NJ
Nile Journals

Nile Journal for Commercial, Legal and Information Systems Science

Volume 3, Number 5, August 2023

المعلومات مجلة النيل للعلوم التجارية والقانونية و نظم

الاتجاهات العالمية للطاقة المتجددة من خلال تنافسية التكلفة

(بالتطبيق على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح)

د.رانيا محفوظ السيد عامر

مقدمة

تميّز تاريخ الاستهلاك العالمي للطاقة، لفترة طويلة، بهيمنة الوقود الواحد – فكان أولًا الخشب ومن ثمّ الفحم وبعد ذلك النفط. ولطالما ترافق ذلك مع تغيير القوى الاقتصادية والسياسية والتكنولوجية لمزيج الطاقة، وغالبًا بطرق لا يمكن التنبؤ بها حيث أنها دفعت عملية الانتقال من وقود مهيمن إلى آخر. أما اليوم، فيتمتّع مزيج الوقود في العالم بتنوّع أكبر بكثير من ذي قبل.

وإذا ما نظرنا إلى السابق، نجد أن الفحم قد حيّد جانبًا طاقة تقليدية "متجددة" (الخشب) في تغذيته الثورة الاقتصادية في القرن التاسع عشر. ولم تنتهِ هيمنته إلى أن دخل النفط إلى الصورة؟ كاد اختراع المصباح الكهربائي، المستخدم في الأصل لأغراض طبية ("زيت الأفعى") وللإضاءة، أن يجعل من النفط مصدرًا مهملًا إلى أن جاءت تكنولوجيا تخريبية كبرى، وهي تستمر بتعريف المجتمعات الحديثة حتى يومنا هذا – ألا وهي محرك الاحتراق الداخلي. وفي الوقت ذاته، اكتسب النفط أهمية استراتيجية، فقد أمر ونستون تشرشل، في العام ١٩١٣، ومن بعده لورد الأميرالية، الأسطول البريطاني باستخدام النفط عوضًا عن الفحم.

وعلى مدى عقود من الزمن، استمتع العالم بإمدادات وفيرة ورخيصة من النفط. إلا أنّ أزمة النفط الأولى في العام ١٩٧٣ جاءت بمثابة جرس إنذار، محذرة الدول المستهلكة حول المخاطر التي يتعرض لها الأمن بالاعتماد على مصدر وحيد للطاقة خارج عن سيطرتها. كما أنّ الزيادة اللاحقة في أسعار النفط فأعطت قوة دافعة جديدة للبحث عن موارد بديلة. وأصبح الغاز الطبيعي، الذي كان في البداية منتجًا ثانويًا غير مرغوب به، رائجًا بشكل متزايد، وبخاصة في قطاع الطاقة.

كما برزت أشكال أخرى من أشكال الطاقة مثل (الطاقة النووية) وتوسع نطاقه على الرغم من أنه كان محصورًا في عدد صغير من الدول. ومع اشتداد المخاوف حول تغير المناخ، بدأت أشكال

مختلفة من الطاقة المتجددة – ومعظمها من الرياح والطاقة الشمسية – باحتلال مراكز الصدارة في سياسات الطاقة في الكثير من البلدان (ومعظمها من البلدان الثرية)، ذلك إضافة إلى أحد مصادر الطاقة المتجددة الأقدم في العالم وهي الطاقة الكهرومائية.

أما اليوم، فيبدو مزيج الطاقة الأولية عالميًا أكثر تنوعًا وألوانًا من أي وقت مضى، إلا أنّ هيمنة الوقود الأحفوري ما زالت أكثر سمة بارزة فيها. حيث لا يزال الوقود الأحفوري يمثل أكثر من ٨٠ في المائة من إنتاج الطاقة العالمي، لكن مصادر الطاقة الأنظف تزداد قوة. حوالي 29 بالمائة من الكهرباء تأتي حاليًا من مصادر متجددة وبالأخص من طاقتي (الشمس والرياح). وعلى ذلك يتم تقسيم البحث على النحو التالي: –

خطة البحث:

المطلب الأول: التنافسية العالمية لتكلفة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح

المطلب الثاني: مقارنه تكلفة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بالوقود الأحفوري

المطلب الثالث: انخفاض الطلب على النفط وتأثيره على مستقبل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح

وقبل البدء في عرض الدراسة ستقوم الباحثة بتسليط الضوء على أهمية البحث وهدفه ومنهج البحث والصعوبات التي واجهتنا في البحث وذلك على النحو التالي:

أولاً: أهمية البحث:

- تكمن أهمية هذه الدراسة من خلال تسليط الضوء على أهمية الدور الهام الذي تلعبه الطاقة فى جميع اقتصادات العالم وبالأخص الطاقة المتجددة، فالأمر يتعلق بكافة الدول، والطابع الطاغي لنموذج الاستهلاك العالمي من الطاقة الذي تهيمن عليه مصادر الطاقة المستنفذة الأكثر تلويثاً.
- كما تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كون موضوع الطاقة المتجددة أصبح ذو تأثير عالمياً وينقاش في مختلف أنحاء العالم وتسعى كل الدول خاصة المتقدمة منها إلى تطبيق إستراتيجايتها وأجراء دراسات معمقة حول الطاقة المتجددة والاستفادة من مواردها الطبيعية.

ثانياً: أهداف البحث:

من خلال هذه الدراسة تسعى إلى تحقيق الأهداف التالية: –

- إبراز دور الطاقة الشمسية وطاقة الرياح فى محاولة الوصول الى آليات تسمح بإستغلالها بأقل تكلفة من الوقود الأحفورى.
- مدى تنافسية مصادر الطاقة المتجددة عالمياً وكيفية تفعيل دورها فى تلبية الاحتياجات المتزايدة من الطلب على الطاقة في المستقبل وذلك في ضوء المحددات الاقتصادية والبيئة الملائمة.

ثالثاً: منهج الدراسة:

تقوم هذه الدراسة على المنهج التحليلى لمعرفة كيفية الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة وبالأخص الطاقة الشمسية وطاقة الرياح كما تم الاعتماد على الشق التطبيقي لمعرفة كيفية الاستفادة الاقتصاديات العالمية ومدى استجابته لتحقيق النتيجة الاقتصادية بهدف تحقيق أكبر استفادة ممكنة وتكلفة أقل للأجيال القادمة.

رابعا: فروض الدراسة:

تقوم الدراسة على فرضية أساسية وهى ان الطاقة المتجددة هي الحل الأمثل لتحقيق أهداف التنمية وتنبثق من هذه الفرضية مجموعة فرضيات نذكرها كالآتي:

١- تساهم مصادر الطاقة المتجددة في خفض التلوث البيئي وخلق فرص تنموية مستديمة وتحقيق عوائد اقتصادية واجتماعية.

٢- تعتبر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح من المصادر الجيدة التي من شأنها تحقيق الأهداف التنموية وبكلفة تنافسية أقل مقارنة بالمصادر الأخرى من الطاقة التقليدية.

خامساً: صعوبات الدراسة:

أهم الصعوبات التى واجهت الدراسة:

- النقص الكبير في المراجع التى تحتوي على البيانات والإحصائيات وبالأخص فى تكاليف مشاريع الطاقة المتجددة.
- عدم نضج تجارب إنتاج الطاقة المتجددة فى العالم وما يترتب عليه من صعوبة مقارنه المردودية الاقتصادية بالطاقة التقليدية.

المطلب الأول

التنافسية العالمية لتكلفة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح

لقد شهد عام ٢٠٢٠ وباءاً عالمياً مما ترتب عليه خسائر اقتصادية وبشرية بسبب انتشار فيروسCOVID-19، ومع ذلك، كانت إحدى النقاط المضيئة هي مرونة سلاسل التوريد [١]* لتوليد الطاقة المتجددة والنمو القياسي فى انتشار الطاقة المتجددة، فلم يكن هناك اضطراب في استمرار انخفاض تكلفة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح أيضًا.

أولا: طاقة الرياح عالمياً

بادئ ذى بدء، شهد عام٢٠٢٠، انخفضاً فى متوسط التكلفة العالمية للكهرباء (LCOE) [٢]* من إضافات السعة الجديدة لطاقة الرياح البرية بنسبة ١٣٪، مقارنة بعام ٢٠١٩، وخلال تلك الفترة، انخفضت تكلفة إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح البحرية بنسبة ٩٪ على أساس سنوي في المتوسط المرجح العالمي[٣]* للرياح البرية من ٠,٠٤٥ دولارًا أمريكيًا للكيلووات في الساعة إلى ٠,٠٣٩ دولارًا أمريكيًا / كيلووات ساعة[٤] وكان هذا الانخفاض مدفوعاً بنسبة ٩٪ بانخفاض في المتوسط المرجح لتكلفة التركيب الإجمالية.

كما حدث انخفض فى متوسط تكلفة إنتاج الكهرباء من مشاريع طاقة الرياح البحرية، التي تم تكليفها حديثًا من ٠,١٦٢ دولار أمريكي / كيلووات ساعة في عام ٢٠١٠ إلى ٠,٠٨٤ دولار أمريكي / كيلووات ساعة في عام ٢٠٢٠، بانخفاض قدره ٤٨٪ في ١٠

---

(١) **مرونة سلسل التوريد** هى: قدرة سلسلة التوريد على الاستمرارأو التكيف أو التحول فى مواجهة التغيير.

(٢) **(LCOE) – هى** التكلفة المستوية للكهرباء، تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة، والمعروفة أيضًا باسم التكلفة المستوية للطاقة (LEC)، هي القيمة الحالية الصافية لتكلفة وحدة الكهرباء على مدى عمر أحد الأصول المولدة.

(٣) **المتوسط المرجح للتكلفة** هو: أحدى الطرق المستخدمة فى الجرد لحساب تكلفة المخزون بالاعتماد على متوسط سعر الوحدة الواحدة.

(4) -Francesco La Camera, RENEWABLE POWER GENERATION RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2020 P10.

سنوات، مع القدرة المركبة التراكمية للرياح البحرية[1] عند٣٤ جيجاوات فقط في نهاية عام ٢٠٢٠، أي حوالي واحد على عشرين من طاقة الرياح البرية و أدى ذلك إلى تغيير النظرة المستقبلية للرياح البحرية.

إضافة إلى ذلك، كانت طاقة الرياح متوفرة بدرجة مرتفعًا في أوروبا والولايات المتحدة في الربع الأول من عام ٢٠٢٠، و تتميز مصادر الطاقة المتجددة بمرونتها أيضًا لخفض تكلفة الطلب على الكهرباء ويرجع ذلك إلى انخفاض تكاليف التشغيل أو اللوائح التي تمنحها الأولوية، وقفزت حصة مصادر الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء العالمية إلى ما يقرب من ٢٨٪ في الربع الأول من عام ٢٠٢٠ مقارنه بالربع الأول من عام ٢٠١٩ والتى كانت تمثل بنسبة ٢٦٪.[2]

ثانياً: الطاقة الشمسية عالمياً

بالنسبة **للطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق** فقد انخفضت بنسبة ٧٪ على أساس سنوى، من ٠,٠٦١ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط ساعة إلى ٠,٠٥٧ دولارًا أمريكيًا/ كيلووات ساعة، أقل من الانخفاض الذي حدث في عام ٢٠١٩ بنسبة ١٣٪ وبالتالى عززت الطاقة الشمسية الكهروضوئية هيمنتها في سوق الطاقة المتجددة.

وتأسيساً على ذلك، كان انخفاض تكلفة إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق أقل مما كان علية فى العام السابق، حيث تم تعويض الانخفاض في إجمالي التكاليف المركبة بشكل جزئي من خلال انخفاض في متوسط القدرة المرجحة عالميا للمشاريع الجديدة في ذلك العام ٢٠٢٠ حيث تم توجيهها الى المناطق ذات الموارد الشمسية الأكثر فقرًا من تلك التي شهدت انتشارًا في عام ٢٠١٩.

كما انخفض متوسط تكلفة إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق بنسبة ٨٥٪ بين عامي٢٠١٠ و٢٠٢٠، وذلك نتيجة زيادة السعة العالمية

---

(1) Green, R. and N. Vasilakos (2011), "**The economics of offshore wind**", Energy Policy, Vol. 39, No. 2, pp. 496-502, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.011.

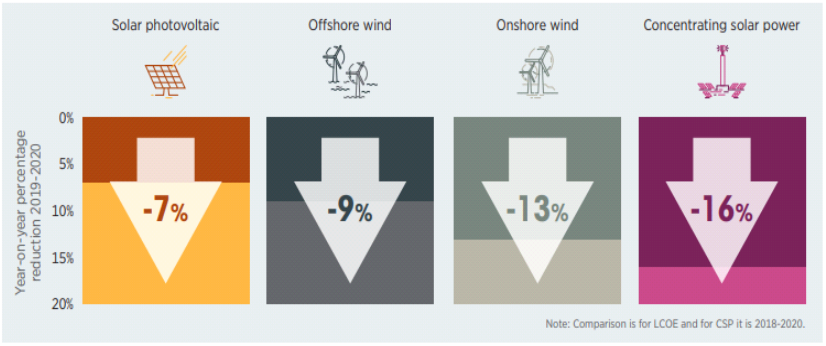
(2) Francesco La Camera, Op.cit, P20.

التراكمية لجميع الألواح الشمسية الكهروضوئية من ٤٢ جيجاوات في عام ٢٠١٠ إلى ٧١٤ جيجاوات في عام ٢٠٢٠ وهذا يمثل انخفاضًا حادًا مقارنه بتكلفة الوقود أحفورى[١].

أما **بالنسبة إلى أنظمة الطاقة الكهروضوئية السكنية** فقد شهدت انخفاضاً حاد فى تكلفة إنتاج الكهرباء في أستراليا وألمانيا وإيطاليا واليابان والولايات المتحدة ما بين ٠,٣٠٤ دولارًا أمريكيًا/ كيلووات في الساعة و ٠,٤٦٠ دولارًا أمريكيًا / كيلووات في الساعة في عام ٢٠١٠ إلى ما بين ٠,٠٥٥ دولارًا أمريكيًا / كيلووات في الساعة و ٠,٢٣٦ دولارًا أمريكيًا / كيلووات في الساعة في عام ٢٠٢٠– أى بنسبة بين ٤٩٪ و ٨٢٪.[٢]

الشكل رقم (١)

التكلفة المتوسطة المرجحة عالميا لتأثير الطاقة من تقنيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح على نطاق المرافق، ٢٠١٩–٢٠٢٠.



Source : IRENA Renewable Cost Database, 2020 ،P25.

كما هو واضح من الشكل السابق أدى التراجع بنسبة ٩٪ على أساس سنوي في المتوسط العالمي لتكلفة الطاقة المتجددة للرياح البحرية في عام٢٠٢٠ إلى انخفاض متوسط التكلفة العالمية للكهرباء للمشاريع الجديدة من ٠,٠٩٣ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط ساعة إلى ٠,٠٨٤ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط ساعة. كان هذا انخفاضًا أكثر حدة مما حدث في عام ٢٠١٩، كما

(1) IRENA (2016), **The power to change**: Solar and wind cost reduction potential to 2025, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, www.irena.org/ publications/2016/Jun/The-Power-to-Change-Solar-and-Wind-Cost-ReductionPotential-to-2025 .

(2) Francesco La Camera, Op.cit, P22.

زادت الصين التي لديها أقل متوسط فى تكاليف التركيب حصتها من إضافات السعة الجديدة، من حوالي الثلث في عام ٢٠١٩ إلى حوالي النصف في عام ٢٠٢٠.

وانخفضت مشاريع الطاقة الشمسية المركزة في عام ٢٠٢٠ بنسبة ٤٩٪ على أساس سنوي، ومع ذلك ، فإن هذه النتيجة غير نمطية إلى حد ما، حيث تم دفع المتوسط المرجح العالمي لـLCOE في عام ٢٠١٩ من خلال مشروعين إسرائيليين تأخروا كثيرًا . في حين تميز عام ٢٠٢٠ بتكليف مصنعين فقط، كلاهما في الصين، و بالنظر إلى الأرقام بين عامي ٢٠١٨ و٢٠٢٠، يتضح وجود معدل تراجع سنوي مركب بنسبة ١٦٪ سنويًا، وهو أكثر تمثيلا للمعدلات الأخيرة لخفض التكلفة.[١]

ولقد شهد الربع الأول من عام ٢٠٢٠ (مقارنة بالربع الأول من عام ٢٠١٩) ارتفاعاً فى الاستخدام العالمي للطاقة المتجددة بنسبة ١,٥٪ مما كان عليه في الربع الأول من عام ٢٠١٩، وجاءت الزيادة مدفوعة بارتفاع حوالي ٣٪ في توليد الكهرباء المتجددة بعد أكثر من ١٠٠جيجا ووات .

وجاءت الزيادة في الطلب على مصادر الطاقة المتجددة بشكل أساسي على حساب تكلفة الفحم والغاز، على الرغم من أن هذين المصدرين لا يزالان يمثلان ما يقرب من ٦٠٪ من العالمية، ولكن حظت مصادر الطاقة المتجددة بعد أزمة كوفيد ١٩ بتأثير كبير على الطلب العالمي على الطاقة و نتيجة لذلك قلت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة عالية.[٢]

وعليه فهناك بعض المناطق التى شهدت ارتفاعًا قياسيًا في حصص الطاقة المتجددة في الطلب على الكهرباء أثناء عمليات الإغلاق، بما في ذلك بلجيكا وإيطاليا وألمانيا والمجر والأجزاء الشرقية من الولايات المتحدة، فمنذ أن بدأت إجراءات التباعد الاجتماعي الصارمة في ألمانيا في ٢٢ مارس ٢٠٢٠، كانت حصة مصادر الطاقة المتجددة أعلى باستمرار وبالاخص

[1]-Bolinger, M. and S. Weaver (2014) Utility-scale solar 2013: An empirical analysis of project cost, performance and pricing trends in the United States, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, https://emp.lbl.gov/publications/utility-scale-solar2013-empirical.

[2]-Carbon Tracker**, powering down coal**: Navigating the economic and financial risks in the last years of coal power, Carbon Tracker, London, (2018**)**.

مصادر الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح مما كانت عليه في نفس الفترة من عام ٢٠١٩.

كما واصل حجم توليد الطاقة المتجددة نموه خلال عام ٢٠٢٠ رغم الظروف العالمية، ويلاحظ تنامي القدرة التنافسية للمصادر المتجددة بنحو مطرد، ومرونتها لناحية التركيب، وقدراتها على التوسع بسرعة وتوفير فرص العمل؛ وهذا يجعلها خياراً جذاباً جداً للبلدان والمجتمعات التي تبحث عن عوامل تحفز نموها الاقتصادي، ويمكن للطاقة المتجددة أن تشكل حلًا مثالياً يوفق بين تدابير التعافي قصيرة الأجل وأهداف استدامة المناخ والطاقة على المديين البعيد والمتوسط حيث تمثل تقنيات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح البرية خيارات سهلة وسريعة التطبيق، في حين توفر تقنيات طاقة الرياح البحرية خيارات استثمارية داعمة وفعالة من حيث التكلفة على المدى المتوسط وبالتالى تجعلها ذات قدرة تنافسية عاليه بين مصادر الطاقة المتجددة الأخرى .[١]

[١]- الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، **تكاليف توليد الطاقة من المصادر المتجددة خلال عام ٢٠١٩**، إيرينا، أبو ظبي ٢٠٢٠، ص ١.

المطلب الثانى

مقارنه تكلفة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بالوقود الأحفوري

يؤدي النمو السريع في الطلب على الكهرباء خلال الفترة الانتقالية إلى زيادة الطلب على قدرات توليد الطاقة الجديدة، وبالتالي يؤدي إلى تقليص حصص الكهرباء القائمة على الوقود الأحفوري في مزيج التوليد، حيث أصبحت تكاليف إنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة الخيار الاقتصادي للقدرة الجديدة لانتاج الكهرباء. وشهد العقد من٢٠١٠ إلى ٢٠٢٠ تحسنًا كبيرًا في القدرة التنافسية لتقنيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وبانضمام الطاقة الشمسية المركزة والرياح البحرية والطاقة الشمسية الكهروضوئية إلى نطاق المرافق بجانب طاقة الرياح البرية في نطاق تكاليف السعة الجديدة التي يطلقها الوقود الأحفوري، عند حسابها دون الاستفادة من الدعم المالي.

وفي الواقع، لا يقتصر الاتجاه على مصادر الطاقة المتجددة التي تتنافس مع الوقود الأحفوري فحسب، بل إنها تقوضها بشكل كبير عندما تكون هناك حاجة إلى قدرة توليد كهرباء جديدة. حيث تظهر البيانات أنه بدون دعم مالي، تعمل مصادر الطاقة المتجددة على تقليص أنواع الوقود الأحفوري بهامش كبير في عدد متزايد من الحالات.

أولا: تكاليف إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح والطاقة الشمسية

شهد عام ٢٠٢٠، مشاريع طاقة الرياح البرية والتي تم تكليفها في ذلك العام بتكاليف كهرباء أقل من أرخص خيار يعمل بالوقود الأحفوري بحوالي ١٠٠ جيجاوات، وهو رقم يزيد بحوالي ٥٨ جيجاوات عن عام ٢٠١٩. كما انخفضت تكاليف إنتاج الكهرباء من مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية أيضًا في عام٢٠٢٠، والتى كانت ٤٥,٥ جيجاواط على نطاق المرافق والتي تعد تكلفتها أقل من أرخص خيار يعمل بالوقود الأحفورى[١].

بالإضافة إلى هذه الوفورات المباشرة في التكاليف أيضًا، يجب أيضًا مراعاة الفوائد الاقتصادية الكبيرة لانخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وملوثات الهواء المحلية عند النظر في الفوائد الإجمالية.

فمنذ عام ٢٠١٠، تمت إضافة حوالي ٦٤٤ جيجاوات على مستوى العالم من قدرة توليد الطاقة المتجددة التي كانت تكاليفها أقل من أرخص خيار يعمل بالوقود الأحفوري في ذلك

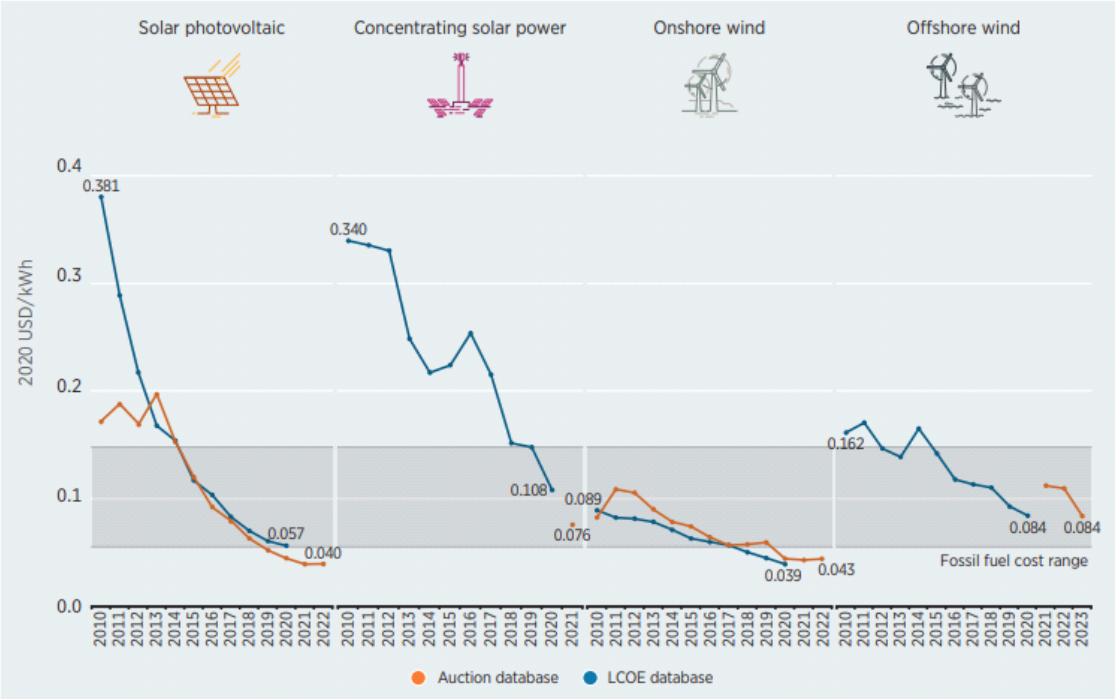
[١] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، التكاليف المعيارية لموارد الجيل الجديد في التوقعات السنوية للطاقة ٢٠٢١.

العام. وتغيرت بسرعة مع انخفاض تكاليف الرياح البرية والطاقة الشمسية الكهروضوئية على وجه الخصوص[1].

و تؤكد نتائج المشتريات التنافسية للطاقة المتجددة من خلال اتفاقيات شراء الطاقة (PPA) " وتعنى " (Power purchase agreement) على تنافسية مصادر الطاقة المتجددة.

الشكل رقم(٢)

التكلفة المتوسطة المرجحة عالميا لأسعار واتفاقيات شراء الطاقة للطاقة الشمسية الكهروضوئية، والرياح البرية، والرياح البحرية، والطاقة الشمسية المركزة، ٢٠١٠-٢٠٢٣.



Source :IRENA Renewable Cost Database,2020 ,P17.

ويلاحظ من الشكل السابق هيمنه مشاريع الطاقة الكهروضوئية والتى سيتم تشغليها فى عام ٢٠٢٢ ويمكن أن يصل متوسط سعرها ٠,٠٤دولار أمريكيا /كليوواط ساعة وهذا يمثل انخفاضًا بنسبة ٣٠٪ مقارنةً بالمتوسط المرجح العالمي لتكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في عام ٢٠٢٠، وهو أقل بنحو ٢٧٪ أى بما يعادل (٠,٠١٥ دولارًا

(1) ITRPV (2021), International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020 Results, International Technology Roadmap for Photovoltaic,https://itrpv.vdma.org/web/itrpv/download.

أمريكيًا/ كيلوواط ساعة) من أرخص منافس للوقود الأحفوري، حيث تشير بيانات المزاد واتفاقيات شراء الطاقة إلى أن تكاليف الرياح البحرية ستقع في حدود ٠,٠٥ دولار أمريكي/ كيلووات ساعة إلى ٠,١٠ دولار أمريكي / كيلوواط ساعة في أوروبا هذه الفترة حتى عام ٢٠٢٣ مع وجود أسواق جديدة أو مشاريع متأخرة من المحتمل أن يكون لها تكاليف أعلى، و يشير الحد الأدنى من هذا النطاق للرياح البحرية إلى أن المشاريع ستكون قادرة على المنافسة مقابل أسعار الكهرباء بالجملة في عدد من الأسواق الأوروبية، و في الوقت نفسه يعتبر سوق الطاقة الشمسية المركزة ضعيفاً، ولكن البيانات المتاحة تشير إلى استمرار الإنخفاض في عام ٢٠٢١، حيث يشهد هذا العام ظهور مشروع الطاقة الشمسية المركزة الكبير في دبى [١].

وتوفر منظمة الطاقة الدولية لتكاليف الطاقة المتجددة واتفاقيات شراء الطاقة قاعدة البيانات اللازمة، وتسلط الضوء أيضا على حقيقة مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق ومشاريع الرياح البرية في المتوسط، حيث تكون قادرة على إنتاج الطاقة الكهربائية بأقل من أرخص تكلفة مشروع جديد يعمل بالوقود الأحفوري، كما أنها تقلل بشكل متزايد من انبعاثات ثانى أكسيد الكربون.

[١] مجمع الطاقة الشمسية يعزز الاستدامة والاقتصاد الأخضر، دبى متوافر على موقع https://www.albayan.ae/uae/news/2021-08-18-1.4229237 تاريخ الاطلاع ٢٠٢١/٩/٢٠.

جدول رقم (٣)

إجمالي التكلفة المركبة وعامل القدرة الإنتاجية والتكلفة المستوية للكهرباء بحسب التقنيات بين عامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠.

	إجمالي التكلفة المركبة (2020 دولار/كيلوواط ساعة)			عامل القدرة الإنتاجية (%)			التكلفة المستوية للكهرباء (2020 دولار/كيلوواط)		
	2010	2020	نسبة التغيير	2010	2020	نسبة التغيير	2010	2020	نسبة التغيير
الطاقة الحيوية	2 619	2 543	%-3	72	70	%-2	0,076	0,076	0%
الطاقة الحرارية الأرضية	2 620	4 468	71%	87	83	%-5	0,049	0,071	45%
الطاقة الكهرومائية	1 269	1 870	47%	44	46	4%	0,038	0,044	18%
الطاقة الشمسية الكهروضوئية	4 731	883	-81%	14	16	17%	0,381	0,057	-85%
الطاقة الشمسية المركزة	9 095	4 581	-50%	30	42	40%	0,340	0,108	-68%
طاقة الرياح البرية	1 971	1 355	-31%	27	36	31%	0,089	0,039	-56%
طاقة الرياح البحرية	4 706	3 185	-32%	38	40	6%	0,162	0,084	-48%

Source :IRENA 2021 ،Renewable Power Generation Costs in 2020.

يلاحظ من الشكل السابق انخفاض تكلفة توليد الكهرباء من طاقتي الشمس والرياح إلى مستويات متدنية جداً، ففى عام ٢٠١٠ وصل إجمالى التكلفة المركبة من الطاقة الشمسية الكهروضوئية حوالى ٤٧٣١ دولار/كيلوواط وصلا إلى أدنى مستوى فى عام ٢٠٢٠ بحوالى ٨٨٣ دولار/كيلوواط بنسبة تغير ٨١٪، وبالتزامن مع التكلفة المستوية للطاقة الكهروضوئية نلاحظ انها أيضا وصلت الى أدنى مستويتها فى التكلفة فى عام ٢٠٢٠ بنسبة تغير ٨٥٪ وهى أعلى نسبة للتغير بين أنظمة الطاقة المتجددة، كما حظت طاقة الرياح (البحرية – البرية) بانخفاض فى تكلفتها على مدى العقد الأخير.

حيث وصل إجمالي القدرة الإنتاجية التراكمية للطاقة المتجددة التي أضيفت على مستوى العالم منذ عام ٢٠١٠ إلى ٦٤٤ جيجاواط، وقد تم إنتاجها بتكلفة أقل من أرخص خيارات التوليد باستخدام الوقود الأحفوري في كل عام، ومن شأن الطاقة المتجددة المضافة في الدول الناشئة منذ عام ٢٠١٠ والبالغ ٥٣٤ جيجاواط أن يتم توليدها بتكلفة أقل من أرخص أشكال الطاقة

المولدة من الوقود الأحفوري – وأن تساهم في خفض تكاليف إنتاج الكهرباء بحوالي ٣٢ مليار دولار أمريكي هذا العام حيث باتت المشاريع الجديدة لطاقتي الشمس والرياح تزاحم حتى أرخص محطات الطاقة الحالية التي تعمل بالفحم وأقلها استدامة .

ويمكن تلخيص الاختلافات بين الطاقة المتجددة وغير المتجددة في مجموعة من النقاط كالآتى [١]:

- تؤثر زيادة أو نقص إمدادات الوقود الأحفوري تأثيراً مباشراً على التضخم، بينما تعتمد تكلفة إنتاج الطاقة من المصادر المتجددة على مقدار الأموال التي تم إنفاقها في البنية التحتية وبالتالي، فإن تكلفة إنتاج الطاقة من مصادر متجددة أكثر استقراراً من غيرها وتكلفتها أقل من الوقود الأحفوري.
- مصادر الطاقة المتجددة مستدامة، فالشمس سوف تشرق لمليارات السنوات، كما أن المياه والرياح سوف تستمر في توفير مصدر ثابت للطاقة.
- يمكن أن تتأثر إمدادات الوقود الأحفوري بالحروب والنزاعات التجارية والإضرابات.
- انخفاض انبعاث الغازات الدفيئة فمصادر الطاقة المتجددة صديقة للبيئة لأنها لا تلوثها بثاني أكسيد الكربون وغيره من الغازات السامة التي ينتجها الوقود الأحفوري، كما أنها لا تقلل من الموارد الطبيعية التي يمكن الحفاظ عليها لفترة طويلة.
- خلق فرص عمل واسعة النطاق بالاعتماد على تكنولوجيا الطاقة المتجددة في جميع أنحاء العالم، وتم بالفعل توفير ملايين فرص العمل في الولايات المتحدة ودول أوروبية أخرى تحولت إلى مصادر الطاقة المتجددة[٢].
- إمكانية إنشاء المحطات الصغيرة فهناك العديد من أنواع الطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها في المناطق النائية أو المناطق الحضرية مثل الألواح الشمسية ومزارع الرياح، كما يمكن إنشاء محطات صغيرة منخفضة التكلفة مما يقلل من النفايات المترتبة على نقل الطاقة من المحطات الرئيسية.

- **ثانيا: إنتاج الكهرباء بتكلفة منخفضة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح**

---

[١]– إيجابيات وسلبيات الطاقة المتجددة، متاح على موقعhttps://alqabas.com، تاريخ الاطلاع ٢٠٢١/٩/٢٢.

[٢]– المرجع السابق .

أولا: الطاقة الشمسية

١- تكلفة الكهرباء الناتجة عن الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

تشير معظم البيانات إلى أن الطاقة الشمسية الكهروضوئية سوف تصبح التقنية الرئيسية لإمداد الطاقة[١] حيث انخفضت تكلفة الكهرباء المنتجة من محطات الطاقة الكهروضوئية على نطاق المرافق بنسبة ٨٥٪ بين عامي ٢٠١٠ و٢٠٢٠، كما ذكرنا أنفاً [٢]. وعلى مستوى كل دولة على حدة، انخفض المتوسط المرجح لكفاءة الطاقة المنخفضة للطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق المرافق بنسبة تتراوح بين ٧٧٪ و٨٨٪ بين عامي ٢٠١٠ و٢٠٢٠. كما انخفضت تكلفة الوحدات الكهروضوئية الشمسية البلورية المباعة في أوروبا بحوالي ٩٣٪ بين ديسمبر ٢٠٠٩ وديسمبر ٢٠٢٠.

وبلغ متوسط التكلفة الإجمالية المرجحة للقدرة العالمية المركبة للمشاريع التي تم التكليف بها في عام ٢٠٢٠ حوالى ٨٨٣ دولارًا أمريكيًا للكيلووات، أي أقل بنسبة ٨١٪ عن عام ٢٠١٠ وأقل بنسبة ١٣٪ عن عام ٢٠١٩، كما نمت قدرة الطاقة الشمسية الكهروضوئية ١٦ ضعفًا بين عامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠، مع تركيب أكثر من ٧٠٧ جيجاوات في نهاية عام ٢٠٢٠[٣].

ووصل إجمالي التكاليف المركبة في السوق الكهروضوئية PV* [٤] على الأسطح السكنية أعلى مما هي عليه في سوق المرافق. ولكنها انخفضت بنسبة تتراوح بين ٤٦ ٪ و ٨٥٪ بين عامي٢٠١٠ و٢٠٢٠، اعتمادًا على السوق. كما انخفض إجمالي تكاليف النظام

---

(1)- Creutzig F, Agoston P, Goldschmidt JC, Luderer G, Nemet G, Pietzcker RC. The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change, Nat Energy 2017, http://refhub.elsevier.com/S0360-5442(21)00716-7/sref72.

(2) -Francesco La Camera, Op.cit, P 67.

(3) -Ran, F., D. Feldman and R. Margolis (2018), US solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2018, National Renewable Energy Laboratory, Golden, www.nrel.gov/docs/fy19osti/72399.pdf.-

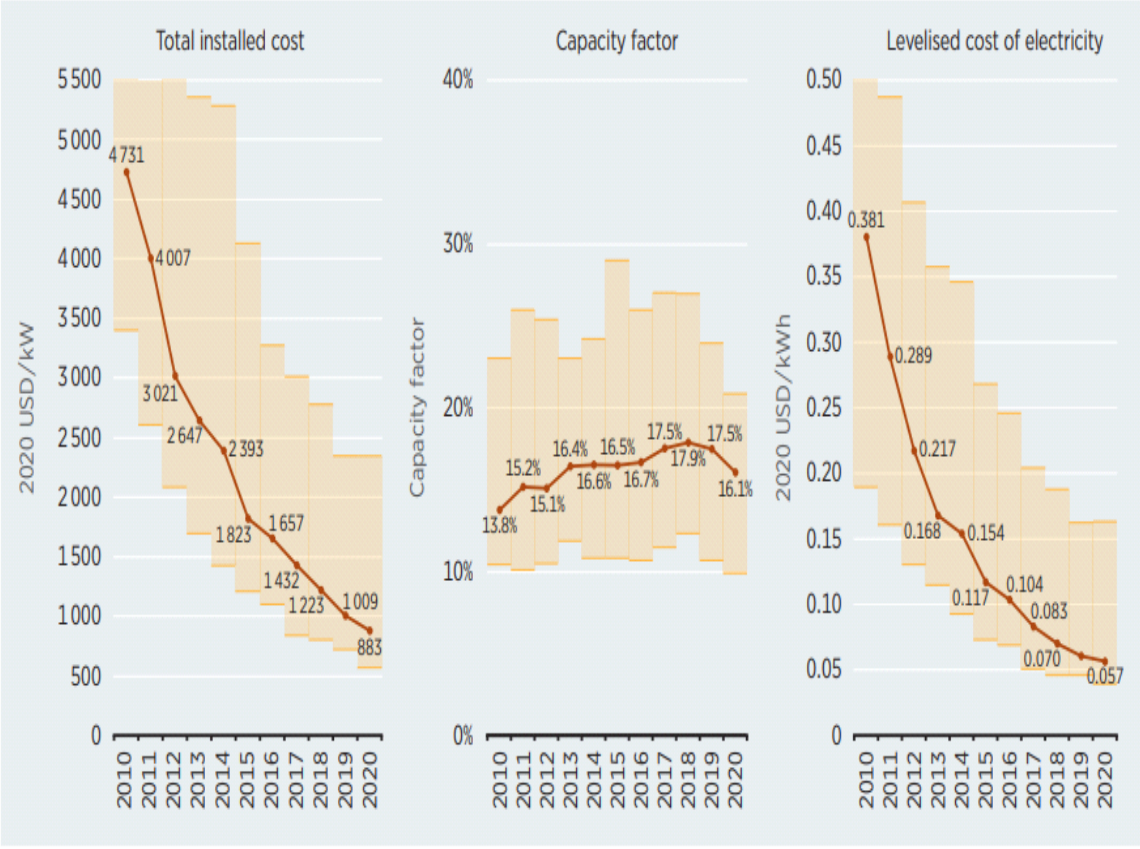
(4) – Photovoltaics PV-تعرف بالخلايا الكهروضوئية أو الخلايا الشمسية

المثبت بين ٦٩٪ و٨٨٪ بين عامي ٢٠١٠ و٢٠٢٠[1]، وبلغ المتوسط، في عام٢٠٢٠، حوالي ٦٥٪ من إجمالي التكاليف المركبة.

إضافة لما سبق زاد عامل متوسط السعة العالمي المرجح لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الجديدة على نطاق المرافق من ١٣,٨٪ في عام ٢٠١٠ إلى ١٦,١٪ في عام ٢٠٢٠، ويأتى هذا التغيير كنتيجة للتأثيرات المشتركة لنسب تحميل العاكس، والتحول في متوسط إشعاع السوق والتوسع في استخدام المتعقبات، مدفوعًا إلى حد كبير بالاعتماد المتزايد على تقنيات" الألواح الشمسية " ثنائية الوجه، التي تطلق العنان لاستخدامها.

الشكل رقم (٤)

إجمالي المتوسط المرجح العالمي لتكاليف التركيب وعوامل السعة والتكلفة المنخفضة للكهرباء للخلايا الكهروضوئية، ٢٠١٠-٢٠٢٠.



Source :IRENA Renewable Cost Database ،2020 ، P67.

[1] **pvXchange**(2021), PV module price index (PV marketplace), v 2021, Price Index, www.pvxchange.com/en/price-index.

يتضح من الشكل السابق، تطور التكلفة الإجمالية المثبتة للطاقة الكهروضوئية حيث سجلت تطور هائلا ففى عام ٢٠١٠ كانت التكلفة الاجمالية ٤٧٣١ دولار أمريكى/ كيلو وات وانخفضت النسبة الاجمالية فى عام ٢٠١٥ حتى وصلت إلى حوالي ١٨٢٣ دولار أمريكى /كيلووات وفى عام ٢٠٢٠ بلغت أدنى تكلفة إجمالية بنسبة ٨٨٣ دولار أمريكى، وبالتزمن مع مؤشرات القدره يتضح لنا ارتفاع قدرة الطاقة الكهروضوئية من عام ٢٠١٠ بنسبة ١٣,٨٪ وصولاً إلى عام ٢٠٢٠ بنسبة ١٦,١٪، وبالنسبة للتكلفة المستوية لإنتاج الكهرباء من الطاقة الكهروضوئية فقد بلغت قيمة أعلى فى عام ٢٠١٠ بنسبة ٠,٣٨١ دولار أمريكى وتطورت التكلفة المستوية منذ عام ٢٠١٠ إلى عام ٢٠٢٠ وسجلت فى تلك الفترة أدنى نسبة بحوالى ٠,٠٥٧ دولار أمريكى للتكلفة المستوية، ويتضح من ذلك أنحفاض تكلفة الطاقة الكهروضوئية فى العقد الأخير مما يجعلها التقنية الرئيسية الاكثر اعتماد عليها الان فى إمداد بالطاقة.

- **توجه السوق نحو الطاقة الكهروضوئية**

إتجهت الأسواق فى الآونة الأخيرة إلى الطاقة الكهروضوئية ففى نهاية عام ٢٠٢٠، تم تركيب أكثر من ٧٠٧ جيجاوات من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في جميع أنحاء العالم، ويمثل هذا نموًا أكثر من ١٦ ضعفًا للتكنولوجيا منذ عام ٢٠١٠،حيث تم تشغيل حوالي ١٢٧ جيجاوات من الأنظمة المثبتة حديثًا خلال عام ٢٠٢٠ وحده، وكانت هذه الإضافات فى السعة الجديدة هي الأعلى بين جميع تقنيات الطاقة المتجددة في ذلك العام[١].

فمنذ عام ٢٠١٣، كانت آسيا رائدة في مجال التركيبات الكهروضوئية الشمسية الجديدة، ولقد ساهمت بنسبة ٦٠٪ من جميع التركيبات الجديدة في عام٢٠٢٠، ويرجع الفضل فى تلك التطورات لدولة الصين بنسبة ثلثي التركيبات الكهروضوئية الجديدة في آسيا[٢]، وفي الوقت نفسه، زادت السعة المركبة الجديدة في فيتنام بأكثر من الضعف بين عامي ٢٠١٩ و ٢٠٢٠، وقامت بتركيب أكثر من ١١,٦ جيجاوات من الطاقة الكهروضوئية المركبة ،

---

[١]- **أفضل اتجاهات عام ٢٠٢١ لصناعة الطاقة الكهروضوئية**، متاح على الرابط التالى https://amplussolar.com/ar/blogs/solar-pv-industry-trends-2021 ، تاريخ الإطلاع ٢٠٢١/١١/١٠.

[٢]- د.نجلاء صبحى خالدعلام، **الابتكار وتنافسية تكنولوجيات الطاقة المتجددة فى مصر فى إطار التنمية المستدامة من التجارب الدولية**، معهد التخطيط القومى، ٢٠١٩، ص ١٦٤.

لتصبح ثاني أكبر سوق في آسيا، وساهمت اليابان والهند وجمهورية كوريا معًا بـ ١٣,٧ جيجاوات أخرى من السعة الكهروضوئية الجديدة خلال عام ٢٠٢٠[١].

كما استمرت الأسواق خارج آسيا أيضًا في التوسع مقارنة بعام ٢٠١٩، حيث تضاعفت السعة الجديدة في الولايات المتحدة، وخلال عام ٢٠٢٠ قامت الولايات المتحدة وأستراليا وألمانيا بتركيب ٢٤ جيجاواط معًا، بينما تجاوزت كل من البرازيل وهولندا ٣ جيجاوات في المنشآت الجديدة، مما أدى إلى نمو إجمالي بنحو الثلث في عام ٢٠١٩[٢].

- **إجمالى تكاليف وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية**

تجدر الإشارة إلى أن الاتجاه التنازلي في تكلفة الوحدات الكهروضوئية الشمسية يعد قوة دافعة مهمة لتحسين القدرة التنافسية حيث استمر هذا الاتجاه حتى عام ٢٠٢٠ وانخفضت أسعار وحدات السيليكون البلورية بين عامى (٢٠٠٩/٢٠٢٠) بنسبة ٨٩٪ و٩٥٪ للوحدات المباعة في أوروبا حسب النوع وكان المتوسط المرجح لخفض التكلفة في حدود ٩٣٪ خلال تلك الفترة [٣].

كما انخفض متوسط سعر الوحدة السنوي بين ٥٪ و١٥٪ للوحدات البلورية فى عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠، وشهد هذا العام تسعير الوحدات النمطية السائدة مقابل ٠,٢٧ دولار أمريكي/ واط، وبالرغم من وجود تكاليف متعددة، تم الاعتمادًا على تقنية الوحدة النمطية، حيث تفاوتت التكاليف من ٠,١٩ دولارًا أمريكيًا / وات للوحدات منخفضة التكلفة إلى ما يصل إلى ٠,٣٨ دولارًا أمريكيًا و ٠,٤٠ دولارًا أمريكيًا / وات للكفاءة العالية، لجميع الألواح الشمسية ذات الوحدات السوداء وذات الوجهين، ويتراوح نطاق التكلفة هذا بين ٩٪ و١١٪ أقل مما كان عليه خلال فى عام ٢٠١٩[٤].

---

(1)–IRENA (2019), **Renewable Power Generation Costs in 2018**, P33.

(2)–Bolinger, M. et al., **Utility–scale solar data update: 2020 edition**, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, (2020), **https://emp.lbl.gov/utility–scale–solar**.

(٣) د.بوعشة إسمهان، **جدوى إستغلال الطاقة الشمسية كطاقة متجددة وإمكانية إستخدامها فى التبادلات التجارية الخارجية (دراسة حالة الجزائر)**،رسالة دكتوراة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة محمد خيضر بكرة، ٢٠١٩، ص٢٠١.

(٤) المرجع السابق.

وفيما يتعلق بالتقنيات البلورية، انخفضت تكلفة الوحدات ثنائية الوجه بنسبة ١٠٪ خلال نفس الفترة، مع زيادة اعتماد السوق والقدرة التنافسية للتكنولوجيا تم بيع الوحدات البلورية ثنائية الوجه بنسبة ٢١٪ أعلى من الوحدات أحادية الوجه ذات الكفاءة العالية خلال عام ٢٠١٩.

تأسيسا على ذلك انخفضت التكلفة إلى ٦٪ خلال ديسمبر ٢٠٢٠، وتستمر الوحدات ثنائية الوجه في زيادة حصتها في السوق. وفى عام ٢٠١٩، بلغت الحصة السوقية حوالي ٨٪، وبحسب ما ورد نمت هذه الحصة إلى ما بين ١٧٪ و ٢٨٪ خلال عام ٢٠٢٠ [١]، ويعد الاعتماد المتزايد للتكنولوجيا ثنائية الوجه محركًا مهمًا للقدرة التنافسية للطاقة الشمسية الكهروضوئية ، نظرًا لإمكانية زيادة العائد لكل واط، مقارنةً بتقنيات الألواح الشمسية "أحادية الوجه".

- **تكلفة تخزين البطاريات الثابتة**

يلعب تخزين الكهرباء دورًا حاسمًا في تمكين المرحلة التالية من انتقال الطاقة، وسوف يساهم تخزين البطاريات في إزالة الكربون من نظام النقل والكهرباء[٢] مما يؤدى إلى إنخفاض تكاليف تخزين البطاريات[٣]. وتعد تكلفة أنظمة البطاريات للتطبيقات الثابتة أكثر تكلفة من تلك المستخدمة لتطبيقات الأجهزة المحمولة نظرًا لتكاليف نظام إدارة العبوات والبطاريات الإضافية المطلوبة لإدارة دورات الشحن / التفريغ الأكثر صعوبة التي تتعرض لها. حيث لا تتوفر بيانات قوية لخفض تكلفة البطاريات على نطاق واسع، ومع ذلك في نهاية عام ٢٠١٨ قامت الولايات المتحدة بتركيب بطارية بسعة ٨٦٩ ميجاوات مع ١٢٣٦ ميجاوات ساعة من سعة تخزين الكهرباء و بين عامي ٢٠١٥ و ٢٠١٨ ، انخفضت تكلفة تخزين البطاريات على نطاق المرافق في الولايات المتحدة بنسبة ٧١٪ من ٢١١٥ دولارًا أمريكيًا / كيلووات ساعة إلى ٦٣٥ دولارًا أمريكيًا للكيلووات / ساعة في الولايات المتحدة [٤].

ويرجع هذا بشكل أساسى إلى معدل الانخفاض في تكلفة بطاريات الليثيوم أيون، حيث أنها تمثل ٩٠ ٪ من إجمالي سعة البطارية المثبتة. وأصبح سوق النمو الحقيقي فى أنظمة

---

(1) Francesco La Camera**, RENEWABLE POWER GENERATION RENEWABLE POWER**,Op.cit, P68**.**

(2) **IRENA (2020),** Renewablepower generation costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

(3) IRENA (2018), Renewable power generation costs in 2017, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewablepower generation-costs-in-2017.

(4) EIA, Battery storage in the United States: An update on market trends, USEnergy Information Administration, Washington, DC, (2020).

تخزين بطاريات صغيرة الحجم تعمل إلى جانب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموجودة على الأسطح في المباني السكنية والتجارية.

حيث تشير بيانات السلاسل الزمنية لأنظمة البطاريات السكنية صغيرة الحجم في السوق الألمانية إلى أن الأسعار انخفضت أيضًا بنسبة ٧١٪ بين عامي ٢٠١٤ و ٢٠٢٠،[١] وبلغت الأسعار في عام ٢٠٢٠ (٧٧٦ دولارًا أمريكيًا / كيلووات ساعة)، وتشير البيانات الخاصة بأستراليا إلى أسعار أقل من التي شهدتها ألمانيا لأنظمة تخزين البطاريات السكنية، بينما تشهد المملكة المتحدة أيضًا أسعارًا أقل قليلاً.

٢ – تكلفة الكهرباء الناتجة عن الطاقة الشمسية الحرارية المركزةCSP [٢].

انخفضت التكلفة النسبية للكهرباء لمحطات الطاقة الشمسية المركزة [٣] *CSP لتصل فى المتوسط إلى حوالى ٦٨٪ بين عامي ٢٠١٠ و٢٠٢٠، من ٠,٣٤ دولار أمريكي / كيلوواط ساعة إلى ٠,١٠٨ دولار أمريكي / كيلوواط ساعة وتم تركيب ١٥٠ ميجاوات من الطاقة الشمسية الحرارية المركزة الجديدة وبلغ متوسط التكلفة الإجمالية العالمية حوالى ٤٥٨١ دولارًا أمريكيًا للكيلوواط عند الانتهاء من عدد المشاريع المتأخرة وكان هذا أقل بنسبة ٣١٪ عن عام ٢٠١٩ وأقل بنسبة ٥٠٪ عن عام٢٠١٠، ولقد زاد "عامل السعة" نسبة الطاقة الفعلية المنتجة من محطات الطاقة الشمسية المركزة من ٣٠٪ في عام ٢٠١٠ إلى ٤٢٪ في عام ٢٠٢٠ حيث تحسنت التكنولوجيا وانخفضت تكاليف تخزين الطاقة الحرارية[٤]، وزاد متوسط عدد ساعات التخزين للمشاريع قيد التشغيل، وكان هذا مدفوعًا بشكل أساسي بالتخفيضات في إجمالي التكاليف المركبة بحوالي ٤٧٪، وعوامل السعة الأعلى بنسبة ٢٨٪، والانخفاض المفترض في المتوسط المرجح تكلفة رأس المال بنسبة ٢٠٪، وانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة بنسبة ٤٪، وتُظهر البيانات الواردة في PPA و IRENA متوسط سعر مرجح للكهرباء يبلغ حوالي ٠,٠٧٦ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط ساعة لمشاريع الطاقة الشمسية المركزة التي تم تشغيلها في عام ٢٠٢١.

---

[١] توقعات بانخفاض أسعار حزمة بطاريات الليثيوم أيون"حتى عام ٢٠٢٣، دراسة لمعهد "بلومبيرغ نيف"، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية،٢٠٢٠.

[2] Renewable Power Generation Costs 2020,Op.cit,P105.

[3] concentrating solar power– الطاقة الشمسية المركزة.

[٤] د.بوعشة إسمهان، مرجع سابق.

وتعمل أنظمة الطاقة الشمسية المركزة في المناطق ذات الإشعاع الطبيعي المباشر من خلال تركيز أشعة الشمس باستخدام المرايا لتوليد الحرارة و يتم نقل الحرارة الناتجة عن تركيز طاقة الشمس إلى وسط نقل الحرارة و عادةً تكون زيتاً حرارياً أو ملحاً مصهوراُ وبعد ذلك يتم توليد الكهرباء من خلال دورة ديناميكية حرارية، على سبيل المثال باستخدام "مائع" نقل الحرارة لتوليد البخار ثم توليد الكهرباء كما هو الحال في محطات توليد الطاقة الحرارية التقليدية بدورة رانكين، و تشمل محطات الطاقة الشمسية المركزة اليوم بشكل حصري تقريبًا على أنظمة تخزين حراري منخفضة التكلفة لفصل التوليد عن الشمس.

وتصنف أنظمة الطاقة الشمسية المركزة وفقًا للآلية التي تقوم من خلالها المجمعات الشمسية بتركيز الإشعاع الشمسي إما 'تركيز خط' أو 'تركيز نقطة'. و تشير هذه المصطلحات إلى ترتيب مرايا التركيز، حيث تستخدم معظم الأنظمة الحالية اليوم أنظمة تركيز خطية تسمى(المجمعات الشمسية ذات الحوض المكافئ) (Parabolic trough complex)[١] وأختصارها PTC، عادةً ما تتكون الفردية من هيكل قابض مع خط فردي يركز على المرايا المنحنية وأنبوب استقبال الحرارة وأساس مع أبراج.

وتقوم المجمعات بتركيز الإشعاع الشمسي على طول أنبوب استقبال الحرارة (المعروف أيضًا باسم الممتص)، وهو مكون فعال حراريًا يتم وضعه في الخط البؤري للمجمع. و ترتبط العديد من PTCs تقليديًا في 'حلقات' يتم من خلالها تدوير وسيط نقل الحرارة لتحقيق الحجم و تعتمد أنظمة تركيز الخط على متتبعات أحادية المحور للحفاظ على امتصاص الطاقة على مدار اليوم مما يؤدي إلى زيادة العائد من خلال توليد زوايا مناسبة لأشعة الشمس على منطقة الفتحة الخاصة بالمجمع. و يجب أن تراعي تكوينات PTC المحددة موارد الطاقة الشمسية في الموقع والخصائص التقنية للمركزات وسائل نقل الحرارة ويتم تمرير هذا السائل من خلال نظام التبادل الحراري لإنتاج بخار شديد السخونة ، والذي يدفع توربين دورة رانكين التقليدي لتوليد الكهرباء.

تُعد الأبراج الشمسية، التي تُعرف أحيانًا أيضًا باسم 'أبراج الطاقة'، أكثر تقنيات الطاقة الشمسية المركزة انتشارًا على نطاق واسع ، ولكنها لا تمثل سوى خُمس الأنظمة التي تم

[١] مجمعات الطاقة الشمسية، كتب مترجمة للعربية، متوفرة على موقع،
https://translatedengineeringbooks.wordpress.com، تاريخ الإطلاع ٢٠٢١/١٠/٣.

نشرها في نهاية عام ٢٠٢٠[١] في أنظمة الأبراج الشمسية، يطلق على المجمعات اسم (heliostats) وهى مجموعة مرايا أرضية ويتم ترتيب الآلاف في نمط دائري أو شبه دائري حول برج استقبال مركزي كبير.

يتم التحكم في كل وحدة شمسية على حدة لتتبع الشمس، وتوجيهها باستمرار على محورين لتحسين تركيز الإشعاع الشمسي على جهاز الاستقبال الموجود أعلى البرج، ويمتص المستقبل المركزي الحرارة من خلال وسيط نقل الحرارة، والذي يحولها إلى كهرباء – عادةً من خلال دورة ديناميكية حرارية ببخار الماء و تلغي بعض تصميمات الأبراج الشمسية وسيط نقل الحرارة ويتولد البخار مباشرة في جهاز الاستقبال.

وتحقق الأبراج الشمسية عوامل تركيز عالية جدًا من الطاقة الشمسية، حيث تعمل في درجات حرارة عالية ويمكن أن يمنح هذا أنظمة الأبراج الشمسية ميزة حيث تؤدي درجات حرارة التشغيل المرتفعة إلى زيادة كفاءة توليد دورة البخار كما تؤدي درجات حرارة جهاز الاستقبال المرتفعة إلى زيادة كفاءة كتلة الطاقة وأيضًا إلى زيادة كثافة التخزين داخل خزانات الملح المصهور، مدفوعة بفرق أكبر في درجة الحرارة بين خزانات التخزين الباردة والساخنة ويعمل كلا العاملين على خفض تكاليف التوليد والسماح بعوامل قدرة أعلى[٢].

ولقد نمت السعة التراكمية المركبة للطاقة الشمسية الحرارية المركزة بما يزيد عن خمسة أضعاف على مستوى العالم بين عامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠ لتصل إلى حوالي ٦,٥ جيجاوات في نهاية عام ٢٠٢٠ بعد نشاط متواصل في عامي ٢٠١٦ و ٢٠١٧ – مع الإضافات السنوية التي تقدر تقريباً بـ ١٠٠ ميجاوات سنويًا – وفى السوق العالمية نمت الطاقة الشمسية المركزة في عامي ٢٠١٨ و ٢٠١٩ في تلك السنوات، من خلال عدد متزايد من المشاريع على الإنترنت في الصين والمغرب وجنوب إفريقيا[٣].

ومع ذلك، بالمقارنة مع تقنيات توليد الطاقة المتجددة الأخرى، ظلت إضافات السعة الجديدة منخفضة نسبيًا بشكل عام عند ٨٦٠ ميجاوات سنويًا في ٢٠١٨ و ٥٥٠ ميجاوات في

---

(1) SolarPACES, Concentrating Solar Power Projects Database, National Renewable Energy Laboratory, www.nrel.gov/csp/solarpaces/ (2021) .

[٢] د.بوعشة إسمهان، مرجع سابق، ص٥٥.

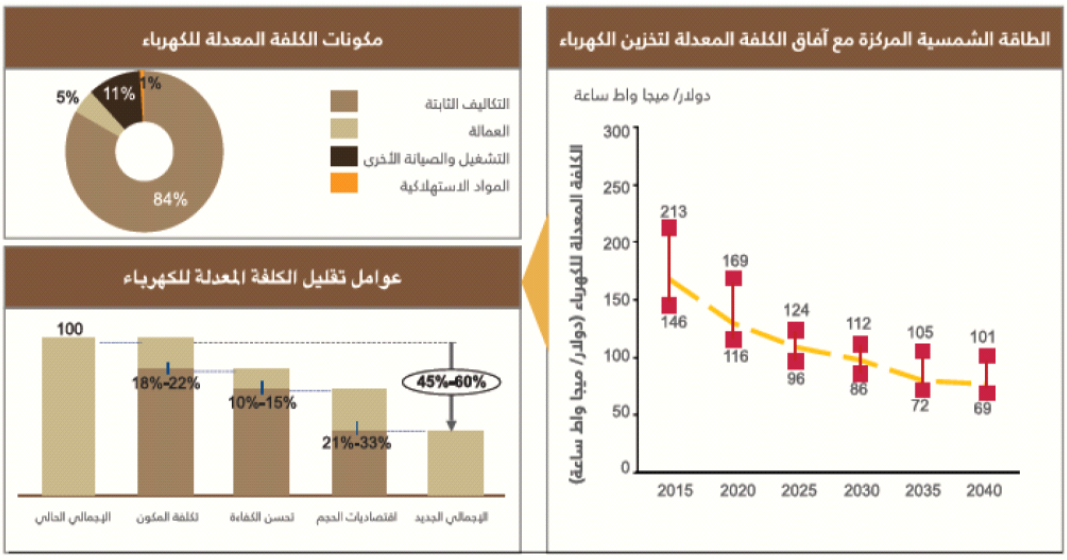
[٣] الوكالة الدولية للطاقة، **منظورات تكنولوجيا الطاقة: السيناريوهات والاستراتيجيات حتى عام ٢٠٥٠**، وكالة الطاقة الدولية، باريس، (٢٠١٠).

٢٠١٩، وبرغم بعض المزايا التقنية التي تتفوق فيها الطاقة الشمسية المركزة على الطاقة الشمسية الكهروضوئية، إلا أنها تعاني فى بعض الأحيان من ارتفاع الكلفة المعدلة للكهرباء، بسبب ارتفاع تكلفتها الاستثمارية وتكاليف التشغيل والصيانة، وعليه فإن هناك إمكانية كبيرة لتحسين الاستخدامات الاقتصادية للطاقة الشمسية الحرارية المركزة، من خلال الدعم الحكومي المناسب في بعض المناطق الواعدة كما في الشرق الأوسط [١]

الشكل رقم (٥)

إمكانية تقليل التكلفة المعدلة للكهرباء الخاصة

بالطاقة الشمسية الحرارية المركزة.



المصدر: منتدى الرياض الاقتصادي، نحو تنمية اقتصادية مستدامة، اقتصاديات الطاقة البديلة والمتجددة في المملكة العربية السعودية، مرجع سبق ذكره، ص ٣٨.

نستشف من الشكل أعلاه، أن تقليل التكلفة المعدلة للكهرباء الخاصة بالطاقة الشمسية الحرارية المركزة ممكن ان تحدث كما ذكرنا سابقا وبنسب تتراوح ما بين ٤٥ إلى ٦٠٪ وذلك في الفترة الممتدة بين ٢٠٢٠ إلى٢٠٤٠، مقارنة بسنة ٢٠١٥، وهذا يرجع إلى عدة عوامل

[١] منتدى الرياض الاقتصادي، نحو تنمية اقتصادية مستدامة، اقتصاديات الطاقة البديلة والمتجددة في المملكة العربية السعودية، الدورة السابعة، الرياض،٢٠١٥، ص ٣٨.

أهمها الزيادة المستمرة للطلب، كما تخضع أسعار وتكاليف الطاقة الشمسية الحرارية المركزة خاصة إلى قانون اقتصاديات وفورات الحجم مما يقلل بالتالى من انخفاض تكلفتها.

- **ثانيا: طاقة الريـاح**

١-الرياح البرية

لقد احتلت طاقة الرياح البرية عام ٢٠٢٠ المرتبة الثانية بعد الطاقة الشمسية الكهروضوئية وأعلى بكثير مما كانت عليه في عام ٢٠١٩، بسبب زيادة المشاريع التي انشاؤها في الصين فى هذا العام، حيث تقدمت تكنولوجيا توربينات الرياح البرية بشكل ملحوظ خلال العقد الماضي وذلك من خلال الجمع بين التوربينات[١] الأكبر والأكثر موثوقية إلى جانب ارتفاعات المحور الأعلى وأقطار الدوار الأكبر لزيادة عوامل السعة، بالإضافة إلى هذه التحسينات التكنولوجية فإن إجمالي تكاليف التركيب والتشغيل والصيانة وتكاليف LCOE أخذت في الانخفاض نتيجة لاقتصاديات الحجم وزيادة القدرة التنافسية ونضج القطاع.

وخلال عامى ٢٠١٠-٢٠٢٠ انحفض متوسط تكلفة الكهرباء العالمية المرجحة للرياح البرية بنسبة ٥٦٪ من ٠,٠٨٩ دولارًا أمريكيًا / كيلووات ساعة إلى ٠,٠٣٩ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط ساعة، كما حدث أيضا انخفاض بنسبة ١٣٪ على أساس سنوي في عام ٢٠٢٠ وخلال هذا العام بلغت مشاريع الرياح البرية الجديدة حوالي ١٠٠ جيجاوات من التي تم التكليف بها تحتوي على تكلفة للكهرباء أقل من أرخص مصدر جديد لتوليد الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفورى [٢].

ولقد شهدت القدرة التراكمية للرياح البرية زيادة بنسبة أربعة أضعاف تقريبًا خلال العقد الماضي، من ١٧٨ جيجاوات في عام ٢٠١٠ إلى ٦٩٩ جيجاوات في عام ٢٠٢٠، وانخفض متوسط التكلفة الإجمالية الموزونة العالمية بنسبة ٣١٪، من ٩٧١ دولارًا أمريكيًا للكيلوواط في

---

[١] وكالة الطاقة الدنماركية (٢٠٢٠) ، سجل البيانات الرئيسي لتوربينات الرياح ، وكالة الطاقة الدنماركية متوفرة على https://ens.dk/en/our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/overview-energy-sector. تاريخ الاطلاع ٢٠٢١/١٠/٥.

[2] IEA Wind (2021), Onshore Wind Data Viewer, International Energy Agency Wind Energy Systems,https://community.ieawind.org/task26/dataviewer (accessed 6 June 2021).

عام ٢٠١٠ إلى ١٣٥٥ دولارًا أمريكيًا للكيلوواط في عام ٢٠٢٠، كما انخفض بنسبة ٩٪ عن قيمة ٢٠١٩ البالغة ١٤٩١ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط[١].

و تراوحت التكلفة الإجمالية المرجحة لمتوسط التكلفة المركبة للرياح البرية في عام ٢٠٢٠ من حوالي ١٠٣٨-٣١٨٩ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط. وتتمتع الصين والهند بمتوسط مرجح لتكاليف التركيب الإجمالية بنسبة تتراوح بين ٢٠٪ و ٦٧٪ أقل من المناطق الأخرى. كما تراوح متوسط أسعار التوربينات بين ٧٠٠ دولار أمريكي للكيلوواط و ٩١٠ دولار أمريكي للكيلوواط في عام ٢٠٢٠.

وانخفضت الأسعار في معظم المناطق ، باستثناء الصين، بنسبة تتراوح بين ٤٩٪ و ٥٩٪ عن ذروتها في عامي ٢٠٠٨ و ٢٠٠٩ وانخفضت أسعار توربينات الرياح الصينية ٧٨ ٪ منذ ذروتها في عام ١٩٩٨ من ٢٥٢٠ دولارًا أمريكيًا للكيلوواط إلى ٥٤٠ دولارًا أمريكيًا للكيلوواط وأدت التحسينات التكنولوجية إلى تحسن بنسبة الثلث تقريبًا في عامل القدرة المرجح لمتوسط القدرة العالمي ، من ٢٧٪ في عام ٢٠١٠ إلى ٣٦٪ في عام ٢٠٢٠[٢].

٢-الرياح البحرية

ظلت تقنية الرياح البحرية متطورة نسبيًا خلال عام ٢٠١٠، ولكن مع النضج السريع للتكنولوجيا، تغير هذا الوضع، حيث زادت القدرة التراكمية بين عامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠، من ٣,١ (جيجاوات) إلى ٣٤,٤ (جيجاوات) [٣]، وحتى الوقت الحالي تشكل الرياح البحرية أقل بقليل من ٥٪ من انتشار الرياح العالمية (البرية والبحرية)، ومع ذلك فإن الخطط والأهداف للأنتشار المستقبلي تظل آخذة في التوسع حيث تنخفض التكاليف وتتجه التكنولوجيا نحو النضج، وقد بلغ متوسط السعة المضافة السنوية أكثر من ٥ جيجاوات بين عامي (٢٠١٧ و٢٠٢٠) .

وعلى عكس مشاريع الرياح البرية، يجب أن تتعامل مزارع الرياح البحرية مع التركيب والتشغيل والصيانة في البيئات البحرية القاسية مما يجعل هذه المشاريع أكثر تكلفة ويمنحها مهلاً زمنية أطول بكثير، ويُعد تخطيط وتطوير المشاريع المطلوبة لمزارع الرياح البحرية أكثر

---

[١] تكاليف توليد الطاقة المتجددة فى عام ٢٠٢٠، (إيرينا)، مرجع سابق .

[2] IEA Wind (2021), Onshore Wind Data Viewer, International Energy Agency Wind Energy
Systems,2021, P65.

[٣] إحصاءات الطاقة المتجددة ٢٠٢٠ ، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة ، (إيرينا)، أبوظبي، ٢٠٢١.

تعقيدًا من مشروعات طاقة الرياح البرية، فهذه المشاريع لها اتصال شبكي وتكاليف بناء أعلى، و بلغت تكاليف تركيب مشاريع الرياح البحرية ذروتها في الفترة من ٢٠١١ إلى ٢٠١٢ ، حيث كانت المشاريع بعيدة عن الشاطئ ، في المياه العميقة ، واستخدمت تقنيات أكثر تقدمًا[١]. وتؤثر المسافة من الشاطئ أو المنفذ المناسب للتركيب وعمق المياه على إجمالي تكاليف التركيب وتكاليف التشغيل والصيانة[٢].

٣- تكاليف الرياح البحرية مقارنةً بالرياح البرية

تتمتع الرياح البحرية بميزة وفورات الحجم، مما يعني أن بعض هذه التكاليف ليست أعلى بشكل غير متناسب مقارنة بالرياح البرية، وفي الوقت نفسه، فإن عوامل السعة العالية في الخارج ومخرج الرياح الأكثر استقرارًا (بسبب ارتفاع متوسط سرعات الرياح وانخفاض الرياح واضطرابها)، والذي يتزامن أيضًا مع ذروة الطلب في فصل الشتاء في أوروبا، يضمن أن يكون ناتج الرياح البحرية ذا قيمة أعلى بالنسبة لنظام الكهرباء من الرياح البرية.

وهناك عدد من العوامل التي تفسر الزيادة في إجمالي تكاليف التركيب التي حدثت بعد عام ٢٠٠٦ ، بما في ذلك:

- تطلب الحجم المتزايد وتعقيد المشاريع زيادة متناسبة في تكاليف تطوير المشروع (المساحات، الترخيص ، إلخ).
- كانت الصناعة في مهدها، ولم تكن أوعية التركيب المتخصصة متوفرة ، حيث أدى إلى عمليات تركيب أقل كفاءة. بالإضافة إلى ذلك، لم يتم تحسين سلاسل التوريد حتى الآن، وتعمل على نطاق واسع وفي ظل منافسة واسعة النطاق.
- كان لارتفاع أسعار السلع في هذه الفترة تأثير مباشر على تكلفة النقل وعلى مواد الرياح البحرية المستخدمة في التوربينات وأساساتها وكابلات النقل والمكونات الأخرى[٣]. وكانت بعض العوامل المساهمة في زيادة التكلفة، مثل اختناقات سلسلة التوريد للتوربينات والكابلات

---

[١] م. ماجد كرم الدين حمود، **رياح التغيير في أنظمة الطاقة العالمية والعربية الكهرباء من الرياح**، المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة،٢٠١٢، ص٣٠.

[٢] (إيرينا)، وكالة الطاقة المتجددة، **تكاليف توليد الطاقة من المصادر المتجددة خلال عام ٢٠١٩**، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبو ظبى،٢٠٢٠.

[3] IRENA (2019),Op.cit, P97.

والمشكلات اللوجستية [1]، وبالتالي، فقد أخذت التكلفة الإجمالية المقدرة للتركيب منذ ذلك الحين اتجاهًا لخفض التكلفة ، حيث انخفضت بنسبة ٤١٪ من ذروتها في عام ٢٠١١ إلى متوسط مرجح عالمي قدره ٣١٨٥ دولارًا أمريكيًا / كيلوواط للمشاريع التي تم التكليف بها في عام ٢٠٢٠.

وجاء الدعم الرئيسي من انخفاض أسعار السلع الأساسية، والمخاطر الأقل من السياسات الحكومية المستقرة وخطط الدعم، وتصميمات التوربينات المحسنة، وتوحيد التصميم والتصنيع الصناعي، والتحسينات في الخدمات اللوجستية (خاصة مع سفن التركيب المتخصصة والتوربينات الكبيرة للرياح البحرية)، واقتصاديات الحجم من المشاريع المجمعة في أوروبا .

[1] Anzinger, N. and G. Kostka (2015), "Offshore wind power expansion in Germany: Scale, patterns and causes of time delays and cost overruns", Large Infrastructure Projects in Germany: Between Ambition and Realities, Working Paper 4, Hertie School of Governance, Berlin, www.hertie-school.org/fileadmin/2_Research/2_Research_directory/Research_projects/Large_infrastructure_projects_in_Germany_Between_ambition_and_realities/4_WP_Offshore_Wind_Energy.pdf.

المطلب الثالث

انخفاض الطلب على النفط وتأثيره على مستقبل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح

لعبت ظروف الطلب المتغيرة على النفط، بما في ذلك التحركات قصيرة المدى في توقعات السوق دورا هاماً في دفع تقلبات الأسعار، وهو ما ظهر بوضوح نتيجة انتشار وباء " كوفيد – ١٩" وما رافقه من تعثر حركة الملاحة والسفر وإجراءات الحظر التي اتخذت في معظم دول العالم.

ولقد تسببت هذه المؤثرات مجتمعة مع غيرها من التأثيرات الجيوسياسية والعوامل الطبيعية في تراجع الطلب على النفط بشكل تدريجي بلغ أدنى قيمة له في أبريل ٢٠٢٠، حين انخفض الطلب بنحو ٢٩ مليون برميل مقارنة بنفس الفترة من عام ٢٠١٩، مدفوعا في ذلك بشكل رئيسي بتراجع الطلب في كلاً من أوروبا والولايات المتحدة الامريكية.

كما ساهم تراجع الطلب وانخفاض الأسعار في اتخاذ منظمة الأوبك لقرار خفض إنتاج مبرمج للنفط، وذلك للعمل على الحد من تذبذب الأسعار في مسعى منها لتحقيق استقرار الاسواق، وعملت المنظمة مع حلفائها ضمن مجموعة على وضع خطة تخفيض الإنتاج بدأت منذ مايو ٢٠٢٠، وتستمر حتى نهاية الربع الأول من عام ٢٠٢٢، حيث ساهمت هذه الخطة في تراجع إنتاج النفط والمتكثفات بنحو ٦,٦ مليون ب/ي في عام، أي ما يمثل زهاء ٧,٦٪[١] مقارنة بعام ٢٠١٩.

وأيضاً أدت عمليات الإغلاق بسبب انتشار الوباء إلى حدوث أكبر انخفاض في الطلب على الطاقة شهدته الصناعة البترولية منذ ٧٠عام، حيث شهدت الصين في مطلع عام ٢٠٢٠ وبعد ثمانية أسابيع من الإغلاق انخفاض الطلب بنسبة ٧٪[٢] حتى نهاية مارس، وانخفض الطلب كذلك في الولايات المتحدة بنسبة ٦٪ في الربع الأول من عام ٢٠٢٠، لكن هذا كان قبل سريان قيود الإغلاق فيها، مما يرّجح أن السبب يعود إلى أن الشتاء كان معتدلاً في ذلك العام.

وانخفض استخدام الطاقة في أوروبا بمستويات مماثلة، باستثناء إيطاليا التي كانت لبضعة أسابيع بؤرة تفشي المرض في أوروبا فقد انخفض الطلب على الكهرباء بأكثر من ٢٥٪ كما

---

[١] م. تركى حسن حمش، **تأثير تراجع أسعار النفط بسبب جائحة كوفيد-١٩ على مجال الاستكشاف والانتاج في الصناعة البترولية**، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول، الكويت، أبريل ٢٠٢١، ص ١٣.

[٢] المرجع السابق

أدى الإغلاق في الهند إلى انخفاض الطلب على الطاقة بنحو ٣٠٪ وتحمل الوقود الاحفورى الضرر الأكبر لانخفاض الطلب وحدث ذلك بنسب مختلفة وكان الفحم أكثر المصادر تضرراً إذا أدى فرض القيود على النشاط الاقتصادى إلى انخفاض الطلب العالمى على الفحم بنسبة ٨٪ في الربع الأول من عام ٢٠٢٠، ويرجع ذلك في الغالب إلى انخفاض الطلب على الكهرباء، كما انخفض الطلب على الفحم للأغراض الصناعية وخاصة في الصين حيث أوقفت قيود الإغلاق إنتاج المصانع، علما بأن الصين تستهلك من الفحم الحجرى أكثر من نصف أستهلاك العالم أجمع بنسبة ٥١,٩٪ في عام ٢٠١٩ [١].

كما ساهمت القيود المفروضة على السفر في انخفاض الطلب على النفط بنسبة ٥٪ وكان السبب الأساسي لذلك انخفاض حركة انتقال السيارات والانخفاض الحاد في الطلب على صناعة الشحن، حيث توقفت أساطيل الطيران في معظم دول العالم، وأغلقت معظم البلدان مطاراتها أمام الجميع باستثناء رحلات العودة إلى الوطن ورحلات الشحن، و انخفض الطلب على وقود الطائرات بنحو ٢٥٪ [٢] حتى مارس ٢٠٢٠، ومن الناحية الأقتصادية، تسببت جائحة كوفيد-١٩ وما تبعها من تراجع الطلب وانخفاض أسعار النفط في تأثيرات ملحوظة على اقتصادات معظم دول العالم، وكان التأثير الأكبر على الدول التي يعتبر فيها البترول المصدر الأهم في ناتجها المحلي.

استنادا لذلك شهدت صناعة النفط والغاز العالمية تباطؤا متكرراً في عدد من عقود النفط والغاز، حيث وجدت الشركات صعوبة في المضي قدما بسبب العوائق التي واجهت رؤوس الأموال، وتراجع أسعار النفط والتحديات التشغيلية بسبب تفشي الوباء.

و في كل من سيناريو السياسات المعلنة وسياسة التعافي المؤخرة، سيتراجع الطلب على النفط في عام ٢٠٣٠، غير أن الانكماش الاقتصادي المطوّل سيؤدي إلى تراجع في الطلب على النفط بقيمة ٤ ملايين برميل يوميًا بموجب سيناريو التعافي المؤخر، مقارنةً بسيناريو السياسات المعلنة، فيصل الى أقل من ١٠٠ مليون برميل يومياً، غير إن التغيرات في السلوك الناتجة عن الجائحة سيف ذو حدين، إذ كل مّا طالت فترة الاضطراب، كل مّا ترسخت بعض التغييرات التي تؤدي إلى انخفاض استهلاك النفط، مثل العمل من المنزل أو تجنب السفر ومع ذلك، لا تضر كل التحولات في سلوك المستهلك بالنفط، إذ إنه يستفيد من النفور القريب

---

[1] IEA, World Energy Outlook 2020, Arabic Translation of World Energy Outlook Executive Summary 2020, p9.

[٢] المرجع السابق

المدى من وسائل النقل العام واستمرار شعبية سيارات الدفع الرباعي والتأخر في استبدال المركبات القديمة غير الفعّالة.

ومع ذلك تربعت الطاقة الشمسية وطاقة الرياح على عرش الكهرباء فمع انخفاض الطلب على الوقود النفط زاد انخفاض تكاليف الطاقة الشمسية وأيضا طاقة الرياح حيث يتنامى استخدام الطاقة المتجددة في كافة السيناريوهات، وتبقى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في صلب هذه المجموعة الجديدة من تكنولوجيات توليد الكهرباء حيث تسمح السياسات الداعمة والتكنولوجيات المتطورة بالنفاذ إلى الأسواق الرائدة بسعر زهيد جدًا و مع تقلص التكاليف الحاد على مدى العقد الماضي، أصبحت الطاقة الشمسية الكهروضوئية أقل تكلفة دائما من الطاقة التي تعمل على الفحم أو الغاز في معظم البلدان، وباتت مشاريع الطاقة الشمسية توفر حاليًا الكهرباء بأقل تكلفة على الإطلاق وتعتبر الطاقة الشمسية هي محركّ النمو الرئيسي إذ أنها ستسجل أرقامًا قياسية من ناحية الانتشار كل عام بعد ٢٠٢٢، تليها طاقة الرياح البحرية والبرية.

واستنادا على ماسبق فقد ثارت تساولات كثيره حول ما إذا كان النمو الملحوظ في قطاع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والاتجاه نحو بناء مزيج طاقة أكثر استدامة، سيستمر، أم أنه سيتوقف بفعل الاعتماد على النفط والغاز، لكن هناك أسباب قوية تعزز الاعتقاد بأن نمو هذا القطاع سيستمر ومنها[١]:

- **أولا:**- تعتبر الحاجة لتوليد المزيد من الكهرباء المحرك الرئيسي وراء الارتفاع الهائل في الطلب على الطاقة، ومع ذلك فإن ٥٪ فقط من الكهرباء في العالم يتم توليدها بالاعتماد على النفط، وعليه لا يعتبر النفط منافسا لمصادر الكهرباء المتجددة وإنما مكمل لها، إلى جانب ذلك تمضي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح على الطريق الصحيح نحو تحقيق التكافؤ الشبكي في ٨٠٪ وأكثر من البلدان المنتجة للطاقة الشمسية والرياح في غضون العامين المقبلين وبالتالي فإن التكلفة لم تعد تمثل سببا لإعاقة التقدم في تطوير مصادر الطاقة المتجددة.

- **ثانيا:**- لطالما أثارت الطاقة المتجددة قلق الكثيرين في الماضي بخصوص كونها تمثل خياراً غير موثوق ولا يمكن الاعتماد عليه، لأن الرياح تهب بشكل متقطع فقط، والشمس

[١] تقرير خاص لبنك أبو ظبي الوطني، ملخص تنفيذي لتمويل مستقبل الطاقة، من إعداد جامعة كامبريدج وشركة باريس ووترهاوس كوبرز، أبو ظبي، مارس ٢٠١٥، ص ٠٥

لا تشرق دائما، ولكن ثبت أن هذه الأسباب لا تشكل مصدر قلق ولا ترتقي إلى مستوى اعتبارها مشكلة، فبالنسبة لمنطقة الخليج مثلا تكون ذروة الطلب على الكهرباء غالبا خلال منتصف النهار.

ويمكن للشركات الحديثة اليوم استيعاب ٤٠٪ على الأقل من الطاقة المتجددة الإضافية ضمن إجمالي حمولتها قبل أن تتطلب إدخال تعديلات جديدة، وإذا كان هناك تقطع في مصادر الطاقة المتجددة فإن الدور المتزايد للغاز في سوق الكهرباء يوفر مكملا مثاليا للقدرات التوليدية لتقنيات الطاقة المتجددة، علاوة على ذلك تشهد تقنيات تخزين الطاقة تقدما متسارعا، وخلال السنوات القليلة القادمة ستكون هناك حلول مخصصة للمرافق الخدمية تساعد في تذليل مصدر القلق الذي شكل حتى وقت قريب مانعا وراء اعتماد تقنيات الطاقة المتجددة على نطاق واسع في توليد الكهرباء[١].

- **ثالثا:**- إن الدوافع الكامنة وراء تعزيز الاعتماد على المصادر المتجددة هي بعيدة الأجل، ومن ضمنها الحاجة إلى ردم الثغرة التي تلوح في الأفق فيما تتعلق بموازنة معادلة العرض والطلب من خلال زيادة قدرات توليد الكهرباء تلبية للنمو المتزايد في الطلب، والتحدي المتمثل في إدارة الموارد المحدودة أو التي يصعب الوصول إليها، ورغبة الحكومات بتأمين الإمدادات المحلية الكافية وعدم الخضوع لتقلبات أسعار النفط حيثما كان ذلك ممكنا، بالإضافة إلى أطر سياسات الطاقة التي تم وضعها على مستوى العالم والتي تسعى إلى الحد من الانبعاثات الكربونية للتصدي لظاهرة تغير المناخ وتخفيف حدة التلوث.

➢**وأخيراً** نستنتج مما سبق أن نفقة إنتاج الطاقة أى ثمن إنتاج الوحده الواحده من الطاقة المتجددة وبالأخص من طاقتى (الشمسية و الرياح) أقل تكلفة مما علية فى الطاقة التقليدية، حيث اثبتت البيانات السابقة ارتفاع تكلفة الكهرباء من الوقود الاحفورى، مما يعكس ذلك على التنمية المستدامة من خلال زياده المشروعات التى تعمل بتلك الطاقتى(الشمسية والرياح).

[١] د.بوعشة إسمهان، مرجع سابق، ص ٢٠٥.

➢ النتائج:

من خلال البحث توصلنا إلى مجموعة من النتائج منها :

١ – يعتبر الاستخدام المستدام للطاقة جزءا من الإستراتيجية العالمية التي تهدف إلى تأمين مسيرة التنمية لشعوب العالم لاسيما وأن الاستهلاك المتزايد واللاعقلاني لمصادر الطاقة أدى إلى إثارة الكثير من المخاوف المتعلقة بمستقبل التنمية، وفي ذلك يعد تحسين كفاءة استخدام الطاقة حلا وسبيلا امثلا.

٢ – الطاقة المتجددة هي الحل الأمثل للمزاوجة مابين تحقيق الأهداف الاقتصادية والبيئية لذا يجب بذل المزيد من الجهود الفعلية والفاعلة من أجل تطويرها واستغلالها.

٣– هناك دوافع رئيسية تدفع العالم نحو استعمال الطاقات المتجددة هي: أمن الطاقة العالمي، الخوف من التغيرات المناخية وانخفاض تكلفة الطاقة المتجددة مقارنة بالطاقة التقليدية نتيجة للتطور التكنولوجي المحقق بالطاقة المتجددة.

➢ التوصيات:

١– إعداد دراسة عن إمكانية الاستفادة من التجارب الدولية والاتجاة نحو الاستثمار في الطاقة المتجددة من أجل بيئة نظيفة خالية من الكربون.

٢ – تقديم كافة التسهيلات التي تشجع القطاع الخاص على المشاركة في تطوير مجالات الطاقة المتجددة العالمية ومحاولة تطبيقها من خلال تقديم المزيد من الحوافز الاستخدام الطاقة المتجددة، مثل تقديم الدعم وتخفيض الضرائب وتوفير المعدات المناسبة بأسعار معقولة.

٣– تشجيع التعاون مع مختلف الدول الرائدة في هذا المجال والاستفادة من خبراتها العديدة، والاهتمام بالبحث العلمي في هذا المجال من خلال توفير الأقسام العلمية بالجامعات والمعاهد العليا، وإنشاء برامج متخصصة في علوم الطاقة المتجددة.

٤– بناء القدرات الوطنية في مجال الاستثمار المحلى في مشروعات توليد الطاقة الكهرباء من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

➢ المراجع العربية :

أ – الرسائل العلمية:

١- أسماء سمير محمد محمد، قياس دالة الطلب على الكهرباء فى مصر فى ضوء أهداف استراتيجية ٢٠٣٠، رسالة ماجيستير، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية قسم الاقتصاد، جامعة القاهرة، ٢٠١٩، ص ٥٠.

٢- مفتاح أوصيف، و هشام جرار، دور استغلال الطاقات المتجددة فى تحقيق التنمية المستدامة فى الدول العربية –دراسة حالة مصر والأمارات– رسالة ماجيستر، كلية: العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير قسم العلوم الاقتصادية، جامعة محمد بوضياف بالمسيلة، الجزائر،٢٠٢٠،ص٤٣.

٣- شيماء سمير عبد القادر : تأثير مورد الطاقة الشمسية على تغيير الهياكل العمرانية بالتطبيق على محافظة مطروح، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التخطيط العمراني، جامعة القاهرة، ٢٠١٠،ص٩٨.

٤- معتز عزت عبد الغنى الشيمى، الاقتصاد الأخضر: نحو إمكانيات استخدام الطاقة الشمسية لتحقيق التنمية المستدامة (بالتطبيق على مصر)، رسالة ماجيستير، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية ، جامعة القاهرة، ٢٠١٥، ص ٩٧.

٥- د.خالد عبد الحميد محمد عمر، "اقتصاديات الطاقة الشمسية فى مصر –دراسة مقارنة ودراسة قياسية"، رسالة دكتوراة، كلية التجارة ،جامعة عين شمس ، مايو ٢٠١٢، ص٢٣-٢٦.

٦- أحمد إبراهيم عبد الحميد الشحات، نحو تعزيز استخدام الوقود الحيوى كأحد مصادر الطتقة المتجددة لتخفيف من أزمة الطاقة فى مصر، رسالة ماجستير، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة القاهرة، ٢٠١٦، ص ١١٣.

٧- بلسم علي الدور محمد، وآخرون، الطاقة المتجددة – طاقة الرياح، بحث تكميلي لنى لدرجة البكالريوس في التربية – قسم الفيزياء، كلية التربية قسم العلوم – شعبة الفيزياء، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، ٢٠١٨،ص ١٨.

٨- حسام ثابت صدقى قابيل، الإشعاع الشمسى والرياح ودورهما فى إنتاج الطاقة فى صحراء مصر الشرقية– دراسة فى مناح التطبيقى ،رسالة ماجستير، كلية الاداب قسم جغرافيا، جامعة القاهرة، ٢٠١٧، ص ١٨٦.

ب– المقالات والأبحاث العلمية:

١- د .عبد الهادى مقبل: محاضرات فى الأقتصاد السياسي، الجزء الأول "الاقتصاد الجزئى"، دار النهضة العربية، القاهرة، ٢٠١٤، ص٤٢٩.

٢- قاموس الفوركس ومفاهيم القاموس المالى، التكلفة الضمنية Implicit cost متاح على على الرابط التالي: https://trading-secrets.guru/ تاريخ الإطلاع ١٠/ ٨/٢٠٢١.
٣- شريفي مسعودة: محاضـــرات وتمارين في الأقتصــاد الجزئي، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة بشار، سنه٢٠١٠، ص١٢.
٤- د.نجلاء صبحى خالدعلام، الابتكار وتنافسية تكنولوجيات الطاقة المتجددة فى مصر فى إطار التنمية المستدامة من التجارب الدولية، معهد التخطيط القومى، ٢٠١٩، ص ١٦٤.
٥- د. ياسر محمد عبد الموجود، إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات دراسة في جغرافية الطاقة باستخذام نظم –المعلومات الجغرافية، مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد – مجلة علمية محكمة، العدد الثانى عشر، ٢٠١٦.

ج- التقارير والنشرات الإحصائية:

١- يوبا سكونا وآخرون، مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير المناخ، التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، أبوظبي، ٢٠١١، ص١٣.
٢- د. عبد الهادى مقبل " محاضرات فى الاقتصاد السياسى" عن د. حسين خلاف: مبادئ الاقتصاد، الجزء الأول، الطبعة الثانية، مكتبة النهضة المصرية، ١٩٥٠، ص٢٣٧ومابعدها.
٣- إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، التكاليف المعيارية لموارد الجيل الجديد في التوقعات السنوية للطاقة ٢٠٢١.
٤- الوكالة الدولية للطاقة المتجددة ، تكاليف توليد الطاقة من المصادر المتجددة خلال عام ٢٠١٩ ، إيرينا، أبوظبي ٢٠٢٠، ص ١.
٥- الوكالة الدولية للطاقة، منظورات تكنولوجيا الطاقة: السيناريوهات والاستراتيجيات حتى عام ٢٠٥٠، وكالة الطاقة الدولية، باريس، (٢٠١٠).
٦- إحصاءات الطاقة المتجددة ٢٠٢٠ ، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة ، (إيرينا)، أبوظبي، ٢٠٢١

د- المقالات المنشورة فى الصحف ومواقع الأنترنت:

١-تكلفة الإنتاج، متاح على موقع، https://ar.wikipedia.org/wiki/ تاريخ الإطلاع ٢٠٢١/٧/٢٤.

٢-أفضل اتجاهات عام ٢٠٢١ لصناعة الطاقة الكهروضوئية، متاح على الرابط التالى https://amplussolar.com/ar/blogs/solar-pv-industry-trends-2021 ، تاريخ الإطلاع ٢٠٢١/١١/١٠.

٣-مجمع الطاقة الشمسية يعزز الاستدامة والاقتصاد الأخضر، دبى متوافر على موقع https://www.albayan.ae/uae/news/2021-08-18-1.4229237 تاريخ الاطلاع ٢٠٢١/٩/٢٠.

٤-- تكنولوجيا جديدة تُخفض تكلفة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية، متاح على موقع https://www.asharqbusiness.com/article/19928 تاريخ الإطلاع ٢٠٢٠/٩/٢٥.

٥-توقعات بانخفاض أسعار حزمة بطاريات الليثيوم أيون"حتى عام ٢٠٢٣، دراسة لمعهد "بلومبيرغ نيف"، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية،٢٠٢٠.

٦-منتدى الرياض الاقتصادي، نحو تنمية اقتصادية مستدامة، اقتصاديات الطاقة البديلة والمتجددة في المملكة العربية السعودية، الدورة السابعة،الرياض،٢٠١٥، ص ٣٨.

٧-طحطوح مسعود، مساهمة اتفاقية شراء الطاقة في خفض تكاليف الطاقات المتجددة، مجلة دراسات وأبحاث اقتصادية في الطاقات المتجددة ، جامعة باتنة ١، الجزائر، المجلد ٠٨ ، العدد ٠١ – السنة ٢٠٢١، ص ١٠٠.

- **المراجع الأجنبية:**

[1] -Francesco La Camera, RENEWABLE POWER GENERATION RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2020 P10.

[2] -Bolinger, M. et al. (2020), Utility-scale solar data update: 2020 edition, Lawrence, P15.

3- IRENA (2016), The power to change: Solar and wind cost reduction potential to 2025, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, www.irena.org/ publications/2016/Jun/The-Power-to-Change-Solar-and-Wind-Cost-ReductionPotential-to-2025 .

4-Global Data (2021), Wind Power Sector, Generation and Markets Database, Global Data, London.

5-Green, R. and N. Vasilakos (2011), "The economics of offshore wind", Energy Policy, Vol. 39, No. 2, pp. 496-502, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.011.

6- Bolinger, M. and S. Weaver (2014) Utility-scale solar 2013: An empirical analysis of project cost, performance and pricing trends in the

United States, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, https://emp.lbl.gov/publications/utility-scale-solar2013-empirical.

7- Carbon Tracker, powering down coal: Navigating the economic and financial risks in the last years of coal power, Carbon Tracker, London, (2018).

8- Global Energy Review 2020, The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 EMISSIONS, 2020, P10.

9- ITRPV (2021), International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020 Results, International Technology Roadmap for Photovoltaic,https://itrpv.vdma.org/web/itrpv/download.

10- Carbon Tracker, powering down coal: Navigating the economic and financial risks in the last years of coal power, Carbon Tracker, London (2018).

11- Creutzig F, Agoston P, Goldschmidt JC, Luderer G, Nemet G, Pietzcker RC. The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change, Nat Energy 2017, http://refhub.elsevier.com/S0360-5442(21)00716-7/sref72.

12 -Francesco La Camera, Op.cit, P 67.

13 -Ran, F., D. Feldman and R. Margolis (2018), US solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2018, National Renewable Energy Laboratory, Golden, www.nrel.gov/docs/fy19osti/72399.pdf.-

14- pvXchange(2021), PV module price index (PV marketplace), v 2021, Price Index, www.pvxchange.com/en/price-index.

15-IRENA (2019), Renewable Power Generation Costs in 2018, P33.

16 -Bolinger, M. et al., Utility-scale solar data update: 2020 edition, Lawrence

Berkeley National Laboratory, Berkeley, (2020), https://emp.lbl.gov/utility-scale-solar .

17- Francesco La Camera, RENEWABLE POWER GENERATION RENEWABLE POWER,Op.cit, P68.

18- IRENA (2020), Renewablepower generation costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

19-IRENA (2018), Renewable power generation costs in 2017, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi,

www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewablepower generation-costs-in-2017.

20- EIA, Battery storage in the United States: An update on market trends, USEnergy Information Administration, Washington, DC, (2020).

21- [(1)]- Anzinger, N. and G. Kostka (2015), "Offshore wind power expansion in Germany: Scale, patterns and causes of time delays and cost overruns", Large Infrastructure Projects in Germany: Between Ambition and Realities, Working Paper 4, Hertie School of Governance, Berlin, www.hertie-school.org/fileadmin/2_Research/2_Research_ directory/Research_projects/Large_infrastructure_projects_in_Germany_ Between_ ambition_and_realities/4_WP_Offshore_Wind_Energy.pdf.

22 - (REN21 2016): Renewables 2016. Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Available online athttps://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/, checked on 27/1/2022.

23-Egyptian ministry of electricity and renewable energy (8/8/2016): Electricity prices by the Egyptianministry of electricity and renewable energy. Available online athttp://egyptera.org/Downloads/ElecNewTariff.PDF,checked on 30/1/2022.