IRENA
International Renewable Energy Agency

تقرير عن تكاليف توليد الطاقة المتجددة لعام 2023

ملخص تنفيذي

© الوكالة الدولية للطاقة المتجددة 2024 (IRENA)

يجوز، ما لم يرد بخلاف ذلك، استخدام المادة الواردة في هذا المنشور بحرّية ومشاركتها ونسخها وإعادة إنتاجها وطباعتها، أو تخزينها شريطة أن يُشار بشكلٍ واضح إلى "الوكالة الدولية للطاقة المتجددة" بوصفها مصدر هذا المنشور، ومالك حقوق نشره وطباعته. وقد تكون المعلومات المنسوبة إلى أطراف خارجية ضمن هذه المادة خاضعة لحقوق النشر والتأليف الخاصة بها، وكذلك لشروط استخدام وقيود منفصلة، وقد يستلزم استخدام هذه المادة بأي شكلٍ الحصول المسبق على إذن تلك الأطراف.

التوثيق: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (2024)، *تقرير "تكاليف توليد الطاقة المتجددة لعام 2023"* ، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبوظبي.

تُرجم هذا الملخص عن "Renewable power generation costs in 2023" الرقم المعياري الدولي: 978-92-9260-621-3 (2024). وفي حال وجود تعارض بين هذه الترجمة والنص الإنجليزي الأصلي، تُعتمد النسخة الإنجليزية دون غيرها.

مراجعة وتدقيق: كرم عبداللاه

نبذة عن الوكالة الدولية للطاقة المتجددة

الوكالة الدولية للطاقة المتجددة منظمة حكومية دولية تدعم بلدان العالم في الانتقال إلى مستقبل قائم على الطاقة المستدامة. وتعتبر الوكالة مركزًا عالميًا، ومنصةً رئيسيةً للتعاون الدولي، وملتقى لرواد السياسة والتكنولوجيا والموارد والمعرفة المالية المتخصصة في مجال الطاقة المتجددة. وتشجّع الوكالة على اعتماد جميع أشكال الطاقة المتجددة واستخدامها على نطاق واسع بما فيها الطاقة الحيوية، والطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الكهرومائية، وطاقة المحيطات، والطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، وذلك في إطار سعيها المتواصل لتحقيق التنمية المستدامة، وتعزيز سبل الحصول على الطاقة، وتحقيق أمن الطاقة، ودفع عجلة النمو الاقتصادي منخفض الكربون للوصول إلى مستقبل مزدهر. **www.irena.org**

شكر وتقدير

أُعِدّ هذا التقرير بإشراف رولان روش (مدير "مركز التكنولوجيا والابتكار" التابع لـ "الوكالة الدولية للطاقة المتجددة")، ونوريلا كونستانتينسكو (الوكالة الدولية للطاقة المتجددة) ومايكل تايلور (المسؤول السابق في الوكالة الدولية للطاقة المتجددة).

ألف هذا التقرير ديبورا آبريس ولورديس زامورا (الوكالة الدولية للطاقة المتجددة). وتتوجه المؤلفتان بخالص الشكر والامتنان لكل من: أدريان غونزاليس وبينو بارثان ونازك الحسن وجاريد مكارثي ومحمد نبابة (الوكالة الدولية للطاقة المتجددة)، وأولغا سوروكينا (مجموعة يوروبيان إنرجي لينك) لمساهماتهم القيّمة في إعداد هذه الدراسة.

واستفاد هذا التقرير من التنقيحات والملاحظات القيّمة التي قدمتها كوكبة من الخبراء، منهم: ألانا بيلباو (الوكالة الدولية للطاقة) وآنا أندرادي (المديرية العامة للطاقة والجيولوجيا - البرتغال) وجوردون إيدج (الرابطة الدولية للطاقة الكهرومائية) وغاي بريندلي (WindEurope) وجاريت زوبي (المختبر الوطني للطاقة المتجددة) وجوردن ديرش (المركز الألماني للفضاء) وماتيو بيانشوتو (الرابطة الدولية للطاقة الكهرومائية) ومولي مورغان (CRU) وريبيكا إليس (الرابطة الدولية للطاقة الكهرومائية).

وقدم كل من: فرانسيس فيلد وستيفاني كلارك ونيكول بوكستالر وداريا غازولا الدعم في مجال المطبوعات والتحرير والاتصالات. وحرّر التقرير جوناثان جورفيت، وتولى بول كومور المراجعة الفنية. بينما تولى ناتشو سانز التصميم الجرافيكي.

لمزيد من المعلومات أو لتقديم الملاحظات، يرجى التواصل عبر البريد الإلكتروني التالي: **publications@irena.org**
يمكن تحميل هذا التقرير من خلال الموقع الإلكتروني التالي: **www.irena.org/publications**

إخلاء المسؤولية

يُقدَّم هذا المنشور والمادة التي يحتوي عليها "بحالتِهما". وقد اتخذت الوكالة الدولية للطاقة المتجدّدة جميع الاحتياطات المعقولة للتحقق من ثبوت صحةالمادة التي يحتوي عليها هذا المنشور. ومع ذلك، لا تتحمّل الوكالة الدولية للطاقة المتجدّدة أو أي من مسؤوليها أو وكلائها، أو مزودي البيانات، أو الأطراف الثالثة الأخرى من مزودي المحتوى مسؤولية تقديم أي ضمانات صريحةً كانت أم ضمنية؛ كما لا يتحملون أي مسؤولية حيال تبعات استخدام هذا المنشور والمواد الواردة فيه.

لا تمثّل المعلومات الواردة في هذا المنشور بالضرورة وجهات نظر جميع أعضاء الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. ولا ينطوي ذِكر شركات محددة أو مشروعات أو منتجات معيّنة على أي تأييد أو تزكيةٍ لها من طرف الوكالة الدولية للطاقة المتجدّدة تفضيلًا لها عن سواها مما له طبيعة مماثلة ولم يرد ذِكره. ولا تنطوي التسميات المستخدمة في هذا المنشور، ولا طريقة عرض المادة، على أيّ إعرابٍ عن أي رأيٍ من جانب الوكالة الدولية للطاقة المتجدّدة بشأن المركز القانوني لأي منطقة أو بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة خاضعة لسلطاتها، أو تتعلّق بترسيم حدودها أو تخومها.

Goami © Shutterstock.com

ملخص تنفيذي

نقاط رئيسية

- سجلت إضافات الطاقة المتجددة رقمًا قياسيًا جديدًا في عام 2023 بزيادة جديدة قدرها 473 جيجا واط في القدرة الإنتاجية المضافة، وهي زيادة بنسبة 54% مقارنة بالإضافات التي أُدخلت في عام 2022، وهو النمو السنوي الأكبر على الإطلاق منذ عام 2000.
- زاد إجمالي القدرات الإنتاجية للطاقة المتجددة عالميًا في عام 2023 بنسبة 14%، حيث ارتفع من 3391 جيجا واط في 2022 ليصل إلى 3865 جيجا واط في عام 2023.
- في عام 2023، انخفض المتوسط العالمي المرجح لتكاليف الكهرباء من المشروعات التي أطلقت حديثًا للطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح البرية وطاقة الرياح البحرية والطاقة الشمسية المركزة والطاقة الكهرومائية (الجدول S1).
- شكّلت الصين أكبر سوق للطاقة الشمسية الكهروضوئية (63%) وطاقة الرياح البرية (66%) وطاقة الرياح البحرية (65%) والطاقة الكهرومائية (44%) في عام 2023. ويرجع السبب في ذلك إلى الإضافات الكبيرة في الطاقة المتجددة للدولة في عام 2023، وهو الأمر الذي حرَّك الانخفاض في المتوسط العالمي المرجح لتكاليف هذه التكنولوجيا.
- في عام 2023، نجح إجمالي مشروعات الطاقة المتجددة التي نُفذت عالميًا منذ عام 2000 في توفير ما يقدّر بنحو 409 مليار دولارًا أمريكيًا من تكاليف الوقود في قطاع الطاقة.
- زادت إضافات الطاقة السنوية لتخزين البطاريات من إجمالي طاقة إنتاجية 0.1 جيجا واط /ساعة في عام 2010 ليصل إلى إجمالي طاقة إنتاجية قدرها 95.9 جيجا واط /ساعة في عام 2023. وفي الفترة من عام 2010 إلى 2023، انخفضت تكاليف مشروعات تخزين البطاريات بنسبة 89%، حيث انخفضت من 2511 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة لتصل إلى 273 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة.
- ما تزال القدرة التنافسية لتكنولوجيا الطاقة المتجددة قائمة رغم عودة أسعار الوقود الأحفوري إلى مستوى قريب مما كان عليه نطاق تكلفتها بعد عام 2010.
- في عام 2010، كان المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح البرية أعلى بنسبة 23% من المتوسط المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري، بينما في عام 2023، أصبح المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من مشروعات طاقة الرياح البرية أقل بنسبة 67% من المتوسط المرجح للحلول القائمة على الوقود الأحفوري.
- في عام 2010، كان المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء أعلى بنسبة 414% من المتوسط المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من أرخص الحلول القائمة على الوقود الأحفوري، لكن وبسبب الانخفاض الهائل في التكاليف في عام 2023، أصبحت تكلفة الطاقة الشمسية الكهروضوئية أقل بنسبة 56% من الحلول القائمة على الوقود الأحفوري صاحبة أدنى متوسط مرجح للتكلفة.

الجدول S1: إجمالي التكاليف شاملة التركيب، وعوامل القدرة الإنتاجية، واتجاهات التكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء حسب نوع التكنولوجيا، لعامي 2010 و2023

	إجمالي التكاليف شاملة التركيب (2023 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط)			عامل القدرة الإنتاجية (%)			التكلفة المستوية للكهرباء (2023 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة)		
	2010	2023	النسبة المئوية للتغيير	2010	2023	النسبة المئوية للتغيير	2010	2023	النسبة المئوية للتغيير
الطاقة الحيوية	3 010	2 730	-9%	72	72	0%	0.084	0.072	-14%
الطاقة الحرارية الأرضية	3 011	4 589	52%	87	82	-6%	0.054	0.071	31%
الطاقة الكهرومائية	1 459	2 806	92%	44	53	20%	0.043	0.057	33%
الطاقة الشمسية الكهروضوئية	5 310	758	-86%	14	16	14%	0.460	0.044	-90%
الطاقة الشمسية المركزة	10 453	6 589	-37%	30	55	83%	0.393	0.117	-70%
طاقة الرياح البرية	2 272	1 160	-49%	27	36	33%	0.111	0.033	-70%
طاقة الرياح البحرية	5 409	2 800	-48%	38	41	8%	0.203	0.075	-63%

ملاحظات: CSP = الطاقة الشمسية المركزة، kW = كيلو واط

تخطت الإضافات السنوية للقدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة رقمًا قياسيًا في عام 2023، إذ بلغت الزيادة في إجمالي القدرة الإنتاجية شاملة التركيب 14% على أساس سنوي.

في عام 2023، شكلت الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح البرية معًا أكثر من 95% من القدرة المضافة في الطاقة المتجددة البالغة 473 جيجا واط.[1] فقد شهدت الطاقة الشمسية الكهروضوئية زيادة بنسبة 73% في عام 2023 مضيفة بذلك 346 جيجا واط، بينما أضافت طاقة الرياح البرية 104 جيجا واط، ما يمثل نموًا بنسبة 48% على أساس سنوي. في الوقت ذاته، بلغت إضافات القدرة الإنتاجية لطاقة الرياح البحرية 11 جيجا واط، أي ما يمثل ارتفاعًا بنسبة 27% مقارنة بعام 2022. ومع ذلك، فما يزال هذا الرقم أدنى من الرقم القياسي لإضافات القدرة الإنتاجية التي شهدها عام 2021 لهذه التكنولوجيا.

وكانت الإضافات الجديدة أكثر تواضعًا بالنسبة للتقنيات الأخرى مثل الطاقة الشمسية المركزة والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الحيوية والطاقة الكهرومائية. وقد بلغ إجماليها مجتمعة 12 جيجا واط من الطاقة الإنتاجية الإضافية شاملة التركيب في عام 2023، كان منها 7 جيجا واط من الطاقة الكهرومائية. وشهدت الإضافات السنوية للطاقة الشمسية المركزة والطاقة الحرارية الأرضية ثباتًا في السنوات الأخيرة، بينما واجهت الطاقة الكهرومائية والطاقة الحيوية انخفاضًا في عام 2023 مقارنة بعام 2022.

ويعكس النمو في إضافات القدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة الجهود العالمية الرامية إلى تحويل قطاع الطاقة نحو الاعتماد على قدر أكبر من مصادر الطاقة المتجددة. ومع ذلك، فما تزال إضافات القدرة الإنتاجية الجديدة أدنى من المستوى المطلوب للوصول إلى هدف مضاعفة القدرة الإنتاجية بمقدار ثلاثة أضعاف الذي تم التوافق عليه في "اتفاق الإمارات" في مؤتمر الأطراف (كوب 28). والأمر الأكثر أهمية هو أن تكون مضاعفة القدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة إلى ثلاثة أضعاف مصحوبة بمجموعة من عوامل التمكين الرئيسية، أبرزها توسيع شبكات التوزيع وسعة تخزينها.

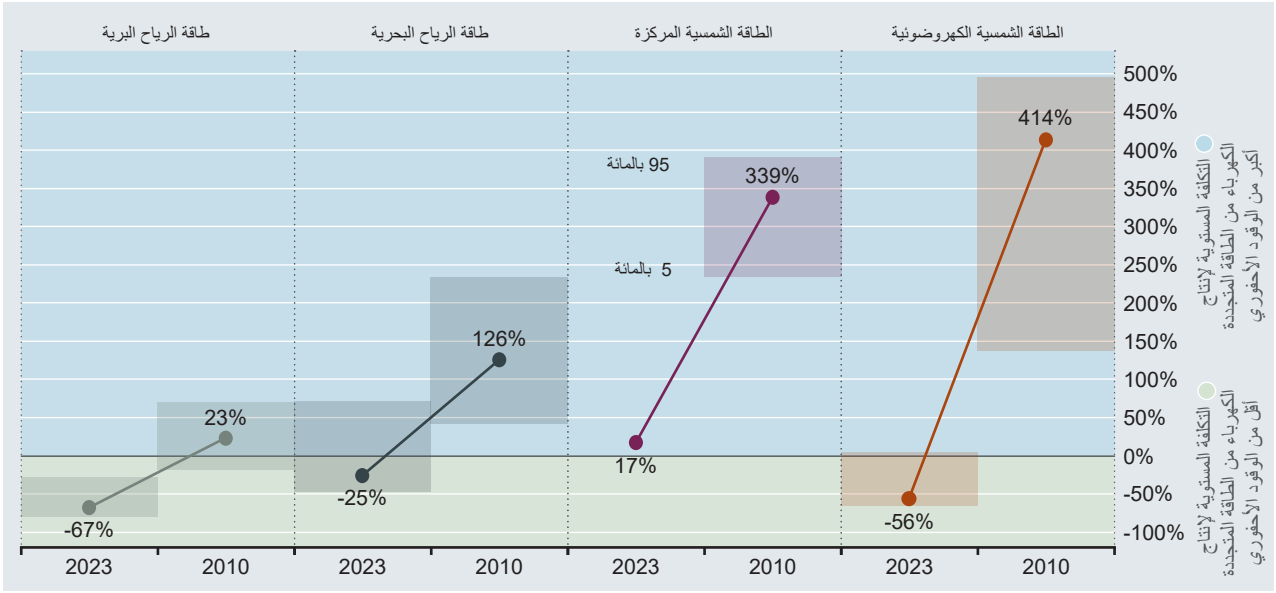
ورغم ذلك، فإن البيانات المستمدة من *قاعدة بيانات تكاليف الطاقة المتجددة الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة المتجددة* وتحليل التوجهات الأخيرة تعيد التأكيد على الدور المحوري الذي تؤديه مصادر الطاقة المتجددة في تحقيق الأهداف المناخية، وفي الوقت ذاته تبرهن على الجدوى الاقتصادية لهذه التقنيات مقارنة بأنواع الوقود الأحفوري.

[1] في هذا التقرير، يشير مصطلح "القدرة الإنتاجية للطاقة المتجددة" إلى صافي القدرة الإنتاجية المولدة من محطات الطاقة والمنشآت الأخرى، التي تستخدم موارد الطاقة المتجددة لإنتاج الكهرباء، التي أطلقت خلال العام المعنيّ.

وبعد عقود من انخفاض التكاليف وتحسُّن الأداء في تقنيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، أصبحت الفوائد الاقتصادية لتوليد الطاقة المتجددة - إضافة إلى فوائدها الاجتماعية والتنموية والبيئية - مقنعة الآن

وفي عام 2010، بلغ المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من 0.111 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة، وهو الرقم الذي كان أعلى بنسبة 23% من المتوسط المرجح لتكلفة إضافات القدرة الإنتاجية الجديدة لأنواع الوقود الأحفوري[2] التي كانت 0.090 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة. ولكن بحلول عام 2023، بلغ المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من مشروعات طاقة الرياح البرية 0.033 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة؛ أي أقل بنسبة 67% من المتوسط المرجح لتكلفة الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري التي ارتفعت إلى 0.100 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة (الجدول S2). وفي الفترة ذاتها، انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح البحرية من كونه أعلى في التكلفة بنسبة 126% من المتوسط المرجح لتكلفة الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري إلى أن أصبح أقل تكلفة بنسبة 25%؛ حيث انخفضت التكلفة من 0.203 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة إلى 0.075 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة.

الشكل S1 التغير في المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح مقارنة بالوقود الأحفوري، 2010 – 2023



ملاحظة: RE = الطاقة المتجددة

وفي الوقت ذاته، شهدت الطاقة الشمسية المركزة انخفاض متوسطها العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء من كونها أعلى بنسبة 339% من المتوسط المرجح لتكلفة الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري في عام 2010 إلى كونها أعلى منه بنسبة 17% فقط في عام 2023. وفي عام 2010، كان المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق 0.460 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة؛ أي أغلى بنسبة 414% من المتوسط المرجح لتكلفة الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري. ورغم ذلك، ففي عام 2023 أدى الانخفاض الهائل في التكاليف -التي وصلت إلى 0.044 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة - إلى أن يكون المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية أقل بنسبة 56% من المتوسط المرجح لتكلفة الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري.

في الواقع، وبينما شهد العام 2023 انخفاض تكاليف توليد الطاقة من المصادر القائمة على الوقود الأحفوري عن أرقامه المرتفعة في عام 2022 (الشكل 1.6 والشكل 1.7)، فإن توليد الطاقة من المصادر المتجددة ظل أقل تكلفة من الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري. وفي عام 2023، كانت تكاليف إنتاج الكهرباء لما يناهز 81% (382 جيجا واط) من مشروعات توليد الطاقة المتجددة على مستوى المرافق التي أطلقت حديثًا، أقل من المتوسط المرجح لتكاليف الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري حسب البلد/المنطقة.

وبشكل عام، ففي الفترة بين عامَي 2010 و2023، جرى تنفيذ مشروعات لتوليد الطاقة المتجددة بقدرة بلغت 1690 جيجا واط وكانت التكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء فيها أقل من المتوسط المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من المصادر القائمة على الوقود الأحفوري.

[2] في هذا التقرير، تمت مقارنة المتوسط المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من موارد الطاقة المتجددة بالمتوسط المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري، بينما استخدم هذا التقرير في الأعوام السابقة التكلفة المستوية للكهرباء من "أرخص" الخيارات القائمة على الوقود الأحفوري، ويرجع السبب في ذلك إلى الانخفاضات الأخيرة في أسعار الوقود الأحفوري.

فوائد الطاقة المتجددة على مستوى الاقتصاد.

شهدت تسعة بلدان من بين البلدان العشرين[3] التي تمتلك الوكالة الدولية للطاقة المتجددة بيانات عنها تحسنًا في القدرة التنافسية[4] للطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق لديها بأكثر من المتوسط المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء في عام 2023، بينما في عام 2022 شهدت ثمانية بلدان مثل هذا التحسن.

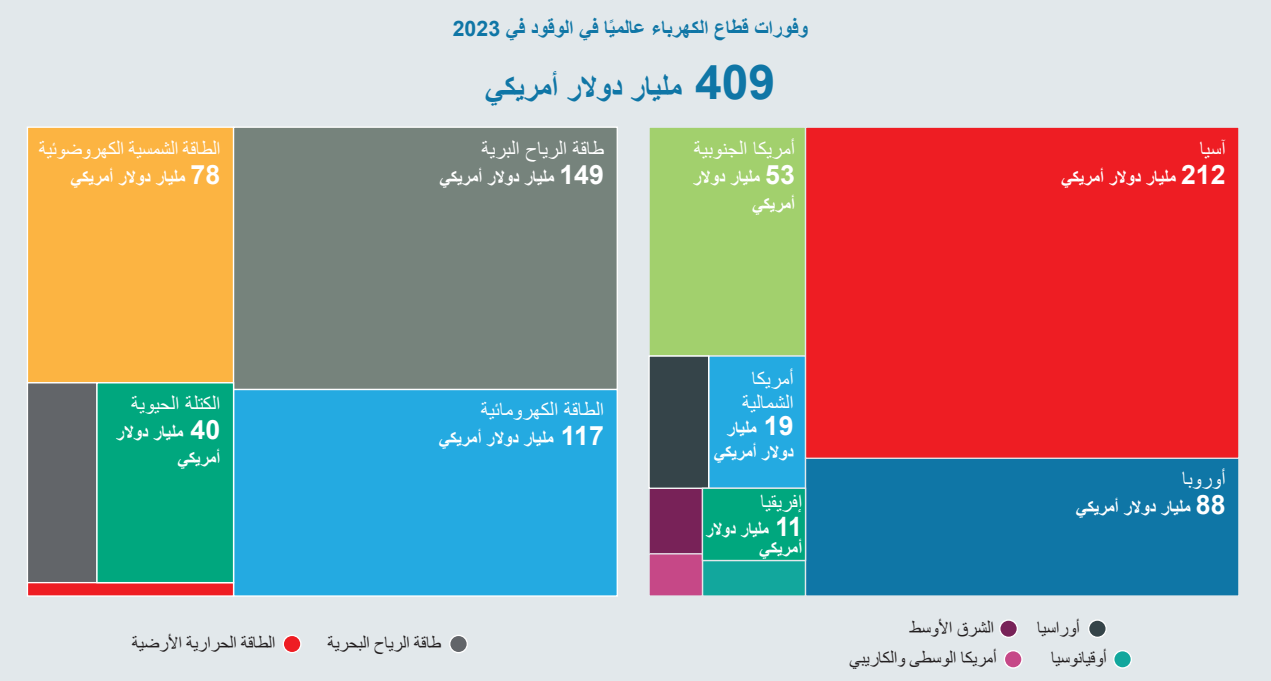
وخلال فترة عامَي 2022 و2023، فمن بين 19 بلدًا جرى رصد بياناتها لطاقة الرياح البرية، شهدت 16 بلدًا تحسنًا في القدرة التنافسية لهذه التكنولوجيا بأكثر من المتوسط العالمي المرجح لتكلفة الكهرباء. وإجمالًا، فقد كانت طاقة الرياح البرية أعلى تنافسية من خيارات الوقود الأحفوري.

وتواصل الطاقة المتجددة توفير تكاليف الوقود في قطاع الكهرباء. فيما حققت تنافسية الطاقة الشمسية وطاقة الرياح أرقامًا إيجابية، رغم انخفاضها عما كانت عليه في 2022، وهو الأمر الذي كان ناتجًا عن الانخفاض في أسعار الوقود الأحفوري.

وفي عام 2023، وفرت مشاريع الطاقة المتجددة التي أنجزت عالميًا منذ عام 2000 ما يقدر بنحو 409 مليار دولارًا أمريكيًا من تكاليف الوقود في قطاع الكهرباء وحده (الشكل S3). وفي الفترة من عام 2000 إلى عام 2010، سجّلت قارة آسيا أعلى وفورات تراكمية تُقدر بنحو 212 مليار دولارًا أمريكيًا. وقد بلغ هذا الرقم في أوروبا 88 مليار دولارًا أمريكيًا، تلتها أمريكا الجنوبية التي يُقدر إجمالي الوفورات فيها بنحو 53 مليار دولارًا أمريكيًا.

أما فيما يتعلق بمصادر الطاقة المتجددة، فقد حققت طاقة الرياح البرية أعلى معدل وفورات، إذ بلغت 149 مليار دولارًا أمريكيًا. وقد جاءت الطاقة

الشكل S2 وفورات تكاليف الوقود الأحفوري عالميًا في قطاع الكهرباء في عام 2023 الناتجة عن الطاقة المتجددة المضافة منذ عام 2000.



[3] تشمل البيانات التفصيلية المقدمة في الشكل 1.10 البلدان العشرين التالية: الأرجنتين وأستراليا والبرازيل وكندا والصين وفرنسا وألمانيا والهند وإندونيسيا وإيطاليا واليابان وجمهورية كوريا وماليزيا والمكسيك والفلبين وجنوب إفريقيا وتركيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية وفيتنام.

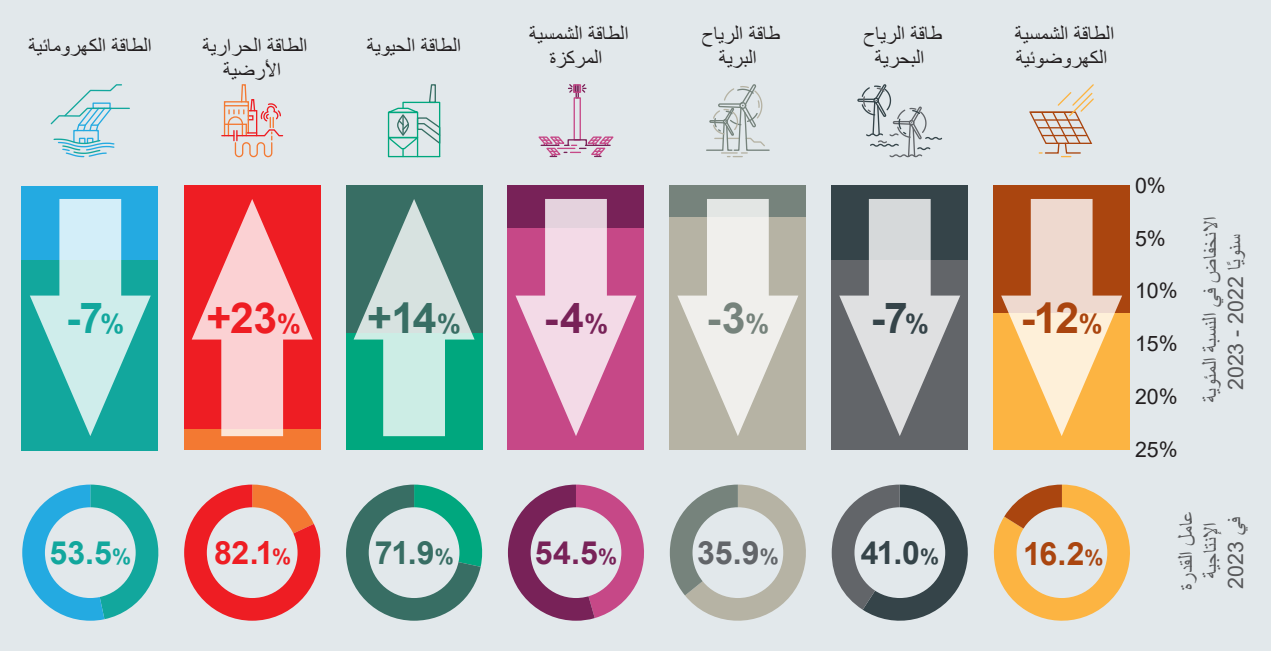
[4] حسبت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة مقياس التنافسية للبلدان العشرين. ويستند ذلك إلى متوسط التكلفة المرجح لمصادر الوقود الأحفوري الجديدة الذي تم حسابه من بيانات التكلفة الرأسمالية على مستوى المشروع، وأسعار مؤشر الغاز الأحفوري ووقود الفحم على مستوى كل بلد مقارنة بمولدات الكهرباء. يطرح مقياس التنافسية المتوسط المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري لكل بلد من التكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة، ولذلك تمثل القيم السالبة التكاليف المستوية للكهرباء الأقل من تلك الخاصة بخيارات الوقود الأحفوري.

الكهرومائية في المرتبة الثانية من حيث الوفورات، إذ حققت 117 مليار دولارًا أمريكيًا، تلتها الطاقة الشمسية الكهروضوئية بنحو 78 مليار دولارًا أمريكيًا.

ومن ناحية أخرى، فبين عامَي 2022 و2023 انخفض المتوسط العالمي المرجح لإجمالي التكاليف شاملة التركيب لمشروعات طاقة الرياح البرية التي أطلقت حديثًا بنسبة 13%، حيث انخفض من 1322 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ليصل إلى 1154 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط. وفي الفترة ذاتها، انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من هذه المشروعات بنسبة 3% من 0.035 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.033 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة (الشكل S4).

وفي عام 2023، كانت الصين مرة أخرى أكبر سوق لإضافات القدرة الإنتاجية من طاقة الرياح البرية، إذ ارتفعت حصتها من المشروعات الجديدة المنفذة على مستوى العالم من 50% لتصل إلى 66% على أساس سنوي. وقد أدى هذا إلى انخفاض حصة الأسواق صاحبة أعلى تكاليف شاملة

الشكل S3 انخفاض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء وعامل القدرة الإنتاجية من مشروعات الطاقة المتجددة التي أطلقت حديثًا على مستوى المرافق، في عام 2023



ملاحظة: يشير التظليل بالألوان إلى النسبة المئوية لانخفاض التكلفة المستوية للكهرباء على أساس سنوي (الارتفاع أو الانخفاض)، بدءًا من (0%) الأعلى إلى (25%) الأدنى.

التركيب مقارنة بعام 2021. وإذا ما استثنينا الصين، فإن منحنى المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح البرية في الفترة ذاتها كان سيرتفع بنسبة 15%.

وبالنسبة لمشروعات الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي أطلقت حديثًا على مستوى المرافق، فقد انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 12% في الفترة بين عامَي 2022 و2023 ليصل إلى 0.044 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة. وقد جاء هذا الانخفاض مدفوعًا بانخفاض بنسبة 17% في المتوسط العالمي المرجح لإجمالي التكاليف شاملة التركيب لهذه التكنولوجيا، إذ انخفض من 908 دولارات أمريكية/كيلو واط في 2022 ليصل إلى 758 دولارًا أمريكيًا/ كيلو واط للمشروعات التي أطلقت في 2023.

وبشكل عام، شهدت الطاقة الشمسية الكهروضوئية في عام 2023 انخفاضًا في إجمالي التكاليف شاملة التركيب في الأسواق الرئيسية. وكان السبب في ذلك تخفيف القيود عن سلاسل الإمداد والانخفاض في تضخم أسعار السلع الأساسية. وقد سجلت البلدان الأوروبية أكبر انخفاض في التكاليف

شاملة التركيب؛ فقد شهدت اليونان انخفاضًا بنسبة 48% وهولندا بنسبة 41% وألمانيا بنسبة 29%. وقد مضت أكبر الأسواق وفق التوجه ذاته، ومنها الصين التي شهدت انخفاضًا بنسبة 10% والولايات المتحدة الأمريكية (4%) والبرازيل (5%)، فيما كانت الهند استثناءً من هذا التوجه إذ سجلت زيادة بنسبة 7% في عام 2023.

أضافت سوق طاقة الرياح البحرية قدرة إنتاجية جديدة بنحو 11 جيجا واط في عام 2023، وهو ثاني أعلى عام لها منذ 2021. وقد بلغ نصيب الصين من إجمالي إضافات القدرة الإنتاجية لطاقة الرياح البحرية 65%. وفي الواقع، فقد شهد المتوسط العالمي المرجح لتكلفة الكهرباء في المشروعات الجديدة - مدفوعًا بحصة الصين في إضافات القدرة الإنتاجية الجديدة وإطلاق مشروعات في أسواق جديدة - انخفاضًا بنسبة 7% في عام 2023 مقارنة بعام 2022، إذ انخفض من 0.080 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.075 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة.

في الفترة بين عامَي 2022 و2023، انخفض المتوسط العالمي المرجح لإجمالي التكاليف شاملة التركيب لطاقة الرياح البحرية من 3478 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ليصل إلى 2800 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط، بينما انخفض المتوسط المرجح لعامل القدرة الإنتاجية للمشروعات التي أطلقت حديثًا انخفاضًا طفيفًا من 42% في 2022 ليصل إلى 41% في 2023.

وفي عام 2023، اكتمل مشروع واحد فقط للطاقة الشمسية المركزة. وقد أدى هذا إلى وصول المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء إلى 0.117 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة لهذه التكنولوجيا، ما يمثل انخفاضًا بنسبة 4% مقارنة بعام 2022.

وبالنسبة لمشروعات الطاقة الحيوية التي أطلقت حديثًا، ارتفع المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 14% بين عامَي 2022 و2023، مرتفعًا من 0.063 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.072 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة.

أما بالنسبة لمشروعات الطاقة الحرارية الأرضية، ففي الفترة بين عامي 2022 و2023، ارتفع المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء للمشروعات السبعة التي أُطلقت بنسبة 23% ليصل إلى 0.071 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة.

وعلى النقيض من ذلك، فقد شهدت مشروعات الطاقة الكهرومائية التي أطلقت حديثًا انخفاضًا في المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 7% بين عامَي 2022 و2023، حيث انخفض من 0.061 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.057 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة. وفي الفترة ذاتها، انخفض المتوسط العالمي المرجح لإجمالي التكاليف شاملة التركيب لمشروعات الطاقة الكهرومائية الجديدة من 3053 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ليصل إلى 2806 دولارًا أمريكيًا / كيلو واط، أي انخفاض بنسبة 8%.

تعكس الانخفاضات الكبيرة في تكاليف مصادر الطاقة المتجددة بين عامَي 2010 و2023 معدل انكماش ملحوظ.

منذ عام 2010، شهدت الطاقة الشمسية الكهروضوئية أسرع انخفاضات في معدلات التكلفة؛ فقد انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء لمشروعات الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي أطلقت حديثًا على مستوى المرافق من 0.460 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.044 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة بين عامَي 2010 و2023، أي ما يوازي انخفاضًا بنسبة 90% (الشكل S5). وقد جاء هذا الانخفاض في التكلفة المستوية للكهرباء مدفوعًا في المقام الأول بالانخفاضات في أسعار الوحدات. وقد انخفضت هذه النسبة بنحو 93% بين ديسمبر 2009 وديسمبر 2023. وكذلك في الفترة بين عامَي 2018 و2023، حدثت انخفاضات مهمة في التكاليف غير المباشرة (59%) والوحدات والمحولات (46%) ومعدات موازنة النظام (39%) وتكاليف التركيب (36%). انخفض كذلك متوسط أعمال التشغيل والصيانة الشاملة للطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق بنسبة 5% بين عامَي 2022 و2023.

وبالنسبة لمشروعات طاقة الرياح البرية، انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 70% بين عامَي 2010 و2023، حيث انخفض من 0.111 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.033 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة. وقد جاءت انخفاضات تكاليف طاقة الرياح البرية مدفوعة بعاملَين رئيسيين: انخفاض تكاليف توربينات الرياح، وزيادات عامل القدرة الإنتاجية الناتجة عن تحسينات تكنولوجيا التوربينات.

انخفضت في الفترة بين 2010 و2023 أسعار توربينات الرياح خارج الصين بنسبة تتراوح بين 41% و64%، وذلك حسب مؤشر أسعار توربينات الرياح. أما في داخل الصين، فقد بلغ هذا الانخفاض 73% في الفترة نفسها. وفي الوقت ذاته، ارتفع المتوسط العالمي المرجح لعامل القدرة الإنتاجية لمشروعات طاقة الرياح البرية التي أطلقت حديثًا من 27% في عام 2010 ليصل إلى 36% في 2023. وقد سلط ذلك الضوء على كيف أن التحسينات التكنولوجية وخفض التكاليف جعلت تركيبات التوربينات تنافسية من حيث التكلفة، حتى في المناطق ذات موارد الرياح الأقل ملاءمة.

وبالنسبة لمشروعات طاقة الرياح البحرية التي أطلقت حديثًا، فقد انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء في الفترة بين عامَي 2010 و2023 من 0.203 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة ليصل إلى 0.075 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة، أي انخفاضًا بنسبة 63%. وفي عام 2010، شهدت الصين وأوروبا مشروعات طاقة رياح بحرية أطلقت حديثًا بمتوسط مرجح للتكلفة المستوية للكهرباء يبلغ 0.196 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة و0.205 دولارات أمريكية /كيلو واط ساعة لكل منهما. وقد شهد المتوسط المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء في هاتين المنطقتين تباينًا ملحوظًا لا سيما في عام 2021 الذي بلغ فيه المتوسط المرجح للتكلفة للمشروعات التي أطلقت حديثًا في أوروبا 0.057 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة، أي أقل من رقم 0.085 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة الذي سجلته الصين في ذلك العام. أما في عام 2023، فقد ارتفع المتوسط المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء في أوروبا إلى 0.066 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة تزامنًا مع إكمال مجموعة من المشروعات الأعلى تكلفة، بعض منها في أسواق جديدة. ومع ذلك، فقد ظلت التكلفة المستوية للكهرباء في أوروبا أقل بنحو 6% منها في المشروعات الصينية التي اكتملت في عام 2023، حيث كان المتوسط المرجح 0.070 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة. ويكمن الفارق في موارد الرياح لكل منطقة، حيث تحظى أوروبا بسرعات رياح أعلى مقارنة بالصين.

ما تزال القدرة الإنتاجية المتعلقة بالطاقة الشمسية المركزة تعاني ركودًا، فلم تجرِ إضافة سوى 300 ميجاواط في عام 2023، وبقيت القدرة الإنتاجية التراكمية العالمية عند 7 جيجا واط بنهاية عام 2023. وقد انخفضت في الفترة بين عامَي 2010 و2023 التكلفة المرجحة عالميًا لمشروعات الطاقة الشمسية المركزة التي أطلقت حديثًا من 0.39 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة لتصل إلى 0.117 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة، فيما يُمثل انخفاضًا بنسبة 70%. وكذلك، فقد انخفضت التكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من مشروعات الطاقة الشمسية المركزة انخفاضًا سريعًا بين عامَي 2010 و2020 رغم التقلبات السنوية. ورغم ذلك، فمنذ عام 2020، شهد إطلاق المشروعات التي تأخرت أو أدرجت فيها تصميمات جديدة ركودًا في المتوسط العالمي المرجح لتكلفة الكهرباء لهذه التكنولوجيا.

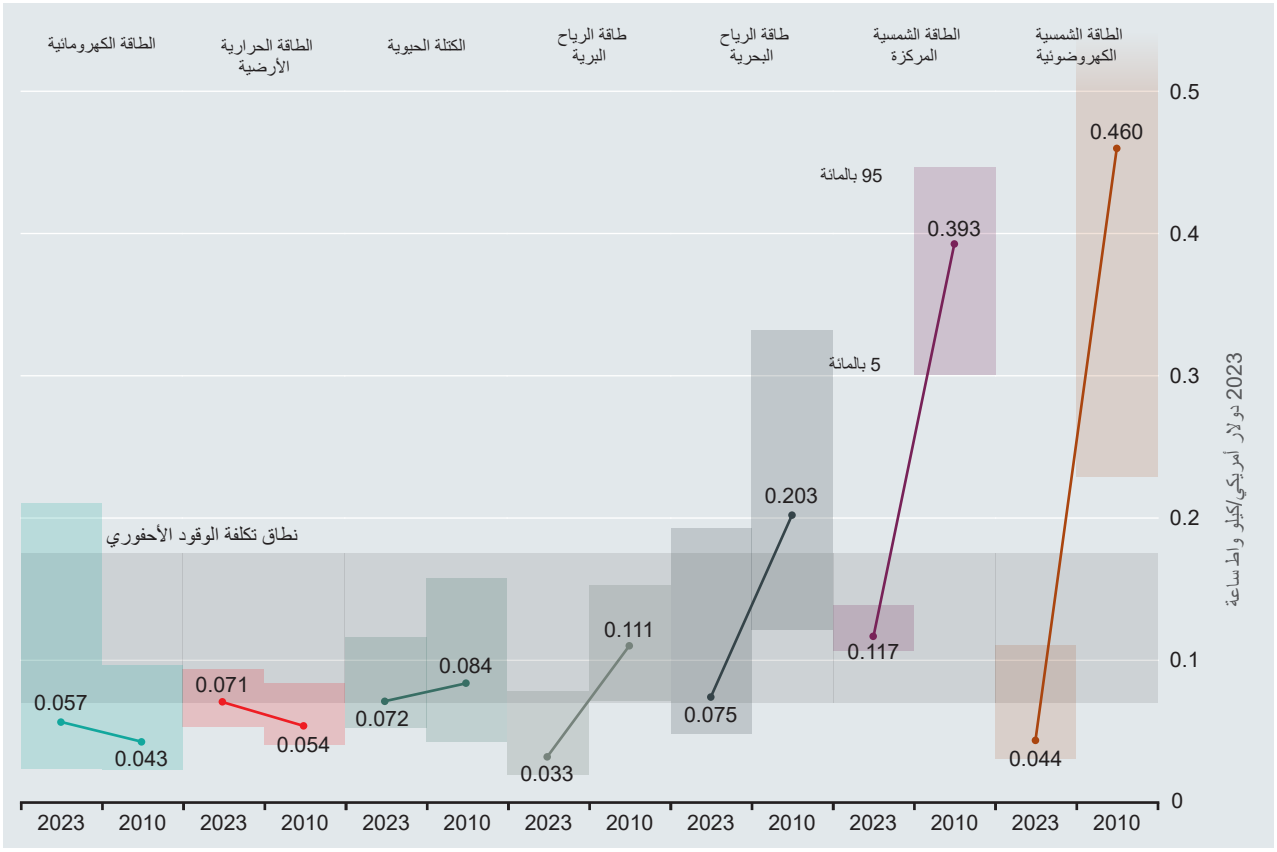
في عام 2023، كان المتوسط العالمي المرجح لإنتاج الكهرباء من الطاقة الحيوية 0.072 دولارًا أمريكيًا/ كيلوواط ساعة، أعلى بنسبة 14% من قيمته في عام 2022 وأقل بنسبة 14% من قيمة 0.084 دولارًا أمريكيًا/ كيلوواط ساعة المسجلة في عام 2010. ويرجع هذا الارتفاع إلى التحول في الحصة السوقية من عام 2022، إذ أصبحت الأسواق ذات التكلفة الأعلى صاحبة حصة أكبر. وعلاوة على ذلك، ففي الفترة بين عامَي 2010 و2023؛ شهد المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء من مشروعات الطاقة الحيوية بعض التقلبات دون ظهور توجه ملحوظ نحو الصعود أو الانخفاض.

وبالنسبة لمشروعات الطاقة الحرارية الأرضية، فقد ارتفع المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 23% في عام 2023 مقارنة بعام 2022، إذ وصل إلى 0.071 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة. وتظل هذه الزيادة في النطاق المتراوح بين 0.077 دولارًا أمريكيًا / كيلو واط ساعة و0.074 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة الملاحظ بين عامَي 2017 و2021.

وشهدت مشروعات الطاقة الكهرومائية التي أطلقت حديثًا ارتفاعًا في المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 33% بين عامَي 2010 و2023، حيث ارتفع من 0.043 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة لتصل إلى 0.057 دولارًا أمريكيًا /كيلو واط ساعة، ولكن يظل هذا أقل من متوسط خيار توليد الكهرباء من الوقود الأحفوري في 2023. وقد انخفض المتوسط العالمي المرجح للتكاليف في الفترة بين عامي 2022 و2023 بنسبة 7%. وقد جاء هذا الارتفاع الحاد في التكاليف في 2022 مدفوعًا بإطلاق عدد من المشروعات التي واجهت ارتفاعات كبيرة جدًا في التكاليف، وبخاصة في كندا والولايات المتحدة الأمريكية.

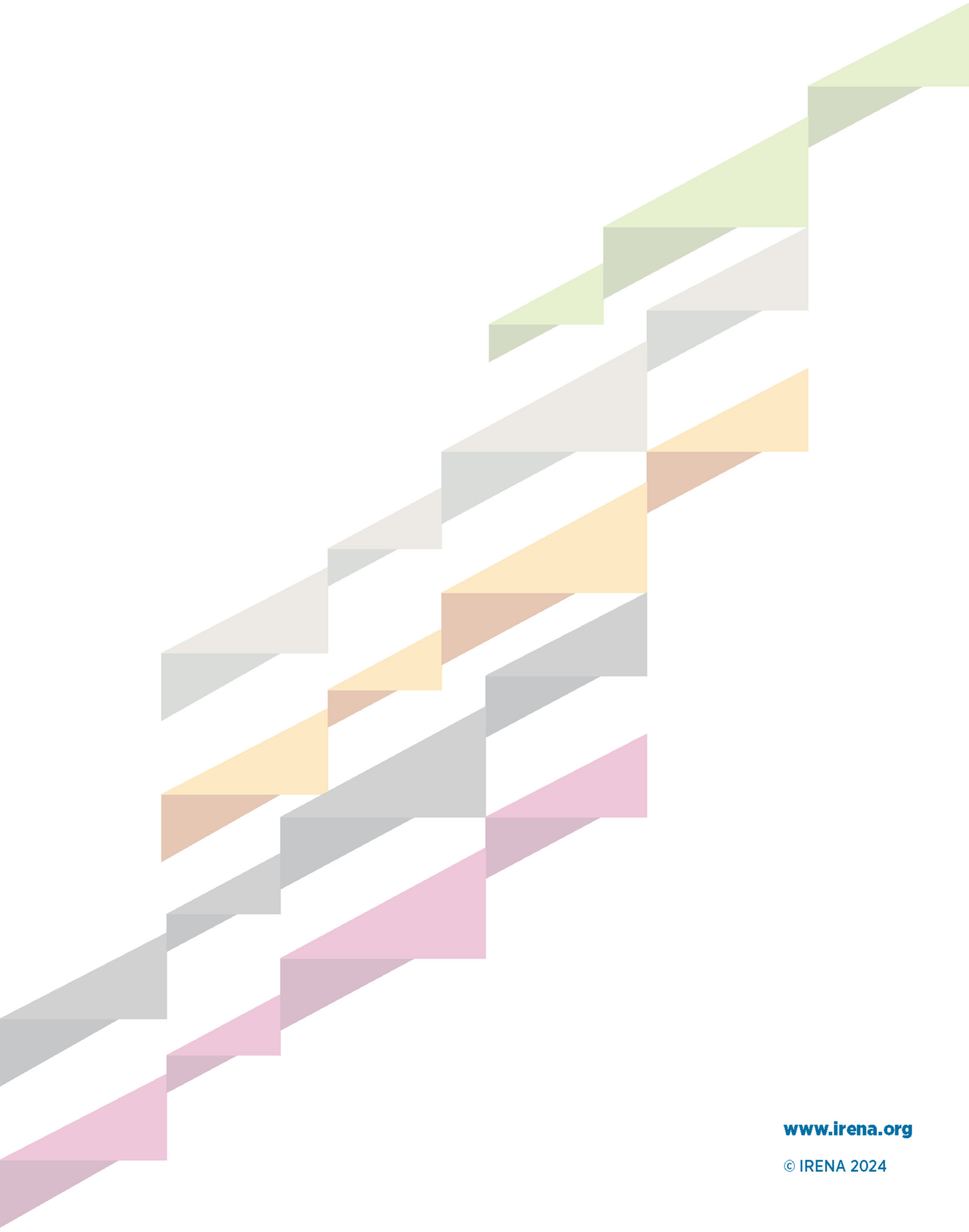
وشهد تخزين الكهرباء انخفاضًا في تكاليف مشروعات تخزين البطاريات بنسبة 89% بين عامَي 2010 و2023، إذ انخفضت من 2511 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة لتصل إلى 273 دولارًا أمريكيًا/كيلو واط ساعة. وقد جاء انخفاض التكلفة نتيجة لتوسيع نطاق التصنيع وتحسين كفاءة استهلاك المواد وتحسين عمليات التصنيع. وعلاوة على ذلك، زادت إضافات القدرة الإنتاجية من إجمالي قدرة إنتاجية 0.1 جيجا واط ساعة في 2010 إلى إجمالي قدرة إنتاجية 95.9 جيجا واط ساعة في عام 2023، وحازت الصين نحو نصف إجمالي الإضافات العالمية (46.5 جيجا واط ساعة).

الشكل S4 التكلفة المستوية للكهرباء عالميًا من مشروعات الطاقة المتجددة التي أطلقت حديثًا على مستوى المرافق، في عامي 2010 و2023



ملاحظة: هذه البيانات خاصة بعام إطلاق المشروعات. وتشير الخطوط السميكة إلى قيمة المتوسط العالمي المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء المستمدة من المحطات الفردية التي تُطلق كل عام. وتُحتسب التكلفة المستوية للكهرباء مع تكاليف التركيب الخاصة بكل مشروع وعوامل القدرة الإنتاجية، بينما يتناول الملحق 1 بالتفصيل الافتراضات الأخرى، بما فيها المتوسط المرجح لتكلفة رأس المال. ويشير الشريط الرمادي إلى تكلفة توليد الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري في 2023، بينما تمثل الأشرطة الخاصة بكل تكنولوجيا وكل عام النسبة المئوية البالغة 5 في المائة و95 بالمائة لمشروعات الطاقة المتجددة.

IRENA
International Renewable Energy Agency



www.irena.org

© IRENA 2024