضلاً عن التخطيط للاستثمارات المستقبلية (Joskow، 1997؛ Crew و Kleindorfer، 2002؛ Tomain، 2002).

وبالنظر إلى وضع المرافق كجهات احتكارية طبيعية (حيث ستكون تكاليف إمداد السوق بالكهرباء أقل مقارنة بما يحدث مع مورد واحد)، فإن عملها يُنظَّم من خلال لجان حكومية تابعة للولاية مسؤولة عن تحديد الأسعار (Tomain، 2002). ويعتمد الأساس المنطقي للتنظيم على الحقائق التي تشير إلى أن بعض الصناعات تشكل جزءاً كبيراً من البنية التحتية التي تمثل على نحو فريد مطلباً ضرورياً للنمو الاقتصادي، وأنه يمكن اعتبار تكاليف هذه البنية التحتية بمثابة إشكالية كبيرة قبل الالتزام بالمستويات الإيجابية للإنتاج، مما يؤدي إلى خلق حواجز أمام الدخول إلى هذا المجال (Kahn، 1970؛ Joskow، 2007).

في هذا الإطار، تنظم لجان المرافق العامة الأسعار بصورة مباشرة أو غير مباشرة، وذلك شريطة المحافظة على استمرارية عمل المرفق. وهذا يحدث من خلال تحديد مستوى الأسعار وهيكلها على حد سواء. ويتحول مستوى سعر الكهرباء أو سعر التجزئة الخاص بها ليصبح ضمن إجمالي الإيرادات والأرباح التي يحققها المرفق. كما أنه يحدد إجمالي صافي المنافع المتعلقة باستهلاك الكهرباء بالنسبة للمستهلكين. وفي العادة، توافق الهيئة التنظيمية على الاستثمارات الرأسمالية أو الاتفاقيات التعاقدية الخاصة بالمرفق. هذا وتُحدد الأسعار (على أساس التكلفة المستهلكة) بحيث يستطيع المرفق استرداد التكاليف المسموح بها وكسب نسبة معقولة من العائد على أساس معدل رأس المال؛ أي أن الأسعار تكون عادلة ومعقولة وغير تمييزية بدون مبرر (Joskow، 1997، 2007؛ GAO، 2008).

وتأخذ دعاوى تحديد الأسعار شكل جلسة استماع شبه قضائية تتم الموافقة خلالها على الاستثمارات والأسعار. وفي حالة تمرير جميع النفقات إلى المستهلكين، سيتحمل المستهلكون جميع تكاليف الاستثمار في نهاية الأمر، ولكنهم

يستفيدون من الوفورات الحادثة في تكاليف التشغيل التي يتم إنشاؤها (مع افتراض تمرير هذه الوفورات كذلك). ويُعرف هذا النوع من الهيكل التنظيمي في سوق الكهرباء باسم تنظيم معدل العائد التقليدي، أو تنظيم التكلفة مضافاً إليها ربح معين.

خلال الفترة الأولى من عملية الإمداد بالكهرباء، يضمن هذا الهيكل التنظيمي تطويراً كافياً للبنية التحتية وحماية المستهلكين عموماً من الأسعار الاحتكارية (Tomain، 2002). ومع ذلك، فإنه بمجرد توفير رأس المال اللازم، لم يقدم النظام أي حافز للمرافق يدفعها للابتكار للحد من التكاليف، وإن كان قد قدم حافزاً على تنمية القدرات والإمكانيات بشكل يفوق المطلوب (Tomain، 2002؛ Gilbert و Newbery و Joskow، 1994؛ 2007).<sup>3</sup> وفي استجابة لذلك، تم تطوير أنظمة مختلفة لتنظيم الحوافز. يفصل تنظيم الحوافز إجمالي الإيرادات عن التكاليف، خلافاً لأي نظام يتم تحديد الأسعار فيه صراحة لتغطية التكاليف المتوقعة. وتشمل الأمثلة السماح بسعر ثابت لا يتغير بتغير التكاليف وأنظمة يكون فيها سقف للأسعار. ومن هنا، يدفع تنظيم الحوافز الشركات للحد من التكاليف ولكن مع مواجهة مخاطر عدم ضمان تغطية التكاليف إذا لم يتم تعيين أسعار مرتفعة بشكل كافٍ ويسمح بعوائد (أو أرباح) إيجابية للمرافق (Guthrie، 2006؛ Joskow، 2014). كما أنه من الممكن أيضاً استخدام الأنظمة الهجينة، حيث يتم تمرير جزء من تكاليف التشغيل والاستثمار للمستهلكين من خلال أساس السعر.

ويتضمن نموذج آخر المنافسة على مستوى البيع بالتجزئة. وبموجب هذا النظام، يشارك العملاء مباشرة في سوق الجملة، مع توفير الموزعين لخدمات الوصول والفوترة (Joskow، 1997). وقد ساهمت تجربة كاليفورنيا السلبية في بداية العقد الأول من الألفية الجديدة، والتي تسببت في رفع أسعار الكهرباء إلى مستويات عالية جداً مصحوبة أيضاً بانقطاع متكرر للكهرباء، بشكل كبير في الحد من المنافسة في مجال التجزئة في الولايات المتحدة. وفي مرحلتها الأولى والتوليد والنقل، يحدث التنظيم أساساً على المستوى الفيدرالي. وقد ركزت جهود الإصلاح التي بُدلت في نهاية القرن العشرين على مدى قدرة المنافسة القائمة بين جهات توليد الكهرباء على مستوى البيع بالجملة على زيادة كفاءة وظائف توليد الكهرباء ومن ثم تمرير الوفورات إلى المستهلكين من خلال شركات المرافق العامة (Joskow، 1997).

ونتيجة لذلك، يتميز هيكل قطاع التوليد بالقدرة على المنافسة في كثير من المجالات، مع مواجهة المشترين بالجملة لنظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي، في حين اتجهت أسواق البيع بالتجزئة (التوزيع) للعمل في إطار الهياكل التنظيمية اللازمة لمنهج التسعير بإضافة ربح معين للتكلفة.

### المشاكل والتحديات الرئيسية التي تواجه الشبكة الحالية

هناك خصائص رئيسية ثلاث لسوق الكهرباء الحالية يمكن أن يسهم تحديث الشبكة في تحسينها، وتتمثل في (1) خطر الطلب من وجهة نظر المرفق، و(2) الفروق بين أسعار البيع بالجملة وأسعار البيع بالتجزئة، و(3) صعوبة دمج مصادر الطاقة الكهربائية المتقطعة المتجددة في الشبكة الحالية. وسناقش كلاً من هذه الخصائص بدورها بإيجاز.

#### خطر الطلب

نظراً لأن طلب المستهلكين متغير ولا يمكن التنبؤ به، تواجه المرافق خطر الطلب. ويمكن تعريف خطر الطلب بأنه الشك بشأن ما إذا كانت الكهرباء المتعاقد عليها كافية لتلبية مطالب التحميل الكهربائي. ويتحدد العرض في النظام من خلال نظام توزيع يتم من خلاله تشغيل محطات طاقة وإيقاف تشغيلها، مع توزيع محطات الطاقة ذات التكلفة (الحدية) الأقل بصفة عامة أولاً. بالإضافة إلى ذلك، يتم الاحتفاظ "بدوران" بعض مصادر الطاقة الاحتياطية من أجل تحقيق استجابة سريعة للزيادات في الطلب. وتكون النتيجة النهائية هي وضع أسعار جملة متفاوتة على نطاق واسع على مر

<sup>3</sup> تحدث هذه المشاكل، على وجه الخصوص، في ظل وجود سوء اختيار ومخاطر أخلاقية. وتحدث الحالة الأولى بسبب التباين في المعلومات بين الشركة والجهة المنظمة فيما يتعلق بالمستوى الحقيقي للتكاليف. وتحدث الحالة الثانية بسبب الارتباط الإيجابي بين ربحية الشركة والجهد الإداري، والذي يُضعف الحافز نحو تخفيض التكاليف.

الوقت؛ وذلك يرجع إلى الطلب المتغير الذي لا يمكن التنبؤ به، وعدم القدرة على تخزين الكهرباء بكفاءة على نطاقات واسعة، بالإضافة إلى توزيع مصادر مختلفة للطاقة المتولدة لتلبية المستويات المختلفة للطلب. وفي حالة عدم القدرة على مطابقة العرض والطلب، قد يصبح النظام غير فعال.

#### الفروق في أسعار البيع بالجملة والبيع بالتجزئة

تواجه غالبية المستهلكين في القطاعين السكني والتجاري صغير الحجم أسعاراً ثابتة لا تتغير مع الزمن للبيع بالتجزئة لكل كيلو واط في الساعة (كيلو واط/ساعة)؛ أي أن الأسعار لا تتغير في الزمن الحقيقي وفقاً للطلب على نطاق النظام.<sup>4</sup> ونتيجة لذلك، لا تعكس أسعار التجزئة التكلفة الحدية (الهامشية) لتوليد الكهرباء وتوزيعها، ولكنها تعكس، بدلاً من ذلك، متوسط التكاليف في ضوء استثمارات رأس المال السابقة والعقود الموقعة (Joskow، 1997). ويؤدي عدم التطابق بين أسعار البيع بالجملة المتغيرة بشكل ديناميكي وأسعار البيع بالتجزئة التي لا تتغير على حسب الوقت إلى انعدام الكفاءة.

وعندما يواجه مستهلكو الكهرباء أسعار تجزئة لا تعكس التكاليف الحدية لتوليد الكهرباء، فإنهم سوف يفشلون في التوفير عندما تكون التكاليف الحدية أعلى من أسعار البيع بالتجزئة (أثناء فترات ذروة حمل الطلب)، وسيوفرون الكثير عندما تكون التكاليف الحدية أقل من أسعار البيع بالتجزئة. وتؤدي هذه الاختلافات في معدلات الاستهلاك إلى انحرافات في الاستثمار المتعلق بتوليد الطاقة والاستخدام بما يتناسب مع ما يعد الأمثل من منظور المجتمع (Joskow و Wolfram، 2012). وعلى الرغم من طرح فكرة التغيير من التسعير الثابت الذي لا يتغير حسب الوقت إلى التسعير على أساس الزمن الحقيقي المرتبط بالتكلفة الحدية قبل أكثر من 50 عاماً، فإن التطبيق العملي لهذه الفكرة قد تأخر (J. Nelson، 1964؛ Turvey، 1968؛ Steiner، 1957). وتشمل الأسباب المقترحة تكلفة تركيب البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم "عدادات القياس المتطورة" (AMI) بالإضافة إلى المخاوف (من الجهات التنظيمية والمرافق على حد سواء) من أن يتفاعل المستهلكون بشكل سلبي مع ارتفاع الأسعار في وقت ذروة الطلب (Faruqui و Sergici، 2010؛ Costello، 2004).

بالإضافة إلى ذلك، يختلف سعر التجزئة للكهرباء عبر مراحل التوزيع (المحلي) بسبب الاختلافات التي تواجه المستهلك في الهيكل التنظيمي، والذي يتكون من عناصر التوليد والنقل والتوزيع. كما تختلف الأسعار حسب نوع المستهلك وطبيعة العمليات التجارية. وتصل الأسعار لأعلى مستوياتها بالنسبة للمستهلكين في القطاع السكني والتجاري بسبب زيادة تكاليف التوزيع وتكلفة توفير الخدمة دون انقطاع. وتفرض اللوائح التنظيمية الإضافية أن تشتري المرافق الطاقة من مصادر الوقود المتجددة، وتساهم جهات التوليد المشتركة في التفاوت بين التكاليف الحدية والأسعار (Joskow، 1997).

#### دمج مصادر الطاقة المتجددة

تشمل الموارد المتجددة المستخدمة في توليد الكهرباء الرياح والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الشمسية والكتلة الحيوية وبعض أنواع الطاقة الكهرومائية وبعض المصادر الثانوية الأخرى (EIA، 2012a). وعلى مستوى الدولة، فإنه في عام 2012، ساهمت مصادر الطاقة المتجددة في توليد نسبة 12.4% من إجمالي الطاقة الكهربائية (EIA، 2013b).<sup>5</sup> ومنذ يناير 2012، امتلكت 30 ولاية ما يسمى بمعايير حافظة مصادر الطاقة المتجددة (RPSs)،

<sup>4</sup> في بعض الحالات، قد يختار المستهلكون القياس المتعلق بوقت الاستخدام (TOU) أو قياس وقت الاستخدام اليومي الموسمي، الأمر الذي يفرض أسعاراً مختلفة محددة مسبقاً خلال فترات ذروة حمل الطلب وخارج هذه الفترات. وقد اكتشفت دراسة استقصائية تحمل العنوان FERC 2010 أن 1% فقط من العملاء في القطاع السكني كانوا يتعاملون بنظام الأسعار حسب وقت الاستخدام (FERC، 2011).

<sup>5</sup> وتشمل هذه النسبة المنوية المصادر الكهرومائية التقليدية (مثل السدود). وقد احتلت الطاقة الكهرومائية التقليدية نسبة 55% من إجمالي توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة (بمقياس كيلو واط/ساعة). بينما توزعت النسبة المتبقية من توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة على الرياح (28%) الحطب والكتلة الحيوية الأخرى (7%) والنفايات المحلية (4%) والطاقة الحرارية الأرضية (3%) والطاقة الشمسية، والتي لا تتضمن أنظمة الطاقة الشمسية الفولتوضوئية (الكهروضوئية) المنفصلة عن الشبكة (2%).

وهي تُعرف أيضاً بمعايير الطاقة الكهربائية المتجددة، والتي تفرض توليد نسبة مئوية معينة من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة، بينما لم يكن لدى سبع ولايات أخرى أهداف ملزمة (EIA، 2012a). ونظراً لأن الجانب الرئيسي لتوليد الكهرباء من الموارد المتجددة فيما يتعلق بشبكة الكهرباء يتمثل في الطبيعة المتقطعة لعملية إمداد النظام عالي الجهد بالكهرباء، سُميت الموارد المتجددة لتوليد الكهرباء باسم "مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة" (IRESs). وخلافاً للوقود الحفري التقليدي أو مصادر الطاقة النووية، لا تنشئ مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة تدفقاً مستمراً للتيار عبر الشبكة؛ وإنما بدلاً من ذلك، فإنها لا تنتج الكهرباء إلا في ظروف بيئية معينة (على سبيل المثال، عندما تهب الرياح أو عندما تشرق الشمس). يخلق التباين مشكلة نظراً لعدم إمكانية التحكم في التدفقات الداخلة إلى النظام (Resnick Institute، 2012). وقد يتسبب عدم إمكانية التحكم (عن طريق الإدارة البشرية) بمساعدة الكمبيوتر، كما تُدار الشبكة حالياً) في خلق مشاكل متعلقة باستقرار الإمداد بالكهرباء في الشبكة، مما يؤدي إلى زيادة احتمال الفشل في تلبية كل الطلب المتعلق بالحمل الكهربائي بالنظام أو حدوث انقطاعات أسوأ داخل هذا النظام (على سبيل المثال، انخفاض الجهد الكهربائي المتكرر أو انقطاع الكهرباء على مستوى المناطق). وتحدث هذه المشاكل بالنسبة لكل من المصادر المتجددة واسعة النطاق على مستوى النقل وأنظمة التوزيع الأصغر نطاقاً المصممة لتوفير الطاقة لعميل واحد أو أكثر على المستوى المحلي.

### استخدام التقنية للتغلب على المشكلات: الشبكة الذكية

توفر عمليات التطوير في الرصد والاتصال والتقنيات الأخرى (مثل العدادات الذكية والبنية التحتية الداعمة) الوسائل المطلوبة ليتعرف مزودو الخدمة على الحالة الفنية العامة للشبكة الكهربائية وظروف الطلب مع توفير القدرة للأفراد للتعرف على استهلاكهم للكهرباء (ومن ثم ربما ضبطه). وقد تتيح نفس هذه التقنيات إنشاء مخططات أسعار على مستوى البيع بالتجزئة أكثر تطابقاً مع التكاليف الحدية المتفاوتة للإمداد بالطاقة، والتي ينبغي، من حيث المبدأ، أن تؤدي إلى زيادة الكفاءة التخصيصية بشكل شامل في سوق الكهرباء.<sup>6</sup>

علاوة على ذلك، وفي ضوء توفير حوافز إضافية فيما يتعلق بالسياسات المتبعة على المستوى الفيدرالي ومستوى الولايات لدمج تقنيات مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة لتوليد الكهرباء كاستجابة للمخاوف المتعلقة بحرق الوقود الحفري، فإنه يمكن استخدام العديد من هذه التقنيات نفسها المتعلقة بالرصد والاتصال لدمج المصادر المتقطعة للطاقة الكهربائية بشكل أكثر كفاءة في الشبكة بطريقة موفرة للتكلفة أو توفير القدرة على توليد فائض من الطاقة الكهربائية من المصادر المحلية الموزعة لتُباع إلى الموزعين مرة أخرى. وإجمالاً، يمكن أن تساعد هذه التقنيات في تحويل الشبكة القديمة إلى شبكة ذكية.

وعلى المستوى الوظيفي، تشير الشبكة الذكية إلى عملية تحديث لنظام توصيل الكهرباء للسماح بزيادة التشغيل الآلي في نظام تشغيل الشبكة في كل عقدة تقريباً، بما في ذلك تسهيل عمليات نقل البيانات والتشغيل بين جميع عناصر أو عوامل النظام، والتي تشمل جهات التوليد ومشغلي النظام والمستهلكين النهائيين

<sup>6</sup> وتشير الكفاءة التخصيصية إلى العلاقة بين المنافع التي تعود على المستهلكين والمنتجين من استهلاك الكهرباء وتكاليف الإمداد بها. ويتم السوق بالكفاءة إذا تم تعظيم المنافع الصافية الإجمالية الموافقة لكمية الطاقة المستهلكة لتصل إلى أقصى حد لها. من وجهة نظر اجتماعية، تشمل المنافع والتكاليف كل القيم غير المرتبطة بالسوق، مثل التلوث.

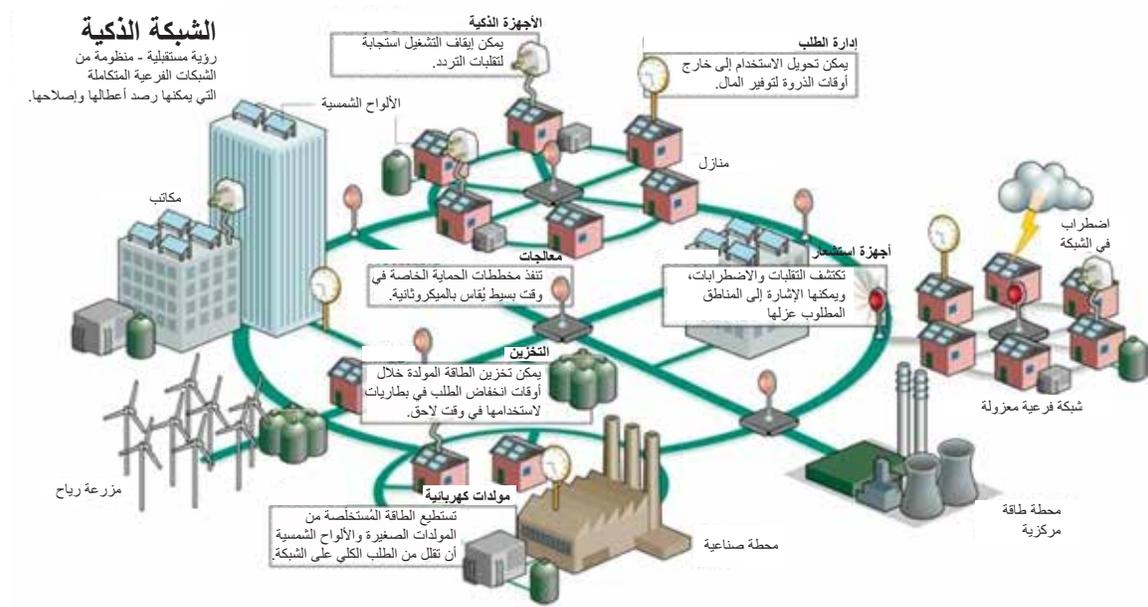
(EPRي، 2011؛ Joskow، 2012). وقد حدد المختبر الوطني لتقنيات الطاقة (NETL) خمس فئات من أنظمة الشبكة الذكية لوصف هذا التحديث (GAO، 2011):

- 1- الاتصالات المتكاملة، بما في ذلك اتصالات النطاق العريض والاتصالات اللاسلكية بين وداخل الأجهزة والمنازل والمكاتب والمصانع؛ وغير ذلك من العناصر
- 2- مكونات الشبكة المتقدمة لتحسين أداء النظام، بما في ذلك الأجهزة الذكية كجزء من الشبكة (مثل المفاتيح، والمحولات)، بالإضافة إلى أجهزة التخزين والشبكات الصغيرة في مرحلة الطلب النهائي<sup>7</sup>
- 3- طرق التحكم المتقدمة، بما في ذلك الطرق التي تعمل بشكل آلي فيما يتعلق بالتوزيع وتحديد مواقع الأعطال الفعلية أو المحتملة ومن ثم إصلاحها
- 4- تقنيات الاستشعار والقياس التي تتيح تدفق المعلومات من مكونات الشبكة المادية إلى مشغلي النظام والمستهلكين
- 5- الواجهات المحسنة ودعم اتخاذ القرار، والتي تنظم المعلومات في البند 4.

إن فئات الأنظمة هذه غير مستقلة بالضرورة عن بعضها البعض، ولكنها بدلاً من ذلك تتطلب الاعتماد المتبادل على بعضها البعض. ويقدم الشكل (4-1) مثالاً توضيحياً على كيفية عمل الشبكة الذكية فضلاً عن كيفية تفاعل مختلف مكوناتها مع بعضها البعض.

يؤثر تطوير هذه التقنيات المختلفة ونشرها واستخدامها على مجموعات عديدة بطرق مختلفة. على سبيل المثال، تتأثر الشركات المصنعة في قطاع الطاقة بالتحول في الطلب على التقنيات الجديدة. وتحتاج المرافق الكهربائية إلى

الشكل (4-1)  
تحليل مكونات الشبكة الذكية



المصدر: Marris، 2008. تم الاستخدام بتصريح.

RAND RR717-1.4

<sup>7</sup> عادة ما تتضمن الشبكة الصغيرة موارد التوليد الموزع وعناصر التحكم الذكية التي تمكنها من العمل جنباً إلى جنب مع الشبكة الرئيسية وأيضاً على نحو منفصل عنها. في تكوين الشبكات الصغيرة، يستطيع العملاء شراء الطاقة مباشرة من شركات المرافق وأيضاً من عملاء آخرين في الشبكة الصغيرة نفسها [كينج، King، 2006].

إيجاد السبل اللازمة لترقية أنظمتها القديمة اقتصادياً. ويواجه المستهلكون قرارات حول ما إذا كانوا سيستخدمون التقنيات الحديثة الناشئة وإلى أي مدى سيستخدمونها.

وقد كشفت دراسات مختلفة (مثل EPRI، 2011؛ SmartGrid Consumer Collaborative، 2013) أن إجمالي النسبة المحتملة للتكاليف إلى المنافع المرتبطة بتطوير الشبكة الذكية إلى جانب استخدام سياسات تسعير ديناميكية تدعمها الشبكة الذكية من المتوقع أن تكون أعلى بكثير من 1، مما يشير إلى الحصول على منافع مجتمعية صافية كبيرة من تحديث الشبكة إلى جانب إحداث تغييرات في مخطط الأسعار. وتعتمد هذه الدراسات على توقعات مسبقة لآثار التقنيات الجديدة على ظروف العرض والطلب، وتفترض أن الأطراف الفاعلة الأساسية تستخدم هذه التقنيات. ومع ذلك، فإنه على الرغم من التوقعات بالحصول على منافع أو عوائد صافية كبيرة من تطبيقات الشبكة الذكية (انظر الفصل الثاني)، فقد خصص قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار لعام 2009 (ARRA) مبلغ 4.5 مليار دولار أمريكي "لتسريع تحديث الشبكة من خلال نشر العديد من برامج الشبكة الذكية والجهود ذات الصلة" (DOE، 2012a، p. 1). ومن المتوقع أن تكون تكلفة التحديث الكامل مئات المليارات من الدولارات في صورة رأس مال خاص (DOE، 2012a). وعلى الرغم من الوفرة الواضحة للتقنيات التي يمكن أن تستخدمها جهات التوزيع والنقل، فإن الأدلة التجريبية الفعلية تشير إلى أن أسعار الاستخدام لا تتوافق مع منافع صافية كبيرة، خصوصاً في غياب البرامج الفيدرالية الخاصة المصممة لتقاسم تكاليف الاستثمار بين المرافق العامة وعوام المستهلكين. علاوة على ذلك، لم ترق التجارب الفعلية في تقنيات الشبكة الذكية دائماً إلى مستوى التوقعات، وفي بعض الأحيان لم تظهر المنافع التي ذكرها أنصار اللجوء إلى الشبكة الذكية. ومع ذلك، إذا كان من الممكن التغلب على هذه العقبات، فحينها تستطيع المرافق القائمة الحصول على فرصة كبيرة في الاستفادة من ذلك فيما يتعلق بالنشاط التنظيمي.

## أسئلة البحث

بالنظر إلى وجود تعارض بين التوقعات النظرية لصافي المنافع التي سيتم الحصول عليها على صعيد المجتمع فيما يتعلق باستخدام الشبكة الذكية والملاحظات التجريبية التي تشير أحياناً إلى غير ذلك، يتناول هذا التقرير البحثي الأسئلة البحثية التالية:

- ما المنافع المحتملة التي قد توفرها الشبكة الذكية للمرافق العامة ومستهلكي الكهرباء؟
- ما الفرص التجارية والتنظيمية التي من المرجح أن تتوفر في سياق مجال الشبكة الذكية؟
- لإام تشير الأدلة التجريبية بشأن مدى احتمال تحقق هذه المنافع؟
- ما العقبات التقنية والاقتصادية والتنظيمية التي تؤدي إلى تقليل حجم هذه المنافع بالنسبة للمرافق والمستهلكين أو احتمال استخدام تقنيات وسياسات يمكن أن تولد هذه المنافع؟
- ما هي السياسات التي يمكن تنفيذها أو تغييرها للمساعدة في التغلب على العقبات التقنية والاقتصادية والتنظيمية المحددة؟

## النهج

يستعرض هذا التقرير المواد المنشورة ذات الصلة بتطوير الشبكة الذكية ويحلل العقبات والفرص المحتملة المرتبطة بتحديث الشبكة. وبعد استعراض تلك المواد المنشورة المتعلقة بتحديث الشبكة ومناقشة بعض فرص الأعمال الإضافية المرتبطة بالتطور التقني المستمر، فإننا نستخدم إطار عمل يتعلق بالاقتصاد الجزئي لدراسة الحوافز المرتبطة باستخدام تقنية الشبكة الذكية والتسعير الديناميكي من وجهة نظر الجهات الفاعلة الرئيسية في السوق (مثل، الموزعين، والمرافق، وجهات النقل، والمستهلكين). وهدفنا الرئيسي هو تحديد العوامل الواقعية التي قد تؤثر على استخدام تقنيات الشبكة الذكية، بدلاً من إعادة قياس المنافع والتكاليف الخاصة بإنشاء شبكة حديثة بالكامل. وبعد تحديد هذه العقبات، سنتناول

بعض المكونات والأدوات الداعمة للسياسة التي يمكن استخدامها لتشكيل عملية تطوير الشبكة الذكية، بالإضافة إلى بعض قواعد التنظيم التي يمكن أن تساعد الجهات التنظيمية في اتخاذ قرارات أفضل فيما يتعلق بتحديث الشبكة.

### تنظيم هذا التقرير

يتم تنظيم هذا التقرير على النحو التالي. يتناول الفصل الثاني مناقشة حول المنافع المتوقعة والمحتملة لتطوير شبكة ذكية، والتي تعود على كل من جهات توليد الكهرباء إلى جانب جهات الإمداد والتوزيع ومرافق الكهرباء العامة والمستهلكين، بالإضافة إلى المجتمع ككل. ويناقش الفصل الثالث الاحتمالات والتحديات التي تواجه مجال أعمال ريادية في قطاع الشبكات الذكية، وهو استخدام البيانات الكبيرة، والتي يمكن أن تولد منافع إضافية. ويستعرض الفصل الرابع بعض التجارب الواقعية المتعلقة بتقنيات الشبكة الذكية، بما في ذلك تجارب المرافق والمستهلكين في ظل قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار، والذي تضمن برنامجاً كبيراً لتعزيز عملية تحديث الشبكة، إلى جانب بعض دراسات الحالة المختارة التي تسلط الضوء على بعض التجارب الأكثر سلبية لتقنيات الشبكة الذكية. وباستخدام هذه الفصول الثلاثة كأساس، يقدم الفصل الخامس تحليلاً للعقبات التي تعوق الابتكار في مجال الشبكة الذكية من منظور الاقتصاد الجزئي، مع توجيه تركيز خاص على بعض التكاليف والمخاطر التي تواجهها المرافق والمستهلكون. ويقدم الفصل السادس توجيهات تتعلق بالسياسات التي يمكن استخدامها لتشكيل اتجاه نمو الشبكة الذكية.

## نظرة عامة حول المنافع المحتملة للشبكة الذكية

وفقاً لمكتب المحاسبة الحكومي، يعود النشر الكامل للشبكة الذكية ببعض المنافع المحتملة (GAO، 2011). وهذه المنافع عبارة عن أبعاد مستقلة بصفة عامة، وتشمل ما يلي:

- انخفاض أسعار الكهرباء بسبب القدرة على تحسين الكفاءة الكلية لتشغيل النظام، ولا سيما من خلال القدرة على تغيير ذروة الطلب
- تحسين مستوى الموثوقية: حالات انقطاع أقصر وأقل للتيار الكهربائي
- تحسين القدرة على اكتشاف الهجمات العدائية على الشبكة وانقطاعات التيار الكهربائي بها والتعامل مع ذلك
- تحسين القدرة على دمج مصادر الطاقة البديلة المتقطعة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية
- تحسين المعلومات للمستهلكين، تمكينهم من انتقاء اختيارات أكثر وعياً بشأن استهلاك الكهرباء.

في الأقسام التالية، نوثق الفئات المحتملة للمنافع المتوقعة التي تترتب على الشبكة الذكية للمجموعات الثلاث المتمثلة في جهات التوليد والإمداد، والموزعين والمرافق الكهربائية العامة، والمستهلكين، كما هو موضح في المواد المنشورة في هذا الخصوص. ونتناول بالدراسة آثار الشبكة الذكية على جهات التوليد كما لو كانت تعمل ككيانات مستقلة. وسنجمع جهات نقل وتوزيع الطاقة عالية الجهد والمرافق معاً لأنها إما تُدار على أساس غير ربحي أو تُنظَّم على النحو المعتاد، مع الإقرار بأنه نتيجة لهذا التنظيم، ينبغي أن يحظى المستهلكون في نهاية الأمر بأي منافع تنجم عن ذلك. كما أننا ندرج أيضاً قسماً فرعياً بخصوص المجتمع ككل.

### المنافع المحتملة لجهات التوليد والإمداد

بالنسبة لجهات التوليد الحالية للكهرباء، قد تكون المنافع الصافية الناتجة عن الشبكة الذكية إيجابية أو سلبية.<sup>1</sup> ومن الناحية التشغيلية، قد تعمل تسوية الحمل الكهربائي الموزَّع من منظور الاستجابة للطلب (أي، طلب أقل على الحمل في وقت الذروة) على خفض تكاليف التشغيل والصيانة الناتجة عن عدد أقل من المولدات عالية التكلفة التي يتم تشغيلها (تغيير تدريجي محدد) (NETL، 2010). قد تكون هناك منافع بسيطة ناتجة عن تحسين الموثوقية (يمكن تعريفها بعمليات تقليل مدة انقطاع التيار الكهربائي ومرات تكرار ذلك فضلاً عن عدد مرات حدوث خلل في الجودة وشدة هذا الخلل) تعود على جهات التوليد لأن توليد كمية أكبر من الكهرباء دون انقطاع قد يقلل من معدل الإهلاك فيما يتعلق بالمدخلات ويرفع الكمية المباعة فيما يتعلق بالمرجات (NETL، 2010).<sup>2</sup>

<sup>1</sup> إننا نفترض على المستوى المصغر أن جهات التوليد هذه من الجهات المتلقية للأسعار. ومع ذلك، يلاحظ Joskow (2002) أنه بسبب تكديس الضغط على الشبكة في الأساس، قد تنمو الشركات المحلية المحترقة، وتتلاعب الشركات الاستراتيجية في السوق.

<sup>2</sup> وفي حالة سارت الأمور على طبيعتها دون مؤثرات خارجية، فإن تقليل الاضطرابات في الشبكة يعني أن جهة التوليد يمكنها بيع المزيد من الطاقة في فترة زمنية معينة. ويمكن توقع منفعة مماثلة من زيادة مستوى الأمان والسلامة نتيجة تحسين عملية اكتشاف التهديدات وتقليل وقت استعادة الحالة التشغيلية (NETL، 2010؛ Moynihan، 2010).

قد يستفيد أيضاً المزودون المحتملون للكهرباء المتقطعة (مثل تلك التي يتم توليدها من خلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية) من تقنيات الشبكة الذكية. ومع ربط ذلك بتكاليف ملزمة مثل حافظات الطاقة المتجددة، سنتيح هذه التقنيات دمج المصادر المتجددة في شبكة أكبر بطريقة أكثر توفيراً. وعلى الرغم من ذلك، قد يؤثر قيام منتجين جدد بطرح مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة بتكاليف حدية منخفضة للتوليد سلباً أيضاً على جهات توليد الكهرباء من مصادر غير متجددة التي تعمل حالياً من خلال عمليات خفض الطلب على الكميات وزيادة مستوى التغير التدريجي.

وبشكل مثير للاهتمام، فقد تمت الإشارة إلى أن تقنية الشبكة الذكية سنتيح تطبيق اللامركزية على عملية توليد الطاقة (Römer et al.، 2012؛ Resnick Institute، 2012). وتستطيع تقنيات الطاقة المتجددة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية الفولتوضوئية (PV)، التي تم إنشاؤها على مستوى محلي (أي في مبنى تجاري أو منزل) أن توفر إمداداً بديلاً للمستهلكين، وبالتالي تخفض الطلب على الشبكة المركزية، بالإضافة إلى توفير مصادر إضافية للقدرة على توليد الطاقة عندما تكون ظروف الطقس موثبة. وبالتالي، فمع افتراض إمكانية استخدام تقنية الشبكة الذكية للقياس الصافي، الذي تأخذ فيه الفواتير في الاعتبار كلاً من إنتاج الكهرباء المولدة محلياً واستهلاكها، فإن الشخص نفسه يصبح المولد والمستهلك (prosumer) (شخص يمكنه توليد الكهرباء واستهلاكها على حد سواء) قد يحقق منفعة ذاتية صافية.

### المنافع المحتملة التي تعود على الموزعين والمرافق

يعمل نظام النقل (جهد عالٍ) وموزعو الكهرباء (جهد منخفض) بمثابة وسيط بين جهات توليد الطاقة ومصادر الطلب النهائي. وتدير هذه المجموعة التي تتكون من الشركات وهيئات النقل الإقليمية ومشغلي الأنظمة المستقلين البنية التحتية المرتبطة التي يتم استخدامها لتوصيل الطاقة الكهربائية. وبسبب طبيعة توزيع الكهرباء من حيث توفيرها حسب الحاجة، فإن قدرة مشغلي الشبكة على تحقيق التوازن (وربما التحويل) بين أنماط العرض والطلب على مستويي الجهد المرتفع والمنخفض على حد سواء تعد أمراً بالغ الأهمية لتحقيق الكفاءة في توصيل المنتج (Joskow، 2012؛ Denholm و Hand، 2011).

وقد ركزت تقنيات الشبكة الذكية على الاتصال ثنائي الاتجاه من الشبكة إلى المستهلك ومن المستهلك إلى الشبكة مرة أخرى (مثل البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم)، حيث توفر معلومات الكمية المتعلقة بالطلب النهائي من المستهلك إلى الشبكة إلى جانب معلومات الأسعار من الشبكة إلى المستهلك. وبالنسبة للمنتجين، يمكن استخدام معلومات الكمية لزيادة الكفاءة في النقل والتوزيع من خلال زيادة كفاءة التوصيل نظرياً عن طريق تحسين توقعات إدارة الحمل على المستوى الفني وخفض تكاليف المعاملات في الفواتير عن طريق القياس الآلي (Joskow، 2012؛ Römer et al.، 2012).

وقد توفر تقنية الاتصال معلومات عن حالة النظام لنظامي النقل والتوزيع عندما تُستخدم بالاقتران مع أجهزة استشعار يتم نشرها في عدة مستويات من نظام توصيل الطاقة. وفي بعض الحالات، يمكن تحديد المشاكل والضغوطات المحتملة في الشبكة تلقائياً، الأمر الذي سيؤدي إلى رفع محتمل في مستوى جودة الطاقة والحد من انقطاع التيار والتكاليف المرتبطة بذلك، بما في ذلك تلك التكاليف المرتبطة بعمليات التشغيل والصيانة (Joskow، 2012؛ EPRI، 2011؛ NETL، 2010).<sup>3</sup> وفي حالات أخرى، يمكن استخدام هذه التقنيات لتحديد مشاكل النظام والكشف عن أماكنها، مثل الأعطال، ومن ثم عزلها عن بقية الشبكة وسرعة إصلاحها، وبالتالي تقليل أوقات الانقطاع وتقليل التكاليف المستهلكة في البحث. ويؤكد معهد أبحاث الطاقة الكهربائية "EPRI" (2011) أنه باستخدام تقنيات الشبكة الذكية، "تستطيع المرافق توفير طاقة أكثر موثوقية، لا سيما من خلال مجابهة الظروف الطارئة، مع إدارة تكاليفها بطريقة أكثر فاعلية من خلال الكفاءة والمعلومات" (EPRI، 2011، p. 2-2). وهكذا، قد تحسن الشبكة الذكية الطاقة المزودة إلى المستهلكين كماً ونوعاً (تقليل عدد حالات انقطاع التيار الكهربائي والتكاليف المرتبطة بذلك).

<sup>3</sup> جودة الطاقة تشير إلى التباينات الصغيرة في الخصائص المادية للكهرباء التي يتم توصيلها.

وهناك منفعة من الدرجة الثانية لهذه الآثار تتمثل في خفض تكاليف زيادة الطاقة الإنتاجية الحالية للشبكة (إجمالي القيمة الحالية الصافية) بسبب القدرة على توليد طاقة بجودة أعلى باستخدام نفس البنية التحتية "السلكية" بشكل أساسي (أي خطوط النقل والتوزيع) (EPR، 2011؛ NETL، 2010). وبالتالي، فإن تحسين الكفاءة يمثل بديلاً للاستثمار في الطاقة الإنتاجية لتلك الشبكة، ولهذا السبب قد يولد منافع صافية (يُحتمل أن تكون غير قابلة للرصد) إذا كانت تكلفة تحقيق مكاسب في الكفاءة أقل من تكاليف إنشاء البنية التحتية الجديدة.

وعلى الرغم من أن المنافع المذكورة أعلاه تركز على الكفاءات التقنية، فإن نظام النقل والموزعين يواجهان إشكالية الكفاءة التخصيصية فيما يتعلق بدمج مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة وموارد التوليد الموزع. من وجهة نظر مشغلي الشبكة، فإن الحاجة إلى دمج مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة والتوليد الموزع تتسم بكونها ذات طبيعة خارجية. ومع ذلك، وبسبب طبيعة هذه المصادر، هناك أربعة تحديات رئيسية تواجه استخدامها بشكل كبير مع الحفاظ في الوقت نفسه على موثوقية النظام وجودته (Hand و Denholm، 2011):

- تنظيم التردد
- الزيادة في معدل التغيير التدريجي (السرعة التي يجب أن تعمل من خلالها وحدات متابعة الحمل على زيادة الإخراج وخفضه)
- الشك في توليد الطاقة المتجددة، ومن ثم الشك في الحمل الصافي
- الزيادة في نطاق التغيير التدريجي الإجمالي (الحد الأدنى والحد الأقصى اليومي للطلب).

كما تستطيع تقنيات الشبكة الذكية أيضاً تخفيف الأحمال على نحو سلس أو توفير خدمات التخزين التي يمكنها أن تساعد في الحد من التكاليف المرتبطة بهذه المشكلات (Hand و Denholm، 2011؛ Römer et al. 2012؛ Boisvert و Neenan، 2003). وأخيراً، يمكن أن يوفر تنفيذ التسعير على أساس الزمن الحقيقي أو أنظمة التسعير الديناميكية منفعة قصيرة الأجل للمرافق تتمثل في إلغاء الحاجة إلى شراء الطاقة من جهات التوليد عالية التكلفة، مما يزيد من الأرباح. ومع ذلك، فإنه على المدى الطويل، لا تعود المنفعة على المرافق نظراً لتمرير متوسط انخفاض سعر الكهرباء بالجملة إلى المستهلكين.

### المنافع المحتملة التي تعود على المستهلكين

إن المناقشات القياسية التي تبرهن على كيفية تحقيق الشبكة الذكية لمنافع محتملة للمستهلكين تنتهج عملية تتألف من خطوتين وتنطوي على تمرير الوفورات من النظام إلى المستهلك، وهما:

- 1- تعمل تقنيات الشبكة الذكية على تخفيض تكاليف توصيل الكهرباء للمستهلكين.
- 2- تمرر جهات الإمداد بالكهرباء الوفورات الناتجة عن ذلك إلى المستهلك.

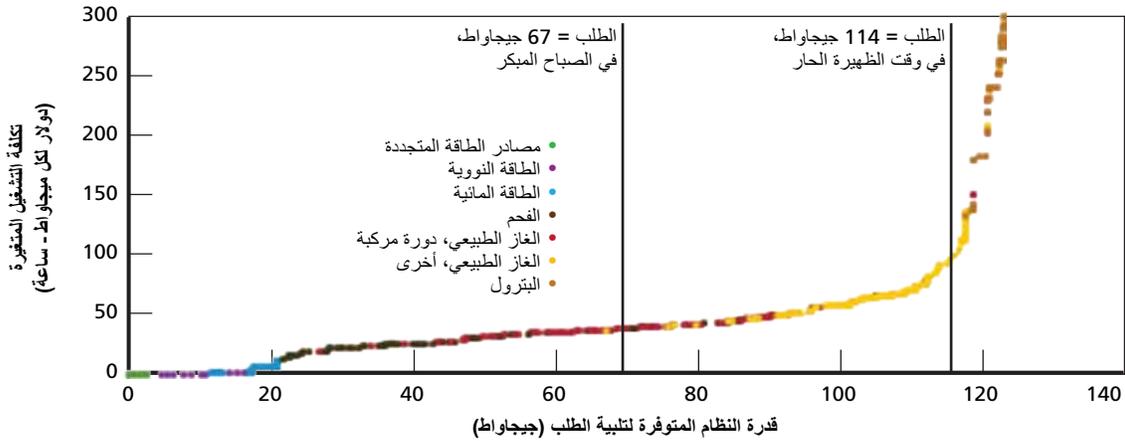
وفيما يتعلق بالعرض، تتسم هذه العملية بكونها مباشرة؛ حيث تعمل تقنيات مختلفة على خفض تكاليف التشغيل أو زيادة جودة الطاقة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تؤدي زيادة القدرة على رصد مدى سلامة نظام الشبكة الذكية والتحكم فيه إلى إمكانية التشغيل الآلي لعملية تحديد انقطاعات التيار الكهربائي، مما يؤدي إلى خفض التكاليف. وبالمثل، تستطيع هذه التقنيات نفسها تحسين تنظيم الجهد وجودة التيار — وهو عامل مهم لبعض العملاء الذين يستخدمون أجهزة إلكترونية حيوية متصلة بالشبكة. وقد يؤدي تمكين موارد توليد موزع مجمعة في شكل شبكات صغيرة إلى التخفيف من حدة الضغط الواقع على النظام أثناء التشغيل العادي، مما يؤدي أيضاً إلى تخفيض التكاليف ورفع مستوى الجودة.

ومع ذلك، فإنه فيما يتعلق بالطلب، تظهر الوفورات التشغيلية جلية من خلال التغييرات التي تطرأ على سلوك المستهلك. تتيح البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم (مثل عدادات القياس الذكية) إرسال إشارات بأسعار الجملة مباشرة إلى المستهلك في الزمن الحقيقي، وبالتالي يحدث توفيق بين سعر الكهرباء والتكلفة الحدية لإنتاجها. وبالنسبة للمستهلكين سريعى الاستجابة للأسعار، سوف يميل هذا إلى تقليل الكمية المطلوبة بتكلفة عالية وتقليل أوقات حمل الذروة، مع تأثير يترتب عليه إزالة المولدات الأعلى تكلفة من مجموعة الإنتاج الإجمالية (انظر الشكل 1-2). وهذا ما يطلق عليه اسم تسوية الحمل (*load flattening*). علاوة على ذلك، فإنه نظراً لأن ذروة الطلب عادة ما تحفز الاستثمار في البنية التحتية لتوليد الطاقة ونقلها وتوزيعها، فإن تسوية منحنى الحمل قد يقلل من حاجة مرافق الكهرباء العامة إلى استثمارات مكلفة في عملية دعم القدرة على توليد المزيد من الطاقة. يشار إلى أن أقل من 1% من الساعات، وهي نسبة ساعات ارتفاع ذروة الطلب على الحمل، تُقدَّر بأنها تمثل نسبة 10 إلى 18% من احتياجات الطاقة في أمريكا الشمالية (Hledik، Faruqui، وTsoukalis، 2009).

وليس هناك إجماع في الأبحاث المتعلقة بالاستجابة إلى الطلب بشأن ما إذا كان فرض أسعار أعلى في وقت الذروة سيعمل ببساطة على خفض الطلب في هذا الوقت، مع ترك الطلب خارج أوقات الذروة دون تغيير، أو ما إذا كانت هذه الأسعار ستحوّل الطلب من فترات الذروة إلى الفترات خارج الذروة (Joskow، 2012). ومع ذلك، فإنه بغض النظر عن هذا، يؤدي الانخفاض في أحمال وقت الذروة إلى خفض التكلفة الإجمالية لتوصيل كمية معينة من الطاقة على مدى فترة زمنية محددة. عند تمرير وفورات الإنفاق إلى المستهلك، فإنه يُشار عادة إلى هذه الوفورات باعتبارها ميزة أساسية للشبكة الذكية.

علاوة على ذلك، يمكن أن يحفز التسعير على أساس الزمن الحقيقي الابتكارات في مجال الأجهزة داخل المنزل أو العمل. وتتطلب قناة تقنية التحكم الثانوي هذه أن يقوم المستهلكون بترقية البنية التحتية الخاصة بهم لدعم الاستجابة التلقائية لتقنيات التحكم في المرافق أو إشارات التسعير على أساس الزمن الحقيقي. على سبيل المثال، يستطيع منظم حرارة موصل للمعلومات وقابل للبرمجة إيقاف تشغيل جهاز تكييف هواء (أو رفع درجات الحرارة المطلوبة) عندما تكون أسعار الكهرباء مرتفعة. وقد تأتي أجهزة منزلية شائعة، مثل الثلاجات وغسالات الأطباق، مزودة برقائق ذكية

الشكل (1-2) نموذج لمنحنى توزيع يتعلّق بالإمداد بالكهرباء



المصدر: إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (EIA)، 2012b.

ملاحظة: يرمز الاختصار الإنجليزي GW إلى جيجاواط "تمثل تكلفة التشغيل المتغيرة لمولدات الطاقة الكهربائية عاملاً رئيسياً في تحديد الوحدات التي يشغلها نظام الطاقة (أو "يستخدمها") لتلبية الطلب على الكهرباء. وفي حالة سارت الأمور الأخرى بطبيعتها دون مؤثرات خارجية، تُستخدم محطات التوليد ذات تكاليف التشغيل المتغيرة الأقل أولاً بشكل عام، بينما يتم تشغيل محطات التوليد ذات تكاليف التشغيل المتغيرة الأعلى بشكل متتابع في حالة ازدياد الطلب على الكهرباء. ويمكن ملاحظة هذا التتابع في منحنى يتناول إمداد الكهرباء - يشار إليه أيضاً باسم منحنى الاستخدام أو الإرسال - ويمثل الترتيب الذي يتم استخدام الوحدات به لتلبية الطلب" (EIA، 2012b).

مثبتة لاستقبال الإشارات بهدف إتاحة التحكم عند بُعد في مدة تشغيل ووظائف معينة (DOE، 2012a). وقد تقلل هذه الأجهزة تكاليف تحويل الطلب على الطاقة، وهو ما يسمح للمستهلكين بالاستفادة من أسعار كهرباء منخفضة خارج أوقات الذروة.

### المنافع المحتملة لجميع المشاركين في السوق والمجتمع ككل

بالإضافة إلى المنافع الخاصة التي تعود على مستهلكي الكهرباء ومنتجها وموزعيها، تناقش المواد المنشورة في هذا الخصوص عدة مصادر إضافية للمنفعة. أولاً، من المتوقع أن تعزز تقنية الشبكة الذكية سلامة الشبكة والأمن الإلكتروني (EPRI، 2011). وقد يوفر هذا الحماية ضد الهجمات الإلكترونية والهجمات الأخرى المحتملة من خلال احتياطات أكبر في نظام أكثر توزيعاً وأقل مركزية، بالإضافة إلى زيادة مستوى المراقبة (Moynihan، 2010).<sup>4</sup> ويترتب على تعزيز السلامة والأمن إمكانية تقليل الأضرار الناشئة عن الإرهاب والهجمات الأخرى، وهي حقيقة تعود بالفائدة على المستهلكين والمنتجين على حد سواء. ثانياً، كما لوحظ أعلاه، من المتوقع أن تسهل تقنيات الشبكة الذكية دمج مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة غير الكربونية، مما يساعد على الحد من التلوث البيئي وخفض التكاليف الخارجية المرتبطة به (EPRI، 2011؛ Moynihan، 2010). تمثل الأضرار الناشئة عن الانبعاثات المتصلة بتوليد الكهرباء أحد العوامل الخارجية السلبية، وهو ما يعني أن منتجي الكهرباء ومستهلكيها لا يضعون في الاعتبار بصفة عامة تكاليف الأضرار. وتستطيع معايير حافظة مصادر الطاقة المتجددة (أداة خاصة بالكمية) وأدوات الأسعار، مثل الضرائب المفروضة على استخدام الوقود الحفري والإعانات المتعلقة بتوليد الطاقة من المصادر المتجددة، أن تغير مجموعة الوقود المستخدم في التوليد إلى مصادر أخف ضرراً على البيئة، وبالتالي تقليل مقدار الأضرار الناتجة عن العوامل الخارجية السلبية.<sup>5</sup>

وأخيراً، قد تسهم القدرة على دمج موارد التوليد الموزع المجمع في شكل شبكات صغيرة بشكل أكثر فاعلية في تحسين قدرة مشغلي النظام على توفير تيار كهربائي متواصل للخدمات الاجتماعية المهمة في حالة حدوث انقطاعات في الكهرباء (Morgan و Narayanan، 2012).

### المنافع المحتملة الإجمالية للشبكة الذكية

من الناحية الاقتصادية، قدّر معهد أبحاث الطاقة الكهربائية أن المنافع المحتملة لشبكة ذكية منتشرة بالكامل تتراوح قيمتها بين 1.3 تريليون إلى 2 تريليون دولار أمريكي، بالمقارنة مع إجمالي تكاليف تتراوح بين 338 و476 مليار دولار أمريكي على مدار 20 عاماً (EPRI، 2011). وفي دراسة كمية أقل شمولاً، قدرت منظمة SmartGrid Consumer Collaborative<sup>6</sup> (2013) قيمة حالية صافية للمنافع المباشرة على مدار مدة زمنية تبلغ 13 عاماً بمبلغ يتراوح بين 307 و773 دولاراً أمريكياً للمستهلك الواحد، مع وجود منافع غير مباشرة إضافية قيمتها 390 دولاراً أمريكياً ناشئة من إدارة انقطاع الكهرباء وتحديد أماكن الأعطال. وقد قدرت التكاليف بمبلغ 450 دولاراً أمريكياً لكل عميل. وبالنظر إلى هذه الأرقام معاً، فإنها تشير إلى نسبة تكاليف إلى منافع تتراوح بين 1.5 و6. وفي كل حالة، من المتوقع أن تتجاوز المنافع المتوقعة من شبكة ذكية حديثة تماماً التكاليف المتوقعة بهامش جيد. علاوة على ذلك،

<sup>4</sup> ويفترض هذا وجود شبكة ذكية مُنفّذة بالكامل تتميز بقدرات إضافية للرصد ومزايا تخزين وتوليد موزع وشبكات صغيرة تزيد من الاحتياطات وحالات الوفرة في النظام. وبالطبع، قد تعمل زيادة عدد نقاط الدخول أيضاً على زيادة المخاطر.

<sup>5</sup> في حالة وجود نظام سماح قابل للتداول، قد لا يؤدي دمج مصادر الطاقة المتجددة إلى تقليل إجمالي الانبعاثات إذا كان الحد الأقصى لها ملزماً. علاوة على ذلك، قد تساعد تقنيات الشبكة الذكية على حدوث بعض التفاعلات بين التكاليف الخاصة بمصادر الطاقة المتجددة والضغط على شبكة النقل، وذلك على غرار المنافع الناجمة عن مصادر الطاقة المتقطعة. إن إجراء تقييم يتعلق بمدى مثالية أو أفضلية مجموعة مختلفة من السياسات البيئية للحد من الانبعاثات في قطاع الكهرباء أمر يتجاوز نطاق هذا البحث، خاصة وأن المشاركين في السوق لا يراعون على الأرجح تكاليف الأضرار الناجمة عن التلوث.

<sup>6</sup> وقد اختارت منظمة Collaborative التعامل مع بعض فئات المنافع نوعياً وليس كمياً. ومن ثم، فإن النتائج أكثر تحفظاً من تلك التي توصل إليها معهد أبحاث الطاقة الكهربائية.

تتوفر الكثير من تقنيات المعلومات الضرورية بسهولة في السوق، ويبدو أن هناك بعض العوائق الفنية التي تقف أمام الابتكار في مجال الشبكات الذكية.

وكانت هذه الأرقام عرضة للانتقاد. فعلى سبيل المثال، أعرب جوسكو [Joskow] (2012) عن بعض شكوكه بخصوصها. وفي سياق التشغيل الآلي لشبكات التوزيع المحلية، يؤكد أنه "السوء الحظ، وجدت أن التحليلات المتعلقة بالمنافع غير واقعية ومن المستحيل إعادة إنتاجها في ضوء المعلومات المتاحة في تقرير معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI)" (ص 38). وفي استنتاجه، يذكر أيضاً أن التقديرات المتعلقة بتأثير برامج التسعير على أساس الزمن الحقيقي ليست دقيقة بما يكفي "لإجراء تحليلات مقنعة تتعلق بالمنافع إلى التكاليف" (ص 45).

ومع ذلك، تتوقع معظم الدراسات أن تتجاوز منافع الاستخدام الكامل لتقنيات الشبكات الذكية التكاليف، وقد استثمرت الولايات المتحدة بشكل كثيف في تحديث الشبكة من خلال قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار. إن الغرض من هذا التقرير لا يكمن في التحقق من صحة تقديرات المنافع والتكاليف ولا الدفاع عن اتجاه التسارع أو التباطؤ في استخدام هذه التقنيات. بل إننا نسعى، بدلاً من ذلك، إلى فهم البيئة الأساسية التي يمكن أن تساهم في الحفاظ على حوافز استخدام تقنيات الشبكات الذكية في غياب تغييرات تتعلق بالسياسات المتبعة في هذا الخصوص، حتى إذا كانت المنافع الصافية المتوقعة لنظام شبكة ذكية مُنفَّذة بالكامل إيجابية. بعد ذلك تناقش المكونات والأدوات المحتملة الداعمة للسياسة التي يمكن استخدامها للتغلب على هذه العقبات، فضلاً عن تحديد بعض فرص الأعمال المحتملة المرتبطة بالشبكة الذكية.

## إمكانية تطوير أعمال ومشروعات ريادة الأعمال بفضل تقنيات الشبكة الذكية: الفرص والتحديات المتعلقة بالاستفادة من البيانات الضخمة

ستؤدي الشبكة الذكية إلى إنشاء مجموعة كبيرة من المعلومات الجديدة حول استهلاك الكهرباء بشكل مفصل يمكن الاستفادة منها لخلق قيمة اقتصادية، مع التأثير في الوقت نفسه على المنافع أو المزايا الناتجة عن تطوير الشبكة. وفي الوقت الحالي، تتسم مجموعة المرافق ذات الصلة بأنها غير مجهزة تماماً بالقدرات التحليلية اللازمة للاستفادة من المعلومات الجديدة.

وفي هذا الفصل، سنناقش بعض الفرص المحتملة المرتبطة باستخدام هذه المعلومات التي قد ينتج عنها منافع إضافية لا يتم تناولها عادةً في المواد المنشورة الحالية ذات الصلة. نتناول أولاً كيف أن خصائص بيانات الكهرباء ستنتج بطبيعتها المتغيرة خلال العقد التالي، وما الذي تعنيه تجزئة (تصنيف أو تحليل) بيانات العدادات الذكية، فضلاً عن الطرق الحالية المستخدمة للقيام بذلك. بعد ذلك، نوضح فائدة عملية تجزئة البيانات، إلى جانب التنبؤ بالعمليات والإمكانات المتاحة في عملية تحويل هذه البيانات إلى عوائد مالية. ويتضمن هذا تصنيفاً عاماً لفرص الأعمال ذات الصلة باستخدام بيانات الشبكة الذكية. كما سنناقش العراقيل التي تعترض تنفيذ مشروعات ريادة الأعمال ذات صلة وكيف قد تؤثر السياسة العامة على تطوير فرص أعمال جديدة كما هو موضح في الفصل الخامس.

### وصف البيانات الضخمة الخاصة بالكهرباء

تعمل العدادات الذكية الكهربائية الرقمية على تدفق بيانات استهلاك الكهرباء إلى نظام خدمة عامة مركزي، حيث يتم تسجيل تلك البيانات على فترات زمنية فاصلة تبلغ 60 دقيقة أو أقل. وقد تم توجيه مقدار كبير من أموال منحة الاستثمار في الشبكة الذكية (SGIG)، والتي تم تقديمها من خلال قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار، إلى البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم، وهو ما يتيح التسعير الديناميكي للكهرباء من خلال معلومات رصد على أساس الزمن الحقيقي أو أقرب ما يكون إلى الزمن الحقيقي.

وحتى يتسنى تدفق البيانات التي تم تجميعها من عداد إلى نظام بيانات مركزي بشكل آمن وموثوق، تقوم شركات المرافق الكهربائية بإجراء خيارات تختلف ليس فقط من حيث وسيلة الاتصال، وإنما أيضاً من حيث نوع الشبكة المستخدمة.<sup>1</sup> هذا ويتمثل نوعا الشبكة الرئيسيان المستخدمان في الشبكات اللاسلكية الثابتة والشبكات المعشقة. والشبكات اللاسلكية الثابتة عبارة عن شبكات مركزية وتستهلك جهاز إرسال عالي الطاقة وجهاز استقبال قادر على الوصول إلى جميع الأجهزة المتصلة بالشبكة. وفيما يتعلق بالشبكات المعشقة اللاسلكية غير المركزية، والتي كانت مصممة في البداية للاستخدامات العسكرية، تكون كل عقدة متصلة بالكامل بجميع العقد الأخرى؛ الأمر الذي يسمح بتوصيلات "ذاتية المعالجة" حول العقد المنقطعة أو التوصيلات المسدودة. ويتضح أحد الأمثلة على تطبيق اتصالات خاصة بالعداد الذكي داخل الولايات المتحدة في مواصفات شبكة ZigBee المعشقة. وتستخدم شبكة ZigBee رقائق

<sup>1</sup> ويرجع هذا إلى عوامل ببنية، مثل التضاريس الجغرافية أو احتمال حدوث تشويش في موجات الراديو أو وجود شبكات لاسلكية متصلة بالإنترنت. وتتعامل مرافق الكهرباء ذات العدادات الموجودة في أماكن ريفية مع تحديات اتصال تختلف عن تلك الموجودة في مناطق حضرية عالية الكثافة السكانية. وتتضمن الوسائط المقترحة شبكات الهواتف الخلوية والقمر الصناعي وموجات التردد اللاسلكي المرخصة وغير المرخصة والاتصال عبر خطوط الكهرباء. وباستخدام الاتصال عبر خط كهرباء، يتم نقل البيانات على نفس الموصل المستخدم في نقل الطاقة الكهربائية (Tung، Tsang، Lam، 2010).

راديو منخفضة التكلفة والطاقة لإرسال كميات صغيرة من البيانات المشفرة لمسافات قصيرة. وفي شبكة ZigBee، يعمل كل عداد ذكي بمثابة عقدة، ويتم نشر كل وحدة من وحدات البيانات من عداد ذكي إلى عداد ذكي آخر حتى تصل البيانات إلى وحدة اتصال طرفي متصلة بنظام بيانات مرفق خدمة توزيع الكهرباء (Daintree Networks، 2014). وبالنظر إلى النمو السريع في تركيبات العدادات الذكية بفضل قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار، أصبح التحدي الحالي الذي تواجهه مرافق الكهرباء هو كيفية دمج جميع المعلومات التي يتم جمعها على نطاق قاعدة أكبر من العملاء، فضلاً عن الاستفادة المثلى منها. وفي الوقت الحالي، لا يوجد الكثير من الاستخدامات المتعلقة بالحصول على بيانات الاستهلاك ثنائية بثانية، ولكننا نتوقع ظهور بعض الابتكارات الرائدة في مثل هذه المجالات، مثل إشراك العملاء وكفاءة الإسكان، والتي ستكون ممكنة في ضوء البيانات الجديدة. وقد تبرر المنافع العائدة من مثل هذه الابتكارات تكاليف التخزين. في الأجزاء التالية، سنناقش ما يمكن فعله باستخدام بيانات الكهرباء المفصلة ذات الجودة والتفصيل الكافيين.

### مشكلة التجزئة

لتحليل بيانات الاستهلاك بفاعلية لأغراض تتعلق بتغيير السلوك، يتعين تجزئة البيانات "الأساسية" لاستهلاك الطاقة في المبنى بالكامل إلى بيانات فردية على مستوى كل جهاز على حدة تتضمن قائمة تفصيلية باستخدامات الجهاز واستهلاك الطاقة ووقت الاستهلاك ومدته. وفي الوقت الحالي، لا توجد حلول تجارية متوفرة للقيام بهذه التجزئة بطريقة دقيقة وفعالة من حيث التكلفة ويمكن نشرها بسهولة. في الماضي، كان الأسلوب الأكثر استخداماً هو إجراء الدراسات الاستقصائية الميدانية، والتي تُبلغ فيها الأسر عن استخدامات الأجهزة لديها بنفسها. ولا يمكن لهذه الدراسات الاستقصائية تقديم مجموعة ثرية وشاملة من البيانات، كما أنه يعييبها التحيز بسبب الإبلاغ الذاتي.

وعلى العكس من ذلك، يعتمد المنهجان التلقائيان الرئيسيان للحصول على البيانات الخاصة بالأجهزة في المقام الأول إما على حلول قائمة على الأجهزة أو حلول برمجية. في هذا الإطار، نقوم بإلقاء الضوء بإيجاز على مزايا وعيوب كل منهج من هذين المنهجين على التوالي. وتتناول هذه المناقشة التحدي التقني الأساسي الذي يتعين التغلب عليه قبل استخراج أية قيمة اقتصادية من البيانات الضخمة الخاصة بالكهرباء.

### الحلول القائمة على أجهزة

تستلزم الحلول القائمة على أجهزة تركيب أجهزة أو شاشات رصد أحادية القابس على كل جهاز. وبعد ذلك، يتم توصيل أجهزة توصيل (مثل منتجات Kill A Watt ومنتجات ThinkEco، وبرامج EnergyHub، ومنصة Enmetric Systems) على أجهزة كل على حدة باستخدام بروتوكول اتصالات لإنشاء شبكة استشعار في نطاق المنزل. على الرغم من أن هذه الطريقة تعد الأكثر وضوحاً وربما الأكثر دقة، فإن الحلول القائمة على الأجهزة بها بعض العيوب الجلية التي قد تعوق تطبيقها في نهاية الأمر في البيئات العملية. أولاً، ارتفاع تكلفة التركيب، حيث تتراوح بين 25 إلى 50 دولاراً أمريكياً لكل شاشة رصد للأجهزة (Armel et al., 2013). علاوةً على ذلك، تنتم أجهزة كثيرة بأنها من النوع المتصل سلكياً (مثل، سخانات المياه والمصابيح)، وتعمل بجهد كهربائي عالٍ في مناطق يصعب الوصول إليها (مثل، أجهزة المطبخ، ومجففات الغسيل)، أو ربما لا يتم تركيبها بشكل دائم داخل المنزل (مثل أدوات الطاقة وأحواض الاستحمام الساخنة). وإذا لم يكن لدى المستهلكين على الأرجح ميل قوي إلى تركيب أجهزة رصد على مثل هذه الأجهزة، وكانوا مقيدين بعدد الأجهزة التي يمكن رصدها أو مراقبتها، فمن الممكن إغفال بعض الأجهزة الأكثر استهلاكاً للكهرباء من البيانات. باختصار، قد توفر الحلول القائمة على الأجهزة بيانات فائقة الدقة إذا كان المنزل بالكامل مزوداً بأجهزة استشعار، ولكنها عادةً ما تستلزم تكاليف أعلى ومجهوداً أكبر للتركيب مقارنةً بالحلول البرمجية، وبالتالي فإننا نتوقع انخفاض معدلات استخدام الحلول القائمة على الأجهزة في عملية تجزئة البيانات.

### الحلول البرمجية

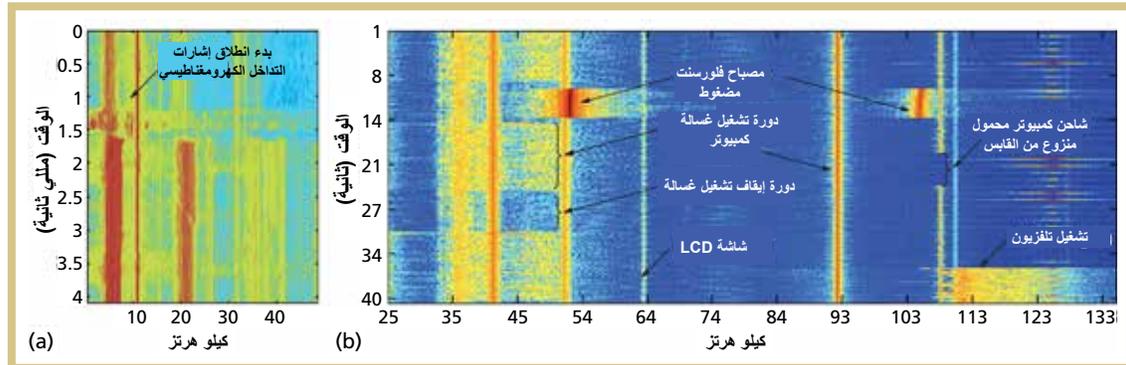
تسعى الحلول البرمجية إلى توصيل دفق بيانات الاستهلاك المجمعة من العداد الذكي على مصدر واحد واستخدام مجموعة من المناهج الإحصائية لاستخراج أنماط خاصة بجهاز معين. ومن خلال تقادي تركيب أجهزة استشعار

فردية، فإن استخدام عدادات ذكية تم تركيبها بالفعل بواسطة شركات مرافق الكهرباء يجعل هذا المنهج أقل في التكلفة دون بذل أي جهود إضافية تتعلق بالتركيب. وبالنظر إلى أسعار الاستخدام المتعلقة بالعدادات الذكية، فإنه من المتوقع أن يزداد تطبيق عملية تجزئة البيانات بواسطة البرامج على نطاق واسع. يُشار إلى أن العيب الرئيسي في هذا الخصوص يتمثل في مسألة الدقة المتعلقة بعملية التجزئة، نظراً لأن العمل على خوارزميات التجزئة لم ينته بعد. وقد تم إجراء أبحاث كبيرة سابقاً في مجال مراقبة ورصد الأحمال بشكل غير تدخلية. ومن المفترض أن يكون لكل جهاز ميزة فريدة خاصة به، سواء أكانت الميل إلى سحب كمية معينة من الطاقة أو خاصية بدء تشغيل أو إشارات جهد كهربائي معين (Hart، 1992؛ Froehlich et al.، 2011؛ Reynolds، Gupta، Patel، 2010؛ Zeifman و Roth، 2011). تسعى الأبحاث الحالية إلى تطوير طرق لتصنيف إشارات ضوضاء الجهد الكهربائي حتى يتسنى تمييز عملية تشغيل الأجهزة المنزلية. يقدم الشكل (1-3) مثالين على التجزئة باستخدام مجموعة من إشارات الجهد الكهربائي، المؤقتة والمستمرة على حد سواء. على الجانب الأيسر، يؤدي تشغيل مفتاح الإضاءة إلى حدوث موجة من التداخل الكهرومغناطيسي (EMI)، والذي يمكن اكتشافه في صورة إشارة ضوضاء جهد كهربائي مؤقتة. أما على الجانب الأيمن، يمكننا رؤية إشارات ضوضاء جهد كهربائي مستمرة لعدة أجهزة أثناء فترات تشغيل مختلفة. وتتمتع العديد من الأجهزة (مثل الغسالات ومجففات الملابس) وأجهزة تكييف الهواء والتهوية والتدفئة (HVAC) بحالات استخدام التنبؤ بها فضلاً عن توجيهات الاستخدام.

ويحدد عدد الأجهزة التي يمكن التعرف عليها مستوى التفصيل الخاص بتجزئة البيانات. ويعتمد مستوى التفصيل على نوع جهاز الاستشعار المركب وخوارزميات مطابقة الأنماط المستخدمة وتكلفة التركيب وسهولة المعايرة. وعلى أسوأ مستوى، تتميز العدادات الذكية القادرة على أخذ عينات للبيانات منخفضة المعدل (أي من ساعة إلى 15 دقيقة) بقدرتها فقط على التمييز بين فئات الأجهزة العريضة: الأجهزة التي تعمل باستمرار والأجهزة التي تعتمد على الوقت والأجهزة التي ترتبط بدرجة الحرارة الخارجية.

في حين تتميز العدادات الذكية القادرة على أخذ عينات للبيانات متوسطة المعدل (أي من دقيقة واحدة إلى ثانية واحدة) بقدرتها على التمييز بين أنواع الأجهزة الرئيسية، مثل الأفران والمدافئ ومصابيح الفلوروسنت المضيئة (CFLs) وأجهزة تكييف الهواء والثلاجات والغسالات وأجهزة التجميد ومضخات المياه بحمامات السباحة. وباستخدام العدادات الذكية القادرة على أخذ عينات للبيانات عالية المعدل، يمكن لطرق التجزئة الحالية التعرف على ما يصل إلى 40 جهازاً محدداً وتتبعها، بما في ذلك أجهزة تحميص الخبز وأجهزة الكمبيوتر ومشغلات أقراص DVD ووحدات الشحن وأنواع مصابيح الإضاءة

الشكل (1-3)  
مثال على تجزئة البيانات



الشكل 2- صورة طبقية (a) علامات تشويش الجهد الكهربائي العابر لمفتاح إضاءة قيد التشغيل. وتشير الألوان إلى السعة في كل تردد. (b) علامات تشويش الجهد المستمر في الحالة الثابتة للأجهزة خلال فترات مختلفة من التشغيل.

المصدر: Froehlich et al.، 2011، p. 34. تم الاستخدام بتصريح.

المختلفة. عند هذا المستوى، يمكن التعرف على الأجهزة حتى عندما تكون قيد التشغيل باستمرار. وعلى الرغم من أنه يمكن لجميع العدادات الذكية الحالية تقريباً دعم أخذ عينات بيانات عالية المعدل بدون أي تحديثات للأجهزة، فإن تحديثات البرامج الثابتة قد تكون ضرورية (Armel et al., 2013).

#### مشكلات في التجزئة

قد يدل وجود (أو غياب) إشارات التداخل الكهرومغناطيسي على ما إذا كان هناك جهاز معين قيد الاستخدام، ولكن نظراً لوجود عدد كبير من الأجهزة عادةً ما تسحب أو تستنزف الطاقة داخل المنزل، فقد لا يكون حل مشكلة التجزئة واضحاً. وحتى يتسنى الوصول إلى استنتاجات حول فئة الأجهزة في ضوء إشارة معينة، يلزم الحصول على نماذج احتمالية ومعرفية للتوصل إلى أنماط استخدام البشر للأجهزة (مثل ماكينة القهوة وماكينة تحميص الخبز في الصباح مقابل المصابيح في المساء) وأنماط الحالة الجوية (أجهزة تكييف الهواء صيفاً مقابل أجهزة التدفئة شتاءً). ومن قبيل المزيد من التعقيد، قد تختلف إشارة الجهاز هي الأخرى مع مرور الوقت بسبب ظروف التشغيل ونمطه.

أخيراً، تتم جهود التجزئة البرمجية الحالية على مجموعة من الأجهزة المعروفة والمحددة داخل المنزل. وحتى يتسنى التحقق من دقة توقعات البرامج، يتعين إعداد مجموعة بيانات "مفتاحية الإجابة"، يتم من خلالها إعداد قائمة مفصلة بجميع الأجهزة وتسجيل استخداماتها على مدى عدة أيام. وفي بادئ الأمر، يتم تهيئة الخوارزميات لتتوافق مع مجموعة البيانات مفتاحية الإجابة من خلال التحقق من صحة التجزئة خلال مدة الملاحظة. بعد ذلك، يتم تزويد الخوارزميات ببيانات مجمعة أساسية لفترة زمنية مختلفة، ولكن لنفس المنزل. وفي الوقت الحالي، يعد التنبؤ البرمجي لهذا النوع من المشكلات دقيقاً بنسبة 90 في المائة تقريباً من الوقت ([مسابقة Belkin لتجزئة الطاقة] "Belkin Energy Disaggregation Competition"، 2013). ومع ذلك، هناك تحدٍ أكثر واقعية يتمثل في استخراج بيانات الأجهزة لمنزل به أجهزة غير معروفة.

باختصار، يعد الحل القائم على الأجهزة أقل قابلية للقياس؛ إذ لا يمكن تطبيقه فعلياً إلا على مجموعة فرعية صغيرة من إجمالي الأسر. أما الحل البرمجي فيستلزم استثمارات كبيرة مقدماً، ولكنه لا يتطلب بعد ذلك سوى تكاليف حدية (هامشية) لا تذكر. وفي الجزء التالي، سنوضح لماذا قد يستحق استخراج البيانات المجزأة على مستوى كل جهاز هذا العناء.

#### القيمة الاقتصادية للبيانات المجزأة

يمكن تصنيف منافع البيانات المجزأة إلى منافع خاصة بالمستهلك ومنافع خاصة بمرافق الكهرباء والسياسات ذات الصلة ومنافع خاصة بالبحث والتطوير. ويركز هذا الجزء ويتناول بالتفصيل المنافع التي وردت في أبحاث برات وآخرين (Pratt et al., 2010)، وفروهلينش وآخرين (Froehlich et al., 2011)، وأرمل وآخرين (Armel et al., 2013).

#### المستهلكون

كما تناولنا في فصول سابقة، يتمثل أحد الافتراضات الذي كثيراً ما يتم إغفاله في البرامج القائمة على الاستجابة للطلب من خلال التسعير على أساس الزمن الحقيقي في امتلاك المستهلكين وعياً ذاتياً كافياً باستهلاكهم للكهرباء (بواسطة الأجهزة) يجعلهم يستجيبون أو يتفاعلون مع الأسعار. ومع ذلك، إذا افتقر المستهلكون إلى هذا الوعي الذاتي، فسنكون قدرتهم على ضبط استهلاكهم من الكهرباء ومشاركتهم في برامج الاستجابة للطلب (طلب تعديل سلوك الاستهلاك) محدودة. وبدون وجود بيانات على مستوى كل جهاز، قد يعرف المستهلك أن إجمالي استهلاك الكهرباء قد زاد ولكنه في الوقت نفسه قد يعجز عن اكتشاف مصدر تلك الزيادة. وهذه مشكلة نظراً لأن الفهم الخاطئ بشأن كيفية استهلاك الكهرباء سينعكس على الإجراءات التي يتخذها المستهلكون لتوفير الكهرباء.

في الواقع، هناك الكثير من المفاهيم الخاطئة حول الاستهلاك المنزلي للكهرباء. إذ يميل المستهلكون إلى تقدير تكلفة الطاقة التي يستهلكها أي جهاز بشكل تناسبي حسب قيمته البارزة بالنسبة لهم؛ أي حجم الدور البارز الذي يلعبه

الجهاز كجزء من حياتهم اليومية (Kempton و Montgomery، 1982). وهناك اعتقاد سائد بأن أجهزة، مثل التلفزيونات والمصابيح، تساهم بحصة في الفاتورة الشهرية أكبر مما يحدث بالفعل. وربما يبالغون أيضاً في استهلاك الطاقة من خلال آلات مخصصة كبداية للقيام بأعمال يومية مثل غسالات الأطباق وغسالات الملابس. وبصفة عامة، هناك مبالغة في إسهامات الأجهزة، في حين يتم التقليل من شأن الإسهامات الخاصة بأجهزة التدفئة والتبريد في الفاتورة (Costanzo et al، 1986). وفيما يتعلق بإدارة فاتورة الكهرباء نفسها، توصلت الأبحاث الاقتصادية والدراسات الاستقصائية الحديثة إلى أن العديد من المستهلكين لا يدركون كم عدد وحدات الكيلوواط التي يستهلكونها في الساعة من الكهرباء، وقد لا يفهمون المعدلات الحدية لجدول تسعير الكهرباء غير الخطية (Ito، 2012).

هذا وتؤثر هذه المفاهيم الخاطئة، التي يمكن تصحيحها باستخدام بيانات إضافية إعلامية على مستوى كل جهاز، على الإجراءات التي يتخذها المستهلكون لتوفير الكهرباء. وتتسم عملية إجراء تدقيق ومراجعة تقليدية للطاقة، والتي تهدف إلى إعلام المستهلكين باستخداماتهم المحددة والوصول إلى إجراءات للحفاظ على الطاقة، بأنها يدوية للغاية. إذ سيقوم فني مؤهل بزيارة المنزل لاختبار المواد العازلة وفحص الفرن ومجاري الهواء واختبار قياس مدى إحكام الهواء بالمبنى المعروف باسم "اختبار منفاخ الباب" باستخدام كاميرا تعمل بالأشعة تحت الحمراء. وتتسم عمليات المراجعة والتدقيق هذه بأنها تتطلب الكثير من الجهد والوقت، ولا تلجأ إليها إلا مجموعة صغيرة فقط من الأسر. وتتيح البيانات المجزأة طريقة جديدة لإجراء عمليات مراجعة للطاقة بتكلفة أقل وبشكل أكثر آلية. فبدلاً من زيارة المنزل، سيقوم برنامج متخصص بفحص بيانات العداد الذكي، ويمكن القيام بهذا الفحص لأي منزل وفي أي وقت. والأهم من كل ذلك، أنه سيتم تصميم هذه الإجراءات بحيث تتناسب مع المنزل أو الأسرة بعينها بدلاً من اتباع توصيات عامة تناسب نطاقاً واسعاً من الأسر. فعلى سبيل المثال، قد تكون التوصيات المصممة على النحو التالي: "بالنظر إلى أنماط الاستخدام لديك، يمكنك توفير 400 دولار أمريكي سنوياً عن طريق استبدال وحدة التدفئة لديك بأخرى أحدث، والتي قد توفر من استهلاك الطاقة ما يكفي لسداد ثمنها على مدى خمسة أشهر".

يمكن أحد الاستخدامات النافعة الأخرى للبيانات المجزأة في القدرة على تشخيص الاستهلاك الزائد واكتشاف الأجهزة الإلكترونية المعيبة التي تؤدي إلى الاستهلاك الزائد للطاقة. وفي الوقت الحالي، يعد اكتشاف الأعطال وأوجه الخلل أمراً يتطلب الكثير من الجهد والعمالة والوقت، وعادةً ما يستلزم زيارة فني كهرباء مؤهل للموقع. بينما ستتيح البيانات المجزأة التشخيص السريع والتلقائي زهيد التكلفة.

هذا وقد نُشر مؤخراً مقال بجريدة *ول ستريت جورنال (Wall Street Journal)* يسرد قصصاً لمستهلكين يستخدمون العدادات الذكية الخاصة بهم لاكتشاف المشكلات (Smith، 2013). فقد تمكن أحد أصحاب المنازل من تحديد وجود خلل بمضخة حمام السباحة لديه، والتي كانت تتسبب في زيادة فاتورته من الكهرباء بقيمة 100 دولار أمريكي شهرياً. واستخدمت إحدى الشركات التجارية بيانات العداد الذكي كجزء من عملية لمراجعة أو تدقيق استهلاك الطاقة لديها، وهي عملية ترتب عليها التوصية بتحديث مصابيح الإضاءة وتركيب مراوح وشراء منظم حرارة قابل للبرمجة. وقد أدت هذه الإجراءات إلى تقليل قيمة الفاتورة من أكثر من 400 دولار أمريكي إلى 200 دولار أمريكي شهرياً. نظراً لاستمرارية تدفق بيانات الاستهلاك من العدادات الذكية، فإن فرص اكتشاف سبل للتوفير مستمرة أيضاً. إذ يمكن إرسال تنبيهات تلقائية عند اكتشاف استهلاك زائد للطاقة، فضلاً عن تذكير المستهلك للقيام بتصحيحات سلوكية في هذا الخصوص. وهذا بدوره يؤدي إلى تفعيل دائم لدورة فعالة من الإمداد بملاحظات مباشرة وفي حينها للمستهلك.

#### المرافق والسياسات

ستستفيد شركات مرافق الكهرباء من التحسينات التي تُجرى فيما يتعلق بجودة أنماط التنبؤ والطلب لديها. ولا شك أن التنبؤ الدقيق بالطلب يشكل أهمية لدى شركات المرافق أثناء اتخاذ قرارات متعلقة بالقدرة الإنتاجية لتوليد الطاقة وتطوير البنية التحتية والتبديل بين الأحمال فضلاً عن عقود شراء الطاقة. كما ستعمل البيانات الأكثر تفصيلاً على مستوى كل جهاز على تسهيل فهم أفضل لسلوكيات استخدام الطاقة الكهربائية في القطاعين التجاري والسكني على حد سواء، الأمر الذي سيؤدي إلى تحسين أنماط تمثيل الاستهلاك في نماذج التنبؤ.

علاوة على ذلك، عادةً ما تُشغّل شركات المرافق برامج لتعديل السلوك والحفاظ على الطاقة، ولكنها تعاني من صعوبة في تقييم هذه البرامج ومنح الأولوية للأفضل منها. وتتيح البيانات ذات المستوى الأفضل القيام بجهود تقييم أكثر دقة وإقناعاً للبرامج، مع إمكانية التوصل إلى الأسباب. وفي الماضي، كانت النتائج المستمدة من البرامج التي تستهدف استخدامات أجهزة معينة (مثل أجهزة التدفئة والتبريد والمصابيح) تضع وسط فوضى البيانات المجمعّة. في حين يعمل توفر بيانات مجزأة قبل وبعد البرنامج على تعزيز حساسية مثل هذه التقييمات وحيثتها. ويتضمن ذلك اكتساب قدرة أكبر على تقدير حجم الوفورات الناجمة عن استخدام برامج تحفيزية. وبذلك ستكون النتائج النهائية المرجوة عبارة عن برامج مطوّرة ومجموعة متنوعة من البرامج الجديدة. ثمة منفعة أخيرة تعود على شركات المرافق تتمثل في تحسين التفاعل والتواصل مع عملائها. فبدلاً من التعامل مع سوق متماثلة، أصبحت شركات المرافق المسلحة بالبيانات المجزأة قادرة على تقسيم السوق إلى شرائح حسب خصائص الطلب. فمعرفة المزيد عن كيفية استخدام العملاء للكهرباء تساعد شركات المرافق في التعرف على العملاء ومجموعات العملاء لأغراض تسويقية. كما يساعد توفر بيانات آنية تتعلق بالاستهلاك في الزمن الحقيقي شركات المرافق أيضاً في تحديد مكان وجود المشكلات داخل الشبكة بسرعة وإرسال خدمات دعم لها. وستكون هناك إمكانية أيضاً لظهور ابتكارات في مجال التسعير. فلن تتباين الأسعار حسب الوقت من النهار أو إجمالي الطلب على النظام فحسب، وإنما على حسب نوع الاستخدام أيضاً. على سبيل المثال، قد تمتلك شركات المرافق مستوى واحد من التسعير خاص بأجهزة التدفئة والتبريد والإضاءة، ومستوى آخر خاص بالأجهزة غير الأساسية، مثل غسالات الأطباق وأحواض الاستحمام الساخنة وأجهزة تجفيف الملابس.

بالمثل، سيستفيد صانعو السياسات أيضاً من فهم أفضل لكيفية استهلاك الطاقة على صعيد قطاعات مختلفة من السكان. وستتيح لهم البيانات المجزأة وضع سياسات للطاقة وبرامج خصم وبرامج للكفاءة بطرق تقوم على الأدلة بشكل أكبر وأفضل. كما يمكن أن يصبحوا أكثر وعياً بالآثار التوزيعية للوائح والضرائب. فعلى سبيل المثال، قد تؤثر التدخلات المتعلقة بالسياسات التي تهدف إلى تقليل استهلاك الكهرباء على السكان ذوي الدخل المنخفض بشكل أكثر سوءاً إذا كانت غالبية استهلاكهم مخصصة لأجهزة التدفئة.

#### المنافع خارج سوق الكهرباء

هناك مجالان آخران قد تكون البيانات المجزأة ذات قيمة بالنسبة لهما، وهما ابتكار الأجهزة وبناء برامج الأبحاث والتطوير. وقد اعتمدت الشركات المصنعة للأجهزة بشكل تقليدي على مقاييس واختبارات في بيئات معملية خاضعة للرقابة والتنظيم عند تطوير منتجاتها. ولكن بفضل الوصول إلى البيانات المجزأة، أصبح بإمكان الشركات المصنعة الوصول إلى مقاييس أكثر واقعية في مجموعة واسعة من ظروف التشغيل الفعلية. وقد تساعد بيانات الاستهلاك ذات المحتوى الأفضل في إعادة تصميم الأجهزة من أجل الوصول للموثوقية والكفاءة، وفي الامتثال لمعايير الكفاءة المحسنة. وستحتوي البيانات المجزأة على وقت ومدة استخدام الجهاز. وقد يكشف ذلك النقب عن رؤى غير حدية حول طريقة استخدام المستهلكين المختلفين لأجهزتهم بشكل فعلي.

علاوة على ما سبق، قد تساعد البيانات ذات المحتوى الأفضل حول استخدام الأجهزة في التحقق من صحة نماذج محاكاة الأبنية، والتي تعد أدوات قيمة لزيادة الكفاءة التشغيلية للمنشآت التجارية. وقد تكشف البيانات أن المستهلكين قد يستخدمون الأجهزة والمنشآت استخداماً مغايراً لما صُممت من أجله. فعلى سبيل المثال، ولأسباب متعلقة بالصحة والراحة، عادةً ما يترك شاغلو الأبنية والمنشآت النوافذ مفتوحة لدخول الهواء النقي حتى أثناء تشغيل أجهزة التدفئة.

#### فرص الأعمال القائمة على بيانات الشبكة الذكية

يقدم هذا الجزء تصنيفاً عاماً للخدمات الممكنة وفرص الأعمال التي يمكنها الاستفادة من بيانات الشبكة الذكية المتاحة حديثاً. وليس الغرض من ذلك تقديم دليل شامل لجميع الفرص الممكنة، وإنما مناقشة الاتجاهات العامة التي قد يتحرك من خلالها السوق. ونناقش فئتين رئيسيتين من الفرص وهما: مشاريع دعم توفير الطاقة، ومشاريع تهدف إلى تحسين البيانات المجزأة.

### مشاريع كفاءة الطاقة

يتمثل الاستخدام الأكثر وضوحاً ومباشرة لبيانات الاستهلاك في الوقت الحقيقي في توجيه الجهود لتحسين مساعي الحفاظ على الطاقة وتمكين المستهلك من التوفير في الفواتير الشهرية. وربما تكمن إحدى الخدمات القيمة في هذا الخصوص في إجراء عمليات مراجعة للطاقة قائمة على تلك البيانات من أجل تحديد الطرق المثلى لتحسين كفاءة استخدام الطاقة. وكما ذكرنا سابقاً، تُجرى عملية مراجعة الطاقة التقليدية على يد مراقب مؤهل. ويستلزم ذلك القيام بزيارة فعلية إلى كل منزل؛ وإحضار أجهزة فنية، مثل منفاخ الأبواب والكاميرات التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء؛ فضلاً عن مقابلة أصحاب المنازل لفهم أنماط الاستخدام. وتتطلب هذه العملية الكثير من الجهد والمال والوقت، وليست ببساطة قابلة للتطوير على نطاق واسع داخل المجتمع.

في الإطار ذاته، هناك بديل أكثر فاعلية من حيث التكاليف يتضمن الاستفادة من بيانات الاستهلاك المجزأة المأخوذة من العدادات الذكية والبيانات المفيدة المتعلقة بالأبنية بهدف الإنشاء التلقائي لنموذج فعال للطاقة يلائم أي مبنى. وتعمل بيانات الاستهلاك المستمدة من العدادات الذكية على مستوى كل جهاز على تقادي مساوئ المقابلات وما يعترضها من إهدار للوقت والتكلفة وعدم الدقة. كما يمكن لهذه البيانات المتوفرة حديثاً اكتشاف الأعطال داخل المنزل دون الاضطرار للقيام بزيارة لهذا المنزل. وفيما يتعلق بالقياس، والذي يهدف إلى مقارنة الكفاءة على مستوى الأسر في مجموعة من المواقع، فسيكون أكثر دقة بدرجة كبيرة بفضل البيانات المستمدة من المئات من عمليات المراجعة السابقة الأخرى للطاقة، فضلاً عن بيانات الأداء على مستوى كل جهاز.

بمجرد تحديد الإجراءات الممكنة للمحافظة على الطاقة، ستتمكن شركة المرافق أو أي طرف آخر خارجي من إمداد المستهلك بالتوصيات المخصصة الملائمة له. وقد تستلزم الخدمة توصيل المستهلكين ببائعي أجهزة بالتجزئة للحصول على أجهزة جديدة أو خيارات تتعلق بمتعهدين يمكن اللجوء إليهم من أجل إجراء ترفقيات تتعلق بالمنزل. وقد تتضمن إحدى التوصيات الافتراضية إجراء ترقية لجهاز تدفئة ثبت أنه يمكنه توفير 20% من الفاتورة الشهرية للمستهلك (بالنظر إلى أنماط الاستخدام السابقة لهذا المستهلك) وتحقيق تعادل بين ثمن هذا الجهاز وما تم توفيره بسبب استخدامه في غضون خمس سنوات. وستضع تلك الخدمة في الاعتبار برامج الخصم التي تقدمها شركة مرفق الكهرباء والحوافز الضريبية.

قد تكون هناك قيمة أيضاً ناتجة عن الخدمات المتعلقة بالملاحظات السلوكية، والتي تقوم بمراقبة السلوك والتشجيع على المحافظة على الطاقة بالشكل الملائم. ويمكن لمثل هذه الخدمة التواصل مع المستهلكين عبر تنبيهات نصية عند اكتشاف القيام بسلوك غير مثالي أو عند تقييد الإمداد بالطاقة. وستعتمد في ذلك على ملاحظة سلوك الأسر؛ أي التعرف بذكاء على أنماط الأسر. وبعد ذلك قد تقدم توصيات مخصصة ملائمة من أجل التعديلات السلوكية. وسيراقب النظام النشاط بشكل مستمر على أمل التحسين المتواصل لمساعي التوفير في استخدام الطاقة واستمراريتها.

### تحسين البيانات

بالنظر إلى حداثة طريقة البيانات المجزأة، فإنه من المتوقع إجراء المزيد من التحسين على هذه الطريقة وتطبيقها بشكل أكبر. وهذا ينبع من دمج الرؤى الناتجة عن إجراء دراسات استقصائية حول هذا النشاط الناشئ داخل قطاع الطاقة في ظل وجود درجة من الحصافة التقنية. ويتمثل أحد الاتجاهات داخل الشركات التي تتعامل مع مشكلات متعلقة بالبيانات الضخمة في التوجه نحو تنظيم البيانات وعرضها على نحو أفضل.

قد يكون العرض المرئي لاستهلاك الطاقة الكهربائية وتشغيل الأجهزة مفيداً على مستوى كل أسرة على حدة أو على مستوى إقليمي ما. أما بالنسبة لشركات المرافق، فإن إعداد تصورات تتعلق باستخدام الأجهزة داخل الأسرة الواحدة سيكون مكوناً مهماً ضمن مكونات البرامج القائمة على الطلب والاستجابة. وتوجد بوابات ويب حالية تصف بيانات استهلاك الطاقة المجمعة من قبل في شكل جداول ورسومات واضحة بدرجة كبيرة، ولكن فيما يتعلق بالبيانات الأكثر تفصيلاً على مستوى كل جهاز، يعد التنظيم الملائم وتمثيل الاستهلاك باستخدام رسوم تخطيطية أمراً غاية في الأهمية.

بالإضافة إلى ما سبق، يساعد تفسير بيانات الاستهلاك المفصلة على مستوى إقليمي ما شركات المرافق وشركات خدمات الطاقة الأخرى في فهم العملاء بشكل أفضل. وقد يشمل ذلك دمج بيانات من مصادر متعددة (مثل العدادات الذكية وأجهزة استشعار الشبكات وسجلات خدمات المرافق والطقس) لتزويد شركات المرافق بمزيد من المعرفة بشأن

الموقع أو الحالة فضلاً عن التحكم في شبكتها. وسيمتد مثل هذا التحكم ليتجاوز التحكم الحالي عن بُعد في أجهزة تكييف الهواء والتهوية والتدفئة ويشمل شحن السيارات الكهربائية واستخدام أجهزة كبرى أخرى.

سيتم إجراء المزيد من التحسينات على البيانات المجرأة لتنظيم بيانات الاستهلاك على مستوى الأجهزة لتأخذ شكل بيانات تتعلق بالنشاط المنزلي. على سبيل المثال، سيتم تعريف استخدام الموقد الكهربائي أو الميكروويف باعتباره نشاطاً معيناً (طهي)، واستخدام المكنسة الكهربائية باعتباره نشاط تنظيف. ويتيح مثل هذا التفسير قدرة فاعلة على مراقبة السلوكيات داخل الأسرة والتعرف عليها. ويمكن تحويل هذه القدرة إلى عوائد مالية بطرق عديدة. أولاً، كما هو الحال بالنسبة لشركات بطاقات الائتمان التي تتبع أنماط تسوق المستهلكين وشركات البحث عبر الإنترنت التي تتبع أنماط التصفح عبر الإنترنت، ستتمكن شركات المرافق من تتبع الأنشطة المنزلية. وستكون مثل هذه المعلومات مفيدة في إجراء نشاط التسويق. كمثال توضيحي، لنفرض أنه لوحظ أن إحدى الأسر نادراً ما تستخدم أجهزة طهي ولكنها كثيراً ما تستخدم أجهزة ترفيهية (مثل أجهزة التلفزيون وأجهزة ألعاب). فمن خلال إضافة تلك المعلومات إلى المعلومات المتعلقة بالفواتير والمعلومات العامة المتوفرة، يتبين أن بيانات الأنشطة هذه توضح أن ساكن هذا المنزل رجل أعزب يتراوح عمره بين 25 و30 عاماً. وستكون هذه المعلومات مفيدة على وجه الخصوص لشركات التسويق والدعاية والإعلان، وقد توفر مصدراً إضافياً لتحقيق عوائد لشركة المرفق الكهربائي.

قد تُستخدم بيانات الأنشطة المنزلية المستمدة من البيانات المجمعة لاستهلاك الكهرباء أيضاً في استخدامات أمنية. فنظراً لأنه غالباً ما تُرسل بيانات الشبكة الذكية لاسلكياً، يمكن لأجهزة الشرطة الاستفادة من تدفقات التغذية المشفرة تلك. وقد يتيح لهم ذلك طريقة سهلة لمراقبة الأنشطة التي تتم داخل منزل مشتبه به. تخيل أن الأنشطة اليومية لشخص ما يمكن الوصول إلى معظمها من خلال استخدامه للطاقة الكهربائية. ففي الصباح، يوقظنا المنبه قبل أن نذهب في حالة من التراخي إلى الحمام، لنضئ المصابيح أعلى مرآة الزينة وننزع قابس فرشاة الأسنان الكهربائية من محطة شحنها. وعندما نغادر المنزل إلى العمل أو نعود منه، نستخدم جهاز فتح الباب الكهربائي للكراج لدينا. وفي المساء، نطفئ المصابيح والأجهزة قبل الخلود إلى النوم. ومن خلال تتبع استخدام الطاقة الكهربائية، يمكن لأجهزة الشرطة معرفة العادات والأنشطة التي يقوم بها سكان أي منزل بدون تكاليف طرق المراقبة التقليدية والقوى العاملة اللازمة للقيام بها. وللاطلاع على المخاوف التي قد تنشأ من هذه الاستخدامات، يُرجى الرجوع إلى الفصل الخامس. في هذا الجزء، قدمنا مجموعة متنوعة من الخدمات والطرق التي يمكن من خلالها للشركات الرائدة في الأعمال الاستفادة من بيانات الشبكة الذكية المتوفرة حديثاً. ويستلزم تطبيق العديد من نماذج الأعمال ضخ استثمارات في مجال شبكات الاستشعار، وبرامج لتحسين البيانات، إلى جانب إيجاد فريق عمل لتفسير الناتج. ومع ذلك، فإن كل هذه المنافع أو المزايا لا يتم الحصول عليها بدون تكاليف محتملة. في الفصل التالي، سنناقش بعض الأدلة التجريبية المتعلقة باستخدام تقنية الشبكة الذكية، والتي تساعد في إلقاء الضوء على كيف يمكن أن تختلف التجارب الفعلية عن التوقعات المسبقة. وبعد ذلك سنتناول بالمناقشة التكاليف المحتملة المتعلقة بتحديث الشبكة، بما في ذلك التكاليف المحتملة لأنشطة تنظيم أعمال ومشاريع ريادة الأعمال.

## الاستخدام العملي للشبكة الذكية: بعض الأدلة التجريبية

وُنِّقَت الفصول السابقة فئات المنافع والفرص المتوقعة للتطوير المحتمل لشبكة ذكية، وذلك استناداً إلى افتراضات معينة بشأن ما قد تحققه هذه التقنيات. وعلى نحو عملي، لم يبدأ استخدام تقنيات الشبكة الذكية بشكل جدي إلا بعد تمرير قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار. وقد أقر هذا التشريع استثمارات فيدرالية بإجمالي 4.5 مليار دولار أمريكي لشركات المرافق على مستوى البلاد لدعم مشروعات الشبكة الذكية الخاصة بها كجزء من برنامج منحة استثمار في الشبكة الذكية (SGIG)، فضلاً عن 5.5 مليار دولار أمريكي في صورة أموال مماثلة من شركات المرافق والعملاء (Joskow، 2012).<sup>1</sup> وقد تم تمويل مشروعات منحة الاستثمار في الشبكة الذكية البالغ عددها تسعة وتسعين والمتضمنة أكثر من 200 شركة مرافق وغيرها من المنظمات، مع التركيز في التنفيذ بشكل كبير على البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم (DOE، 2013). وقد أدى هذا الاستثمار إلى نشر تطورات الشبكة الذكية على مستوى البلاد بالكامل، وبدأت بكل من مستقبلي المنحة وشركات مرافق أخرى تسعى إلى البقاء في دائرة المنافسة. ومع ذلك، ووفقاً لما أقره أحدث تقرير لسير العمل المتعلق بمنحة الاستثمار في الشبكة الذكية، يعد التمويل الإجمالي هذا "صغيراً نسبياً مقارنة بالمدفوعات البالغة مئات المليارات من الدولارات التي سيحتاجها مجال الطاقة الكهربائية لتحديث الشبكة الكهربائية بالكامل على مدى العديد من العقود القادمة" (DOE، 2013، p. iv).

تؤدي الأهمية البالغة لمنحة الاستثمار في الشبكة الذكية في تحفيز إجراء تطوير كبير للشبكة الذكية إلى طرح سؤال محدد، وهو: إذا كانت منافع تحديث الشبكة كبيرة للغاية، فما السبب وراء عدم القيام بذلك قبل تمرير قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار؟ وحتى يتسنى تحفيز التحليل التالي، سيشهد هذا الفصل استعراض بعض التجارب الفعلية التي يمر بها المستهلكون والمنتجون في استخدام تقنيات الشبكة الذكية. وأثناء الانتقال من الجانب النظري (التوقعي) إلى الجانب التجريبي (الفعلي)، قد تتضمن الأسئلة ما يلي:

- هل يؤدي استخدام هذه التقنية إلى إحداث التغييرات المتوقعة في النظام؟
- ما المنافع والتكاليف المحققة للتغييرات الفعلية في النظام؟

لا شك أن الأدلة التجريبية أو العملية المتعلقة باستجابة المستهلك للتسعير الديناميكي تشكل أهمية خاصة، حيث تتغير أسعار استهلاك الكهرباء مع حدوث تغييرات في التكلفة الحدية (الهامشية) للإمداد بالطاقة الكهربائية. ويعد استعداد المستهلكين وقدرتهم على تغيير طلبهم استجابةً لمؤشرات الأسعار ضمن العناصر الأساسية التي تدخل في حسابات المنافع أو المزايا الخاصة بالشبكة الذكية. وهذا التغيير أو التحول في الطلب يتيح تسوية الأحمال، وبالتالي خفض الأسعار على المدى الطويل وإرجاء قرارات الاستثمار. وبالإضافة إلى تلخيص الأبحاث حول طلب المستهلك، سندرس الأدلة المستقاة من القطاع الخاص فيما يتعلق بتطوير الشبكة الذكية، مع التركيز على التجارب غير المتصلة بقانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار بصفة عامة.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> تم تمويل برنامج منحة الاستثمار في الشبكة الذكية بمبلغ 3.4 مليارات دولار أمريكي، مع مبلغ مماثل قيمته 4.4 مليارات دولار أمريكي من القطاع الخاص.

<sup>2</sup> يكمن سبب ذلك في أن المشروعات ذات الصلة بمنحة الاستثمار في الشبكة الذكية تشوه الحوافز المتعلقة بأجهزة الإرسال والمرافق عن طريق تقديم مساعدات مالية متعلقة خصيصاً بتطويرات البنية التحتية للشبكة الذكية. وهذا التمويل "التحفيزي" مؤقت ولن يكون على الأرجح مؤشراً للبيئة التي سيتخذ فيها العملاء قرارات استثمار في المستقبل.

## استجابة المستهلكين لهياكل التسعير البديلة

عادةً ما يواجه المستهلكون في القطاع السكني جدول تسعير لا يتغير حسب الوقت، ولكن قد يزيد بمجرد وصول الاستهلاك إلى حدود معينة (Ito، 2012). وقد صُمم مخطط التسعير المجمع المتزايد هذا (بمعنى فرض سعر محدد لأول عدد محدد من الوحدات المستخدمة) للتشجيع على المحافظة على الطاقة، مع افتراض أن المستهلكين يحسّنون استخدامهم للطاقة وفقاً لسعر كل وحدة إضافية من وحدات الكهرباء المستخدمة. فكلما زاد استخدام المستهلكين للكهرباء، ازدادت تكلفتهم الحدية (الهامشية)، مما لا يشجعهم على استهلاك المزيد.

على الرغم من ذلك، تشير أبحاث حديثة إلى أن المستهلكين قد لا يستجيبون لتسعير الكهرباء غير الخطي بنفس الدقة المتوقعة نظرياً. وترى دراسات استقصائية أن العملاء في القطاع السكني يواجهون قيوداً تتعلق بالمعلومات ولا يفهمون جدول التسعير بشكل كامل (Ito، 2012). وعلى نحو عملي، يصعب على المستهلك تتبع حالة الاستهلاك الشهري أو اليومي أو استهلاك كل ساعة، إلى جانب توقع الطلبات الإضافية على الكهرباء قبل نهاية دورة إعداد الفواتير. مع ذلك، وحتى يتسنى الحصول على منافع التسعير الديناميكي على أرض الواقع، يتعين تغيير سلوك المستهلك بشكل مستمر بالقدر الذي يكفي لقيام شركات المرافق بضبط توقعاتها المتعلقة بالطلب، الأمر الذي يتيح لها التحسين الأمثل لعمليات التشغيل التي تقوم بها فيما يتعلق بالإمداد بالكهرباء وتقليل تكاليف الطاقة الفائقة للأبنية. ولذلك، فإن تقدير حجم استجابة الطلب لهياكل التسعير على أساس الزمن الحقيقي يعد أمراً بالغ الأهمية. وفي هذا الجزء، نلقي الضوء على نوعين من دراسات الاستجابة للطلب والتحديات التي أوردتها كل منهما فيما يتعلق بتحديد قيمة المنافع والمزايا العائدة من استثمارات الشبكة الذكية:

- البرامج الإرشادية وخيارات الأسعار
- دراسات حول الانتشار واسع النطاق على مستوى النظام.

### البرامج الإرشادية

لطالما كانت دراسات البرامج الإرشادية الوسيلة السائدة لفهم استجابة العملاء للطلب بالنظر إلى الأسعار. وعلى الرغم من أن هناك تباين واسع في التصميم التجريبي، فإن جميع الدراسات الإرشادية (التجريبية) تقارن بين تحكم باستخدام أسعار ثابتة لا تتغير مع الوقت ومخطط تسعير ديناميكي بأسعار غير ثابتة تتغير مع الوقت. ويشمل التسعير الديناميكي كلاً من التسعير على أساس وقت الاستخدام (TOU) وتسعير الذروة الحرجة (CPP) والخصم في أوقات الذروة "خصم تحفيزي من الرسوم للعملاء الذين يقللون الاستهلاك في أوقات الذروة" (PTR) والتسعير على أساس الزمن الحقيقي. ويعمل التسعير على أساس وقت الاستخدام على تغيير الأسعار بشكل محدد مسبقاً على مدار يوم أو أسبوع ما. بينما يعد تسعير الذروة الحرجة أكثر ديناميكية، ويعمل على تغيير الأسعار وتفاوتها بين الأيام الحرجة (أيام ذروة الاستخدام الحرج) والأيام غير الحرجة، وهو تغير يقوم على الطلب. بينما تعيد برامج الخصم في أوقات الذروة الأموال إلى العملاء نظير كل خفض في الاستهلاك يُفتر بالكيلو واط في الساعة مقارنة بقيمة قاعدية محددة أثناء ساعات ذروة الاستهلاك. ويعد التسعير على أساس الزمن الحقيقي أكثر مخططات الأسعار ديناميكية، وذلك بسبب استجابة الأسعار بشكل فوري لما يحدث من تغيرات في الطلب والعرض (الإمداد).

خلال الفترة من 2000 إلى 2010، أثارت أزمة الطاقة في ولاية كاليفورنيا الاهتمام بمسألة تباين الأسعار حسب الوقت.<sup>3</sup> وفي الواقع، فقد أجريت 109 دراسة على الأقل حول التسعير الديناميكي حتى الآن (Joskow، 2012). وإجمالاً، توصلت هذه الدراسات في النهاية إلى أن العملاء يستجيبون لارتفاع الأسعار عن طريق تقليل استخدام الطاقة أثناء فترات الذروة. ومع ذلك، فقد تباين حجم الاستجابة أكثر من عشرة أضعاف على مستوى الدراسات بسبب اختلاف التصميمات التجريبية، إلى جانب توفر تقنيات ميسرة، ومعدلات الأسعار المختيرة. لقد كشفت دراسات التسعير على أساس وقت الاستخدام الذي يتسم بأسعار وفترات زمنية محددة مسبقاً عن انخفاض الاستهلاك بمعدل 5 في المائة في فترات ذروة الحمل، بينما حققت

<sup>3</sup> تناول كل من فاروق وسيرجيتشي (Sergici و Faruqui) (2010) خمس عشرة تجربة بارزة حول التسعير على أساس وقت الاستخدام وتسعير الذروة الحرجة والخصم في أوقات الذروة والتسعير على أساس الزمن الحقيقي، وقد تم إجراؤها في كل من كاليفورنيا وكولورادو وفلوريدا وإيداهو والبنوي وميسوري ونيوجيرسي وأوريغون وواشنطن (الولاية) ونيو ساوث ويلز (أستراليا) وأونتاريو (كندا) وفرنسا. ومنذ ذلك الحين، أجرت شركة Baltimore Gas and Electric وبرنامج PowerCents DC ومشروع خطة التسعير الذكي للطاقة في شيكاغو (Chicago Energy Smart Pricing Plan) المزيد من الدراسات حول التسعير (Wolak، 2010؛ Allcott، 2011).

مخططات التسعير الأكثر ديناميكية، مثل تسعير الذروة الحرجة، الذي يتسم بأسعار مرتفعة للغاية أثناء الفترات الحرجة، انخفاضاً بمعدل يزيد عن 50 في المائة من الاستهلاك خلال فترات ذروة الحمل. ويعكس هذا التباين الواسع في الاستجابة للطلب أيضاً تبايناً جوهرياً في سمات المستهلكين. وتكمن إحدى نقاط الاختلاف عما ورد في نتائج تحليل المحاكاة في نتيجة مشتركة توصلت إليها دراسة تجريبية توضح أن ارتفاع الأسعار في وقت الذروة يؤدي إلى تقليل ذروة الطلب بدون تحول معادل في الاستهلاك إلى أوقات خارج الذروة. ويشير جوسكو (2012) إلى أن هذه النتيجة قد تتغير بمجرد زيادة انتشار استخدام السيارات الكهربائية وغيرها من التقنيات التي يسهل اختيار التسعير على أساس وقت الاستخدام لها.

إن الاختلافات في التغييرات التي تطرأ على سلوك المستهلك تؤدي إلى تغيير تفسير ما تشير إليه تقديرات الاستجابة للطلب الخاصة بالبرامج التجريبية، وذلك نظراً لأن استجابة المستهلكين عموماً تعتمد على الاستجابة الفردية بالتزامن مع المشاركة في البرنامج. ولا تشمل العديد من البرامج التجريبية إلا على متطوعين فقط، وهي حقيقة تكشف عن وجود محاباة في الاختيار.<sup>4</sup> وتكمن مشكلة المحاباة في الاختيار في أن الأشخاص يعرفون النوع الذي ينتمون إليه في شرائح المستهلكين، وبالتالي سيستخدم هؤلاء الذين يتوقعون أن تكون المنفعة من المعالجة أعلى من تكلفتها مخطط تسعير ديناميكي بدلاً من مخطط الأسعار الثابتة التي لا تتغير حسب الوقت. ومن ثم، يمكننا أن نتنبأ بأن الأشخاص الذين يسعون للحصول على أقصى فائدة ممكنة من التسعير على أساس الزمن الحقيقي سيشاركون في هذا الأمر ويظهرون مرونة أعلى فيما يتعلق بالطلب. وسيكون من الخطأ بدرجة بالغة أن نفترض أن تأثير المعالجة الناتجة عن الدراسات التجريبية يمكن استنتاجه ببساطة وتطبيقه على كل المجموعة المختارة عبر فئات متباينة من المستهلكين. فعلى سبيل المثال، إذا كانت الدراسة التجريبية مكونة من 5 في المائة من إجمالي المستهلكين وتم عرض التسعير الديناميكي على 100 في المائة من هذه المجموعة المختارة، فلا يمكننا توقع تحقيق 20 ضعفاً من المنافع المقدر. ففي الواقع، قد تكون المنافع المتوقعة أقل نظراً لتباين فئات المستهلكين.

يُشار إلى أن أحد الانتقادات الموجهة للتجارب الإرشادية التي تُجرى حالياً يتمثل في أن القليل من البرامج التجريبية تقوم بتحليل توزيع الاستجابات أو تأثيرات الفواتير على مستوى المستهلكين. وهناك أدلة على أن معظم الانخفاض في الطلب ناتج عن عدد مُركّز نسبياً من المستهلكين، ولكن يتوفر لدينا قدر محدود من المعلومات حول هوية هؤلاء العملاء ومدى ثبات سلوكهم مع مرور الوقت ([مستقبل الشبكة الكهربائية] *Future of the Electric Grid*، 2011). بالإضافة إلى ذلك، تقدم بعض الدراسات توزيعاً مؤقتاً للاستجابة للطلب، وهو ما من شأنه أن يؤثر على القرار المتعلق بتقليل الطاقة الإنتاجية التي يتم توليدها. فعلى سبيل المثال، تختلف المنفعة الناتجة عن استجابة للطلب بمعدل 5- في المائة يومياً عن تلك الخاصة باستجابة بمعدل 10- في المائة لمدة نصف الأيام و0 في المائة للنصف الآخر. في النهاية، يمكن القول إن التجارب الإرشادية يمكنها فقط أن تتناول معدل الاستجابة على المدى القصير. وقد تكون الاستجابة على المدى الطويل أكبر عندما يستثمر المستهلكون في تقنيات الدمج والتكامل مع الشبكة الذكية، مثل استخدام الأجهزة الذكية. ومن ناحية أخرى، قد تقل الاستجابة على المدى الطويل إذا تم الرجوع للعادات القديمة بعد أن ينطفئ بريق البرنامج التجريبي الجديد.

#### الدراسات واسعة النطاق

إن دراسات الاستخدام واسعة النطاق على مستوى النظام بالكامل ستكون مثالية في التقدير الفعلي للاستجابة للطلب، نظراً لأنها ستتناول عينة كبيرة من المستهلكين على مدى فترة زمنية طويلة، فضلاً عن أنها ستوفر معلومات حول التكاليف الفعلية للتنفيذ. وفي هذا الإطار، يستخدم بورنستين (Borenstein) (2007b) بيانات حول نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي خاصة بعملاء يعملون في أنشطة تجارية وصناعية في شمال كاليفورنيا ليوضح أن بعض العملاء الذين لديهم أنماط استهلاك تُقَدَّر بأنها غير مرغوب فيها تجاه أوقات الذروة قد يتلقون في واقع الأمر فوائد أعلى عند استخدام نظام أسعار على أساس الزمن الحقيقي مقارنةً بنظام الأسعار الثابتة التي لا تتغير حسب الوقت. ومع ذلك، لا يمكن تطبيق النتائج المستقاة من عملاء كبار في القطاع الصناعي بكل ثقة على مستهلكين في المنازل. ولم يتم الإبلاغ عن نتائج أولية في هذا الخصوص إلا مؤخراً جداً (DOE، 2012a، 2012b). وفي هذا الإطار، تلقت ثلاثة مشروعات تقارير تقييمية كمية أولية من شركة Oklahoma Gas and Electric (OG&E) و Marblehead Municipal Light Department (إدارة الإضاءة البلدية في ماربليهد - MMLD)

<sup>4</sup> إدراكاً لهذه المشكلة، عملت بعض دراسات الطلب المتعلقة ببرامج منحة الاستثمار في الشبكة الذكية على تخفيف حدة مشكلة اختيار العينة البحثية. وبالرغم من ذلك، لم تكن النتائج النهائية لهذه الدراسات متوفرة وقت كتابة هذا التقرير.

وجمعية Sioux Valley Energy التعاونية. وباستخدام نظام تسعير الذروة الحرجة وبوابات ويب لإرسال المعلومات، بلغ الانخفاض في ذروة الطلب نسبة تتراوح بين 25 و37 في المائة. وقد كانت درجة القبول لدى العملاء إيجابية عموماً، مع انخفاض العديد من فواتير استهلاك الكهرباء في برنامج OG&E (متوسط انخفاض بلغ 150 دولاراً أمريكياً خلال فترات الصيف)، إلى جانب تمكن جميع العملاء من توفير أموال من خلال مخطط تسعير الذروة الحرجة ضمن برنامج MMLD [إدارة الإضاءة البلدية في مربلهيد]. وقد قارن برنامج Sioux Valley بين العملاء الذين اختاروا الانضمام إلى نظام تسعير الذروة الحرجة، وأولئك الذين وُضِعوا ضمن هذا النظام ولم يختاروا الخروج منه. واتضح أن العملاء الذين اختاروا الانضمام بارادتهم أظهروا انخفاضاً في استهلاك الطاقة في ذروة الطلب أعلى مقارنةً بهؤلاء الذين لم يختاروا الخروج منه، الأمر الذي يعزز فكرة أن التباين في طبيعة العملاء يعد عنصراً محورياً في تحديد النتائج عندما يتم عرض البرنامج على قاعدة أكبر من المستهلكين.

### مخاوف المستهلكين وتجاربهم السلبية

بالرغم من أن الدراسات التجريبية تشير إلى وجود قدر ما للاستجابة للطلب مرتبط بالبنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم ونظام الأسعار التي تتغير حسب الوقت، فإن هذا لا يعني بالضرورة أن جميع المستهلكين يستفيدون من هيكل التسعير الجديدة. على سبيل المثال، اشتكى عملاء لدى جمعية Sioux Valley Energy التعاونية بعد عدة أيام من تطبيق إجراءات تتعلق بنظام تسعير الذروة الحرجة لأيام متتالية.

وقد كانت هناك أدلة واردة عبر مصادر الأخبار تتعلق بتراجع العملاء عن استخدام برنامج SmartMeter (العداد الذكي) الذي قدمته شركة Pacific Gas and Electric Company في بيكرسفيلد بولاية كاليفورنيا (Smith، 2010). فبعد تركيب العدادات الجديدة كجزء من برنامج واسع النطاق لترقية العدادات في شمال كاليفورنيا، صُدِم بعض السكان من تضاعف قيمة فواتيرهم الشهرية مقارنةً بالعام الماضي. وقد رفع معارضو العدادات الذكية دعوى قضائية جماعية للتشكيك في دقة هذه الأجهزة (Chediak، 2009). وما زاد من حدة الارتباك في هذا الخصوص أن هؤلاء العملاء لم يتم تسجيلهم في أي نوع من خطط الأسعار التجريبية، غير أنهم ألقوا باللائمة على العدادات نظراً لاعتقادهم بوجود قياسات خاطئة.

عند التحقيق، توصلت شركة PG&E إلى أن العدادات لم يكن بها خلل وظيفي، وأن السبب وراء كل هذا التراجع والانتقاد، في الواقع، ما هو إلا سوء حظ في اختيار توقيت استخدام الطاقة. إذ تصادف تركيب العدادات الجديدة مع فترة زيادة الأسعار التقليدية، الأمر الذي تصادف أيضاً مع ارتفاع درجات الحرارة على غير العادة (Smith، 2010). وقد كشفت هذه الحادثة عن قلة وعي العملاء بهيكل الأسعار الأساسية وتغيرات الأسعار وحاجتهم إلى التعرف بشكل أفضل على تقنية العدادات الذكية.

بالإضافة إلى ذلك، أعربت بعض الجمعيات والجهات التنظيمية عن مخاوفها من أن تسعير الذروة (التسعير الذي بموجبه تتم زيادة الأسعار خلال فترة الذروة في الطلب) قد يؤثر سلباً على بعض أفراد المجتمع سريعي التأثير ممن يعجزون عن تكيف استخداماتهم للكهرباء. فعلى سبيل المثال، سيظل لزاماً على شخص مُسن يستخدم جهازاً طبياً ما تشغيل هذا الجهاز بغض النظر عن أوقات الذروة، وسيتضرر بشكل غير مناسب البقاء ضمن نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي (Smith، 2010).

### مجموعة مختارة من التجارب والمشكلات المتعلقة بالشبكة الذكية: دراسات حالة موجزة

في هذا الجزء، سنناقش تجربتين لاستخدام الشبكة الذكية تلقين الضوء على بعض التوترات التي تكمن وراء مشروعات الشبكة الذكية واسعة النطاق. ولا يمكننا الادعاء بأن هذه التجارب مجرد نماذج تمثيلية أو أن هذه المشكلات حتمية ولا مفر منها.

#### SmartGridCity (مدينة الشبكة الذكية): بولدر، كولورادو

اشتهرت مدينة بولدر بولاية كولورادو بأنها "مدينة الشبكة الذكية" الأولى على مستوى البلاد. وكانت شركة Xcel Energy، التي تعمل كشركة خدمات عامة بكولورادو، هي الجهة المنوط بها الإمداد بالطاقة الكهربائية

في المدينة. وقد شرعت في تنفيذ مشروع واسع النطاق يُعرف باسم SmartGridCity (مدينة الشبكة الذكية) في عام 2008، يتضمن تركيب تقنية اتصال ثنائي الاتجاه من الألياف الضوئية وعدادات ذكية لربع سكان المدينة (Skinner، 2013؛ Jaffe، 2012). وقد بدأ المشروع قبل تمرير قانون الانتعاش الأمريكي وإعادة الاستثمار. ولم تسعى الشركة إلى الحصول على موافقة من الجهات التنظيمية لتغطية التكاليف مقدماً، مفضلةً بدلاً من ذلك الانتظار حتى يتم التأكد من تحقيق هذا المشروع للمنافع والمزايا المرجوة (Smith، 2008).

بدءاً من تشرين الأول 2012، بلغت التكلفة الإجمالية للمشروع 45 مليون دولار أمريكي، أي ما يعادل ضعف إلى ثلاثة أضعاف التقديرات الأولية. وبعد الموافقة سابقاً على منحها 27.9 مليون دولار أمريكي كجزء من استرداد تكلفة رأس المال بموجب حكم صدر في عام 2011، رفضت لجنة المرافق العامة بولاية كولورادو طلب شركة Xcel باسترداد مبلغ إضافي قدره 16.6 مليون دولار أمريكي من تلك التكاليف في عام 2013 (Skinner، 2013؛ Jaffe، 2012؛ Gomez، 2013). وقد كان السبب وراء ذلك هو فشل شركة Xcel في إظهار أي منافع جوهرية تتعلق "بالتعامل مع العملاء" من هذه الاستثمارات بما يتناسب مع الزيادة الهائلة في تكاليف المشروع (Gomez، 2013). كما فشلت الشركة في توفير معلومات كافية للجنة، بما في ذلك تحليل المنافع إلى التكاليف المتعلقة بمشروع SmartGridCity (Gomez، 2013).

هذا وقد حققت جريدة *The Denver Post* في عملية تطوير مشروع SmartGridCity ووجدت أن شركة Xcel قللت من تقدير تكاليف الإنشاء، وفقدت دعم الشركات الشريكة لها، ولم تحقق أهدافها المتعلقة بأجهزة الطاقة داخل المنازل، وفضلت نظام اتصالات النطاق العريض عبر الخطوط الكهربائية إلى جانب شبكة ألياف ضوئية كانت تكاليف تركيبها أعلى بكثير من المتوقع (Jaffe، 2012).<sup>5</sup> ومع ذلك، فقد أظهر التقرير النهائي لمشروع تسعير إرشادي أجري على حوالي 4000 أسرة (متضمناً تحديد الأسعار من خلال أنظمة تسعير الذروة الحرجة والخصم في أوقات الذروة والتسعير على أساس الاستخدام) أن ذروة الطلب قد انخفضت، بالفعل، في نطاق كل هيكل تسعيري من الهياكل سالفة الذكر، مع تحقيق هيكل تسعير الذروة الحرجة أعلى نسبة انخفاض في الاستهلاك قاربت 30 في المائة (EnerNOC، 2013). وكانت المعلومات المتعلقة باستهلاك الكهرباء تتاح للمستهلك بمعدل تأخير 15 دقيقة فقط وفي شكل غير مفضل على وجه التحديد؛ الأمر الذي أدى على ما يبدو إلى خيبة أمل بعض الشيء في استخدام البرنامج (Skinner، 2013). وقد أشار تحليل المنافع إلى التكاليف لبرنامج التسعير، وذلك باستخدام مقاييس المنافع المتحققة على حسب الطاقة المتوفرة وتكاليف السعة مقارنةً بتكلفة تصميم البرنامج وتطبيقه، إلى أن نسبة المنافع إلى التكاليف بلغت 0.07؛ الأمر الذي يوضح أن تكلفة إدارة البرنامج كانت أعلى بكثير من منافعه. وقد تنبأت التحليلات أيضاً أن متوسط فواتير الكهرباء كان سيزيد على المدى الطويل بالمقارنة بنظام التسعير القائم آنذاك. وفي عام 2013، صوتت مدينة بولدر على إخضاع نظام الطاقة الكهربائية لديها لإشراف البلدية.

ترى شركة Xcel أن المشروع "ناجح جداً" من الناحية البحثية، وذلك وفقاً لما يراه ميخائيل لامب (Michael Lamb) رئيس فريق العمليات بالشركة (Helms، 2013). وقد صرح أيضاً "لقد عوقبنا على محاولة القيام بشيء محفوف بالمخاطر". وأضاف "أتمنى ألا تؤثر حقيقة أن بعض الأشخاص يرون مشروع SmartGridCity كمشروع فاشل على مجال صناعة المرافق، ولكنها بالفعل تثبط نوعاً ما من التحلي بروح السعي نحو الابتكار وخوض المغامرة" (Helms، 2013).

#### عملية تحديث الشبكة الكهربائية بولاية ماساتشوستس

في الثاني من تشرين الأول عام 2012، أصدرت إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس (DPU) إخطاراً بإجراء أبحاث لاستكشاف فرص لتحديث الشبكة (*Massachusetts Electric Grid Modernization Stakeholder Working Group Process*، 2013). وقد تضمنت الأهداف المرجوة تعزيز الموثوقية وتقليل تكاليف الكهرباء وتمكين المستهلكين من إدارة استهلاكهم للكهرباء على نحو أفضل وزيادة كفاءة النظام وتحسين موارد الطاقة النظيفة وتقديم عروض جديدة. وقد تضمنت شركات التوزيع التي تعمل تحت إشراف إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس كلاً من Western Massachusetts Electric Company و NSTAR Electric and Gas

<sup>5</sup> لا يشجع استخدام الاتصالات ذات النطاق العريض عبر الخطوط الكهربائية على نطاق واسع في الولايات المتحدة.

وMassachusetts Electric Company وNantucket Electric Company. وتمارس الشركتان الأخيرتان الأعمال تحت مسمى الشبكة الوطنية (National Grid)، في حين أن شركة Fitchburg Gas and Electric Light Company تمارس أعمالها تحت اسم شركة Unital Corporation.

هذا وقد فحصت مجموعة العمل الحالة الحالية للتقنية المستخدمة في الشبكة وراجعت الأدلة المتعلقة ببرامج التسعير البديلة على الصعيد الوطني وبالنسبة أيضاً للمشروعات التجريبية الخاصة بشركات التوزيع فيما يتعلق بالقياس.<sup>6</sup> وبصفة عامة، أشارت الأدلة إلى استجابة العملاء إلى حد ما إلى نظام التسعير المتغير حسب الوقت، ولكن كانت هناك نتائج متنوعة فيما يتعلق بمتوسط الوفورات المتعلقة بالمستهلكين. كما تضمن التقرير النهائي لإدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس تقريراً حول تفضيلات أصحاب المصلحة بشأن إطار العمل التنظيمي، مع تفضيل الموزعين عموماً الخطط التي تنص على الموافقة المسبقة على استرداد التكاليف. كما تضمنت أيضاً العديد من العروض المتعلقة بنطاق تحليل فعالية التكاليف الخاصة بخطط التحديث. في 23 كانون الأول، 2013، قدمت إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس "عرضاً ضئيل القيمة" قائماً بدرجة كبيرة على التقرير النهائي (DPU، 2013). وفي هذا العرض، طلبت الإدارة تقديم خطة لتحديث الشبكة على مدى عشر سنوات من كل مرفق، بما في ذلك خطة شاملة للقياس المتقدم للاستهلاك (CAMP) لتتيح توفير "وظائف قياس متقدمة في موعد لا يتجاوز ثلاث سنوات من موافقتنا على [خطة قياس الاستهلاك] الخاصة به، مع افتراض أن منافع القيام بذلك تبرر التكاليف" (DPU، 2013، p. 3). وتقديراً لطموح العرض، طلبت الإدارة أيضاً أن تتضمن كل خطة شاملة للقياس المتقدم للاستهلاك طلباً للحصول على آلية تتيح استرداد التكاليف التي يتكبدها كل مرفق بسرعة أكبر. وكان السبب وراء هذا القرار هو أن وظائف قياس الاستهلاك المتقدمة عبارة عن نظام أساسي لتحديث الشبكة، ومن ثم يجب أن يحظى بالأولوية لدى شركات التوزيع.

في 17 كانون الثاني 2014، قدمت شركتا NSTAR وWestern Massachusetts Electric Company ملاحظات نقدية إلى إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس تعترضان فيها على التكاليف الملزم المتعلق بالبنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم. وقد أشارت الملاحظات المقدمة إلى أن التكاليف المتعلقة بالتقنيات المقدمة قد أعاق تحديث الشبكة، بدلاً من التشجيع على ذلك، وذلك من خلال الحد من مرونة خطط التحديث ورفض عملية استرداد التكاليف الموجهة لتقنيات ليس لها صلة بالبنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم. علاوةً على ذلك، في إحدى المناقشات الجدلية التي دأب صيتها بين أصحاب المدونات المناهضين للعدادات الذكية، أشارت الملاحظات المقدمة إلى أن هناك أدلة محدودة تشير إلى أن البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم تعد أكثر استثمارات الشبكة الذكية فعاليةً من حيث التكلفة من أجل الوصول إلى التحديث، وأن المنافع التزايدية قد لا تبرر التكاليف.<sup>7</sup> وأخيراً، أشارت هذه الملاحظات إلى أن البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم لن يكون لها دور في دمج تقنيات التوليد الموزعة التي من المتوقع أن تكون إحدى الميزات الرئيسية للنظام الكهربائي في المستقبل.

هذا وقد استمر الجدل بشأن هذا العرض ضئيل القيمة وعملية تحديث الشبكة في ولاية ماساتشوستس حتى تشرين الأول عام 2014. ويمكن الوصول للوثائق العامة المتعلقة بهذه القضية من خلال الكومنولث الخاص بالمكتب التنفيذي لولاية ماساتشوستس لشؤون البيئة والطاقة (Commonwealth of Massachusetts Executive Office) (بدون تاريخ).

## ملخص بشأن الأدلة التجريبية

بالرغم من أن الدراسات الإرشادية وواسعة النطاق تكشف وجود تباين في درجات استجابة المستهلكين للطلب بالنظر إلى أسعار الكهرباء، تشير التجارب التي تم تناولها أعلاه أنه قد تكون هناك مبالغة في المنافع المتعلقة بنظام الأسعار على أساس الزمن الحقيقي. ونظراً لأن الأسعار يمكن أن تتغير باستمرار، قد لا تؤدي الأعباء المعرفية الكبيرة أو غيرها من الأعباء المعلوماتية الواقعة على عاتق المستهلكين (مثل تكاليف المعاملات) إلى تغيير في السلوك.

<sup>6</sup> تتسم الأسعار القديمة للعملاء في القطاع السكني وصغار المستهلكين في ولاية ماساتشوستس بأنها ثابتة، وتقوم شركات التوزيع بشراء الطاقة بسعر الجملة باستخدام عقود مصممة بهدف الحد من تقلبات الأسعار.

<sup>7</sup> تجدر الإشارة إلى أن شركتي المرافق هاتين قد قامتا في وقت سابق بتركيب نظام قياس غير نظامي؛ الأمر الذي أدى إلى تقليل تكاليف القياس التي تتحملها شركات المرافق بالفعل.

وحتى إذا كان إجمالي صافي منافع الشبكة الذكية بالنسبة للمجتمع إيجابياً، فقد يلاحظ المستهلكون الأقل استجابةً للأسعار زيادةً في فواتير الكهرباء نتيجة لسياسات التسعير الجديدة. علاوةً على ذلك، تشير الأدلة القولية إلى أن شركات المرافق قد لا تمنح نفس التقنيات الأولوية التي تمنحها لها الجهات التنظيمية، وقد اتسمت بعض استثمارات الشبكة الذكية بتجاوز التكاليف وعدم قدرة شركات المرافق على استرداد هذه التكاليف. في الفصل التالي، سننتقل إلى مناقشة أكثر تفصيلاً من الناحية النظرية حول الهياكل التحفيزية الكامنة في تحديث الشبكة. وكثيراً ما تنتج عن هذه الحوافز عوائق تعترض طريق تطوير الشبكة الذكية.



## شرح الأدلة: عوائق استخدام تقنية الشبكة الذكية

كما وثقنا في الفصول السابقة، يمكن أن يؤدي استخدام تقنيات الشبكة الذكية إلى زيادة الكفاءة والموثوقية في سوق الطاقة الكهربائية وذلك من خلال إتاحة تغيير وقت حمل الذروة وتسهيل عملية استجابة المرافق لانقطاعات التيار الكهربائي والتهديدات ذات الصلة. وعلى الأرجح، ستعمل طبقة المعلومات الخاصة بالشبكة الذكية على تعزيز الكفاءة الاقتصادية للنظام الكهربائي؛ الأمر الذي ينتج عنه خفض إجمالي تكاليف التشغيل وإتاحة إمكانية القيام بالمزيد من الأنشطة المتعلقة بتنظيم أعمال ومشاريع. وبالرغم من ذلك، تكون عملية استخدام تقنيات الشبكة الذكية بطيئة نسبياً عندما تتحمل شركات المرافق (وفي النهاية، المستهلكون) التكاليف، وعندما لا تتم الاستفادة الكاملة من طبقة تقنية المعلومات.<sup>1</sup> وتواجه شركات المرافق أيضاً انخفاضاً في الطلب بفضل تدابير الكفاءة، وانخفاضات الطلب على حمل الذروة، وطرح الإمداد الموزع (مثل استخدام الطاقة الشمسية بالمنزل والطاقة الشمسية الفولتوضوئية والرياح)، والذي يتمكن المستهلكون من خلاله من إنتاج جزء من احتياجاتهم من الطاقة الكهربائية.<sup>2</sup> ويعني انخفاض الطلب انخفاض العائدات، الأمر الذي يؤدي إلى تقليل رأس المال التشغيلي اللازم لترقية التقنية بدون رفع الأسعار من خلال قضايا لاحقة لتحديد الأسعار. وبشكل ديناميكي، كلما ارتفعت الأسعار، أصبحت التقنيات الموزعة البديلة (مثل، لوحات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية) أكثر جاذبية، وعندما يتم استخدامها، يقل الطلب على الطاقة الكهربائية المستمدة من المرافق بدرجة أكبر. ويعني انخفاض عدد العملاء زيادات في متوسط التكاليف الثابتة لكل عميل، الأمر الذي ينتج عنه ارتفاع متوسط فواتير الكهرباء للعملاء الذين لازلوا يستخدمون النظام. وقد أدى ذلك إلى الحديث عن حلول الشبكة الذكية التي تؤدي إلى "تدهور الوضع المالي والاستدامة" لشركات المرافق التقليدية مع نمو عملية التوليد الموزع المدعوم بالتقنيات (راجع، مثلاً، Resnick Institute، 2012؛ Berst، 2014).

في هذا الفصل، سنناقش كيف أن الحوافز الاقتصادية التي تواجهها شركات المرافق ومستهلكو الكهرباء في ظل الهيكل التنظيمي الحالي تشكل عوائق أمام اقتناء تقنية الشبكة الذكية واستخدامها.

## الحوافز التنظيمية المتعلقة بالعرض

في أي نظام تنظيمي (جزئياً)، مثل مجال الكهرباء، يمكن تعريف الابتكار بأنه عملية استثمار في تقنيات جديدة لرأس المال من أجل إما (1) خفض تكاليف التشغيل أو (2) زيادة الطلب على الخدمات الحالية أو الجديدة (Guthrie، 2006). وتواجه شركات المرافق قرارات بشأن كل من كم وتوقيت التعزيزات التقنية التي تقدمها الشبكة الذكية لأنظمة التوزيع، والتي تعد عرضة للمخاطر المتعلقة بالتكاليف العامة للاستثمار فضلاً عن المنافع التي ستحققها هذه التقنيات. ويواجه العملاء قرارات مماثلة عند شراء أجهزة "ذكية" قد تستخدم لتقليل تكاليف المعاملات الخاصة بتحويل الطلب على الطاقة والاستجابة لمؤشرات الأسعار الديناميكية. وفي المقابل، يؤدي عدم اليقين بشأن نتائج هذه الأنماط بدوره إلى عدم يقين شركات المرافق بها. ويتحدد تقاسم المخاطر بين العملاء وشركات المرافق في المقام الأول من خلال الهيكل التنظيمي، وهذا الهيكل يؤثر في النهاية على حوافز الاستثمار في التقنية الجديدة.

<sup>1</sup> على النقيض من استخدام التقنيات التي إما يتم الدفع نظيرها (أو على الأقل تكون مدعومة مالياً) من خلال برامج مثل منحة الاستثمار في الشبكة الذكية.

<sup>2</sup> انخفض إجمالي كميات المبيعات بالتجزئة (بوحدتي ميجاوات في الساعة) بمقدار 1.5 في المائة على مستوى جميع القطاعات في الفترة بين عامي 2011 و2012 (EIA، 2014b). وقد وصلت المبيعات إلى أعلى معدل لها خلال العقد الماضي في عام 2007.

هناك مزيج من الحوافز المتنوعة التي تحت موزعي الكهرباء على استخدام تقنيات الشبكة الذكية.<sup>3</sup> فمن الناحية الإيجابية، من الممكن أن تؤدي القدرة التمكينية التي تتمتع بها هذه التقنية إلى تحويل الطلب في وقت الذروة (من خلال الاستجابة الواعية أو غير الواعية للمستهلكين) إلى (1) خفض التكاليف الحالية للحصول على الطاقة عن طريق إزالة مصادر توليد الطاقة الأكثر تكلفة من هذا المزيج عندما يكون الطلب مرتفعاً و(2) خفض تكاليف البنية التحتية المستقبلية عن طريق تأجيل إنشاء بنية تحتية أخرى لازمة. بالإضافة إلى ذلك، تؤدي القدرة على تشخيص انقطاعات التيار الكهربائي وحل المشكلات ذات الصلة بسرعة وسهولة إلى نتيجتين تتمثلان في خفض تكاليف التشغيل (من خلال تقليل الوقت والقوى العاملة المستخدمة عند كل انقطاع) وزيادة العائدات (من خلال زيادة مبيعات الطاقة). يشار إلى أن الشركات تلجأ إلى الاستثمار عندما تكون صافي القيمة الحالية للاستثمار إيجابية، مع افتراض أن تلك الشركات تحاول تعظيم صافي القيمة الحالية المتوقعة للتدفقات النقدية أو القيمة السوقية (Guthrie، 2006). وبالنسبة لشركات المرافق، تتأثر هذه الحسابات بالهيكل التنظيمي من خلال مجموعة متنوعة من القنوات، بما في ذلك الإيرادات أو الأسعار المسموح بها، ومعدل العائد المسموح به، وتقدير أساس السعر الذي تكون إيرادات رأس المال مسموحاً بها استناداً إليه، إلى جانب الحوافز التي يخلقها الهيكل التنظيمي نحو اتخاذ قرارات الاستثمار (بما في ذلك خطر عدم السماح باستثمارات رأس مال معينة في إطار تقييم أساس السعر). ويتعين تصميم الآليات التنظيمية بحيث تتوقع شركات المرافق تحقيق أرباح ضمن صافي المنافع التي ستحصل عليها عند القيام باستثمارات، فضلاً عن تغطية التكاليف التي تكبدتها (Joskow، 2007).

إذا افترضنا أنه من المتوقع أن يؤدي أي استثمار إلى خفض التكاليف وتحقيق منافع على المدى الطويل (كما يرى مؤيدو الشبكة الذكية)، فإن الأدوات والمكونات الداعمة للسياسة المتاحة لدى الجهات التنظيمية في ظل النموذج التنظيمي الحالي تتمثل فيما يلي:

- 1- حصة وفورات تكاليف التشغيل التي يتم تمريرها إلى المستهلكين (من خلال أسعار بيع الكهرباء بالتجزئة)
- 2- حصة نفقات الاستثمار التي يتحملها المستهلكون (من خلال حساب أساس السعر)
- 3- توقيت جلسات الاستماع الخاصة بقضايا تحديد الأسعار التي يتم خلالها تنفيذ البندين 1 و 2
- 4- معدل العائد المسموح به على رأس المال (Guthrie، 2006).

في اللوائح التقليدية المتعلقة بتنظيم التكلفة مضافاً إليها ربح معين، يكتمل تمرير وفورات تكاليف التشغيل العابرة ونفقات الاستثمار (مع افتراض عدم وجود أي تخصيصات من قِبَل الجهة التنظيمية)، في حين تختلف توقيتات قضايا تحديد الأسعار (وربما معدلات العائد المسموح بها على رأس المال) على مستوى المواقع ويحدد السوق معدلات العائد المسموح بها. كما يمكن لصانعي السياسات التكليف باستخدام تقنيات محددة من خلال تشريعات الضبط والتحكم، إلا أن هذا يعد خارج نطاق الهيكل التنظيمي التقليدي المتعلق بنظام التكلفة مضافاً إليها ربحاً معيناً. بصفة عامة وفي حالة سارت الأمور على طبيعتها دون مؤثرات خارجية، فإنه كلما زادت حصة وفورات تكاليف التشغيل التي تعود على العملاء في قضايا تحديد الأسعار، زادت المثبطات التي تعرقل الاستثمار في الشبكة الذكية. والسبب وراء ذلك أنه كلما زادت هذه الحصة، انخفض صافي القيمة الحالية للأرباح المتزايدة الناتجة عن الاستثمارات نظراً لأنه يتم تمرير العائدات من شركة المرافق إلى المستهلك خلال فترات ما بعد جلسة الاستماع. ومن الناحية الحديثة التي يتعذر معها مواصلة النشاط الاقتصادي، لن تصبح المشروعات التي كان من المفترض أن تستمر في حالة عدم تمرير عوائد للمستهلكين مرشحة مجدداً للنشاط الاستثماري. وتكون القيمة الصافية الحالية المتوقعة لأحد الاستثمارات مرتفعة بشكل ملحوظ عندما تضمن شركة المرافق الحصول على عائد كافٍ لتغطية هذا الاستثمار.

<sup>3</sup> في هذا القسم، سنركز على شركات التوزيع المملوكة لمساهمين (شركات المرافق المنظمة) نظراً لاهتمامنا بالحوافز المتعلقة بالمنافع والتكاليف التي تتحملها الشركة. وقد تواجه شركات المرافق المملوكة للبلديات مجموعة متنوعة من الحوافز.

من الناحية العملية، في وقت الاستثمار، لا تكون وفورات تكاليف التشغيل (المناخ أو الأرباح) والتكاليف المحققة مؤكدة. علاوةً على ذلك، من منظور شركة المرافق والمستهلكين، لا يمكن تحديد الحصة الخاصة بكل منهما، والتي يتعين تمريرها إلى المستهلكين في غياب التزام موثوق فيه من الجهات التنظيمية. وستؤدي الزيادة في المخاطر التي تهدد شركة المرافق عموماً إلى تقليل الحوافز المشجعة على استخدام تقنيات الشبكة الذكية، وذلك بالنظر إلى انخفاض المنافع الصافية المتوقعة ذات الصلة العائدة من هذه الاستثمارات.

على سبيل المثال، من الاستنتاجات المتعلقة بإشكاليات الاستئثار التنظيمي، فإننا نفترض أن الجهات التنظيمية الخاصة بشركات المرافق لديها مصلحة في الحفاظ على انخفاض أسعار الكهرباء لإرضاء فئات المستهلكين لديها، وهي مصلحة تمثل دافعاً للحفاظ على انخفاض تكاليف الاستثمار بأكثر قدر ممكن. ونتيجةً لذلك، عند الانخراط في قضية ما لتحديد الأسعار، تواجه شركة المرافق بعض الشك فيما يتعلق بسلوك الجهة التنظيمية حيال مخصصات التكاليف الرأسمالية، خصوصاً إذا كان هناك العديد من الخيارات المتوفرة لترقية أحد الأنظمة. وإذا كانت تقنيات الشبكة الذكية أعلى تكلفة من بديل ما تقليدي (غير ذكي) ولكنها تتيح إلى حد ما المزيد من الوظائف الإضافية نظير السعر الأعلى، فحينها قد ترفض الجهة التنظيمية الحريصة على التكاليف مبدأ استرداد تكاليف التقنية الجديدة، خاصةً إذا لم يكن من السهل توثيق منافع مباشرة تعود على المستهلكين.<sup>4</sup> وحينها لن يتحمل المساهمون بشركة المرافق تكاليف مثل هذا الاستثمار. وفي ظل عدم وجود جهة تنظيمية ترغب في منح ضمان لاسترداد التكاليف، فإن الاتجاه إلى الاعتماد على التقنية الأقل تكلفة (بدلاً من التقنيات التي تعظم المنافع الصافية) سيكون أحد عوامل تثبيط الاستثمار في مجال تقنيات الشبكة الذكية.<sup>5</sup>

قد يؤثر توقيت حالات تحديد الأسعار أيضاً على الحوافز المشجعة على الاستثمارات في الشبكة الذكية. وبالنظر إلى طبيعة اللوائح التنظيمية التقليدية المتعلقة بمعدل العائد، يمكن لأي شركة مرافق الاستفادة من الاستثمار بإحدى الطريقتين التاليتين: (1) الاستثمار في مجال التقنيات وتوليد وفورات تتعلق بالتكاليف على المدى القصير (قبل تغيير الأسعار) أو (2) دمج الاستثمار الجديد ضمن الأسعار الجديدة بعد إحدى حالات تحديد الأسعار. وفي الحالة التنظيمية التي يحدث فيها تمرير كامل للوفورات والنفقات، تكون قيمة المنافع الصافية الناتجة عن النفقات صفرًا. ونتيجةً لذلك، فإنه بالنسبة للتقنيات التي يمكنها توليد الكفاءة على المدى القصير نسبياً، فكلما زادت الفترة الزمنية الفاصلة بين قضايا تحديد الأسعار، زاد الحافز نحو استخدام تقنيات الشبكة الذكية الموفرة للتكاليف. وبالنسبة للتقنيات التي لا تخلق وفورات في التكاليف للنظام (ولكنها ربما تكون متممة لمنافع خارجية، مثل خفض معدل استخدام الوقود الحفري)، فإن شركة المرافق تواجه تكاليفاً على المدى القصير لحين النظر في الحالة التالية لتحديد الأسعار.

أخيراً، هناك علاقة إيجابية بين حافز الاستثمار ومعدل العائد المسموح به على رأس المال نظراً لأن منافع الاستثمار تزيد مباشرةً عندما تسمح الجهة التنظيمية بأن يكون رأس المال جزءاً من أساس السعر. ويمكن العثور على تحليل أكثر تفصيلاً للحوافز ذات الصلة بالاستثمار في البنية التحتية في ظل المخاطر والاحتكار المقيد بلوائح تنظيمية في البحث الخاص بجوثري (Guthrie) (2006).

هكذا، يقسم الهيكل التنظيمي مخاطر الاستثمار بين المستهلكين وشركة المرافق؛ فالموافقة على الاستثمارات في الشبكة الذكية قد يؤدي إلى زيادة أسعار الكهرباء على المستهلكين، وذلك إذا سارت الأمور على طبيعتها دون مؤثرات خارجية، كما أن رفض الموافقة على هذه الاستثمارات قد يؤدي إلى ظهور حوافز ضد القيام بالمزيد من الابتكارات التقنية. علاوةً على ذلك، إذا التزمت الجهات التنظيمية فعلياً بتمرير تكاليف الاستثمار إلى المستهلكين، فسيتمثل المستهلك جميع المخاطر المصاحبة للمنافع المستقبلية، بما في ذلك انخفاض الأسعار المحتمل على المدى البعيد نتيجة

<sup>4</sup> على سبيل المثال، إن تركيب مجموعة من أجهزة الاستشعار المتصلة بالشبكة لمراقبة عملية التوزيع بالشبكة قد لا يكون ضرورياً للغاية لتوصيل الكهرباء للمستهلكين، ولكن يمكن أن يساعد شركة المرافق في تحديد مناطق الانقطاع بشكل أسرع، الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى تقليل تكاليف الاتصال بالخدمة أو الصيانة. ومن الناحية النظرية، سيتم تمرير هذه الوفورات إلى المستهلكين. ومع ذلك، قد لا تعتقد إحدى الجهات التنظيمية أن مثل هذه الوفورات ستتحقق بالفعل أو أن التكاليف قصيرة المدى ستجاوز المنافع بعيدة المدى.

<sup>5</sup> يحدث ذلك بالفعل في استثمارات رؤوس الأموال الكبيرة في المجالات التي تخضع لقيود تنظيمية. فعلى سبيل المثال، قدم فاولي (Fowlie) (2010) آراءً نقاشية مماثلة فيما يتعلق بأجهزة مكافحة التلوث في سوق الكهرباء.

التبديل بين الأحمال واستثمار رأس المال المؤجل<sup>6</sup> علاوةً على ذلك، يعني أسلوب تحديد السعر القياسي الذي يسمح فقط باسترداد التكلفة إلى جانب هامش ربح معين أن شركة المرافق نفسها لن تتمكن من تحقيق أرباح إضافية على المدى الطويل. ومن ثم، يحمي هذا المخطط التسعيري مستهلكي الكهرباء من الأسعار الاحتكارية، ولكنه يخلق في نفس الوقت مثبتات تعوق الاستثمار في الشبكة الذكية من جانب المنتجين والمستهلكين على حد سواء داخل السوق. بصفة عامة، يعد المستوى المثالي (والتوقيت المثالي أيضاً) للاستثمار في تقنيات الشبكة الذكية هو المستوى الذي يعظم إجمالي الفائض من نشاط الاستثمار لكل من المستهلك والمنتج، فضلاً عن جميع المنافع والتكاليف الخارجية. ومع ذلك، قد يصعب حساب هذا المستوى عملياً. وبالنظر إلى وجود قيود على الناتج، لن تتمكن الشركة المحنكرة غير المقيدة بضوابط تنظيمية من توفير الأموال والموارد للاستثمار وستتظر فترات أطول حتى يتسنى لها الاستثمار في عملية التحديث نظراً لضرورة مشاركة منافع وأرباح الاستثمار (وليس التكاليف) مع المستهلكين (Guthrie، 2006). ومن ثم يتعين على السياسات ذات الصلة دفع شركة المرافق إلى الاستثمار في مستويات أعلى وإنجاز هذا الاستثمار في وقت أقرب مما هو عليه الحال بالنسبة للحالات غير المقيدة بضوابط تنظيمية.

بالرغم من ذلك، لا يعد الاحتكار غير التنظيمي نقطة البداية لمعظم شركات المرافق الحالية التي تواجه الاستثمارات في الشبكة الذكية. فبدلاً من ذلك، تعمل شركات المرافق في ظل هياكل تنظيمية مختلفة، والتي يترتب عليها التباين في التكاليف التي يتم تمريرها إلى المستهلكين وتوقيت حالات تحديد الأسعار ومعدلات العائدات السارية المسموح بها. وبالإضافة إلى ذلك، قد تؤثر الاختلافات في هيكل الطلب العام ومحفظة أسهم رأس المال والمستوى الحالي للتطوير التقني، إلى جانب اعتبارات أخرى، على منافع وتكاليف الاستخدامات التقنية. وإيجازاً، يعد السؤال عما إذا كان الاستثمار في الشبكة الذكية يسير بمستوى مثالي (وإن لم يكن الأمر كذلك، فما الاتجاه الذي يجب دفعه للسير من خلاله) سؤالاً تجريبياً يعتمد جزئياً على الهيكل التنظيمي للجنة المرافق العامة الموجودة بكل ولاية.

بالرغم من ذلك، هناك بعض الأدلة على وجود عوائق غير تقنية تعترض سبيل استخدام الشبكة الذكية. فقد كشف تحليل توقعي عن التكاليف والمنافع في هذا الخصوص عن نسب أعلى من 1، وهو ما يشير إلى أن هناك منافع صافية إيجابية تعود على المجتمع من استخدام هذه التقنيات. وإذا كانت تقديرات المنافع والتكاليف صحيحة، فإن عدم اللجوء إلى استخدام هذه التقنيات في غياب محفزات كبرى من الحكومة يشير إلى وجود مشكلات تحفيزية ناجمة عن تقسيم المنافع والتكاليف على شركات المرافق والمستهلكين.

إضافةً إلى مشكلات الحوافز الناجمة عن الهيكل التنظيمي التي ناقشناها أعلاه، قد يواجه استخدام تقنيات الشبكة الذكية معوقات بسبب مشكلات ناجمة عن عوامل خارجية إيجابية. وإذا لم تكن جميع المنافع الصافية الناتجة عن ابتكارات إحدى الشركات قابلة للملاءمة تماماً، فستقل المحفزات الأولية للاستثمار في مجال الابتكار (Spence، 1984). وبالتالي، إذا كانت التداعيات المعرفية بالغة، كما هو الحال على الأرجح مع تقنيات الشبكة الذكية، فقد يصبح الاستثمار في الابتكارات منخفضة التكاليف واستخدامها عملاً دون المستوى الأمثل اجتماعياً. وعلى الرغم من أن السبب وراء هذه المشكلة ليس الفشل التنظيمي، فإنه يترتب عليها حوافز مماثلة لخفض الاستثمار في ابتكارات عملية يمكن أن تؤدي إلى خفض تكاليف الإنتاج مستقبلاً (Berg و Tschirhart، 1988؛ Malkin و Centolella، بدون تاريخ).

ننتقل الآن إلى تناول العديد من المعوقات المحددة المتعلقة بتقنيات الشبكة الذكية والتسعير الديناميكي.

<sup>6</sup> في قضية شركة Northeast Utilities/إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس التي تم تداولها مؤخراً، ذكرت شركة المرافق في خطاب أرسلته إلى الإدارة أنه

ستبلغ قيمة بطاقة سعر إنشاء البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم. تقريباً، أو ربما تتجاوز، مليار دولار أمريكي خلال فترة تطبيق خطة شاملة للقياس المتقدم للاستهلاك - بحيث يتحملها بالكامل العملاء، ممن يهتمون أو لا يهتمون بالتفاعل مع نظام التوزيع على المستوى الذي تنطوي عليه تقنية البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم. (التأكيد في النص الأصلي، Winter، 2013)

## نقص المعايير التقنية

خوّل قانون استقلال وأمن إمدادات الطاقة لعام 2007 (EISA) (قانون عام رقم 110-140) لجنة تنظيم الطاقة الفيدرالية باستخدام مجموعة من المعايير التوافقية التي سيضعها المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (NIST) استناداً إلى توصيات نظراء يعملون في القطاع الخاص.<sup>7</sup> وقد دعا هذا المعهد قطاعات الطاقة الكهربائية وتقنية المعلومات والتصنيع إلى المساهمة في عملية وضع المعايير. وقد أعد المعهد خمس مجموعات من معايير قابلية التشغيل البيئي في عام 2010. وتغطي هذه المعايير بروتوكولات لتبادل البيانات بين الأجهزة والشبكات وبين مراكز التحكم، وتنسيقات البيانات المشتركة لتسهيل الاتصال بين المحطات الفرعية والتشغيل الآلي لها، إلى جانب معالجة الآثار المترتبة لجميع المعايير المقترحة على الأمن الإلكتروني.<sup>8</sup>

لم يتم إقرار مجموعة المعايير الأولى التي وضعها المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا من جانب لجنة تنظيم الطاقة الفيدرالية، كما أنه لم يكن ليتم تنفيذها في حالة إقرارها.<sup>9</sup> ذلك أن المعهد لم يمنح اللجنة صراحةً السلطة اللازمة لإنفاذ أي معايير يصدرها المعهد. وهذا يعني أن اتباع هذه المعايير سيظل غير مُلزم ما لم يتم إصدار تعليمات تنظيمية وثيقة الصلة.

إن عدم وجود معايير ملزمة (في مقابل عدم وجود جدوى تقنية) يعد عائقاً أمام استخدام الشبكة الذكية. فعلى سبيل المثال، في تقرير حديث حول موضوع الأمن الإلكتروني للشبكة الكهربائية، وهو أحد الجوانب المهمة المتعلقة بالشبكة الذكية، سرد مكتب المحاسبة الحكومي بعض التحديات الرئيسية اللازمة لضمان الأمن الإلكتروني لشبكة الطاقة الكهربائية، والتي تمثلت في عدم وجود جهد منسق، والإشكاليات المتعلقة بالاختصاص القضائي، والتركيز المنصب في غير محله على الامتثال بدلاً من الأمن الشامل، وقلة ميزات الأمن المدمجة الكافية، وعدم وجود منتدى مناسب لنشر المعرفة، وعدم وجود مقاييس لتقييم الأداء (Trimble و Wilshusen، 2012). وبالمثل، تنسم المعايير التوافقية المتعلقة بقابلية التشغيل البيئي للبنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم وتنفيذها بأنها غير متجانسة وعرضة للتغيير بشكل سريع.<sup>10</sup> بالإضافة إلى الحد من الوظائف المرجوة من الشبكة الذكية، قد يمثل عدم وجود معايير موحدة مُلزمة عائقاً أمام الاستثمار من قبل جميع الجهات ذات الصلة، وذلك عند اتخاذها قراراً بشأن ما إذا كانت ستستثمر في أفكار وتقنيات جديدة فضلاً عن حجم هذه الاستثمارات. إن وجود إطار عمل متغير وغير واضح المعالم من المعايير يمكن أن يؤدي إلى تقليل الاستعداد لتحمل المخاطر المرتبطة بالأعمال والمشروعات خوفاً من وجود أصول عالقة (منعزلة) في حالة الانتهاء من المعايير.<sup>11</sup> وقد تؤدي الحاجة إلى تحديث الأصول لتلائم المتطلبات والمعايير المتغيرة إلى ارتفاع التكاليف بشكل غير مقبول وعلى نحو لا يتم أخذه في الاعتبار عادةً عند تحليل المنافع والتكاليف الخاصة بتطوير الشبكة الذكية.

<sup>7</sup> يوجه قانون استقلال وأمن إمدادات الطاقة السياسة الفيدرالية المتعلقة بتطوير الشبكة الذكية، ومن ثمَّ إرسال إشارة واضحة على التزام الحكومة الفيدرالية للولايات المتحدة بتعزيز عملية تطوير الشبكة الذكية ونشرها. وقد أنشأ هذا القانون فريق عمل الشبكة الذكية الفيدرالي ولجنة استشارية للشبكة الذكية، فضلاً عن أنه عزز التزام الحكومة بتخصيص موارد من أجل جهود الشبكة الذكية. ويمكن النظر إلى هذا الجانب من التشريع كتعزيز مباشر للتطورات الحادثة في مجال الشبكة الذكية.

<sup>8</sup> يمكن الاطلاع على موجز حول معايير المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا في التقرير الخاص به تحت عنوان NIST (2010).

<sup>9</sup> تم اتخاذ هذا القرار في صيف عام 2011 بسبب عدم وجود إجماع كافٍ بين مفوضي الولايات والمفوضين الفيدراليين.

<sup>10</sup> راجع الشبكة الذكية لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Smart Grid) (بدون تاريخ) للاطلاع على نماذج للعديد من المعايير التي وضعها هذا المعهد فيما يتعلق بالجوانب المختلفة للشبكة الذكية التي تتطور باستمرار.

<sup>11</sup> وفقاً لروايات متناقلة، يبدو أن هذا مؤكد من خلال التجربة العملية. فعلى سبيل المثال، أشار كل من كرايغ ميلر (Craig Miller)، كبير العلماء في الجمعية التعاونية الوطنية للكهرباء في المناطق الريفية (National Rural Electric Cooperative Association)، وستيفن فايندرجرين (Steven Widergren)، كبير المهندسين بالمختبر الوطني شمال غرب المحيط الهادئ التابع لوزارة الطاقة الأمريكية (Department of Energy's Pacific Northwest National Laboratory)، إلى أن عدم وجود معايير بشكل عائق كبيراً أمام استخدام الشبكة الذكية، وذلك في مؤتمر نظمه معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (Ravindranath، 2014).

## التكاليف الملموسة بالنسبة للمستهلكين

كما أوضحنا في الفصل السابق، أشارت الدراسات السابقة التي بحثت المنافع والتكاليف المحتملة للشبكة الذكية إلى أن وفورات التكاليف المحتملة التي تحققها شركة المرافق يتم تمريرها إلى المستهلكين نظراً لتحقيق المكاسب المرتبطة بالكفاءة. وتعد هذه ظاهرة طويلة المدى للمستهلكين بموجب اللائحة التنظيمية الحالية المتعلقة بمعدل العائد (حتى مع تطبيق نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي) نظراً لأنه يتم تمرير الوفورات أثناء حالات تحديد الأسعار. ويمكن لشركات المرافق تحقيق أرباح على المدى القصير فقط. ومع ذلك، يتحمل المستهلكون التكاليف ومعظم (إن لم يكن كل) مخاطر المنافع المتعلقة بهذا الاستثمار بعد أي حالة لتحديد الأسعار. وحتى إذا كانت التقنية توفر للمستهلكين أموالاً مقارنة بأي مسار استثماري بديل على المدى الطويل، فقد تؤدي الحقيقة المتمثلة في أن فواتير الكهرباء قد ترتفع إلى زيادة معارضة الشبكة الذكية من جانب المستهلكين، وخاصةً إذا خلقت شركات المرافق بداخلهم الانطباع بأنهم سيجنون وفورات فورية في التكاليف ولم يتمكنوا من إدراكها على المدى القصير.<sup>12</sup>

قد تتسبب التغييرات في هياكل التسعير والسؤال عن يتحمل تكاليف الاستثمار وزيادة التكاليف المتعلقة بإدارة الطلب والمخاوف المتعلقة بالخصوصية والسلامة في خلق انطباع بين المستهلكين بأن المنافع الصافية من الشبكة الذكية التي تعود عليهم أقل مما هو مزعوم. وفي هذا الإطار، نوثق هذه العوائق في الأجزاء الفرعية التالية.

### التسعير على أساس الزمن الحقيقي ووقت الاستخدام وتكاليف المعاملات

قد يؤدي طرح نظام أسعار تتغير حسب الوقت إلى إمكانية زيادة كفاءة سوق الكهرباء بوجه عام. ومع ذلك، فمن وجهة نظر المستهلك لا تعد كفاءة النظام بوجه عام الهدف المنشود بالضرورة. ذلك أن المستهلكين يرغبون في تعظيم إجمالي المنافع الصافية التي تعود عليهم، حيث إن أقصى ما يتمنونه أن تكون التكلفة التي يدفعونها مقابل مقدار معين من الكهرباء أقل من التكلفة التي يتعين عليهم دفعها فعلياً (فانض المستهلك)، بما في ذلك تكاليف إجراء أية تعديلات على استهلاكهم (تكاليف المعاملة). كما يشعرون براحة نسبية أيضاً تجاه نظام التسعير القائم، ولديهم على الأرجح إحساس بمدى تغير فاتورة الكهرباء التي يدفعونها مع تغير المواسم، ويشعرون، في الحقيقة، بالتفاوت تجاه نظام التسعير القديم. من المحتمل أن يؤثر طرح نظام أسعار تتغير حسب الوقت على العملاء المختلفين بطرق مختلفة. فعلى سبيل المثال، سيواجه المستهلك الذي يميل عادةً إلى الاستخدام المتحرر للكهرباء خلال فترات الذروة أحد خيارين: إما دفع أسعار مرتفعة نظير استهلاك الكهرباء في وقت الذروة إلى جانب ارتفاع فاتورة الكهرباء مع تطبيق نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي أو تجنب دفع الأسعار المرتفعة للاستهلاك في وقت الذروة ولكن على حساب تحمل الإزعاج أو عدم الراحة الناتج عن تقليص استهلاك الكهرباء أثناء تلك الأوقات (Boisvert و Neenan، 2003). ومن خلال اختيار الخيار الثاني، لا يستفيد هذا المستهلك من خفض الاستهلاك وإنما تخفض المنفعة الصافية التي سيجنيها ليس فقط بسبب الانخفاض في إجمالي فائض المستهلك، وإنما أيضاً بسبب تكاليف رصد استهلاك الكهرباء.

على الجانب الآخر، يمكن للمستهلك، الذي يتسم بالمرونة ويمكنه بسهولة (أي، بتكلفة بسيطة) تحويل الطلب على الاستهلاك من ساعات الذروة إلى ساعات خارج الذروة للحصول على نفس الخدمات، الاستفادة من أسعار الاستهلاك خارج الذروة، ومن ثم زيادة المنفعة الصافية التي تعود عليه من تغير الأسعار.

قد تساعد الأجهزة الذكية، التي يمكن للمستخدمين برمجتها لضبط استهلاك الطاقة تلقائياً، في تقليل تكاليف المعاملات المتعلقة بعملية الضبط، بالرغم من أنها قد تكون أعلى ثمناً من نظيرتها العادية، وقد يتكبد المستخدمون تكاليف إضافية فيما يتعلق بالإعداد والاستخدام. وللأسف، لن تتمكن الأسر منخفضة الدخل التي تواجه صعوبة في تحمل تكاليف إجراء ترقية إلى الأجهزة الذكية من الاستفادة من هذه الوفورات. وسيعمل التسعير المتغير على توفير حوافز لهذه الأسر من أجل اقتناء المنتجات الجديدة (EPRI، 2011)، ولكن الطبيعة المعقدة لهذه السلع الرأسمالية المعمرة

<sup>12</sup> على سبيل المثال، أثناء الحدث GridWeek 2011، صرحت السيدة اليزابيث بي فليمينج (Elizabeth B. Fleming)، وهي مفوضة في لجنة الخدمة العامة بولاية كارولينا الجنوبية، قائلة:

أوافق على خطوط الإرسال والتوزيع وسبل إمكانية تعزيز ذلك بشكل كبير من خلال شبكة ذكية. ومع استخدام العميل لها، يظهر ما أعقد أنه الأهم من كل شيء آخر. ذلك أنني أوافق حقاً على أن [العلاقات العامة] التي نشأت بفضل ذلك تخلق بالفعل انطباعاً يتعدى إدراكه، نظراً لأن تكلفة الكهرباء ستزداد. لأن المستهلك يرغب في الإبقاء على فاتورته أقل مما كانت عليه بدون [الاستثمار في مجال تقنيات الشبكة الذكية]. ("Smart Grid"، 2011)

وأسعارها تشير إلى أن معدلات الاستجابة قد تكون بطيئة نسبياً، الأمر الذي يترتب عليه انخفاض المرونة في الطلب على المدى الأقصر.

قد يؤدي الاتجاه نحو نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي أيضاً إلى زيادة تقلبات أسعار فواتير الكهرباء لمعظم العملاء نظراً لارتفاع الأسعار بشكل أكبر في ساعات الذروة الخاصة بأشهر ذروة الاستهلاك (Borenstein، 2007a). وقد يكون هذا مزعجاً على وجه الخصوص للأسر منخفضة الدخل التي تساهم تكاليف الطاقة التي تستهلكها بنصيب كبير من حجم النفقات الشهرية. وإذا كانت هذه التأثيرات جوهرية، فعلى الأرجح سيعترض العملاء على اعتماد نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي في غياب برامج إضافية للتخفيف من حدة الآثار السلبية (Borenstein، 2007b).

نظراً لأن المستهلكين يميلون إلى الاختلاف إلى حد بعيد فيما يتعلق بمرونتهم تجاه إحداث تغيير في الطلب على الكهرباء، سواء بشكل مباشر أو غير مباشر عن طريق الأجهزة الذكية، فقد لوحظ أن إمكانية اللجوء إلى "عمليات إعادة توزيع كبيرة على مستوى العملاء قد تكون العائق الأكبر أمام تعزيز اتباع نظام التسعير الديناميكي" (Joskow و Wolfram، 2012، p. 384). بعبارة أخرى، قد يؤدي طرح نظام التسعير الديناميكي إلى تقسيم جمهور المستهلكين إلى فئتين تتمثلان في الراحين والخاسرين. فكلما قلت استجابة جمهور المستهلكين تجاه التغييرات الحادثة في أسعار الكهرباء، زادت العوائق أمام استخدام تقنية الشبكة الذكية.

في سياق مماثل، قد تؤدي قدرة تقنيات الشبكة الذكية على دعم (من خلال معلومات أكثر دقة) نظام التسعير المكاني التفاضلي (أي تحديد الأسعار حسب المكان) على أساس حالة الشبكة بالكامل إلى ظهور خاسرين وراحين فيما يتعلق بجانب العرض أو الإمداد. وعلى الرغم من أن التسعير الحدي الفعلي (على أساس التكاليف الحدية الفعلية) قد يؤدي إلى رفع كفاءة النظام بشكل عام على المدى الطويل (من خلال الدخول والخروج وتغيير المواقع) نظراً لأن جهات التوليد تقارن بين تكاليف الفرص والاستعداد للدفع نظير ما تقدمه من خدمات، فقد تعارض جهات الإمداد كل على حدة، والتي ستواجه على الأرجح أسعاراً أقل من الأسعار القائمة، استخدام معدات رأسمالية قد تُسرّع هذه العملية.

#### المخاطر التي تهدد الخصوصية والصحة

ربما يكون العائق الأهم الذي يعترض طريق الابتكار المستمد من بيانات الشبكة الذكية المتوفرة حديثاً هو الاستيعاب غير الكامل لكيفية التعامل مع خصوصية بيانات الكهرباء فضلاً عن ضمان أمن البيانات. فقد أصبح تجميع قدر كبير من مجموعات المعلومات حول جميع المستهلكين ثم استخدام القدرة الحاسوبية في التنقيب عن هذه المعلومات وتحليلها جزءاً مألوفاً من حياتنا المعاصرة. ويمكن للباحثين استخدام علم البيانات لخدمة الأغراض النبيلة، مثل فهم تغيرات المناخ أو تحديد العلامات الوراثية ذات الصلة بالسرطان أو مكافحة انتشار العدوى داخل المستشفيات (Henn، 2014). ومع ذلك، أدت عمليات الكشف مؤخراً عن برامج المراقبة العالمية الخاصة بوكالة الأمن القومي والخروقات البالغة لسجلات البطاقات الائتمانية للعملاء في متاجر كبرى للبيع بالتجزئة إلى تسليط الضوء على مخاطر البيانات الضخمة.

لضمان الفاعلية في تحقيق المنافع المتوقعة من الشبكة الذكية، يتعين على العدادات الذكية جمع البيانات على مستوى الأسرة وإرسالها في الزمن الحقيقي أو شبه الحقيقي. ومع ذلك، فمع توفر هذه المعلومات التي ربما تكون مفيدة، تظهر مخاطر منها (1) ربما يمكن التنبؤ بالأنشطة التي تحدث داخل المنزل من خلال هذه البيانات و(2) قد يتمكن مستخدمون غير مصرح لهم من القطاع العام أو الخاص من الوصول إلى هذه البيانات سواء بطرق قانونية (السوق) أو غير قانونية (NIST، 2010؛ Liu، Murrill، و Thompson، 2012). وإذا كانت البيانات على مستوى الأجهزة يمكنها تزويد الشركات بإمكانية الوصول غير المسبوق لسلوكيات خاصة سابقة للأسر، فإن مثل هذا الوصول يفتح الباب أمام الاستغلال بواسطة شركات تسويق وشبكات مراقبة وأي شخص آخر يمكنه الوصول إلى هذا الدفق من البيانات. ويتيح ذلك مراقبة السكان بشكل مباشر داخل أي منزل. وبالنسبة لأجهزة الاستخبارات والشرطة، قد تتغير فكرة المراقبة التقليدية إلى مجرد الدخول إلى بيانات استهلاك الكهرباء للحصول على معلومات ثابتة حول جداول مواعيد وأعمال الأشخاص. فمن الناحية النظرية، ترسل العدادات الذكية البيانات عبر بروتوكولات مشفرة لاسلكية، ولكن لا يتم اختبار أمان هذه البروتوكولات على نطاق واسع. علاوةً على ذلك، تفتقر شركات المرافق إلى المهارة في التعامل مع هذه البيانات، كما أنها لم تطور مهاراتها في الحفاظ على أمن تلك البيانات أيضاً.

بالإضافة إلى ما سبق، أثار العديد من المستهلكين والمجموعات الطبية المخاوف بشأن المخاطر الصحية المتعلقة بالعدادات الذكية، وذلك في ضوء انبعاثات موجات الترددات اللاسلكية التي تصدر منها. وهناك أدلة مختلفة في هذا الخصوص تدور حولها التساؤلات، وفي هذا الإطار، تصنف الجمعية الأمريكية للسرطان (ACS) مخاطر الإصابة بالسرطان وغير ذلك من الآثار الصحية الناجمة عن استخدام العدادات الذكية بأنها منخفضة للغاية (ACS، 2014). ومع ذلك، فإنها ترى أنه يتعين إجراء المزيد من الأبحاث في بعض الحالات.

بعض النظر عن هذا الاستنتاج واستنتاجات أخرى مماثلة مستقاة من الأبحاث الصحية، فإنه إذا أدرك المستهلكون وجود أي مخاطر صحية أو تتعلق بخصوصيتهم (أو كليهما) واختاروا نتيجة ذلك عدم اتباع أي من برامج إدارة الطلب، فحينها ستخفف المنافع الكلية لنظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي، الأمر الذي يؤدي إلى إصدار شركات المرافق فواتير أعلى فضلاً عن انخفاض فائض المستهلك بالنسبة للأسر.<sup>13</sup>

#### العوائق التي تؤثر على البيانات الضخمة فيما يتعلق بالتقنيات والموظفين

يتمثل أحد العوائق التقنية التي تؤثر على أنشطة الريادة في الأعمال المتعلقة باستخدام تقنية الشبكة الذكية في الإمكانيات المادية للعدادات الذكية التي يتم تركيبها حالياً. فالعديد من العدادات الذكية غير مجهزة لتسجيل البيانات المجمعَة وإرسالها على مستوى التكرار المطلوب لتوفير بيانات مجزأة عالية الجودة. وقد يلزم الأمر إجراء ترقية للأجهزة والبرامج الثابتة، وربما يتعين وضع معايير توافق لضمان توافق هذه العدادات للعمل مع برامج التجزئة. وتقل الإشكالية المتعلقة باحتمالية وجود استثمارات عالقة (منزلة) في البنية التحتية للمعلومات، وخاصة في ظل غياب المعايير التقنية، من الحافز الذي يشجع على الاستثمار في مجال تقنيات الشبكة الذكية.

ثانياً، لا يزال يتعين إيجاد حل برمجي دقيق وقابل للانتشار وفعال من حيث التكلفة لعلاج مشكلة تجزئة البيانات. كما يتعين القيام بالمزيد من عمليات البحث والتطوير من أجل تصنيف الأجهزة. وقد استخدمت حلول تجزئة البيانات الحالية مجموعات بيانات تم من قبل توثيق أجهزة منزلية محددة بها. وحتى يتسنى تجزئة البيانات المستقاة من منزل ما على نحو فعال بدون بيان مفصل بالأجهزة الموجودة به، يتعين استخدام تقنيات "تعلم الآلة" للحصول على تصنيف احتمالي للأجهزة. وسيعتمد مثل هذا التصنيف على السياق وتوقيت استخدام الجهاز لتقديم معلومات مفاتيحية حول نوع الجهاز الذي تتم ملاحظته. بالإضافة إلى ذلك، يتعين العمل على تطوير طرق معايرة أفضل للتحقق من دقة خوارزميات التجزئة.

أخيراً، تواجه عمليات إدارة وتخزين البيانات المجزأة مشكلات شائعة عند التعامل مع البيانات الضخمة. ويكمن أحد التحديات المعهودة التي تميز البيانات الضخمة عن البيانات القياسية في تعدد الأبعاد. فقواعد البيانات القياسية موجودة منذ النصف الثاني من القرن العشرين، وعادةً ما تتكون أدوات تنظيم البيانات القياسية من جداول بيانات. وفي المقابل، تتضمن البيانات الضخمة معلومات تضم حقول أحرف وإدخالات أكبر بكثير. ولم تكتمل بعد القدرة على تصور مجموعات البيانات الضخمة تلك وفهماها. وسيتعين على شركات المرافق تحديد كيفية تخصيص موارد لتخزين ومعالجة مثل هذه المجموعات الضخمة من البيانات.

نظراً لافتقارها للخبرة الداخلية في هذا التخصص، فقد تكون الكيانات التي سُبِعِد إليها بامتلاك بيانات أولية مستقاة من العدادات الذكية غير مجهزة بشكل جيد للاستفادة من هذه البيانات. ولذا يتعين على شركات المرافق تعيين أشخاص ذوي خبرات في مجال الإحصاء للاستفادة المثلى من هذا الكم الهائل من البيانات الجديدة المتدفقة. ولا شك أن إيجاد موظفين موهوبين ومؤهلين للعمل على أدوات تحليل بيانات متطورة يعد إحدى الإشكاليات في هذا الخصوص، غير أن تكلفة بناء خبرات داخلية (أي داخل الشركة) في الوقت نفسه تعد إشكالية أيضاً. وربما لا يكون أمراً حتمياً أن يكون لدى كل شركة مرافق مجموعة موظفين متخصصين في تحليل البيانات، وإنما بدلاً من ذلك يمكنها الدخول في شراكات مع شركات أخرى تتمتع بمثل هذه الإمكانيات. وتتضمن هذه الإمكانيات دمج البيانات، وتمثيلها بصورة

<sup>13</sup> أشارت قضية شركة Northeast Utilities/إدارة المرافق العامة بولاية ماساتشوستس إلى مخاوف تتعلق بكل من الخصوصية والصحة كإشكاليات محتملة خاصة بالطلب وترتبط بالبنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم. ومن المحتمل أن ترتفع قيمة فواتير المنازل نتيجة لطرح آلية تسعير على أساس الحمل في وقت الذروة، إلى جانب افتراض عدم الاستجابة للطلب.

مرئية، وصناعة النماذج الاحتمالية، وإمكانيات تعلم الآلات. وتعد الأدوات الحالية المخصصة للعمل على مجموعات البيانات الضخمة للغاية غير مكتملة التطور بالقدر الكافي، ولا يتم تدريسها في المدارس.

### تكاليف البنية التحتية للإرسال بين الولايات

أخيراً، هناك عائق إضافي يعترض طريق تنفيذ الشبكة الذكية ناتج عن إشكالية تحمل مسؤولية ترقية خطوط الإرسال بين الولايات بتقنيات جديدة. وهذا الأمر عن قصد، حيث لا يوجد لدى مشغلي الأنظمة المستقلين (ISOs) دافع للربح، غير أن البنية التحتية الخاصة بهم تمر عبر خطوط لجنة المرافق العامة التقليدية نظراً لأنها تربط جهات التوليد وشركات المرافق عبر مسافات كبيرة. وبالتالي، يمكن لكلٍ من شركات الإمداد بالكهرباء والمستهلكين الاستفادة من بنية تحتية مطورة للإرسال كمنفعة عامة، ولكن لم يتم بعد التوصل إلى حل بخصوص الإشكالية المتعلقة بحصة النفقات التي سيتحملها كل منهما في هذا الخصوص.

### تكاليف التوليد الموزع للطاقة

على المستوى المحلي، سيتحمل المستهلكون في النهاية تكاليف ترفيات النظام بموجب السياسة التنظيمية الحالية، وهو ما يعمل على خلق مثبطات اقتصادية سياسية لعرقلة تطوير الشركة الذكية من خلال فواتير كهرباء أعلى على الأرجح على المدى القصير. وهناك عامل ديناميكي آخر متعلق بالتوليد الموزع للطاقة يمكنه أن يُفاقم هذه المشكلة يتمثل في أن هيكل التسعير القائم غير مجهز بالقدر الكافي للتعامل مع المولدين المستهلكين (هؤلاء العملاء الذين يقومون بتركيب جهاز توليد موزع للطاقة بهدف إما تقليل الاستهلاك من الشبكة أو حتى لإعادة بيع الكهرباء التي يتم توليدها إلى شركات المرافق). ونظراً لأن طريقة تحديد الأسعار الحالية ينتج عنها أسعار مصممة لتغطية تكاليف توليد الطاقة والاستثمار في المتوسط، فإن أي تجنب لهذه الرسوم من خلال توليد الطاقة ذاتياً يؤدي إلى تمرير حصة أكبر من التكاليف الثابتة للاستثمار لتتحملها شريحة أصغر من قاعدة المستهلكين، وهو ما يؤدي بدوره إلى ارتفاع الأسعار على المستهلكين غير المنتجين.<sup>14</sup>

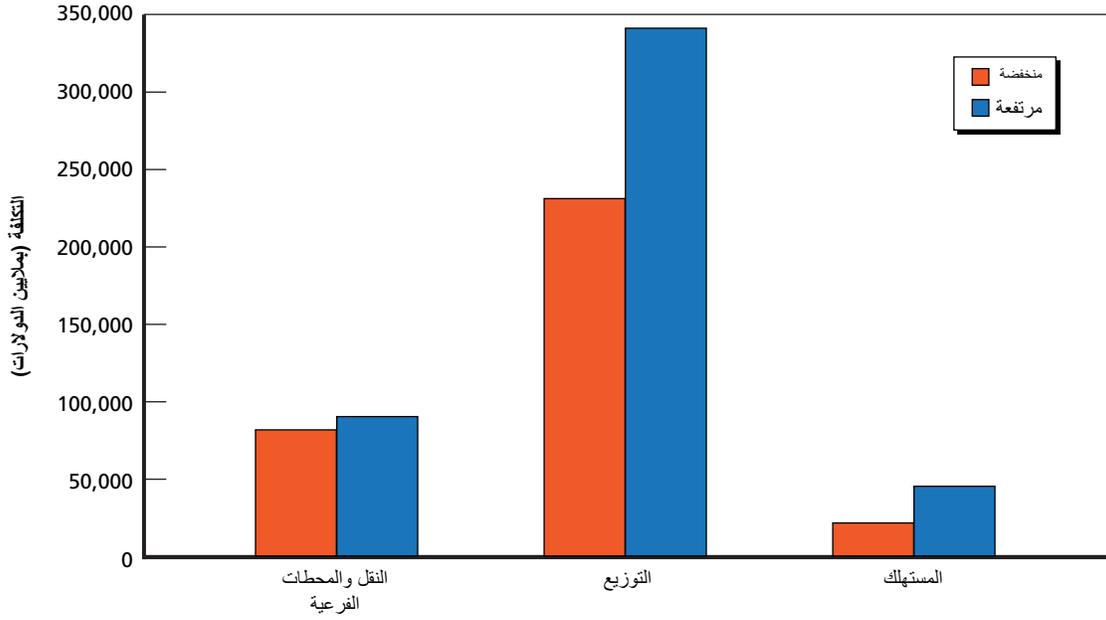
### التكاليف المحتملة الإجمالية للشبكة الذكية

أجرى معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI) (2011) دراسة حول التكاليف المطلوبة من العملاء لدعم شبكة ذكية تعمل بكامل طاقتها إلى جانب التكاليف الأخرى اللازمة لتلبية احتياجات الأحمال الكهربائية المتزايدة. ويقدم الشكل (5-1) ملخصاً للتكاليف. ومن إجمالي استثمار تتراوح قيمته بين 338 و476 مليار دولار أمريكي، تمثل التكاليف المتعلقة بنظام التوزيع نسبة تتراوح من 69 إلى 71 في المائة من الإجمالي، بينما تمثل التكاليف المتعلقة بالإرسال والمحطات الفرعية نسبة تتراوح من 19 إلى 24 في المائة من الإجمالي. ومن خلال تخصيص هذه التكاليف وفقاً لإجمالي الطلب المقدر بوحدة كيلو واط في الساعة، قدر معهد أبحاث الطاقة الكهربائية أن العملاء في القطاع السكني قد يلاحظون ارتفاع قيمة الفواتير بمعدل يتراوح من 8.4 إلى 11.8 في المائة. في حين يمكن أن يلاحظ العملاء في القطاع التجاري ارتفاعاً في قيمة الفواتير بمقدار يتراوح من 9.1 إلى 12.8 في المائة، بينما قد يجد المستخدمون في القطاع الصناعي زيادة في الفواتير بمقدار يتراوح من 0.01 إلى 1.6 في المائة على مدار فترة استرداد التكاليف (EPRI، 2011).<sup>15</sup>

<sup>14</sup> التوليد الذاتي للطاقة يعني اعتماد المستهلكين على أنفسهم في توليد الطاقة بدون استخدام الشبكة.

<sup>15</sup> يفترض هذا إهلاكاً على مدى عشر سنوات، بحيث تُقسَّم التكاليف لتكون 38 في المائة للقطاع السكني و37 في المائة للقطاع التجاري و25 في المائة للقطاع الصناعي. كما يقدر معهد أبحاث الطاقة الكهربائية المنافع لتبلغ قيمتها تقريباً ما يتراوح بين 1.3 إلى 2 تريليون دولار أمريكي.

الشكل (1-5)  
تكاليف الاستثمار المقدرة لشبكة ذكية تعمل بكامل طاقتها



المصدر: معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI)، 2011، الشكل (3-1).

RAND RR717-5.1

بعد توثيق بعض العوائق التي تعترض طريق تنفيذ الشبكة الذكية في غياب تمويل حكومي دائم لاعتماد هذه التقنية واستخدامها، سننتقل الآن إلى السياسات التي يمكن استخدامها لتحفيز (أو تثبيط) تحديث الشبكة في ظل الإطار التنظيمي الحالي.

## استخدام السياسة العامة للتشجيع على استخدام تقنية الشبكة الذكية

يناقش هذا الفصل بعض المكونات والأدوات الداعمة للسياسة التي يمكن استخدامها لتحفيز استخدام أو اعتماد تقنية الشبكة الذكية. ونحن لا ندافع بالضرورة عن ضرورة استخدام هذه السياسات في جميع الظروف. وبدلاً من ذلك، نلاحظ ببساطة أنه يمكن استخدام هذه الأدوات المساعدة للسياسة ذات الصلة لتحفيز الاستثمار والمساعدة في تجاوز العقبات التي نوقشت في الفصل الخامس. وفي النهاية، لا يمكن أن يحدث الابتكار دون الاقتناع بتبني التقنية واستخدامها (Garber et al.، 2011). كما نناقش أيضاً العديد من المبادئ العامة التي يمكن اعتمادها لتجنب حدوث أخطاء في تطوير الشبكة الذكية.

### الأدوات المساعدة للسياسة المستخدمة لتحفيز الاستثمار في الشبكة الذكية

تعمل هياكل الأسعار التقليدية بإضافة ربح معين للتكلفة على تمرير وفورات التشغيل إلى المستهلكين، وبالتالي لا توفر إمكانية زيادة الأرباح التي تعود على المرفق على المدى الطويل. وهذا المثبط يعوق اعتماد تقنيات الشبكة الذكية. وللتغلب على هذا العائق، يجب على الجهات التنظيمية التفكير في الهياكل التي تحفز مستوى الاستثمار الأمثل عن طريق إدارة التخصيص طويل الأجل لنفقات الاستثمار وفورات التكاليف. وقد يتخذ هذا أشكالاً مختلفة، ينطوي كل منها على بعض المقايضات. وتحتوي الأقسام الفرعية التالية على بعض الأمثلة، مع التركيز على المكونات والأدوات الداعمة للسياسة المتاحة حالياً للجهات التنظيمية.

#### فرض الاستثمارات في الشبكة الذكية

تكمّن إحدى استراتيجيات التشجيع على الاستثمار في تقنيات الشبكة الذكية في تمرير قوانين تتطلب هذا النوع من الاستثمار. وأحد الأمثلة على هذه الاستراتيجية هو حالة ولاية ماساتشوستس المشار إليها في الفصل الرابع، التي تمثل فيها البنية التحتية المتعلقة بالقياس المتقدم جزءاً من الخطة الاستثمارية طويلة الأجل. على الرغم من أنه من المرجح نجاح مثل هذه الاستراتيجيات التي تعتمد على الضبط والتحكم لأنها تقوم على سلطة القانون، فإنها قد لا تكون ذات كفاءة دائماً من الناحية الاقتصادية. وقد لا تتوفر لدى المشرعين معلومات كاملة عن منافع وتكاليف شرط معين، وقد تحد مثل هذه السياسات من المرونة التي تتمتع بها المرافق العامة لخدمة عملائها، وهذا يتوقف على نوع التكاليف.

#### الالتزام بتضمين استثمارات الشبكة الذكية في أساس السعر

تزيد احتمالية رفض إدراج استثمارات معينة في أساس السعر الخاص بمرفق ما خاضع لضوابط تنظيمية من المخاطر المرتبطة بهذا الاستثمار، مما يجعله أقل جاذبية. ومن شأن أي آلية تستطيع الجهة التنظيمية من خلالها أن تبرز للمرفق الخاص حقيقة أن احتمالية رفض السماح بإدراج النفقات الاستثمارية للشبكة الذكية في أساس السعر قد انخفضت أن تحفز على هذا الاستثمار.

يمكن القيام بذلك، على سبيل المثال، عن طريق السماح للمرافق بالحصول على حصة من نفقات الشبكة الذكية قبل الانتهاء من تشييدها، وغالباً ما يُعرف هذا بأدوات تتبع النفقات الرأسمالية؛ مع السماح باستمرار أعمال التشييد، إلى

جانب تشغيل التقنية باستخدام مفهوم "عام الاختبار المستقبلي" على أساس توقعات الميزانية بدلاً من البيانات التاريخية (Lowry، Makos، و Johnson، 2011). ولهذه الأدوات سابقة تاريخية. ويتمثل الجانب السلبي لهذه السياسة (على افتراض استخدام الهياكل التنظيمية التقليدية) في تحويلها للمخاطر المتعلقة بالمنافع تجاه العملاء مع ازدياد حجم الحصة الخاصة بالالتزام بالإنفاق.

#### زيادة المعدل المسموح به من العائد على رأس المال

قد ترى شركة المرافق والمساهمون بها، خصوصاً في المرحلة المبكرة من برنامج التحديث، أن تقنيات الشبكة الذكية تنطوي على مخاطر أكبر مقارنة بالاستثمارات القياسية. ونظراً لأن الاستثمارات في مجال التقنيات لا تحدث إلا إذا أدرك صناع القرار أنها ستدر عليهم الأرباح، فقد يكون من الضروري زيادة المعدل المسموح به من العائد على رأس المال لتحفيز الاستثمارات في الشبكة الذكية. وتتمثل مخاطر القيام بذلك في زيادة احتمالية توليد عوائد بالغة الارتفاع للمرفق، مع تحمل تكاليف رأس مال أعلى من اللازم يتم تمريرها إلى المستهلكين. ولتجنب الحوافز الضارة على الأنواع الأخرى من رأس المال، يمكن للجهات التنظيمية تقسيم أساس السعر إلى فئات متعددة من رأس المال مع معدلات مختلفة مسموح بها للعائد حسب نوع رأس المال.

#### تغيير عملية توزيع نفقات الاستثمار وتمرير وفورات التكاليف إلى المستهلكين

يرى جوثري (2006) أنه بالنسبة للاستثمارات التي لا تهدف إلا لخفض تكاليف التشغيل بالنسبة للمرفق (أي لا توجد بها تكاليف أو منافع إضافية مرتبطة بالاستثمار)، يكون للمرفق حوافز تتماشى مع حوافز المجتمع إذا كانت حصة الاستثمار في رأس المال المضافة إلى أساس السعر (وبالتالي المُررة إلى المستهلكين) تساوي حصة وفورات التكاليف على مستوى النظام الممررة إلى المستهلكين. ومع ذلك، فإنه في حالة وجود عوامل خارجية إيجابية ناجمة عن الاستثمار، فسيؤدي هذا إلى ضعف الاستثمار في تقنيات الشبكة الذكية. وبالتالي سيكون من الأمثل اجتماعياً أن يتم السماح للمرفق بالاحتفاظ بحصة أكبر من الوفورات أو، بدلاً من ذلك، تمرير حصة أكبر من النفقات، من أجل تحفيز الاستثمار بشكل صحيح. وقد يكون العكس صحيحاً، على سبيل المثال، إذا انخفض فائض المستهلك بسبب تمكين التقنية لنظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي أو كانت هناك عوامل خارجية سلبية (على سبيل المثال، الأمان أو الخصوصية) مرتبطة بالتقنية. وفي هذه الحالة، يجب تمرير حصة أكبر نسبياً من وفورات التكاليف على مستوى النظام إلى المستهلكين (أو بشكل مكافئ، يجب تمرير حصة أصغر من النفقات إلى المستهلكين).

#### فصل الإيرادات عن المبيعات

في بعض الحالات، قد تشعر المرافق بالقلق من أن يترتب على التقنيات، التي تدعم نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي أو التوليد الموزع، انخفاض المبيعات الإجمالية بسبب الاستجابة للطلب. إن توقع انخفاض المبيعات في المستقبل بسبب الاستثمارات في الشبكة الذكية يجعل القرار أقل ربحية وبالتالي أقل جاذبية. وقد يساعد فصل العائدات عن المبيعات عبر تنظيم الحوافز في التغلب على هذا المثبط، وخاصة عندما يكون من الممكن أن تتم الالتزامات بالعائدات لعدة سنوات. ومع ذلك، قد يؤدي القيام بهذا إلى تدهور مستوى الجودة لأن فصل العائدات عن المبيعات يلغي التكاليف التي يتحملها المرفق الخاصة بتوفير خدمات ذات جودة أقل.

في العادة، تقوم الجهة التنظيمية بهذه العملية من خلال تصميم آلية فصل العائدات (أي تحديد أساس سعر للعملاء تنطبق عليه القيود، مع تحديد أي استثناءات بسبب الطقس)، إلى جانب آلية تسوية تسمح بحالات أقل تكراراً لقضايا تحديد أو تغيير الأسعار (Lowry، Makos، و Johnson، 2011). وبالمثل، فإن آليات تسوية الإيرادات المفقودة، التي يتم بها تعويض المرافق عن المبيعات المفقودة بسبب إدارة الطلب، يمكن أن تُستخدم لتعويض الموزع عن الإيرادات المتغيرة المفقودة التي تنشأ بسبب التحولات في الطلب الكلي التي تؤدي في نهاية الأمر إلى الحد من التكاليف الإجمالية للعرض (الإمداد) (Lowry، Makos، و Johnson، 2011). وبدلاً من أن تعتمد هذه الآليات على الوفورات الفعلية في التكاليف، يجب حسابها على أساس مغاير. وأخيراً، يمكن استخدام معدلات الصيغ مع حالات اختبارية مستقبلية لتعويض المرافق عن الفشل في تحقيق معدل معين من العائدات على استثماراتها والفروق

الأدنى على مدار أعوام (Lowry، Makos، Johnson، 2011). وبطبيعة الحال، تميل سياسات معدلات الصيغ إلى إضعاف حوافز الاستثمار (المأمون) الحذر دون تطبيق آليات إضافية.

#### تغيير إجراءات قضايا تحديد الأسعار

يسهم طول الفترات الزمنية بين حالات تحديد الأسعار في تحفيز الاستثمار في التقنيات التي تولد وفورات في التكاليف من خلال قدرة المرافق على تخصيص المزيد من المنافع (Guthrie، 2006). ومع ذلك، وفي ظروف التنظيم التقليدي، يتم إجراء ذلك (على المدى القصير) على حساب المستهلكين، الذين لا يحصلون على الفور على أي وفورات تشغيلية يتم تمريرها إليهم. وهذه عملية مقايضة متعادلة (لا ربح فيها ولا خسارة) بين المستثمرين والمستهلكين. ومع ذلك، إذا اعتقدت الجهة التنظيمية أن وتيرة الاستثمار في الشبكة الذكية ليست كافية، فإن الالتزام بحالات تحديد أسعار محددة التواريخ من خلال فترات زمنية طويلة بشكل معقول بين القضايا سيؤدي إلى خلق حافز استثماري. مع ذلك، إذا لم تحقق استثمارات الشبكة الذكية وفورات فورية في التكاليف للمرافق ولكنها قدمت منافع معينة (مثل تخفيض الانبعاثات)، فإن الفترات الأطول بين حالات تحديد الأسعار ستوفر عاملاً مثبطاً للاستثمار في هذه التقنيات، لأن الشركة يمكن أن تستفيد فقط إذا تمت إضافة الاستثمار إلى أساس معدل الأسعار.

#### المبادئ العامة لتنظيم الشبكات الذكية

تحويل التركيز التنظيمي من تكاليف الاستثمار إلى المنافع الصافية للاستثمار

تركز التنظيم التقليدي لمعدل العائد وحالات تحديد الأسعار ذات الصلة تاريخياً على السماح بإدراج التكاليف الرأسمالية أو رفض إدراجها في أساس السعر الذي تضعه المرافق، وذلك باعتبارها، في المقام الأول، وسيلة للتحقق من الحوافز التي تكون لدى المرافق (المتكاملة رأسياً) من أجل زيادة عرض القدرة أو الطاقة الإنتاجية عندما يتم تمرير تكاليف الاستثمار بشكل كامل إلى المستهلكين. وفي ظل نظام كان الهدف من خلاله هو توفير خدمة موثوقة لعملاء الطاقة الكهربائية بأقل تكلفة، فإن التركيز على التكاليف المسموح بها أمر يمكن فهمه في هذا السياق.

ينبغي أن تكون الجهات التنظيمية وصانعو السياسات مدركين لحقيقة أن النظام الذي يتغير بسبب تحديث الشبكة سيتطلب استثمارات إضافية مكلفة من المرجح تمريرها إلى المستهلكين على المدى القصير، ولكنه من المفترض أن تعود بالفائدة عليهم، على الأقل بشكل جماعي، على المدى الطويل. وعلاوةً على ذلك، في بيئة معقدة تتطور فيها التقنيات الجديدة وتوجد بها أهداف تنظيمية متعددة (على سبيل المثال، الدمج الإلزامي لمصادر الطاقة المتجددة الأعلى تكلفة)، يمكن توليد حوافز لتبني أنظمة لا تفيد المستهلكين مباشرةً من حيث دفع فواتير كهرباء أقل تكلفة، وإنما تعود عليهم بأنواع أخرى من المنافع (على سبيل المثال، خفض كميات الغازات المسببة للاحتباس الحراري). أي أن الاستثمارات المرتبطة بالشبكة الذكية، على النحو المتصور في الوقت الراهن، ليست مصممة لتحل محل رأس المال القديم المستهلك وإنما لتنشئ نظاماً مشتركاً للكهرباء والاتصالات يوفر (وفي بعض الحالات، يكون ضرورياً لتوفير) فرصاً مستقبلية لزيادة كفاءة النظام حسب الأهداف التنظيمية الإضافية (مثل دمج تقنيات الطاقة المتجددة والتوليد الموزع للطاقة).

وبالتالي يجب على لجان إدارة المرافق العامة التركيز على المنافع الاجتماعية الصافية الإجمالية (فائض المستهلك والمنجح بالإضافة إلى أي منافع وتكاليف خارجية) للخطة الاستثمارية في حالات تحديد الأسعار بدلاً من التركيز على الحد من تكاليف البنية التحتية. ونظراً لأنه من المتوقع أن تتيح هذه التقنيات الحد من مجموعة متنوعة من العوامل الخارجية السلبية في النظام القائم وتوليد تجارب تعلم إيجابي بالممارسة إلى جانب عوامل خارجية إيجابية أخرى، لا يزال من المحتمل أن تكون هذه التقنيات مرتبطة أيضاً بآثار سلبية إضافية، مثل خسائر فائض المستهلك ومخاطر المخالفات المتعلقة بالخصوصية، وينبغي أن تؤخذ جميع هذه المنافع والتكاليف بعين الاعتبار عند اعتماد الأسعار.

تشمل الأمثلة على ذلك تحويل التكاليف المُتجنبَة التي تنشأ من تحسين الموثوقية إلى عوائد نقدية، والوفورات العائدة من الحد من الانبعاثات بسبب دمج مصادر الطاقة المتجددة، وتقليل مسافات السير بالمركبات لإجراء الإصلاحات، ومنافع التعلم بالممارسة الناتجة عن استخدام تقنيات جديدة، وقيم الخيارات المرتبطة بقرار الاستثمار، وفوائد المرونة

(Besser، Rothstein، و Jenkins، 2014؛ World Economic Forum، 2009). وفي بعض الحالات، يمكن تحقيق قيم نقدية أيضاً في الاقتصاد والمواد المنشورة الداعمة؛ وفي حالات أخرى، يمكن للجهات التنظيمية الوصول إلى آراء مستنيرة إذا كانت المنافع الخارجية (أي الاجتماعية) كافية للتغلب على أي نقص في المنافع الصافية الخاصة لاستثمار ما.

باختصار، ينبغي أن تأخذ الرغبة في استثمارات الشبكة الذكية في الاعتبار الحساب الكامل للمنافع والتكاليف المتوقعة لهذه للتقنية، فضلاً عن تأثيرها على فواتير الكهرباء الخاصة بالمستهلكين. وإذا تجاوزت المنافع الاجتماعية الإجمالية التكاليف الاجتماعية الإجمالية، فينبغي على الجهة التنظيمية تبني سياسات تحفز على اعتماد تلك التقنيات، مع الأخذ في الاعتبار أن المرافق لا يكون لديها حافز للاستثمار إلا في حالة ارتفاع الربحية المتوقعة. وبالنسبة لبعض الاستثمارات التي لا تحقق وفورات فورية في التكاليف، قد يؤدي هذا إلى ارتفاع أسعار التجزئة الخاصة بالكهرباء على المدى القصير.

#### ضبط هياكل التسعير لتناسب مع التقنيات الجديدة

ستمكن تقنيات الشبكة الذكية في نهاية المطاف المرافق من التمييز ليس فقط بين أوقات الاستخدام ولكن أيضاً بين استخدامات الأجهزة المختلفة (ومن المحتمل أن تمكنها من التمييز على أساس الأسعار) داخل المنزل. وينبغي على الجهات التنظيمية التفكير في هذه المجموعة الموسعة من هياكل التسعير عند تحديد الأسعار. فعلى سبيل المثال، تستطيع المرافق فرض سعر على استهلاك الكهرباء للأغراض الأساسية المتعلقة بالتدفئة والتبريد والإضاءة يكون أقل من ذلك الخاص باستخدامات الأجهزة غير الأساسية، مثل غسالات الأطباق وأحواض الاستحمام الساخنة وأجهزة تجفيف الملابس. وقد يساهم هذا في التشجيع على الحفاظ على الطاقة بطريقة هادفة، مع التركيز على استخدامات الأجهزة غير الأساسية. وبالإضافة إلى ذلك، توفر برامج معينة، مثل برنامج الأسعار البديلة للطاقة بولاية كاليفورنيا (California Alternative Rates for Energy)، خصومات شهرية على فواتير الطاقة للأسر ذات الدخل المنخفض. وقد جرت العادة على تطبيق هذه الخصومات على جميع أنواع استخدامات الكهرباء. وقد تتمثل الطريقة الوحيدة للحفاظ على برامج شبكة الأمان الاجتماعي مع التشجيع في الوقت نفسه على تخفيض استخدام الكهرباء غير الضروري في استكشاف هياكل أسعار من وجهة نظر تتوافق مع التسعير الاستهلاكي.<sup>1</sup>

#### وضع سياسات تسعير فعالة لتوليد الموزع للطاقة

اعتمدت الهياكل التنظيمية الحالية على تدفق أحادي الاتجاه للطاقة من جهات التوليد إلى النقل إلى التوزيع إلى العملاء، مع إقرار اللوائح التنظيمية للجانب الاحتكاري الطبيعي لأنظمة النقل والتوزيع. ويؤدي ظهور العديد من المولدين المستهلكين اللامركزيين للطاقة إلى خلق بدائل قيمة محتملة لإنتاج المرافق، غير أنه يؤدي أيضاً لظهور مجموعة كبيرة من المنتفعين المحتملين بدون مقابل الذين ربما يستخدمون البنية التحتية الخاصة بالتوزيع لبيع الطاقة الكهربائية مرة أخرى للمرافق، مع التفادي الجزئي لدفع حصتهم الكاملة من تكاليف الاستثمار السابقة عن طريق تجنب الدفع بالأسعار الكهربائية السائدة المصممة لتغطية تلك التكاليف. ويُنظر إلى الشبكة الكهربائية الحالية، في جوهرها، باعتبارها منفعة عامة.

يمكن الاستفادة من تقنيات الشبكات الذكية للمساعدة في دمج مثل هذا النشاط الموزع وتسعيره بالشكل الصحيح، مع توفير منافع للمستهلكين تأخذ شكل المرونة والقدرة على بيع الكهرباء مرة أخرى إلى شركات التشغيل العاملة في مجال التوزيع، والتي قد تستفيد من الفرص الإضافية لتحقيق التوازن بين العرض والطلب. ويجب تحديد الأسعار، كلما كان ذلك ممكناً، حسب التسعير المكاني على أساس الزمن الحقيقي، مع تمثيل الأسعار السلبية للمستهلكين المولدين لانتعاش يعكس القيمة الحدية (الهامشية) للكهرباء التي يتم بيعها مرة أخرى للشبكة بالإضافة إلى رسم مناسب (أو استرداد لقيمة سابقة) يعكس استخدام المولدين المستهلكين لشبكة التوزيع (وفورات عائدة على الشبكة). ومع ذلك، وبسبب الطبيعة ثنائية الاتجاه للعلاقة مع الشبكة، فإن مشكلة تقاسم عبء رأس المال الخاص بالتكلفة الغارقة (التي لا يمكن استردادها) معقدة نوعاً ما (DOE، 2007).

<sup>1</sup> من وجهة نظر اقتصادية، تنطوي هذه التوصية على عامل خارجي إضافي ناتج عن الكهرباء "الأساسية" مرتفعة الثمن.

### وضع معايير للشبكة الذكية وفرضها

إن انعدام القدرة على تنفيذ المعايير بالنسبة للجوانب الحاسمة في الشبكة الذكية (مثل الأمن الإلكتروني والتوافق بين عناصر النظام) قد يشكل خطراً على الاستثمارات المحتملة في مجال الابتكار من قبل الشركات المصنعة والمرافق على حد سواء. وفي الواقع، في دراسة استقصائية لمدراء مجموعة من مشاريع الشبكات الذكية في أوروبا، كان انعدام التوافق بين عناصر النظام هو العقبة الأكثر شيوعاً التي تم الإبلاغ عنها (Giordano et al.، 2013). كما أن التوقع بأن يتم النظر إلى الأصول باعتبارها قديمة بسبب ما تشهده المعايير من تغييرات قد يؤدي إلى الحد بشكل كبير من الاستثمار والتخلي بروح المخاطرة، وكلاهما عنصران ضروريان للابتكار. ومع استمرار تطوير الرؤية المتعلقة بالشبكة الذكية من خلال الفهم العميق للتقنيات المتاحة والبيانات المجمعة، ينبغي كذلك وضع إطار عمل للمعايير واللوائح التنظيمية لمواكبة التطورات وتعزيز الابتكار.

وتحتاج لجان إدارة المرافق العامة للولاية إلى إجراء تغييرات مدروسة على القواعد التي تجعل من الاستثمارات في تقنيات الشبكات الصغيرة وعناصر التحكم المصاحبة والتشغيل الآلي تبدو حالياً وكأنها اقتراح محفوف بالمخاطر.

### التعرف على الاختلافات في الأنظمة الكهربائية المحلية

على الرغم من أن معايير الأداء الفني يمكنها المساعدة في رفع كفاءة تكامل مكونات الشبكة الذكية، فإنه من المحتمل ألا يكون اعتماد نظام موحد للسياسات عبر جميع مناطق توفير الخدمة مثالياً. ومن المحتمل أن تكون هناك اختلافات كبيرة أحدثتها التقنيات بالفعل في أنظمة التوزيع المحلية، مما أدى إلى تغيير المنافع الصافية النسبية المترتبة على تثبيت تقنيات متطابقة بمكونات النظام. علاوة على ذلك، فإن الاختلافات في مجموعة المستهلكين وميولهم للمشاركة في الاستجابة المتعلقة بالطلب واستخدام تقنيات جديدة، واختلافات الطقس والمناخ (خاصة فيما يتعلق بتوليد الكهرباء من الرياح والطاقة الشمسية) ستؤدي إلى تغيير مماثل في حساب المتغيرات الخاصة بالاستثمار الأمثل.

عبر مختلف المرافق، ينبغي على الجهات التنظيمية وصانعي السياسات أن يضعوا في اعتبارهم السياقات وتبعيات المسارات المختلفة الكامنة في اللوائح التنظيمية للكهرباء، ومن ثم تصميم أنظمة تنظيمية وخطط لتحديث الشبكة على حد سواء. ومن المرجح ألا ينجح نهج واحد فقط في تعظيم قيمة النظام لأن المنافع والتكاليف ستختلف عبر مناطق توفير خدمات المرافق.

### إدارة توقعات المستهلكين

كان هناك افتراض سابق خاص بتجارب وبرامج الإدارة المتعلقة بالطلب بأن تمكين المستهلكين من مراقبة استهلاكهم من الكهرباء سيزيد على نحو فعال من المرونة السعرية للطلب، مما يؤدي إلى انخفاض أحمال الذروة ورفع فواتير كهرباء أقل. وفي الواقع، في كثير من الحالات، تم تسويق عدادات ذكية للمستهلكين كوسيلة لخفض فواتير الكهرباء التي يدفعونها، وقد حازت المنافع العامة للشبكة الذكية على استحسانهم. وعلى الرغم من أنه لوحظ وجود استجابة كمية في كثير من الحالات، إن لم يكن معظمها، فإن هذه الاستجابة ليست موحدة. علاوة على ذلك، لاحظ العديد من المستهلكين غير المرنين وجود ارتفاع في الفواتير بسبب التسعير على أساس وقت الاستخدام أو التسعير على أساس الزمن الحقيقي.

من المحتمل أن تتسبب الفجوة الناتجة في المصادقية بين المرافق والمستهلكين في رفع تكاليف إجراء المزيد من الابتكارات، وقد تحتاج في نهاية الأمر إلى جهود منسقة من العلاقات العامة للتغلب عليها. وهناك درس واحد نتعلمه وهو أنه ينبغي ألا تُعقد آمال كبيرة للغاية على منافع الشبكة الذكية، وأنه يجب توضيح كل من المنافع والتكاليف المحتملة لأي تغيير في سياسة الكهرباء للمستهلكين (الذين يتحملون معظم التكاليف في نهاية المطاف). وعلى الرغم من أن الواقع السياسي غير مريح، فإن معظم التغييرات في الأسعار والسياسات الأخرى يرتبط ببعض المفاضلات.

### الإلزام بالشفافية في جمع البيانات واستخدامها

توجد عوائق تقنية ولوجستية عديدة في التعامل مع مشاكل البيانات التي تنشأ من طبقة المعلومات الخاصة بالشبكة الذكية، ولكن ربما يكون العائق الأكبر أمام صناع القرار هو خصوصية البيانات. ويتطلب العديد من فرص الأعمال الوصول إلى بيانات الكهرباء الخاصة بالمستهلكين في المنازل. ويحتاج صناع السياسات والقائمون على أمر المرافق إلى فهم كيفية المفاضلة بين جميع المنافع المحتملة لبيانات الشبكة الذكية والمخاوف المتعلقة بالخصوصية التي ترتبط بها. وهذا ليس اختياراً ثنائياً بين توفير الطاقة واحترام الخصوصية. وتحتاج الحلول المتعلقة بالسياسات إلى التطوير، مثل إجراءات التدقيق والمراجعة الخاصة بقواعد بيانات الكهرباء (تماماً كما تُدقق المستندات المالية)، إلى جانب طرق إخفاء هوية أصحاب البيانات ومعايير تقنيات التشفير واستخدام وكلاء أكثر أماناً للبيانات غير المعالجة.

وهناك طريقة واعدة لإنشاء هذه السياسات وهي استخلاص الدروس من أطر عمل الخصوصية الحالية التي تهدف إلى حماية بيانات المستهلكين المالية أو بيانات التصفح على الإنترنت. فعلى سبيل المثال، توضح سياسة الخصوصية لشركة كبرى متخصصة في البحث عبر الإنترنت ماهية المعلومات التي يتم جمعها وكيفية جمعها وكيفية استخدامها. وهناك شرح موجز عن التقنيات المستخدمة في جمع بيانات الإنترنت (على سبيل المثال، معلومات الأجهزة ومعلومات تسجيل الدخول ومعلومات الموقع والتخزين المحلي وملفات تعريف الارتباط). كما تتضمن الشفافية القدرة على مراجعة المعلومات المرتبطة بحساب الفرد والتحكم في كيفية مشاركة هذه المعلومات. وإذا كان لنا أن نطبق هذه المبادئ على قطاع الكهرباء، فإن المرافق ستكرس جهوداً خاصة تهدف إلى تثقيف العملاء بشأن المعلومات التي يتم جمعها من خلال تجزئة أو تصنيف بيانات الشبكة الذكية.

### الانتقال إلى حالة الاختبار التطلعي

أظهرت الأبحاث أنه يمكن تعزيز الكفاءة التشغيلية وتحقيق وفورات في التكاليف إذا ما سُمح لشركة مقيدة بلوائح تنظيمية بتنويع منتجاتها في سوق جديدة (Palmer، 1991). وقد يؤدي التوسع في مجال أعمال ذي صلة إلى زيادة الحافز لدى المرافق على الابتكار، وقد يؤدي إلى تحقيق مكاسب أكبر لمصلحة المستهلك بمرور الوقت. فعلى سبيل المثال، تم استخدام هذه الحجة في مجال الاتصالات لتبرير السماح لشركات بيل المحلية للتشغيل (Regional Bell Operating Companies) بتصنيع معدات الاتصالات أيضاً (Kahn، 1990). وبالمثل، فإن دخول المرافق إلى السوق للحصول على معلومات المستهلكين يمثل فرصة عمل جديدة.

بطبيعة الحال، لن ينعكس الدخول إلى أسواق جديدة على البيانات التاريخية. وبالتالي ينبغي على الجهات التنظيمية والمرافق الانتقال إلى نموذج يمثل فيه التخطيط المستقبلي عن طريق حالات الاختبار الموافقة لعدة أعوام جزءاً لا يتجزأ من العملية التنظيمية، مع تطوير الجهات التنظيمية للوائح تنظيمية وسياسات خاصة بالمرافق وتسمح لها بالانتقال إلى أسواق جديدة دون تحمل العبء التنظيمي غير المُبرر أو خطر توليد عوائد احتكارية.

يحلل هذا التقرير البحثي حالة تطوير الشبكات الذكية ويحدد العوائق المحتملة التي تقف أمام استخدام تقنية الشبكة الذكية، بالإضافة إلى تحديد المكونات والأدوات الداعمة للسياسات والتوصيات وفرص الأعمال المرتبطة بتحديث الشبكة. وتُستمد المنافع المحتملة للشبكات الذكية التي تعمل بكامل طاقتها من زيادة الموثوقية والقدرة على دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة الكهربائية بسهولة أكبر وانخفاض الأسعار على المدى الطويل بسبب التحولات في ذروة الطلب وزيادة المعلومات المُقدمة للمستهلكين مما يتيح إجراء اختيارات أكثر وعياً ترتبط باستهلاك الكهرباء. وفي حالة الفئتين الأخيرتين، تتحقق المنافع (بالنسبة لتسوية أحمال الذروة) بسبب التغييرات في سلوك المستهلكين فيما يتعلق بالطلب. ومع ذلك، من المرجح أن يحدث هذا التغيير في السلوك بسبب التغيير في نظام التسعير المفروض، حيث تتوافق الأسعار مع التكلفة الحدية الفعلية لتوصيل الكهرباء للمستهلكين بشكل وثيق.

تقترح النتائج التي توصلنا إليها أنه بالرغم من أن تحقيق المنافع الصافية للشبكة الذكية أمر مرجح، فإن هذه المنافع ليست بالضرورة إيجابية من وجهة النظر الاجتماعية، وتوجد إشكاليات كبيرة فعلية تعوق التحول من الشبكة القديمة إلى نظام توصيل كهرباء متكامل الاتصال وتعمل وظائفه بالكامل. وتعمل هذه العوائق على الإبطاء من اعتماد أو استخدام تقنيات الشبكات الذكية وتنشأ بنسبة كبيرة بسبب الهياكل التنظيمية التقليدية المستخدمة لحماية المستهلكين من الاحتكارات الطبيعية، بالإضافة إلى المخاطر المحتملة من وجهة نظر كل من المرافق ومستهلكي الكهرباء.

أولاً، يبدو من المرجح أن اعتماد تقنيات الشبكات الذكية بالكامل، إلى جانب الانتقال إلى نظام التسعير على أساس الزمن الحقيقي أو التسعير على أساس وقت الاستخدام، سيؤدي إلى وجود مجموعة من الرابحين والخاسرين على حد سواء على نطاق المستهلكين وعلى المدى القصير مقابل المدى الطويل، حتى على الرغم من أن المنافع الصافية الإجمالية العائدة على المجتمع قد تكون إيجابية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن مدى المكاسب يكون عرضة للمخاطر، والتي يتحملها المستهلكون في المقام الأول. ويمثل هذان العاملان عائقين يحولان دون تطوير الشبكة الذكية من الجانب المتعلق بالطلب.

ثانياً، قد يساهم هيكل التسعير على أساس التكلفة مضافاً إليها معدل عائد عادل، وهو الهيكل المتوارث من شبكة الكهرباء الحالية، في تثبيط الاستثمار في التقنيات المبتكرة وربما الأكثر تكلفة. وتكمن المخاطرة في أن الجهات التنظيمية المهتمة بالتكلفة لن توافق على النفقات لإمكانية قيام تقنية أقدم وأقل تكلفة بأداء الكثير من الوظائف نفسها (وليس جميع الوظائف بالتأكيد) نظير تكلفة أقل. ونظراً لميل الجهات التنظيمية إلى لعب دور حُماة مصالح المستهلكين في ظل الاحتكار الطبيعي لمعظم المرافق، فإن التكاليف التي تعتبر غير ضرورية سيتم تمريرها في نهاية المطاف إلى المساهمين بدلاً من المستهلكين. ويترتب على هذه المخاطرة، إلى جانب أشكال أخرى من التنظيم (مثل تلك المتعلقة بجودة البيئة) قد تكون لها أسبقية على حساب تطوير الشبكات الذكية، خلق عامل مثبط للاستثمار في تقنيات الشبكات الذكية.

ثالثاً، يؤدي عدم وجود معايير تقنية أيضاً إلى رفع نسبة الشك لدى المرافق التي تشعر بالقلق بشأن الاستثمار في معدات رأسمالية قد لا تكون متوافقة مع غيرها من مكونات النظام أو لن تواكب المتطلبات المستقبلية. كما يؤدي اعتماد تقنية يثبت عدم توافرها أو قلة فائدتها أو تقادمها السريع إلى رفع تكاليف الاستثمار على المرافق بأثر رجعي، وهذه التكاليف يتحملها المستهلكون في نهاية المطاف كما ذكرنا. ونادراً ما تؤخذ هذه المخاطرة بعين الاعتبار في تحليل المنافع إلى التكاليف المرتبطة بالشبكة الذكية.

رابعاً، قد تحدد المرافق والجهات التنظيمية أولويات الاستثمارات بشكل مختلف، في ظل مواجهتها لقيود تتعلق بالميزانية والمصادر المتعددة للوائح التنظيمية غير المعتمدة على الأسعار (مثل معايير حافطة مصادر الطاقة المتجددة والتشريعات البيئية الأخرى)، مما يؤدي إلى زيادة حدة التوتر ورفع مستوى المخاطر بين الجهات التنظيمية والمرافق. وقد تتعارض التكاليف الفيدرالية الخارجية للوصول إلى أهداف سياسية وطنية (مثل التوليد الموزع أو كفاءة الطاقة) مع السياسة المتبعة على مستوى الولاية، أو ترفع مستوى الشكوك حول البيئة التنظيمية في المستقبل، أو تحفز السلوكيات التي قد تؤدي في نهاية الأمر إلى انخفاض مبيعات الطاقة من المرافق إلى المستهلكين. وفي الواقع، يمكن النظر إلى إمكانية إيجاد مستهلكين، يبيعون الكهرباء إلى الشبكة مرة أخرى (مما يؤدي إلى التحول بعيداً عن استخدام الكهرباء المعتمدة على الشبكة) أو يقللون استخدام الطاقة بسبب التسعير الديناميكي، باعتبارها عاملاً إيجابياً جوهرياً للمجتمع ولكنه يهدد نموذج العمل الخاص بالمرافق التقليدية.

أخيراً، بالنسبة لأجزاء نظام النقل التي تتجاوز الاختصاصات السياسية، تواجه استثمارات الشبكة الذكية نفس المشكلة التي تواجهها عمليات التحسين في البنية التحتية التقليدية - أي بالنظر إلى العوامل الخارجية المعنية، هناك عادة بعض الخلافات التي تنشأ حول من يتحمل تكلفة الترقية. علاوةً على ذلك، فإن الهيكل الاقتصادي والتنظيمي لأنظمة التوزيع والنقل الحالية يقف بشكل أساسي كحجر عثرة أمام الابتكار من جانب كل من المنتج والمستهلك في السوق. وللمساعدة في التغلب على بعض هذه العوائق، يجب أن تأخذ الجهات التنظيمية وصانعو السياسات عدة مبادئ في الاعتبار:

- يتعين على الجهات التنظيمية التفكير في تعظيم المنافع الصافية للنظام، بدلاً من تخفيض الكلفة، كمبدأ تنظيمي. فعلى سبيل المثال، قد توفر الرغبة في السماح للمرافق بالاستثمار بحصة أكبر من العائدات مقابل تحمل المخاطر الكامنة في قرارات الاستثمار، حافزاً للابتكار في الشبكة الذكية. وبالمثل، قد تساعد حالات الاختبارات التطلعية إلى توجيه التركيز على المنافع التطلعية لنظام جديد تمت تربيته.
- ينبغي على سياسات التسعير أن تعكس كلاً من المنفعة أو تكلفة الخدمة الحدية وإدراك الحاجة إلى استرداد التكاليف الغارقة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن القدرة على التمييز في الأسعار في ضوء التقنيات الجديدة قد تتيح عزل مجموعات المستهلكين سريع التغير من التقلبات الكبيرة في الأسعار في حالة حددت الجهات التنظيمية هذا الأمر باعتباره أولوية وهدفاً.
- بسبب الاختلافات في مسارات الاستثمار وقواعد العملاء، قد تتسبب نفس التقنيات المستخدمة في الأنظمة المختلفة في تحقيق منافع صافية مختلفة. ويشير هذا إلى أن اتباع نهج موحد يناسب الجميع قد لا يكون مناسباً في جميع أنظمة التوزيع.
- قد يساعد تطوير معايير تقنية واعتمادها على المستوى الفيدرالي في الحد من الشكوك المتعلقة بالاستثمار وتسهيل تطوير التقنيات في الأسواق المساعدة.
- يتعين على كل من الجهات التنظيمية والمرافق أن تضع في اعتبارها أن تقنيات الشبكات الذكية وآثارها قد تؤديان إلى زيادة المنافع الصافية الإجمالية للنظام، ولكن قد تختلف تلك التجارب بين الأفراد وستلعب الحوافز في نهاية الأمر دوراً رئيسياً في تحقيق هذه المنافع. ولتجنب حدوث فجوات فيما يتعلق بالمصادقية، ينبغي تجنب المنافع التي يُتوقع تحقيقها بشكل مبالغ فيه على المستوى الفردي.

في حالة التغلب على العوائق التي تقف أمام الابتكار في مجال الشبكات الذكية كلياً أو جزئياً، ربما سيتبقى مجال واحد مثير للاهتمام فيما يتعلق بالابتكار وهو مجال البيانات الضخمة. لذلك ربما تكون القدرة على فرز البيانات المُجمعة من الشبكة إلى معلومات مفيدة قابلة للتنفيذ أحد أكبر المُقترحات القيمة لتقنيات الشبكات الذكية الجديدة، ولكن التطبيقات المتعلقة بهذا الخصوص لا تزال في بداية مرحلة الاستخدام المتصل عبر الإنترنت. وقد يترتب على المعلومات المجزأة على المستوى الفردي تحقيق منافع، تشمل تعزيز قدرة المستهلكين على تحسين استهلاك الكهرباء واتخاذ أفضل القرارات بشأن الأجهزة المنزلية وتحسين القدرة على التوقع لدى شركات التوزيع والنقل وإتاحة المرونة

في هياكل التسعير والقدرة على تقييم البرامج الإرشادية (التجريبية) وغيرها من البرامج. وقد تكون المرافق قادرة على تنويع المنتجات إلى ما هو أبعد من مجرد توفير مصدر طاقة ثابت نحو نموذج طاقة ومعلومات قوي، إلى جانب إضافة قيمة من خلال الحملات التسويقية المصممة خصيصاً بهدف تحقيق أهداف على المستوى الفردي، مثل تخفيض قيمة الفواتير. وقد تتوفر فرص إضافية أمام شركات وجهات أعمال في قطاعات تتطلع إلى الاستفادة من هذا التدفق الجديد للمعلومات، مثل مصممي المباني وصانعي الأجهزة، وحتى أجهزة الشرطة.

كما هو الحال مع اعتماد تقنيات الشبكة الذكية بشكل عام، فإن هذه المنافع المحتملة لا تتحقق بدون تكاليف. وقد تحد المخاوف بشأن الخصوصية بين الأفراد من الحماس لاستخدام تطبيقات البيانات الضخمة هذه، وقد لا تمتلك المرافق وغيرها من الجهات الأخرى ذات الصلة الخبرات الفنية الداخلية (الكوادر الفنية الخبيرة في هذا المجال داخل المرافق) لتحقيق الاستفادة الكاملة (التي تتطلب استثمارات مكلفة في الأفراد العاملين) في هذا الخصوص أو ربما تكون قد قامت باستثمارات سابقة تحول دون تحقيق المنافع بالكامل.

وحيث إن عصر البيانات الضخمة لا يزال في بدايته ويجري الآن تحول في الشبكات الكهربائية، ستكون هناك فرص ومخاطر ومنافع وتكاليف. وقد يساعد الابتكار التقني في إتاحة خدمات جديدة وتعزيز الكفاءات التقنية، ولكن قد تتسبب الهياكل التنظيمية والمؤسسية للشبكة القديمة إلى جانب مخاوف الخصوصية المتعلقة بالإفصاح عن المعلومات في خلق عوائق تقف أمام أنماط الاعتماد أو الاستخدام. إن البحوث المستقبلية في هياكل التصميم التنظيمي وهياكل الحوافز، والتي تهدف إلى إدارة التوتر بين المنافع الاجتماعية الإجمالية للشبكة الذكية والحلول ذات الصلة المتعلقة بتكاليف الابتكار على المستوى الجزئي، قد تساعد في التغلب على العديد من العوائق التي تعترض طريق اعتماد تقنيات الشبكات الذكية وتتيح في الوقت نفسه نمو أنشطة إضافية من الأعمال والمشروعات. وينبغي أن يكون تقييم الآثار التوزيعية لهياكل حوافز الشبكات الذكية سمة أساسية من سمات البحوث المستقبلية. ويغطي هذا السياق الكيفية التي ينبغي أن تُقسَّم من خلالها المنافع والتكاليف المستقاة من استخدام الشبكة الذكية بين الشركات القائمة، والمستثمرين الجدد وقاعدة متنوعة من العملاء. وينبغي أن تدرك بحوث السياسات والتصميمات التنظيمية المستقبلية أن المجموعات المختلفة من الأفراد والشركات قد تواجه حوافز جديدة ومختلفة، وتحاول الحد من زيادة التكاليف المتعلقة بأي مجموعة محددة. وبالإضافة إلى ذلك، يُعد الفهم العميق لآثار تنظيم الخصوصية وتعزيز أمن بيانات الشبكات الذكية أمراً في غاية الأهمية لتحقيق توازن بين الابتكار الاقتصادي في قطاع الكهرباء من جهة والحرص على رعاية صالح العملاء من جهة أخرى.



ACS—See American Cancer Society.

Allcott, Hunt, “Rethinking Real-Time Electricity Pricing,” *Resource and Energy Economics*, Vol. 33, No. 4, November 2011, pp. 820–842.

American Cancer Society, “Smart Meters,” last revised September 24, 2014; referenced February 25, 2014. As of October 24, 2014:

<http://www.cancer.org/cancer/cancercauses/othercarcinogens/athome/smart-meters>

Armel, K. Carrie, Abhay Gupta, Gireesh Shrimali, and Adrian Albert, “Is Disaggregation the Holy Grail of Energy Efficiency? The Case of Electricity,” *Energy Policy*, Vol. 52, January 2013, pp. 213–234.

Bailey, Elizabeth E., David R. Graham, and Daniel P. Kaplan, *Deregulating the Airlines*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985.

“Belkin Energy Disaggregation Competition,” *Kaggle*, c. 2013. As of March 7, 2014:

<http://www.kaggle.com/c/belkin-energy-disaggregation-competition>

Berg, Sanford V., and John Tschirhart, *Natural Monopoly Regulation: Principles and Practice*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988.

Berst, Jesse, *Smart Grid 101: Everything You Always Wanted to Know About Grid Modernization in 5 Easy Lessons*, *SmartGridNews.com*, 2011. As of March 6, 2014:

[http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business\\_Smart\\_Grid\\_101/](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business_Smart_Grid_101/)

[Smart-grid-101-Everything-you-wanted-to-know-about-grid-modernization-in-5-easy-lessons-4323.html](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business_Smart_Grid_101/Smart-grid-101-Everything-you-wanted-to-know-about-grid-modernization-in-5-easy-lessons-4323.html)

———, “Is This Our Future? TVA Grapples with Lower Demand,” *SmartGridNews.com*, January 16, 2014. As of February 26, 2014:

[http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business\\_Markets\\_Pricing/](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business_Markets_Pricing/)

[Is-this-our-future-TVA-grapples-with-lower-demand-6289.html](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Business_Markets_Pricing/Is-this-our-future-TVA-grapples-with-lower-demand-6289.html)

Boisvert, Richard N., and Bernard F. Neenan, *Social Welfare Implications of Demand Response Programs in Competitive Electricity Markets*, Berkeley, Calif.: Lawrence Berkeley National Laboratory, August 1, 2003. As of October 24, 2014:

<http://www.osti.gov/servlets/purl/816220-T0pRMN/native/>

Borenstein, Severin, “The Long-Run Efficiency of Real-Time Electricity Pricing,” *Energy Journal*, Vol. 26, No. 3, 2005, pp. 93–116.

———, “Customer Risk from Real-Time Retail Electricity Pricing: Bill Volatility and Hedgability,” *Energy Journal*, Vol. 28, No. 2, 2007a, pp. 111–130.

———, “Wealth Transfers Among Large Customers from Implementing Real-Time Retail Electricity Pricing,” *Energy Journal*, Vol. 28, No. 2, 2007b, pp. 131–149.

———, “To What Electricity Price Do Consumers Respond? Residential Demand Elasticity Under Increasing-Block Pricing,” preliminary draft, April 30, 2009.

———, “The Redistributive Impact of Nonlinear Electricity Pricing,” *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 4, No. 3, August 2012, pp. 56–90.

Borenstein, Severin, and Stephen Holland, "On the Efficiency of Competitive Electricity Markets with Time-Invariant Retail Prices," *RAND Journal of Economics*, Vol. 36, No. 3, Autumn 2005, pp. 469–493.

Byrne, Ciara, "The Super Grid: Coming Soon to a Power Outlet Near You," *VentureBeat*, October 29, 2010. As of November 3, 2014:  
<http://venturebeat.com/2010/10/29/super-grid-introduction/>

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Herriges, "Consistency of Residential Customer Response in Time-of-Use Electricity Pricing Experiments," *Journal of Econometrics*, Vol. 26, Nos. 1–2, September–October 1984, pp. 179–203.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson, "Economic Performance in Regulated and Unregulated Environments: A Comparison of U.S. and Canadian Railroads," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 96, No. 4, November 1981, pp. 559–581.

Chediak, Mark, "PG&E Customer Revolt May Threaten Rollout of Obama's Smart Grid," *Bloomberg*, December 30, 2009. As of October 24, 2014:  
[http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aR9dlqyk.\\_NI](http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aR9dlqyk._NI)

Collier, Steven, "What's Coming in the Smart Grid?" *Viewpoints: An American City and County Blog*, January 15, 2014. As of February 25, 2014:  
<http://americacityandcounty.com/blog/what-s-coming-smart-grid>

Commonwealth of Massachusetts Department of Public Utilities, *Investigation by the Department of Public Utilities on Its Own Motion into Modernization of the Electric Grid*, D.P.U. 12-76-A, December 23, 2013. As of March 3, 2014:  
<http://www.mass.gov/eea/docs/dpu/electric/12-76-a-order.pdf>

Commonwealth of Massachusetts Executive Office of Energy and Environmental Affairs, "File Room," undated. As of November 4, 2014:  
<http://web1.env.state.ma.us/DPU/FileRoom>

Costanzo, Mark, Dane Archer, Elliot Aronson, and Thomas Pettigrew, "Energy Conservation Behavior: The Difficult Path from Information to Action," *American Psychologist*, Vol. 41, No. 5, May 1986, pp. 521–528.

Costello, Ken, "An Observation on Real-Time Pricing: Why Practice Lags Theory," *Electricity Journal*, Vol. 17, No. 1, January–February 2004, pp. 21–25.

Craig, J. Dean, and Scott J. Savage, "Market Restructuring, Competition and the Efficiency of Electricity Generation: Plant-Level Evidence from the United States 1996 to 2006," *Energy Journal*, Vol. 34, No. 1, 2013, pp. 1–31.

Crew, Michael A., and Paul R. Kleindorfer, "Regulatory Economics: Twenty Years of Progress?" *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 21, No. 1, January 2002, pp. 5–22.

Daintree Networks, "Applying Mesh Networking to Wireless Lighting Control," white paper, Mountain View, Calif., 2014. As of October 24, 2014:  
<http://www.daintree.net/wp-content/uploads/2014/02/mesh-networking.pdf>

De Castro, Luciano, and Joisa Dutra, "The Economics of the Smart Grid," in *2011 49th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, 2011, pp. 1294–1301.

Denholm, Paul, and Maureen Hand, "Grid Flexibility and Storage Required to Achieve Very High Penetration of Variable Renewable Electricity," *Energy Policy*, Vol. 39, No. 3, March 2011, pp. 1817–1830.

DOE—See U.S. Department of Energy.

DPU—See Commonwealth of Massachusetts Department of Public Utilities.

EIA—See U.S. Energy Information Administration.

Electric Power Research Institute, *Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid*, Palo Alto, Calif., 2011. As of October 24, 2014:

[https://smartgrid.gov/document/estimating\\_costs\\_and\\_benefits\\_smart\\_grid\\_preliminary\\_estimate\\_investment\\_requirements\\_and\\_r](https://smartgrid.gov/document/estimating_costs_and_benefits_smart_grid_preliminary_estimate_investment_requirements_and_r)

- EnerNOC, *SmartGridCity Pricing Pilot Program: Pilot Evaluation and Final Report*, Baltimore, Md., December 19, 2013. As of February 26, 2014:  
[http://s3.amazonaws.com/dive\\_static/editorial/2013\\_SmartGridCity\\_Pricing\\_Pilot\\_Regression\\_Analysis\\_FINAL-1.pdf](http://s3.amazonaws.com/dive_static/editorial/2013_SmartGridCity_Pricing_Pilot_Regression_Analysis_FINAL-1.pdf)
- EPRI—See Electric Power Research Institute.
- Fabrizio, Kira R., Nancy L. Rose, and Catherine D. Wolfram, “Do Markets Reduce Costs? Assessing the Impact of Regulatory Restructuring on US Electric Generation Efficiency,” *American Economic Review*, Vol. 97, No. 4, September 2007, pp. 1250–1277.
- Faruqui, Ahmad, Ryan M. Hledik, and John Tsoukalis, “The Power of Dynamic Pricing,” *Electricity Journal*, Vol. 22, No. 3, April 2009, pp. 42–56.
- Faruqui, Ahmad, Doug Mitarotonda, Lisa Wood, Adam Cooper, and Judith Schwartz, *The Costs and Benefits of Smart Meters for Residential Customers*, Washington, D.C.: Edison Foundation Institute for Electric Efficiency, July 2011. As of October 24, 2014:  
[https://www.smartgrid.gov/document/costs\\_and\\_benefits\\_smart\\_meters\\_residential\\_customers](https://www.smartgrid.gov/document/costs_and_benefits_smart_meters_residential_customers)
- Faruqui, Ahmad, and Sanem Sergici, “Household Response to Dynamic Pricing of Electricity: A Survey of 15 Experiments,” *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 38, No. 2, October 2010, pp. 193–225.
- Federal Energy Regulatory Commission, *2010 Assessment of Demand Response and Advanced Metering: Staff Report*, February 2011. As of March 7, 2014:  
<http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2010-dr-report.pdf>
- FERC—See Federal Energy Regulatory Commission.
- Fowle, Meredith, “Emissions Trading, Electricity Restructuring, and Investment in Pollution Abatement,” *American Economic Review*, Vol. 100, No. 3, June 2010, pp. 837–869.
- Froehlich, Jon, Eric Larson, Sidhant Gupta, Gabe Cohn, Matthew Reynolds, and Shwetak Patel, “Disaggregated End-Use Energy Sensing for the Smart Grid,” *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 10, No. 1, January 2011, pp. 28–39.
- Future of the Electric Grid: An Interdisciplinary MIT Study*, The, Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 2011. As of October 29, 2014:  
<http://mitei.mit.edu/publications/reports-studies/future-electric-grid>
- GAO—See U.S. Government Accountability Office.
- Garber, Steven, Susan M. Gates, Margaret E. Blume-Kohout, James R. Burgdorf, and Helen Wu, *Challenges to Value-Enhancing Innovation in Health Care Delivery: Commonalities and Contrasts with Innovation in Drugs and Devices*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, OP-341-EMKF, 2011. As of January 23, 2014:  
[http://www.rand.org/pubs/occasional\\_papers/OP341.html](http://www.rand.org/pubs/occasional_papers/OP341.html)
- Gellman, Aaron J., “Surface Freight Transportation,” in William M. Capron, ed., *Technological Change in Regulated Industries: Papers Prepared for a Conference of Experts, with an Introduction and Summary*, Washington, D.C.: Brookings Institution, pp. 166–196.
- Gilbert, Richard J., and David M. Newbery, “The Dynamic Efficiency of Regulatory Constitutions,” *RAND Journal of Economics*, Vol. 25, No. 4, Winter 1994, pp. 538–554.
- Giordano, Vincenzo, Alexis Meletiou, Catalin-Felix Covrig, Anna Maria Mengolini, Mircea Ardelean, Gianluca Fulli, Manuel Sánchez Jiménez, and Constantina Filiou, *Smart Grid Projects in Europe: Lessons Learned and Current Developments—2012 Update*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. As of October 24, 2014:  
<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/28191>
- Global Smart Grid Federation, *2012 Report*, c. 2012. As of February 29, 2014:  
[https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/Global\\_Smart\\_Grid\\_Federation\\_Report.pdf](https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/Global_Smart_Grid_Federation_Report.pdf)
- Gomez, Paul C., *Recommended Decision Denying Application for SmartGridCity Cost Recovery with Prejudice*, Public Utilities Commission of the State of Colorado, Decision R13-0096, January 17, 2013. As of October 24, 2014:  
[https://www.dora.state.co.us/pls/efi/EFI\\_Search\\_UI.Show\\_Decision?p\\_session\\_id=&p\\_dec=18108](https://www.dora.state.co.us/pls/efi/EFI_Search_UI.Show_Decision?p_session_id=&p_dec=18108)

- Gupta, Sidhant, Matthew S. Reynolds, and Shewak N. Patel, "ElectriSense: Single-Point Sensing Using EMI for Electrical Event Detection and Classification in the Home," *Ubicomp '10*, 2010, pp. 139–148.
- Guthrie, Graeme, "Regulating Infrastructure: The Impact on Risk and Investment," *Journal of Economic Literature*, Vol. 44, No. 4, December 2006, pp. 925–972.
- Hart, G. W., "Nonintrusive Appliance Load Monitoring," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 80, No. 12, December 1992, pp. 1870–1891.
- Helms, Marisa, "The Lessons of Smart Grid Test in Boulder," *Finance and Commerce*, April 24, 2013. As of February 26, 2014:  
<http://finance-commerce.com/2013/04/the-lessons-of-smart-grid-test-in-boulder>
- Henn, Steve, "If There's Privacy in the Digital Age, It Has a New Definition," *All Tech Considered*, March 3, 2014. As of October 29, 2014:  
<http://www.npr.org/blogs/alltechconsidered/2014/03/03/285334820/if-theres-privacy-in-the-digital-age-it-has-a-new-definition>
- Holland, Stephen P., and Erin T. Mansur, "The Short-Run Effects of Time-Varying Prices in Competitive Electricity Markets," *Energy Journal*, Vol. 27, No. 4, 2006, pp. 127–156.
- Innovation Electricity Efficiency, *Utility-Scale Smart Meter Deployments: A Foundation for Expanded Grid Benefits*, Washington, D.C.: August 2013. As of October 29, 2014:  
[http://www.edisonfoundation.net/iei/Documents/IEE\\_SmartMeterUpdate\\_0813.pdf](http://www.edisonfoundation.net/iei/Documents/IEE_SmartMeterUpdate_0813.pdf)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers Smart Grid, "Smart Grid Standards," undated. As of November 4, 2014:  
<http://smartgrid.ieee.org/standards>
- Ito, Koichiro, *Do Consumers Respond to Marginal or Average Price? Evidence from Nonlinear Electricity Pricing*, Cambridge, Mass.: National Bureau of Economic Research Working Paper 18533, November 2012. As of October 29, 2014:  
<http://www.nber.org/papers/w18533>
- Jaffe, Mark, "Xcel's SmartGridCity Plan Fails to Connect with Boulder," *Denver Post*, October 28, 2012. As of February 26, 2014:  
[http://www.denverpost.com/ci\\_21871552/xcels-smartgridcity-plan-fails-connect-boulder](http://www.denverpost.com/ci_21871552/xcels-smartgridcity-plan-fails-connect-boulder)
- Joskow, Paul L., "Restructuring, Competition and Regulatory Reform in the U.S. Electricity Sector," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 11, No. 3, 1997, pp. 119–138.
- , "Electricity Sector Restructuring and Competition: A Transactions-Cost Perspective," in Eric Brousseau and Jean-Michel Glachant, eds., *The Economics of Contracts: Theories and Applications*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002, pp. 503–530.
- , "Regulation of Natural Monopoly," in A. M. Polinsky and S. Shavell, eds., *Handbook of Law and Economics*, Vol. 2, 2007, pp. 1227–1348.
- , "Lessons Learned from Electricity Market Liberalization," *Energy Journal*, Vol. 29, No. 2, 2008, pp. 9–42.
- , "Creating a Smarter U.S. Electricity Grid," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 26, No. 1, 2012, pp. 29–48.
- , "Incentive Regulation in Theory and Practice: Electricity Distribution and Transmission Networks," in Nancy L. Rose, ed., *Economic Regulation and Its Reform: What Have We Learned?* Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 2014, pp. 291–344.
- Joskow, Paul L., and Nancy L. Rose, "The Effects of Economic Regulation," in Richard Schmalensee and Robert D. Willig, eds., *Handbook of Industrial Organization*, Vol. 2, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 1449–1506.
- Joskow, Paul L., and Catherine D. Wolfram, "Dynamic Pricing of Electricity," *American Economic Review*, Vol. 102, No. 3, 2012, pp. 381–385.
- Kahn, Alfred E., *The Economics of Regulation: Principles and Institutions*, Vol. 1: *Economic Principles*, New York: Wiley, 1970.

- , *The Economics of Regulation: Principles and Institutions*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1988.
- , “Telecommunications, Competitiveness, and Economic Development: What Makes Us Competitive?” *Public Utilities Fortnightly*, Vol. 126, No. 6, September 13, 1990, pp. 12–19.
- Kempton, Willett, and Laura Montgomery, “Folk Quantification of Energy,” *Energy*, Vol. 7, No. 10, October 1982, pp. 817–827.
- King, Douglas E., *Electric Power Micro-Grids: Opportunities and Challenges for an Emerging Distributed Energy Architecture*, Pittsburgh, Pa.: Carnegie Mellon University, doctoral dissertation, May 2006. As of October 29, 2014:  
[https://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/pdfs\\_other/Doug\\_King\\_PhD\\_Thesis\\_2006.pdf](https://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/pdfs_other/Doug_King_PhD_Thesis_2006.pdf)
- Kury, Theodore J., “Price Effects of Independent Transmission System Operators in the United States Electricity Market,” *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 43, No. 2, April 2013, pp. 147–167.
- Kwoka, John, “Restructuring the U.S. Electric Power Sector: A Review of Recent Studies,” *Review of Industrial Organization*, Vol. 32, No. 3–4, May 2008, pp. 165–196.
- Lesieutre, Bernard C., and Joseph H. Eto, *Electricity Transmission Congestion Costs: A Review of Recent Reports*, Berkeley, Calif.: Energy Analysis Department, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California Berkeley, October 2003. As of August 13, 2014:  
[http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/review\\_of\\_congestion\\_costs\\_october\\_03.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/review_of_congestion_costs_october_03.pdf)
- Lowry, Mark Newton, Matthew Makos, and Gentry Johnson, *Innovative Regulation: A Survey of Remedies for Regulatory Lag*, Washington, D.C.: Edison Electric Institute, April 2011. As of August 23, 2014:  
<http://pacificeconomicsgroup.com/mnl/EEI%20Regulatory%20Innovation%20Survey%20Final.pdf>
- Malkin, David, and Paul A. Centolella, *Results-Based Regulation: A Modern Approach to Modernize the Grid*, GE Digital Energy, undated.
- Marris, Emma, “Energy: Upgrading the Grid,” *Nature*, Vol. 454, July 30, 2008, pp. 570–573. As of November 3, 2014:  
<http://www.nature.com/news/2008/080730/full/454570a.html>
- Massachusetts Electric Grid Modernization Stakeholder Working Group Process: Report to the Department of Public Utilities from the Steering Committee*, Commonwealth of Massachusetts Department of Public Utilities, DPU 12-76, July 2, 2013.
- Mitchell, Bridger M., and Jan Paul Acton, *The Effect of Time-of-Use Rates in the Los Angeles Electricity Study*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, N-1533-DWP/HF, 1980. As of October 29, 2014:  
<http://www.rand.org/pubs/notes/N1533.html>
- Moynihan, Michael, *Electricity 2.0: Unlocking the Power of the Open Energy Network (OEN)*, Washington, D.C.: New Policy Institute, February 4, 2010. As of October 29, 2014:  
<http://ndn.org/electricity20>
- Murrill, Brandon J., Edward C. Liu, and Richard M. Thompson III, *Smart Meter Data: Privacy and Cybersecurity*, Washington, D.C.: Congressional Research Service, R42338, February 3, 2012. As of February 25, 2014:  
<http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42338.pdf>
- Narayanan, Anu, and M. Granger Morgan, “Sustaining Critical Social Services During Extended Regional Power Blackouts,” *Risk Analysis*, Vol. 32, No. 7, July 2012, pp. 1183–1193.
- National Energy Technology Laboratory, *Understanding the Benefits of the Smart Grid: Smart Grid Implementation Strategy*, Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, DOE/NETL-2010/1413, June 18, 2010. As of October 29, 2014:  
[http://www.netl.doe.gov/File%20Library/research/energy%20efficiency/smart%20grid/whitepapers/06-18-2010\\_Understanding-Smart-Grid-Benefits.pdf](http://www.netl.doe.gov/File%20Library/research/energy%20efficiency/smart%20grid/whitepapers/06-18-2010_Understanding-Smart-Grid-Benefits.pdf)
- National Institute of Standards and Technology, “NIST Identifies Five ‘Foundational’ Smart Grid Standards,” press release, October 7, 2010. As of November 4, 2014:  
[http://www.nist.gov/public\\_affairs/releases/smartgrid\\_100710.cfm](http://www.nist.gov/public_affairs/releases/smartgrid_100710.cfm)
- Nelson, James R., ed., *Marginal Cost Pricing in Practice*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1964.

Nelson, Randy A., and Mark E. Wohar, "Regulation, Scale Economies, and Productivity in Steam-Electric Generation," *International Economic Review*, Vol. 24, No. 1, February 1982, pp. 57–79.

NETL—See National Energy Technology Laboratory.

NIST—See National Institute of Standards and Technology.

Palmer, Karen, "Diversification by Regulated Monopolies and Incentives for Cost-Reducing R&D." *American Economic Review*, Vol. 81, No. 2, May 1991, pp. 266–270.

Phillips, A., "Air Transportation in the United States," in William M. Capron, ed., *Technological Change in Regulated Industries: Papers Prepared for a Conference of Experts, with an Introduction and Summary*, Washington, D.C.: Brookings Institution, 1971.

Pratt, R. G., P. J. Balducci, C. Gerkenmeyer, S. Katipamula, M. C. W. Kintner-Meyer, T. F. Sanquist, K. P. Schneider, and T. J. Secrest, *The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO<sub>2</sub> Benefits*, Richland, Wash.: Pacific Northwest National Laboratory, PNNL-19112, January 2010. As of October 29, 2014:  
[https://www.smartgrid.gov/document/smart\\_grid\\_estimation\\_energy\\_and\\_co2\\_benefits](https://www.smartgrid.gov/document/smart_grid_estimation_energy_and_co2_benefits)

Public Law 110-140, Energy Independence and Security Act of 2007, December 19, 2007. As of November 4, 2014:  
<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-110publ140/content-detail.html>

Public Law 111-5, American Recovery and Reinvestment Act of 2009, February 17, 2009. As of November 3, 2014:  
<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-111publ5/content-detail.html>

Ravindranath, Mohana, "As Smart-Grid Funding Winds Down, Energy Leaders Assess Progress," *Washington Post*, February 23, 2014. As of February 25, 2014:  
[http://www.washingtonpost.com/business/on-it/as-smart-grid-funding-winds-down-energy-leaders-assess-progress/2014/02/23/05743a72-9992-11e3-80ac-63a8ba7f7942\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/business/on-it/as-smart-grid-funding-winds-down-energy-leaders-assess-progress/2014/02/23/05743a72-9992-11e3-80ac-63a8ba7f7942_story.html)

Reiss, Peter C., and Matthew W. White, "Household Electricity Demand, Revisited," *Review of Economic Studies*, Vol. 72, No. 3, 2005, pp. 853–883.

———, "What Changes Energy Consumption? Prices and Public Pressures," *RAND Journal of Economics*, Vol. 29, No. 3, Autumn 2008, pp. 636–663.

Resnick Institute, *Grid 2020: Towards a Policy of Renewable and Distributed Energy Resources*, Pasadena, Calif.: Resnick Institute Report, September 2012. As of October 24, 2014:  
[http://resnick.caltech.edu/docs/R\\_Grid.pdf](http://resnick.caltech.edu/docs/R_Grid.pdf)

Römer, Benedikt, Philipp Reichhart, Johann Kranz, and Arnold Picot, "The Role of Smart Metering and Decentralized Electricity Storage for Smart Grids: The Importance of Positive Externalities," *Energy Policy*, Vol. 50, November 2012, pp. 486–495.

Rothstein, Peter, Janet Gail Besser, and Jesse Jenkins, *Leading the Next Era of Electricity Innovation: The Grid Modernization Challenge and Opportunity in the Northeast*, NECEC Institute, 2014. As of October 29, 2014:  
[http://www.cleanenergycouncil.org/files/NECEC\\_Leading\\_Next\\_Era\\_Electricity\\_Innovation.pdf](http://www.cleanenergycouncil.org/files/NECEC_Leading_Next_Era_Electricity_Innovation.pdf)

Schmalensee, Richard, "Evaluating Policies to Increase Electricity Generation from Renewable Energy," *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 6, No. 1, Winter 2012, pp. 45–64.

Skinner, Kenneth, "Warning: What the Boulder Mess Says About Investor-Owned Utilities," *SmartGridNews.com*, April 14, 2013. As of March 6, 2013:  
[http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Delivery\\_Grid\\_Optimization/Warning-What-the-Boulder-mess-says-about-investor-owned-utilities-5951.html](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Delivery_Grid_Optimization/Warning-What-the-Boulder-mess-says-about-investor-owned-utilities-5951.html)

SmartGrid Consumer Collaborative, *Smart Grid Economic and Environmental Benefits: A Review and Synthesis of Research on Smart Grid Benefits and Costs*, Atlanta, Ga., October 8, 2013.

"Smart Grid: FERC, Public Service Commissioners Discuss Smart Grid Outlook," *E&ETV*, September 20, 2011. As of October 24, 2014:  
[http://www.eenews.net/tv/videos/1395?keyword=regulation&page=12&sort\\_by=date](http://www.eenews.net/tv/videos/1395?keyword=regulation&page=12&sort_by=date)

Smart Grid Interoperability Panel—Cyber Security Working Group, *Guidelines for Smart Grid Cyber Security*, Vol. 2: *Privacy and the Smart Grid*, Washington, D.C.: National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7628, August 2010. As of March 7, 2014:  
[http://csrc.nist.gov/publications/nistir/ir7628/nistir-7628\\_vol2.pdf](http://csrc.nist.gov/publications/nistir/ir7628/nistir-7628_vol2.pdf)

Smith, Rebecca, “Utility Gives Power to the People: Home Energy Use, Adjusted Remotely, Reality in Colorado,” *Wall Street Journal*, March 13, 2008. As of February 26, 2014:  
<http://online.wsj.com/news/articles/SB120537871607432823>

———, “What Utilities Have Learned from Smart-Meter Tests . . .,” *Wall Street Journal*, February 22, 2010. As of October 29, 2014:  
<http://online.wsj.com/articles/SB10001424052748704878904575031020562238094>

———, “Utilities Try to Learn from Smart Meters,” *Wall Street Journal*, September 22, 2013. As of October 29, 2014:  
<http://online.wsj.com/articles/SB10001424127887324123004579055070644003780>

Spence, Michael, “Cost Reduction, Competition, and Industry Performance,” *Econometrica*, Vol. 52, No. 1, January 1984, pp. 101–121.

Steiner, Peter O., “Peak Loads and Efficient Pricing,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 71, No. 4, November 1957, pp. 585–610.

Texas Office of Public Utility Counsel, “ERCOT: Electric Reliability Council of Texas,” undated; referenced 2013. As of November 3, 2014:  
<http://www.opuc.texas.gov/ERCOT.html>

To the Point, *Consumer Engagement Workshop*, c. 2013. As of February 26, 2014:  
<http://www.tothept.com/images/documents/2013-CE-WorkshopReport.pdf>

Tomain, Joseph P., “The Past and Future of Electricity Regulation,” *Environmental Law*, Vol. 32, No. 2, Spring 2002, pp. 435–474.

Tung, Hoi Yan, Kim Fung Tsang, and Ka Lun Lam, “ZigBee Sensor Network for Advanced Metering Infrastructure,” *International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2010 Digest of Technical Papers*, IEEE, c. 2010, pp. 95–96.

Turvey, Ralph, “Peak-Load Pricing,” *Journal of Political Economy*, Vol. 76, No. 1, January–February 1968, pp. 101–113.

U.S. Department of Energy, “North American Electric Reliability Corporation Interconnections,” undated. As of November 3, 2014:  
[http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/NERC\\_Interconnection\\_1A.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/NERC_Interconnection_1A.pdf)

———, *The Potential Benefits of Distributed Generation and Rate-Related Issues That May Impede Its Expansion*, June 2007. As of August 22, 2014:  
[http://www.ferc.gov/legal/fed-sta/ene-pol-act/1817\\_study\\_sep\\_07.pdf](http://www.ferc.gov/legal/fed-sta/ene-pol-act/1817_study_sep_07.pdf)

———, *Smart Grid Investment Grant Program: Progress Report*, July 2012a. As of October 29, 2014:  
<https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/sgig-progress-report-final-submitted-07-16-12.pdf>

———, *Demand Reductions from the Application of Advanced Metering Infrastructure, Pricing Programs, and Customer-Based Systems: Initial Results*, December 2012b. As of March 7, 2014:  
[http://www.smartgrid.gov/document/demand\\_reductions\\_application\\_advanced\\_metering\\_infrastructure\\_pricing\\_programs\\_and\\_custome](http://www.smartgrid.gov/document/demand_reductions_application_advanced_metering_infrastructure_pricing_programs_and_custome)

———, *Smart Grid Investment Grant Program: Progress Report II*, October 2013. As of October 29, 2014:  
[https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/SGIG\\_progress\\_report\\_2013.pdf](https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/SGIG_progress_report_2013.pdf)

U.S. Energy Information Administration, “Electric Power Industry Overview 2007,” c. 2007. As of November 1, 2014:  
<http://www.eia.gov/electricity/archive/primer/>

———, “Most States Have Renewable Portfolio Standards,” February 3, 2012a. As of February 25, 2014:  
<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=4850>

- , “Electric Generator Dispatch Depends on System Demand and the Relative Cost of Operation,” August 17, 2012b. As of November 3, 2014:  
<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=7590>
- , “Distributed Generation System Characteristics and Costs in the Buildings Sector,” August 7, 2013a. As of February 28, 2014:  
<http://www.eia.gov/analysis/studies/distribgen/system/>
- , *Electric Power Annual 2012*, December 2013b. As of February 26, 2014:  
<http://www.eia.gov/electricity/annual/pdf/epa.pdf>
- , *AEO2014 Early Release Overview*, December 16, 2013c. As of February 28, 2014:  
<http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/>
- , “What Is the Electric Power Grid and What Are Some Challenges It Faces?” last updated September 16, 2014a; referenced February 28, 2014. As of November 1, 2014:  
[http://www.eia.gov/energy\\_in\\_brief/article/power\\_grid.cfm](http://www.eia.gov/energy_in_brief/article/power_grid.cfm)
- , “Use of Electricity: Energy Explained,” November 24, 2014b; referenced March 7, 2014. As of November 1, 2014:  
[http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity\\_use](http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity_use)
- U.S. Government Accountability Office, *Electricity Restructuring: FERC Could Take Additional Steps to Analyze Regional Transmission Organizations’ Benefits and Performance—Report to the Committee on Homeland Security and Governmental Affairs, U.S. Senate*, Washington, D.C., GAO-08-987, September 2008. As of October 24, 2014:  
<http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS105101>
- , *Electricity Grid Modernization: Progress Being Made on Cybersecurity Guidelines, but Key Challenges Remain to Be Addressed*, Washington, D.C., GAO-11-117, January 2011. As of October 29, 2014:  
<http://www.gao.gov/products/GAO-11-117>
- Wilshusen, Gregory C., and David C. Trimble, *Cybersecurity: Challenges in Securing the Modernized Electricity Grid—Testimony Before the Subcommittee on Oversight and Investigations, Committee on Energy and Commerce, House of Representatives*, Washington, D.C.: U.S. Government Accountability Office, GAO-12-507T, February 28, 2012. As of November 4, 2014:  
<http://www.gao.gov/products/gao-12-507t>
- Winter, Danielle C., Keegan Werlin LLP, “D.P.U. 12-76: Investigation into Modernization of the Electric Grid,” letter to Mark D. Marini, secretary, Department of Public Utilities, Boston, Mass., July 24, 2013.
- Wiser, Ryan, Devra Bachrach, Mark Bolinger, and William Golove, “Comparing the Risk Profiles of Renewable and Natural Gas-Fired Electricity Contracts,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 8, No. 4, August 2004, pp. 335–363.
- Wolak, Frank A., *Residential Customer Response to Real-Time Pricing: The Anaheim Critical-Peak Pricing Experiment*, Berkeley, Calif.: Center for the Study of Energy Markets, University of California Energy Institute, May 2006. As of March 7, 2014:  
<http://escholarship.org/uc/item/3td3n1x1>
- , *An Experimental Comparison of Critical Peak and Hourly Pricing: The PowerCentsDC Program*, Stanford, Calif.: Department of Economics, Stanford University, March 13, 2010.
- World Economic Forum, *Accelerating Smart Grid Investments*, Cologny/Geneva, Switzerland, 2009. As of November 1, 2014:  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_SmartGrid\\_Investments\\_Report\\_2009.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_SmartGrid_Investments_Report_2009.pdf)
- Zeifman, M., and K. Roth, “Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NIALM): Review and Outlook,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 57, No. 1, February 2011, pp. 76–84.

لقد وفرت التقنيات الجديدة فرصاً هائلة لتحديث شبكة الكهرباء، والتي من شأنها أن تتيح اتصالات مُحسَّنة بين المستهلكين والمشغلين في مجالي النقل والتوزيع. وتُعرف طبقة الاتصالات هذه وما يرتبط بها من تقنيات تمكين والبنية التحتية اللازمة لتوفير الكهرباء باسم الشبكة الذكية. ومن المُقدَّر أن تحقق الشبكة الذكية العاملة بكامل طاقتها منافع صافية كبيرة تعود على المجتمع من خلال القدرة على إدارة عمليات نقل الكهرباء وتوزيعها واستهلاكها بكفاءة أكبر، فضلاً عن إدراج ودمج تقنيات توليد الطاقة الموزَّعة إلى جانب مصادر متجددة ومتقطعة من الوقود. ومع ذلك، تشير بعض الأدلة إلى أنه إما أن هناك مبالغة في تقدير قيمة المنافع الصافية أو أن الحوافز لا تتماشى مع شركات المرافق والعملاء الحاليين من أجل تحديث الشبكة بالكامل. يستعرض هذا التقرير الحالة الراهنة لتطوير الشبكة الذكية، بما في ذلك بعض فرص الأعمال التي تنشأ في هذا الخصوص والعوائق التي تعترض إجراء تحديث كامل للشبكة. ونحدد بعض التوصيات للمساعدة في التغلب على هذه العوائق، كما نتناول بالتفصيل المكونات والأدوات الداعمة للسياسة المتاحة للجهات التنظيمية في ظل المنظومة التنظيمية القائمة لتحفيز أو تثبيط عملية اعتماد أو استخدام الشبكة الذكية .



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