IRENA
International Renewable Energy Agency

تكاليف توليد الطاقة المتجددة لعام 2021

ملخص تنفيذي

يستند هذا الملخص التنفيذي إلى:

تقرير "آيرينا" 2022، "تكاليف توليد الطاقة المتجددة لعام 2021"،

الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبوظبي

دة لعامةحتجملا ةقلطاقا ةحولية تكاليفت "Renewable Power Generation Costs in 2021"
:يلي دلا ي ريعيا ملا م لرقا 978-92-9260-452-3. وفي ص نالا بل ملعا ي رسي ،ةييزلجنإا ةغلالا بي لصلا ا ص نالاو ةيبلعرا ةمجلترا ين بـ ض رعات ودجو ل حا .ي يزلجنإا

قيلوئلا المسؤخإ

يُقدآ بّحب" لهيلء يتوحي يلتا ادقملاو رشونملا ام هذ يه تـن ثبوم ق ةحتلا ةولقعملا تـاطلاحتيااا يهيمج دة ّتجملا ةطاقلا ةليودلا ةالكلوا تـخذتا دقو ."لمصحة يلتا ادقملا .رشونملا لا هنهيلء يتوحيومع محتتلا .لـذ ّل ي يدوزم نم رى ظئا ةثالثلا فـارطألا وأ ،تـانلييااا يدوزم نم ي أ ودة أ ّتجملا ةطاقلا ةليودلا ةالكلوا .عيف دةرالوا دلوملاو رشونملا ام هذلدستخا تـبعات لـحيا ةليووَسم ي أ نولملحتيا للمك :ةيعنمأم ضـ تـناك ّحيرصـ تـانامضـ ي أ مهيدقة ةليووَسم- توىحملا

تـاملوعملا ّنإفي لـ رشونملا اهتمثّـل ي يطونيلاو .دةدتجملا ةطاقلا ةليودلا ةالكلوا ءاضعظر أذ تـاهجو ةروروضالبذعيم تـتجانم وأ عيرشام ودة أدحم تـاكرش ركـ ّنة م لو ةلائمم ةبيعط ءا لمم هالن سوء اهيلاً لضفت دة ّتجملا ةطاقلا ةليودلا ةالكلوا فـرط نم لهإ ةيركزت وأ حيبأت ي أذ ةمدتخسملا تـيامسلتا ي طونتلا .مرك في ادة هذرالوا ةقيرطلاو ،رشونملاعلى وأ ةقطنم ي لئ ي نونالقلا ركزملا نأشب دة ّتجملا ةطاقلا ةليودلا ةالكلوا بـناج نم ري أر ي ن أء بـ راعرإ ّي أبلد وأ ميلإةإ وأمدينة ةقطنم وأ على ردي .لهمخوتو دها أودم مترسيب ق ّلتعت وا، أهتطللسا ةاضعخ ،ادقملا ض رع

ملخص تنفيذي

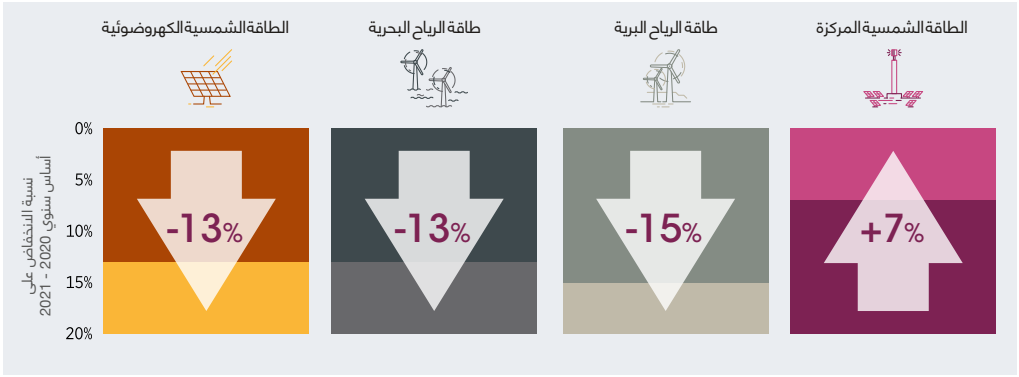
استمرت القدرة التنافسية لمصادر الطاقة المتجددة بالتحسن خلال عام 2021. وتؤكد البيانات المأخوذة من قاعدة بيانات "آيرينا" بخصوص تكلفة الطاقة المتجددة وتحليل الوكالة للتوجهات الحديثة في قطاع الطاقة الدور المحوري لهذه المصادر نحو تحقيق مستقبل خال من الانبعاثات الكربونية بتكلفة معقولة وطريقة مُجدية تقنياً.

وسجل عام 2021 انخفاضاً في المتوسط العالمي المرجح لتكلفة الكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تم التكليف بها حديثاً ومشاريع طاقة الرياح البحرية والبرية. وكان هذا على الرغم من ارتفاع أسعار السلع ومعدات الطاقة المتجددة في العام ذاته، نتيجة التأخر الملحوظ في ظهور زيادات التكلفة في إجمالي تكاليف الطاقة المركبة. وفي الوقت نفسه، أدت التحسنات الملحوظة في الأداء خلال عام 2021 إلى زيادة عوامل القدرة الإنتاجية، لا سيما بالنسبة لطاقة الرياح البرية.

وشهد المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق التي تم التكليف بها حديثاً، انخفاضاً بنسبة 13% على أساس سنوي في عام 2021، من 0.055 إلى 0.048 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة. ورغم تشغيل محطة واحدة فقط للطاقة الشمسية المركزة (CSP) في عام 2021، وقبلها محطتين في عام 2020، لكن لا يزال انتشارها محدود النطاق والتغيرات السنوية في التكلفة متقلبة. ومع الإشارة إلى هذا التحذير، كان متوسط تكلفة توليد الكهرباء من محطة الطاقة الشمسية المركزة الجديدة أعلى بحوالي 7% من المتوسط في عام 2020.

بالإضافة، سجل المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الرياح البرية المضافة حديثاً في عام 2021 انخفاضاً بنسبة 15% على أساس سنوي، من 0.039 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة خلال عام 2020 إلى 0.033 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة. واستحوذت الصين مجدداً على الإضافات الجديدة لقدرة الرياح البرية في العام ذاته، حيث أظهرت توربينات الرياح هبوطاً في الأسعار، على عكس الاتجاه السائد في أماكن أخرى. كذلك حققت تكلفة الكهرباء لمشاريع الرياح البرية الجديدة، باستثناء الصين، انخفاضاً أكثر تواضعاً بواقع 12% على أساس سنوي، لتصل إلى 0.037 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة. كما شهد سوق طاقة الرياح البحرية توسعاً غير مسبوقاً في عام 2021 (مع إضافة 21 جيجاواط)، حيث زادت الصين من قدراتها الإنتاجية المضافة الجديدة، وانخفض المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء بنسبة 13% على أساس سنوي، من 0.086 إلى 0.075 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة.

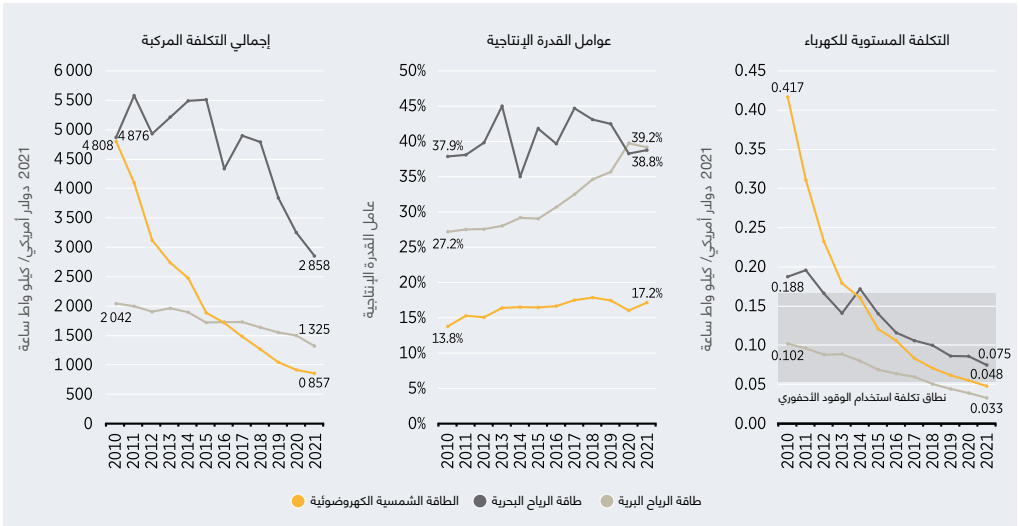
الشكل S.1 تغير المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء حسب التكنولوجيا، 2020-2021



على الرغم أن انخفاض التكلفة لم يكن عالمياً؛ فقد ارتفع المتوسط المرجح لإجمالي التكاليف المركبة للطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق على أساس سنوي في ثلاثة من أكبر 25 سوقاً، بينما ارتفع هذا المتوسط بالنسبة لطاقة الرياح البرية في سبعة من أكبر 25 سوقاً في عام 2021.

وشهدت الفترة الممتدة من 2010 إلى 2021 تحولاً جذرياً في ميزان القدرة التنافسية بين مصادر الطاقة المتجددة وخيارات الوقود الأحفوري والطاقة النووية. وانخفض المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تم التكليف بها حديثاً على مستوى المرافق بنسبة 88% بين عامي 2010 و2021، في حين انخفض المتوسط لطاقة الرياح البرية والطاقة الشمسية المركزة بنسبة 68%، وطاقة الرياح البحرية بنسبة 60% (الشكل S.2).

الشكل S.2 المتوسط المرجح العالمي لإجمالي التكاليف المركبة، وعوامل القدرة الإنتاجية والتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تم التكليف بها حديثاً على مستوى المرافق، وطاقة الرياح البرية والبحرية، 2010 - 2021



في عام 2021، كان المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية والطاقة الكهرومائية الجديدة على مستوى المرافق أقل بنسبة 11% من أرخص خيارات توليد الكهرباء الجديدة باستخدام الوقود الأحفوري، بينما كان هذا المتوسط لطاقة الرياح البرية أقل بنسبة 39%. وتظل الطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الحيوية على الصعيد العالمي، في المتوسط أغلى من أرخص خيارات التوليد باستخدام بالوقود الأحفوري، ولكنها توفر إمدادات آمنة ويمكن أن تكون تنافسية للغاية في المناطق غير الأعضاء بمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية.

ومع ارتفاع أسعار السلع الأساسية - وخاصة أسعار المواد مثل الصلب والنحاس والبولي سليكون والألومنيوم - ارتفعت أسعار وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوربينات الرياح البرية منذ حوالي الربع الأخير من عام 2020. وتبعاً لأسعار المواد والضغوط الأخرى على سلاسل التوريد خلال بقية هذا العام، قد يزيد متوسط أسعار وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمقدار الخمس عما كان عليه في عام 2020. ومع ذلك، انخفض المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح البرية الجديدة. ويوجد العديد من الأسباب المحتملة لذلك، بما فيها:

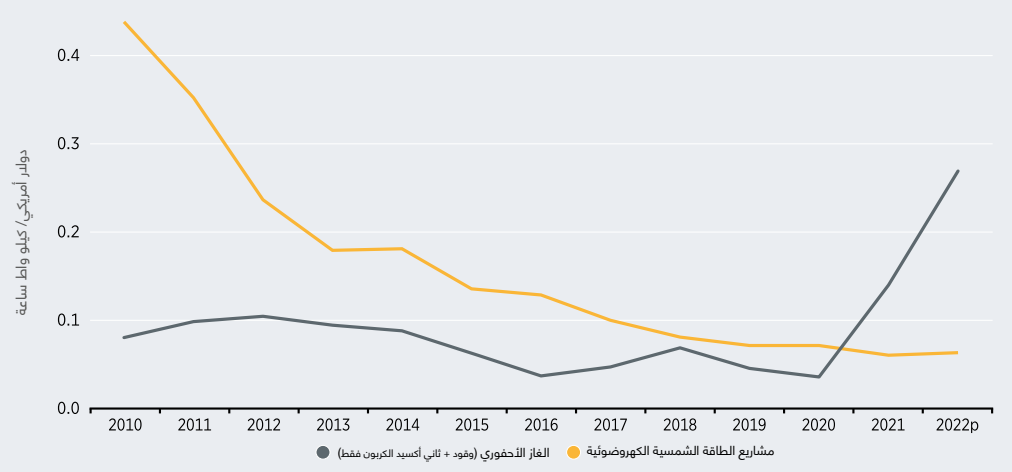
- كانت الزيادات الإجمالية في تكلفة المعدات متواضعة في أواخر عام 2020 وحتى مطلع عام 2021، وذلك عندما قدمت العديد من المشاريع التي تم التكليف بها في عام 2021 طلباتها من هذه المعدات.
- تتمتع المشاريع الكبرى بقوة شرائية أكبر وفترات زمنية أطول، وتهيمن بشكل متزايد على إضافات القدرة الإنتاجية خارج أوروبا.
- ستكون مخصصات الطوارئ في العديد من المشاريع قد استوعبت بعض أو كل التكاليف المتزايدة.
- استمرار تنفيذ التحسينات التكنولوجية (مثل وحدات طاقة كهروضوئية أكثر كفاءة وتوربينات طاقة الرياح أكبر حجماً) مع إجراء تحسينات في كفاءة وحجم التصنيع.
- لا تزال الصين هي السوق الأكبر في مجال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح الجديدة، وفيها أسعار السلع الأساسية وتكاليف النقل أقل حيث حفز مطورو مشاريع طاقة الرياح تخفيضات أسعار التوربينات من الشركات المصنعة في عام 2021.

مع ذلك، تظهر البيانات أنه ليست كل الزيادات التي سُجلت حتى الآن في تكلفة المواد قد انعكست على أسعار المعدات، كما تم تقليص هوامش الشركة المصنعة. وإذا ظلت أسعار المواد مرتفعة في عام 2022، فهذا يشير إلى أن ضغوط الأسعار في عام 2022 -عند اقترانها مع التأخر بين زيادة تكاليف المواد وتكاليف المشاريع - ستكون أكثر وضوحاً مما كانت عليه في عام 2021، ومن المرجح أن ترتفع التكلفة شاملة التركيب في المزيد من الأسواق هذا العام.

من المرجح أن يكون التأثير على التكلفة المستوية للكهرباء للطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح البرية بسيطاً – حيث تتراوح بين 2-4% للطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق و4-9% لطاقات الرياح البرية. وقد تؤدي العودة إلى هوامش الربح الأكثر استدامة التي شهدها عام 2017 إلى زيادة هذه النسبة لدى طاقة الرياح البرية بمعدل 8% إلى 12%، إلا أن إمكانية تمرير كل هذه الزيادات في التكلفة خلال عام 2022 وحده غير واضحة. والأكثر أهمية من ذلك، مع احتمال استمرار ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري التي شهدها عام 2022، فإن الفوائد الاقتصادية للطاقة المتجددة الجديدة تفوق الزيادة في التكلفة بعدة مرات.

ومن المؤكد أن مدى فوائد مصادر الطاقة المتجددة في عام 2022 سيكون غير مسبوق. وعلى افتراض أن متوسط أسعار الغاز الأحفوري بالجملة في عام 2022 يبلغ 0.109 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة في أوروبا، فإن متوسط تكلفة الوقود الذي يتم توليده فقط (باستثناء أسعار غاز ثاني أكسيد الكربون) لمولدات الغاز الأحفوري الحالية سيكون في حدود 0.23 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة، أو أكثر بنسبة 540% عن عام 2020. ويتسبب سعر الانبعاثات بحسب نظام الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات برفع تكاليف الوقود إلى 0.27 دولار أمريكي/ كيلوواط ساعة في عام 2022، أو أعلى بنسبة 645% عما كان عليه في عام 2020 (الشكل S.3). وتعد هذه الزيادة في تكلفة الوقود أكبر بمقدار 4 إلى 6 مرات من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح البرية الجديدة المضافة في أوروبا في عام 2021، كما أنها تتجاوز متوسط تعرفة التجزئة (باستثناء الضرائب والرسوم) التي تدفعها المنازل في 13 من أصل 27 دولة أوروبية في عام 2020 من أجل تغطية تكاليف النقل، والتوزيع، وشراء الطاقة الكهربائية بالجملة، والتسويق، والنفقات العامة.

الشكل S.3 المتوسط المرجح للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية على مستوى المرافق مقارنة بتكلفة الوقود وثاني أكسيد الكربون وذلك فقط بالنسبة للغاز الأحفوري في أوروبا، 2010 – 2022



ملاحظة: تعتبر قيم 2022 المذكورة أعلاه نتائجاً محتملةً لعام 2022 وليست تنبؤات.

تحقق البلدان التي تستثمر في مصادر الطاقة المتجددة أرباحاً هائلةً خلال عام 2022. أما على الصعيد العالمي، فمن المتوقع أن تساهم القدرة الإنتاجية المضافة من الطاقة المتجددة الجديدة في عام 2022 في تحقيق وفورات بقيمة 55 مليار دولار أمريكي خلال هذا العام فقط، وذلك في ضوء أزمة أسعار الوقود الأحفوري. وعند النظر إلى فوائد المخزون التراكمي من مصادر الطاقة المتجددة تتكون لدينا صورة أكثر وضوحاً. وفي أوروبا، وتحديداً بين شهر يناير ومايو 2022، من المحتمل أن توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح وحدهما ساهما في توفير 50 مليار دولار أمريكي من تكاليف وارادات الوقود الأحفوري – معظمها غاز أحفوري. وقد طغت الأزمة غير المسبوقة للوقود الأحفوري في عام 2022 على حقيقة أن وضع المستهلكين والاقتصادات والبيئة سيكون أسوأ بكثير دون مصادر الطاقة المتجددة.

تعد التكاليف الهامشية لتوليد الكهرباء من الوقود الأحفوري مرتفعة للغاية في عام 2022، لذا يمكن لمشاريع الطاقة المتجددة المضافة في عام 2021 أن تحقق عائدات تفوق دفعات رأس المال الواجبة سنوياً بعدة أضعاف. ويمكن لمحطة للرياح البرية – تم تشغيلها اعتباراً من 1 يناير 2022 أو قبله وقادرة على توفير التكاليف الهامشية لتوليد الكهرباء من الوقود الأحفوري في عام 2022 – أن تحقق عائد سنوي ما يعادل بين مرتين (في المكسيك) إلى ثلاثة عشر مرة (في البرازيل) ضعف رأس المال الواجب سنوياً للعام. كما أن عدم إيلاء تلك البلدان الأولوية لتسريع وتيرة نشر قدرات توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة، وإلقاء العبء على الأفراد والشركات إلى حد كبير، قد يكلف مجتمعاتها هذا العام والعام المقبل مليارات الدولارات من تكاليف الطاقة المباشرة. وهذا قبل حساب الضرر الناجم عن أزمة أسعار الوقود الأحفوري على الاقتصاد الكلي.

الجدول S.1 المتوسط المرجح العالمي للتكلفة شاملة التركيب، وعامل القدرة الإنتاجية، والتكلفة المستوية لتوجهات الكهرباء حسب نوع التكنولوجيا، 2010 و2021

	التكلفة شاملة التركيب (2021 دولار أمريكي/كيلوواط)			التكلفة شاملة التركيب (%)			التكلفة شاملة التركيب (2021 دولار أمريكي/كيلوواط ساعة)		
	2010	2021	نسبة التغيير	2010	2021	نسبة التغيير	2010	2021	نسبة التغيير
الطاقة الحيوية	2 714	2 353	-13%	72	68	-6%	0.078	0.067	-14%
الطاقة الحرارية الأرضية	2 714	3 991	47%	87	77	-11%	0.050	0.068	34%
الطاقة الكهرومائية	1 315	2 135	62%	44	45	2%	0.039	0.048	24%
الطاقة الشمسية الكهروضوئية	4 808	857	-82%	14	17	25%	0.417	0.048	-88%
الطاقة الشمسية المركزة	9 422	9 091	-4%	30	80	167%	0.358	0.114	-68%
طاقة الرياح البرية	2 042	1 325	-35%	27	39	44%	0.102	0.033	-68%
طاقة الرياح البحرية	4 876	2 858	-41%	38	39	3%	0.188	0.075	-60%

IRENA
International Renewable Energy Agency

www.irena.org
© IRENA 2022