

صناعة الطاقة الشمسية ما بين الفعالية الاقتصادية والفعالية البيئية

مقاربة نقدية

The Solar Energy Industry between economic effectiveness and environmental effectiveness:

Critical Approach

د. عظيمي دلال¹ / جامعة عباس لغرور خنشلة - (الجزائر)، d.adimi@yahoo.fr

د. يحيى نعيمة / جامعة الحاج لخضر باتنة 1 - (الجزائر)، yahiaoui966@gmail.com

تاريخ النشر: 30 / 06 / 2020

تاريخ القبول: 02 / 06 / 2020

تاريخ الاستلام: 14 / 02 / 2020

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتقييم الفعالية الاقتصادية من جهة، والفعالية البيئية من جهة أخرى لصناعة الطاقة الشمسية حيث يواجه تطور وانتشار الطاقة الشمسية كطاقة بديلة العديد من العقبات أهمها: التكاليف المرتفعة، التناوب أو التقطع، المواد غير المستدامة المستخدمة في صناعة هذه الطاقة وإشكالية تخزينها ونقلها من أماكن إنتاجها إلى المستخدمين النهائيين، وعوامل أخرى متعلقة باستغلال هذه الطاقة بما يتناسب مع الأهداف الاقتصادية والأهداف البيئية لصناعتها، وهنا تكمن المفارقة التي تستمد منها دراستنا أهميتها البالغة. وحاولت هذه الدراسة – باستخدام المنهج الوصفي التحليلي والمنهج المقارن- تقريب حدود المفارقة السابقة وإيجاد المعايير المقبولة لاعتبار صناعة الطاقة الشمسية صناعة مستدامة استنادا إلى الفعالية الاقتصادية والفعالية البيئية. خلصت الدراسة إلى أن صناعة الطاقة الشمسية لا تتوفر بعد على معظم معايير الفعالية الاقتصادية ومعايير الفعالية البيئية التي تمكن من اعتبارها صناعة مستدامة في المدى القصير والمتوسط.

الكلمات المفتاحية : تكنولوجيا الطاقة الشمسية، صناعة، فعالية اقتصادية، فعالية بيئية.

تصنيف JEL : O13 ؛ O14 ؛ Q01.

Abstract:

This study **aims at** analyzing and evaluating the economic effectiveness on the one hand and the environmental effectiveness on the other hand for the solar energy industry. The development of solar energy as alternative energy is facing many obstacles, the most important of which are: the high costs, rotation or discontinuity, the unsustainable materials used in manufacturing this energy, and transfer solar energy from production sites to end-users, and other factors related to the energy exploitation. This study attempts to find acceptable criteria for considering the solar energy as a sustainable industry. The study concludes that the solar industry is still not available on most of the economic effectiveness and environmental effectiveness criteria that can classify it as a sustainable industry in the short and medium term.

Keywords: Solar Energy Technology; Industry; Economic Effectiveness; Environmental Effectiveness.

Jel Classification Codes : O13 ; O14 ; Q01.

¹ المؤلف المرسل: عظيمي دلال ، الإيميل: d.adimi@yahoo.fr

I - تمهيد :

تستقبل الأرض سنويا 173000 تيراواط من الطاقة الشمسية بشكل مستمر وهو مقدار يفوق الاستعمال الطاقوي العالمي بـ 10000 مرة، حيث يمكن تغطية الاحتياج الطاقوي بالإشعاع الشمسي الساقط على أقل من 0.1 % من سطح الأرض، بافتراض كفاءة تحويل لا تزيد عن 10%، وباعتبار أبسط فإن الشمس يمكنها توفير مقادير ضخمة من الطاقة في السنة حتى لو استخدم جزء صغير فقط من المناطق الصحراوية التي تستقبل معظم الإشعاع الشمسي، وعند هذه النقطة تحديدا تواجه العالم مشكلتان رئيسيتان: الأولى هي أن المناطق الأكثر غنى بالطاقة الشمسية لا تتطابق على المستوى العالمي مع مناطق تركيز السكان والصناعة حيث الاحتياج الأكبر إلى الطاقة، وهو ما يطرح إشكالية نقل الطاقة، والثانية هي أن الطاقة الشمسية متقطعة وظرفية وهو ما يطرح إشكالية تخزين الطاقة.

وتستدعي هاتان المشكلتان ضرورة تطوير تقنيات تجميع الطاقة الشمسية على نطاق واسع وتحويلها إلى صور طاقوية قابلة للتخزين لفترات طويلة وللنقل على مسافات كبيرة، وهو ما يتعارض واقعا مع الإمكانيات المخصصة للبحث العلمي في هذا المجال وهي إمكانيات ضعيفة، حيث تخصص الوكالة الدولية للطاقة أكثر من 60% من ميزانياتها البحثية لمشاريع الطاقة الذرية، ولا تخصص سوى 4% لأبحاث الطاقة الشمسية. وتتركز معظم الجهود المحدودة لأبحاث الطاقة الشمسية في تحويل ضوء الشمس وحرارتها إلى طاقة كهربائية عن طريق الخلايا الشمسية، وبالرغم من أن الكهرباء تشكل وسيلة رئيسية لنقل الطاقة حيث تمثل الكهرباء ثلث الاستخدام العالمي من الطاقة الأولية، إلا أنها ليست الحل لكل المشكلات المتعلقة باستخدام الطاقة الشمسية. وهنا تتسع المفارقة بين وفرة مصدر الطاقة الشمسية والندرة التي توظف استخداماته، وبين استدامة مصدر الطاقة وعدم استدامة الصناعة في حد ذاتها.

1.1. إشكالية البحث :

ولتقريب حدود المفارقة السابقة ارتأينا طرح الإشكالية التالية: هل تتوفر صناعة الطاقة الشمسية على معايير الفعالية الاقتصادية والفعالية البيئية المقبولة التي تمكن من تصنيفها كصناعة مستدامة؟

2.1. فرضيات البحث :

ولمعالجة هذه الإشكالية تبيننا فرضية الدراسة: لا تتوفر صناعة الطاقة الشمسية بعد على معظم معايير الفعالية الاقتصادية ومعايير الفعالية البيئية التي تمكن من اعتبارها صناعة مستدامة في المدى القصير والمتوسط.

3.1. أهداف البحث :

لا توجد طاقة مثالية حتى لو كانت متجددة فكل الطاقات المتاحة للعالم لها مزايا وحدود، لذلك يهدف هذا البحث إلى الوقوف عند نقاط ضعف صناعة الطاقة الشمسية وتبيان حدود التكنولوجيا المستخدمة في الصناعة والتي تؤثر على الأهداف الاقتصادية والأهداف البيئية المنتظرة من هذه الصناعة، وهو ما يمكن من إيجاد البدائل الملائمة لتعظيم الفعالية الطاقوية للشمس ونقلها إلى صف الطاقات الأساسية وليس التكميلية.

4. أهمية البحث :

رغم الوفرة النسبية في الطاقة الشمسية إلا أن هذا المصدر متغير ومتقطع بسبب بعض العوامل الطبيعية التي تحد من نسب التعرض للشمس في كل المناطق وفي كل الأوقات، وبعض العوامل الاقتصادية المتعلقة باستغلال هذه الطاقة بما يتناسب مع الأهداف الاقتصادية والأهداف البيئية لصناعاتها، وهنا تكمن المفارقة التي تستمد منها دراستنا أهميتها البالغة.

II. خلفية عن الطاقة الشمسية في العالم

1. II. تكنولوجيا الطاقة الشمسية

تتمثل تكنولوجيا الطاقة الشمسية أساساً في تحويل الطاقة من ضوء الشمس إلى كهرباء، إما مباشرة باستخدام الخلايا الكهروضوئية (PV)، أو بطريقة غير مباشرة باستخدام الطاقة الشمسية المركزة (CSP).

1.1. II. الطاقة الكهروضوئية: الطاقة النشطة:

الخلية الشمسية، أو الخلايا الكهروضوئية (PV)، هي أداة تقوم بتحويل الضوء إلى تيار كهربائي باستخدام التأثير الكهروضوئي، وأول خلية شمسية شيدها تشارلز فريتس في ثمانينيات القرن التاسع عشر، وفي عام 1931 طور المهندس الألماني برونو لانج خلية صور باستخدام سيلينيد الفضة بدلاً من أكسيد النحاس (على الرغم من أن خلايا السيلينيوم النموذجية حولت أقل من 1٪ من الضوء الساقط إلى كهرباء)¹، وبعد العمل الذي قام به راسل أول في أربعينيات القرن العشرين، قام الباحثون جيرالد بيرسون وكالفن فولر وداريل تشاين بإنشاء خلية السليكون الشمسية في عام 1954. وتكلفت هذه الخلايا الشمسية المبكرة 286 دولارًا أمريكيًا/واط وحقت كفاءة بنسبة 4.5-6٪².

وتمثل الألواح الشمسية البلورية السائلة (c-Si) المعتمدة على الرقاقات الكهروضوئية حوالي 90٪ من الطاقة الكهروضوئية المركبة في الولايات المتحدة. ومع انخفاض بنسبة 50٪ إلى 70٪ في أسعار الخلايا الكهروضوئية، أصبحت هذه التقنية اليوم حسب بعض الباحثين ناضجة إلى حد ما حيث تدعمها صناعة عالمية سريعة النمو تتمتع بالقدرة والحافز لإيجاد مزيد من التحسينات في كل من التكلفة والأداء. تعد تقنيات الرقاقات واعدة، ولكنها تواجه قيودًا من حيث الكفاءة والاستقرار والقدرة على التصنيع، كما تستخدم عناصر نادرة نسبياً في القشرة الأرضية مثل التيلوريد والغالسيوم والإنديوم التي تحد من الانتشار واسع النطاق لهذه الأنظمة³.

وقد بلغت القدرة المجمعّة للخلايا الكهروضوئية 398 جيجاوات سنة 2017 ويتوقع أن تقود نمو الطاقة الكهربائية المتجددة بحلول سنة 2022 بحوالي 580 جيجاوات⁴.

2.1. II. الطاقة الشمسية المركزة: الطاقة الخاملة:

الطاقة الشمسية المركزة (CSP) وتسمى أيضًا الطاقة الشمسية الحرارية، تستخدم العدسات أو المرايا وأنظمة التتبع لتركيز مساحة كبيرة من ضوء الشمس إلى حزمة صغيرة. على عكس الخلايا الضوئية - التي تحول الضوء مباشرة إلى الكهرباء - تستخدم تقنية الطاقة الشمسية الحرارية حرارة إشعاع الشمس لتوليد الكهرباء من التوربينات التقليدية المدفوعة البخار⁵. وتوجد مجموعة واسعة من تكنولوجيات التركيز من أشهرها الحوض شبه المكافئ، عاكس فريسنل الخطي المدمج، طبق ستيرلنغ وبرج الطاقة الشمسية⁶، حيث تستخدم تقنيات مختلفة لتعقب الشمس وتركيز الضوء، وفي كل هذه الأنظمة يتم تسخين مائع يعمل

بواسطة ضوء الشمس المركز، ثم يتم استخدامه لتوليد الطاقة أو تخزين الطاقة حيث يسمح التخزين الحراري بكفاءة توليد الكهرباء لمدة تصل إلى 24 ساعة⁷.

إن توليد الطاقة الحرارية الشمسية هو أكثر تكلفة بنسبة 25٪ من توليد الطاقة الكهروضوئية، حتى في المناطق الساخنة التي تتمتع بتعرض مباشر وقوي للشمس، وهذه الطاقة ليست تنافسية حتى الآن مع إنتاج الطاقة الكلاسيكية من الغاز⁸.

وقد بلغت قدرة تركيب مرآيا الطاقة الشمسية الحرارية في العالم 4,8 جيجاوات سنة 2016 مقارنة بـ 300 جيجاوات من الطاقة الكهروضوئية ويتوقع أن تبلغ 10 جيجاوات بحلول سنة 2022⁹. كما توقعت الوكالة الدولية للطاقة في عام 2014 في إطار سيناريو "الطاقة المتجددة العالية" أنه بحلول عام 2050، ستساهم الطاقة الشمسية الضوئية والطاقة الشمسية المركزة بنحو 16 و 11٪ على التوالي من استهلاك الكهرباء على مستوى العالم، وستكون الطاقة الشمسية أكبر مصدر في العالم للكهرباء، وأن معظم المنشآت الشمسية ستكون في الصين والهند¹⁰.

2.11. انتشار الطاقة الشمسية

انتشرت الطاقة الشمسية أساساً عبر ثلاث مراحل متباينة نضيف معها مرحلة مستقبلية¹¹:

2.11.1. مرحلة النمو:

كان التطور المبكر لتكنولوجيا الطاقة الشمسية التي بدأت في ستينيات القرن التاسع عشر مدفوعاً بتوقع أن الفحم سيصبح نادراً قريباً. ومع ذلك، فإن تطوير تقنيات الطاقة الشمسية كان راكداً في أوائل القرن العشرين في مواجهة اقتصاد الفحم والبترو، حيث أشارت المعطيات في عام 1974، أن ستة منازل خاصة فقط في كل أمريكا الشمالية تم تسخينها أو تبريدها بالكامل بواسطة أنظمة الطاقة الشمسية الوظيفية. تسبب الحظر النفطي لعام 1973 وأزمة الطاقة لعام 1979 في إعادة تنظيم سياسات الطاقة حول العالم وجلب الاهتمام المتجدد لتطوير تقنيات الطاقة الشمسية، حيث ركزت استراتيجيات الانتشار على برامج الحوافز مثل البرنامج الفيدرالي لاستخدام الطاقة الكهروضوئية في الولايات المتحدة وبرنامج (Sunshine) في اليابان. وشملت الجهود الأخرى تشكيل مرافق البحوث في الولايات المتحدة (SERI، NREL)، واليابان (NEDO)، وألمانيا (Fraunhofer ISE). وبين الأعوام 1970 و 1983، نمت منشآت الأنظمة الكهروضوئية بسرعة، لكن انخفاض أسعار النفط في أوائل الثمانينيات حد من نمو الخلايا الكهروضوئية من عام 1984 إلى عام 1996.

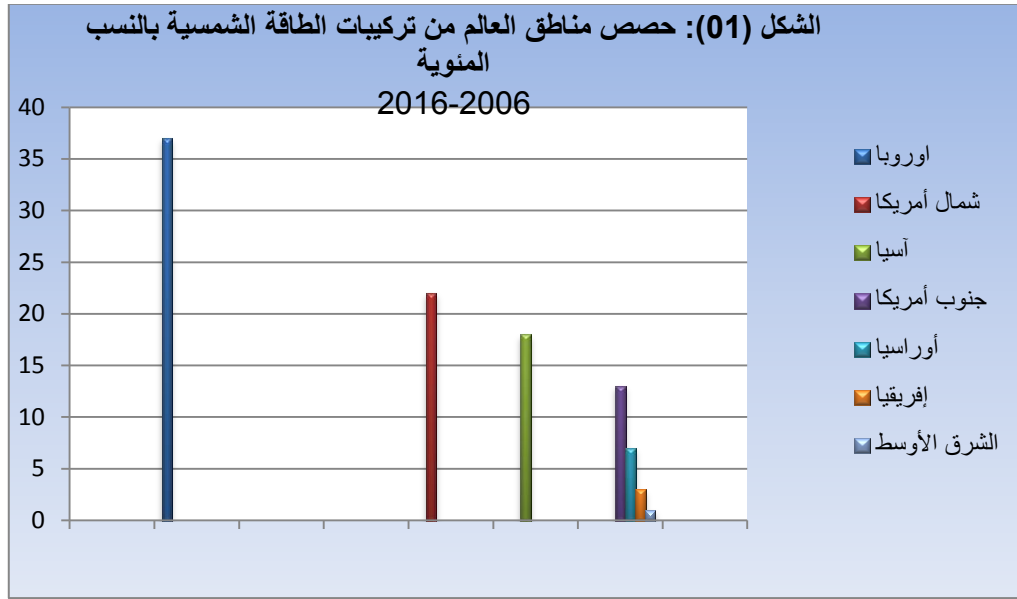
2.11.2. مرحلة التطوير:

في منتصف التسعينيات، بدأ تطوير محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الأسطح السكنية والتجارية على حد سواء، وعاد التسارع من جديد بسبب مشاكل الإمداد بالنفط والغاز الطبيعي، ومشاكل الاحتباس الحراري العالمي، وتحسين الوضع الاقتصادي للخلايا الكهروضوئية بالنسبة لتكنولوجيات الطاقات الأخرى. وفي أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، تم اعتماد سياسة تعريف آلية في أوروبا، تعطي الأولوية لمصادر الطاقة المتجددة، وتحدد سعراً ثابتاً للكهرباء المولدة بما يؤدي إلى مستوى مرتفع من الاستثمار الآمن وإلى عدد متزايد من عمليات نشر الخلايا الكهروضوئية.

2.11.3. مرحلة التنافسية:

لعدة سنوات، كان النمو العالمي للطاقة الشمسية الكهروضوئية مدفوعاً بالانتشار الأوروبي، لكنه انتقل بعد ذلك إلى آسيا وخاصة الصين واليابان، وإلى عدد متزايد من الدول والمناطق في جميع أنحاء العالم بما في ذلك على سبيل المثال لا الحصر: أستراليا، كندا وشيلي والهند والمكسيك وجنوب أفريقيا وكوريا الجنوبية وتايلاند

والولايات المتحدة. وبلغ متوسط نمو الخلايا الفولتية الضوئية على مستوى العالم 40٪ سنوياً منذ عام 2000 وبلغ إجمالي القدرة المركبة 139 جيغاوات في نهاية عام 2013 مع وجود التركيبات الأكثر تراكمًا في ألمانيا (35.7 جيغاوات) وإيطاليا بأعلى نسبة من الكهرباء الناتجة عن الطاقة الشمسية الكهروضوئية (7.0٪)، علماً أن أكبر الشركات المصنعة تقع في الصين. كما بدأت الطاقة الشمسية المركزة في النمو بسرعة، مما أدى إلى زيادة طاقتها بنحو عشرة أضعاف من عام 2004 إلى عام 2013. واعتباراً من نهاية عام 2013، وصلت الطاقة الاستيعابية المجمعة في جميع أنحاء العالم إلى 3425 ميغاوات. وفيما يلي شكل يبين حصص مناطق العالم من تركيبات الطاقة الشمسية بالنسب المئوية حسب إحصائيات 2016:



Source: Daniele Menniti, Angel A. Bayod-Rujula et al, Recent Developments of Photovoltaics Integrated with Battery Storage Systems and related Feed-in Tariff Policies: A Review, Solar Energy and PV Systems in Smart Cities, International Journal of Photoenergy, Hindawi, 2017, p2.

من خلال الشكل السابق يتضح اهتمام أوروبا بالطاقة الشمسية في العقدين الماضيين حيث قاربت تركيبات الطاقة الشمسية لديها 40٪ وتلاها شمال أمريكا بما يقارب 25٪ ثم آسيا بما يقارب 20٪ وأضعف الحصص عادت لإفريقيا والشرق الأوسط بأقل من 5٪، والأسباب ترجع أساساً لعاملين: الأول هو تخلف هذه المناطق عن ركب التكنولوجيا الحديثة، والثاني هو توفر هذه المناطق على احتياطات كبيرة من الطاقات الأحفورية كالنفط والغاز الطبيعي التي تشكل الطاقة الشمسية بديلاً لها.

4.2.11. توقعات الخبراء:

في عام 2010، تنبأت وكالة الطاقة الدولية بأن الطاقة الشمسية الكهروضوئية العالمية يمكن أن تصل إلى 3000 جيغاوات أو 11٪ من توليد الكهرباء العالمي المتوقع بحلول عام 2050 (وهو ما يكفي لتوليد 4,500 تيراوات من الكهرباء). بعد أربع سنوات، في عام 2014، توقعت الوكالة أنه في إطار سيناريو "الطاقة المتجددة العالية"، يمكن للطاقة الشمسية أن توفر 27٪ من توليد الكهرباء العالمي بحلول عام 2050. وفي عام 2015، توقع المحللون أن مليون منزل في الولايات المتحدة سيكون لديها طاقة شمسية في عام 2016، وهو ما تم تحقيقه فعلياً بحلول نهاية عام 2016. إلا أن هذه الأرقام تبقى مجرد توقعات قد تنحرف عنها الإنجازات

الفعالية، فلو تمعنا في التدفق المالي الحكومي لمختلف مناطق العالم سنلاحظ بعض المفارقات كما يوضح الجدول التالي:

الجدول (01): التدفق المالي الحكومي للطاقة الشمسية بين 2009 و2016

2016	2009	
2851 مليون دولار	876 مليون دولار	التدفق المالي الحكومي للعالم
37.3%	6.6%	آسيا
17%	22%	إفريقيا
3%	61.5%	أوروبا
4%	2.2%	الشرق الأوسط
0%	0.5%	أمريكا الشمالية

Source: Renewabale Energy Statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2018, pp343.344.

إن بعض إحصائيات الجدول السابق تثير الكثير من التساؤلات حول مستقبل صناعة الطاقة الشمسية ومدى صدق التوقعات الأكثر تفاؤلاً بشأن إحلال الطاقة الشمسية محل الطاقة الأحفورية، حيث سجلت الإحصائيات ارتفاع التدفق المالي الحكومي للطاقة الشمسية بـ31% في 2016 مقارنة بـ2009، وسجلت إحصائيات الجدول ضعف التدفقات المالية لصناعة الطاقة الشمسية في شمال أمريكا سنة 2009 ثم انعدامها تماماً سنة 2016 مع تطور بطيء للإنتاج في نفس الفترة وذلك في ظل وجود إمكانات ضخمة قدرت سنة 2016 بـ12% من إمكانات العالم. وبالنسبة لأوروبا سجلت الإحصائيات انخفاضاً عالياً في التدفق المالي الحكومي ما بين 2009 و2016 من 61.5% إلى 3%، وهذه النتائج يمكن أن تفسر بسببين: أولهما انسحاب الحكومات من الاستثمار في الطاقة الشمسية لصالح القطاع الخاص رغم كونها صناعة ثقيلة واستراتيجية، وثانيهما ضعف الكفاءة والفعالية الاقتصادية لهذه الصناعة، والسبب الثاني هو المرجح وما يدعمه هو انخفاض إنتاج أوروبا من الطاقة الشمسية من 58.4% إلى 34% ما بين 2009 و2016. أما باقي مناطق العالم –باستثناء آسيا التي تخطو خطوات مهمة باتجاه دعم صناعة الطاقة الشمسية- فإن تدفقاتها تبدو متسقة مع صدق التوقعات المستقبلية ومع حقيقة كونها مناطق نامية غير متحكمة بالتكنولوجيا.

3.11. استخدامات الطاقة الشمسية

يمكن للطاقة الشمسية أن تحل محل الطاقات الأحفورية من خلال استخداماتها المتعددة الممكنة في حياتنا:

1.3.11. الكهرباء:

بدأت التطبيقات الفعلية للطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) في 1970، وتطورت التطبيقات خارج الشبكة، ومعظمها تعلق بكهربية الريف والاتصالات. وفي ثمانينيات القرن العشرين، تم بناء أول محطة تجارية للطاقة الشمسية المركزة التي تعمل على توليد الطاقة الحرارية الشمسية (مدعومة بـ25% من الغاز الطبيعي) في صحراء كاليفورنيا الأمريكية، واستندت إلى حوافز ضريبية على مستوى الحكومات والمستثمرين واتفاقيات شراء الطاقة طويلة الأجل. وفي عام 2008 قدمت مطبوعة وكالة الطاقة الدولية سيناريو خريطة ACT، الذي سيعيد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة العالمية إلى مستويات عام 2005 بحلول عام 2050، وهو أفضل بكثير من سيناريو الخريطة الزرقاء في نفس المطبوعة والذي كان سيعود بحلول عام 2050 إلى انبعاثات

نصف مستوى عام 2005، حيث أن جزءًا كبيرًا من الفرق يتم تفسيره بزيادة في توفير الطاقة عندما تحل الكهرباء محل الوقود الأحفوري في المباني والنقل.¹²

• الكهرباء الصناعية:

كما هو الحال في القطاعات الاستهلاكية الأخرى، فإذا كانت أكبر حصة من شبكة الكهرباء ستأتي من الطاقة المتجددة بشكل عام والطاقة الشمسية على وجه الخصوص، فإن الصناعة ستستهلك الكهرباء بشكل كبير. ومن أهم طرق الحصول على المزيد من الطاقة الشمسية والطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الصناعية تطوير استخدامات فعالة للكهرباء - مع حصة الطاقة الشمسية المتجددة والمتطورة بشكل متزايد - لتحل محل استخدام الوقود الأحفوري. وتتوفر الآن العديد من التقنيات التي يعتقد أنها يمكن أن تحل محل الوقود الأحفوري في العمليات الصناعية، ومن أمثلتها: تركيز التجميد بدلاً من عملية التبخر الحرارية، التدفئة العازلة (تردد الراديو وتسخين الميكروويف) للتجفيف، البلمرة والطلاء بالمسحوق باستخدام أفران الأشعة تحت الحمراء للمعالجة بدلاً من الطلاء القائم على المذيبات والأفران الحرارية التقليدية. وفي كل الأحوال، يؤدي استخدام الكهرباء إلى تحسين التحكم في العمليات والإنتاجية. وفي كثير من الحالات، تكون تطبيقات التدفئة الكهربائية أكثر كفاءة من حيث الطاقة من بدائلها خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة حيث الكفاءة المثلى للأفران الكهربائية يمكن أن تصل إلى 95٪، في حين أن ما يعادل فرن الغاز هو 40٪ إلى 80٪ فقط.¹³

2.3.11. جمع الحرارة:

لقد تم تطوير سخانات المياه الشمسية في مجال الصناعة في الو.م.أ نهاية القرن التاسع عشر، ولكن اكتشاف الغاز الطبيعي في العشرينات من القرن العشرين أدى إلى توقف توسعها، وفي 1960، بدأ تركيب سخانات المياه بالطاقة الشمسية على الأسطح اليابانية. انتقل ازدهار إلى دول أخرى بعد صدمات النفط عام 1974، ولكن صدمة عام 1986 المضادة (وفرة النفط) كبحت الصناعة الناشئة باستثناء عدد قليل من البلدان مثل ألمانيا والنمسا.¹⁴ وفي السنوات الأخيرة، هيمنت الصين على السوق العالمي للتدفئة مع المنشآت المحلية، ومعظمها سخانات المياه الشمسية الحرارية "siphon". في عام 2010، غطت جامعات الحرارة الشمسية مساحة سطح عالمية تبلغ 28000 هكتار، منها 16500 هكتار في الصين وحدها.¹⁵

• التسخين والتدفئة في المباني:

اليوم، يشكل استهلاك المباني السكنية والتجارية 35٪ من إجمالي استهلاك الطاقة النهائي على مستوى العالم، لاسيما فيما يتعلق بالإضاءة وتدفئة المياه الصحية وأجواء الراحة والطهي والعديد من الأجهزة التي تعمل بالكهرباء. إن تجديد العديد من المباني القائمة سيسمح لهذا الاستهلاك الكلي بالبقاء ثابتاً على الرغم من النمو الديموغرافي والاقتصادي، حيث ينتقل مزيج الإمداد من استهلاك الوقود الأحفوري المباشر إلى الطاقة المتجددة والكهرباء القائمة على الطاقة المتجددة¹⁶، كما توفر المباني أيضاً أسطحاً كبيرة لأشعة الشمس واستيعاب طاقة الشمس مما سيمكنها من تغطية حصة من استهلاكها للحرارة وحصة أكبر من احتياجات الإضاءة لتصبح مصادر مهمة للكهرباء. علاوة على ذلك، سيساعد الاستخدام المتزايد لتقنيات تخزين الطاقة الحرارية في المباني على تحسين مرونة الطلب وتقليل تكلفة التخزين الكهربائي.¹⁷

3.3.11. النقل:

إن الكتلة الحيوية والكهرباء ستكونان الناقل الرئيسي لإدخال الطاقة المتجددة على نطاق واسع - والطاقة الشمسية على وجه الخصوص - في قطاع النقل، وإذا تم استخدام الطاقة الشمسية كمصدر طاقة خارجي لمعالجة الكتلة الحيوية الخام، يمكن أيضاً زيادة كفاءة التحويل وبالتالي الكمية المتاحة من الوقود الحيوي السائل. ويبدو أن هناك

فرصة ضئيلة لاستخدام الطاقة الشمسية المباشرة في قطاع النقل، وعلى الرغم من أن ظهور الوقود الشمسي قد يغير الصورة على المدى الطويل، وعلى الرغم من أن حصة الكهرباء الحالية من وقود النقل في جميع الأنماط تتراوح بين 1٪ و 2٪ في جميع أنحاء العالم، إلا أن دورها الفعال في نقل السلع والأشخاص أكبر بكثير: فالكهرباء تدير معظم قطارات الركاب أو البضائع، وخطوط "الترام"، والعربات، وأنظمة النقل تحت الأرض في جميع أنحاء العالم، ناهيك عن المصاعد، التي تقدم خدمات النقل في المدن الكثيفة. ويرجع تناقص كفاءة الطاقة إلى النقل الجماعي مقابل أنظمة النقل الفردية وأنظمة الشحن على الطرق القائمة وعلى السكك الحديدية. وهذا يضيف كفاءة أكبر للأنظمة الكهربائية مقابل أنظمة الوقود الأحفوري عند مستوى الاستخدام النهائي، فعلى سبيل المثال، بالنسبة للنقل الفردي في المركبات الخفيفة، يعوض 1 كيلوات ساعة من الكهرباء حوالي 3 كيلوات ساعة من المنتجات النفطية¹⁸.

4.3.11. إنتاج الوقود:

تستخدم العمليات الكيميائية الشمسية الطاقة الشمسية لدفع التفاعلات الكيميائية حيث تعوض هذه العمليات الطاقة التي يمكن أن تأتي من مصدر الوقود الأحفوري، ويمكن أيضاً تحويل الطاقة الشمسية إلى وقود قابل للتخزين والنقل. وتقسم التفاعلات الكيميائية الناتجة عن الطاقة الشمسية إلى مادة كيميائية حرارية ومادة كيميائية ضوئية. ويمكن إنتاج مجموعة متنوعة من أنواع الوقود عن طريق التمثيل الضوئي الاصطناعي حيث تعتبر الكيمياء التحفيزية متعددة الإلكترونات الأساس في صنع أنواع الوقود المعتمدة على الكربون (مثل الميثانول). وتخفيض ثاني أكسيد الكربون أمر صعب، لذلك فالبدل هو إنتاج الهيدروجين من البروتونات، وعلى الرغم من استخدام المياه كمصدر للإلكترونات (كما تفعل النباتات) فإن الأمر يتطلب إتقان أكسدة الإلكترونات المتعددة. لذلك تتطلع بعض الدول إلى إنشاء مصانع للوقود الشمسي تعمل في المناطق الحضرية الساحلية بحلول عام 2050 أين سيتم استخراج الهيدروجين والمنتجات الثانوية للمياه النقية التي تذهب مباشرة إلى نظام المياه البلدية. وهناك رؤية أخرى تتضمن إدماج جميع الهياكل البشرية التي تغطي سطح الأرض (أي الطرق والمركبات والمباني) للقيام بعملية التمثيل الضوئي بشكل أكثر كفاءة من النباتات¹⁹.

III. تقييم الفعالية الاقتصادية لصناعة الطاقة الشمسية

1.1.1. اقتصاديات الطاقة الشمسية

1.1.1.1. تطور صناعة الطاقة الشمسية: القدرات والإنتاج

أ- القدرات: قدرت قدرات العالم من الطاقات المتجددة سنة 2017 بـ 2179426 مغاوات (MW) وكانت نسبة الطاقة الشمسية منها 18٪²⁰، والجدول الموالي يبين تطور قدرات الطاقة الشمسية في مختلف مناطق العالم بين 2008 و 2017:

الجدول (02): تطور قدرات العالم من الطاقة الشمسية حسب مناطق العالم بين 2008 و 2017

المناطق	2008	2012	2017
قدرات العالم	MW 15210	MW 99539	MW 389572
أوروبا	69.3٪	74٪	29٪
آسيا	18.2٪	13.1٪	54٪
شمال أمريكا	10.1٪	9.5٪	12٪
إفريقيا	0.5٪	0.4٪	1.1٪
الشرق الأوسط	0.1٪	0.3٪	0.6٪
أمريكا اللاتينية والكاريبي	0.2٪	0.2٪	0.4٪

Source: Renewabale Energy Statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2018, pp40-45.

يبين الجدول تطور قدرات العالم من الطاقة الشمسية بين سنتي 2008 و 2017 وكذلك تطور قدرات كل منطقة على حدا، وقد سجلت آسيا ثم شمال أمريكا أفضل نسب التطورات أما أوروبا فقد سجلت انخفاضاً حاداً من 69٪ إلى 29٪ في الفترة المعنية والسبب قد يعود إلى هجرة الصناعة نحو مناطق أخرى أهمها آسيا (الهند والصين).

ب- الإنتاج: قدر الإنتاج العالمي من الطاقات المتجددة سنة 2017 بـ 5885504 جيغاوات ساعي (GWh) وكانت نسبة الطاقة الشمسية منها 5.6٪²¹ وهي نسبة ضعيفة مقارنة مع إمكانات العالم من الطاقة الشمسية، والجدول الموالي يبين تطور إنتاج الطاقة الشمسية في مختلف مناطق العالم بين 2008 و 2016:

الجدول (03): تطور الإنتاج العالمي من الطاقة الشمسية حسب مناطق العالم بين 2008 و 2016

المناطق	2008	2012	2016
الإنتاج العالمي	GWh 12847	GWh 100963	GWh 328710
أوروبا	58.4٪	71٪	34.3٪
آسيا	22.3٪	13.9٪	43٪
شمال أمريكا	16.7٪	10.1٪	16.3٪
إفريقيا	0.8٪	0.7٪	1.2٪
الشرق الأوسط	0.2٪	0.5٪	1٪
أمريكا اللاتينية والكاريبي	0.3٪	0.3٪	0.6٪

Source: Renewable Energy Statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2018, pp40-45.

يوضح الجدول تطور الإنتاج العالمي وحصص إنتاج مناطق العالم من الطاقة الشمسية، حيث سجلت الإحصائيات تضاعف الإنتاج بالنسبة لآسيا من 22٪ إلى 43٪ بين سنتي 2008 و 2016 في مقابل انخفاضه في أوروبا من 58٪ إلى 34٪ وثباته عند مستوى 16٪ بالنسبة لشمال أمريكا في نفس الفترة وهو ما يدل على اهتمام آسيا الجدي بصناعة الطاقة الشمسية بسبب عجز مواردها الأحفورية عن تغطية متطلباتها الصناعية.

III.2.1. التكلفة:

بأخذ التضخم بعين الاعتبار، كانت الخلية الشمسية تكلف 96 دولاراً لكل واط في منتصف السبعينيات، لكن التحسينات في العمليات والزيادة الكبيرة في الإنتاج أدت إلى انخفاض هذا الرقم إلى 68 سنتاً لكل واط عام 2016، ثم 45 سنتاً عام 2018²². إن أنظمة الخلايا الضوئية لا تستخدم الوقود الأحفوري، كما أن الوحدات النمطية المصنوعة بمواد ذات جودة عالية تدوم من 25 إلى 40 عاماً، وبالتالي فإن التكاليف الرأسمالية تشكل معظم تكلفة الطاقة الشمسية. وتقدر تكاليف التشغيل والصيانة لمصانع الطاقة الشمسية الجديدة في الولايات المتحدة مثلاً بنسبة 9٪ من تكلفة الطاقة الكهروضوئية، و 17٪ من تكلفة الطاقة الشمسية الحرارية. لقد أنشأت الحكومات العديد من الحوافز المالية لتشجيع استخدام الطاقة الشمسية، مثل برامج التعريفية الجمركية، والإعفاءات الضريبية ومعايير المحافظ المتجددة التي تمنح للمرافق نسبة معينة من الطاقة المتجددة بغض النظر عن تكاليف شراء الطاقة المتزايدة²³.

3.1.1.1. التسيير والحوافز:

إن الهدف الأساسي للسياسات التحفيزية للطاقة الكهروضوئية هو تنمية الصناعة -حتى عندما تكون تكلفة الطاقة الشمسية أعلى بكثير من الطاقات الأخرى- والهدف هو السماح للصناعة بتحقيق وفورات الحجم اللازمة للوصول إلى التكافؤ الشبكي أي مجازة كفاءة الشبكات التقليدية من الطاقة. ويتم تنفيذ سياسات في العديد من الدول لتعزيز استقلال الطاقة الشمسية وخلق فرص عمل عالية التقنية والحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وغالباً ما تستخدم ثلاث آليات للحوافز مجتمعة كإعانات استثمار²⁴:

- تقوم السلطات برد جزء من تكلفة تركيب النظام،
 - تشتري شركة الكهرباء الكهروضوئية من المنتج بموجب عقد متعدد السنوات بمعدل مضمون،
 - منح شهادات الطاقة المتجددة للطاقة الشمسية (SRECs).
- في تسعينات القرن الماضي، قدمت عدة بلدان حوافز لدعم النشر المبكر للنظم الكهروضوئية الشمسية. ففي عام 1995، بدأ برنامج الأسقف الشمسية الياباني 70 000، وتلقى في البداية إعانة بنسبة 50٪ من تكلفة النظم الكهروضوئية المركبة، وبدأ برنامج الأسقف الشمسية الألمانية 100000 في عام 1999، وتلاه قانون الطاقة المتجددة في عام 2000، والذي قدم تعريفة جمركية بقيمة 0.5 يورو/ كيلووات ساعة على الأنظمة المركبة لمدة 20 عامًا. وفي عام 1998، تجاوزت اليابان الولايات المتحدة باعتبارها السوق الرائدة، واحتلت ألمانيا المركز الثاني في عام 2001، وتفوقت على اليابان في عام 2003. منذ ذلك الحين ظلت الرائدة في السوق. لقد كان نمو سوق الألواح الكهروضوئية العالمية رائجاً منذ عام 2003، بمتوسط معدل نمو سنوي قدره 40٪ حتى عام 2009، وحوالي 135٪ في عام 2010. وفي الوقت نفسه، بدأت موجة جديدة من بناء مصانع الطاقة الشمسية الحرارية CSP في عام 2005 في إسبانيا والولايات المتحدة، مع تحقيق إنجازات أصغر في عدد قليل من البلدان الأخرى (الجزائر ومصر والمغرب)²⁵.

● أسعار التركيب:

في إصدار 2014 من خارطة طريق التكنولوجيا: تقرير الطاقة الشمسية الكهروضوئية، نشرت وكالة الطاقة الدولية (IEA) أسعاراً للأنظمة الكهروضوئية السكنية والتجارية والمرافق العامة في ثمانية أسواق رئيسية اعتباراً من عام 2013، ومع ذلك، فقد أفادت مبادرة (Sun Shot) الخاصة بإدارة الطاقة عن أسعار تثبيت أقل بكثير في الولايات المتحدة. وفي عام 2014، واصلت الأسعار انخفاضها في الولايات المتحدة إلى 1.80 دولار لكل وات. وتحدد مصادر أخرى نطاقات أسعار متشابهة تتراوح بين 1.70 دولار و 3.50 دولار لقطاعات السوق المختلفة في الولايات المتحدة وفي السوق الألماني الذي تم اختراقه بشدة حيث انخفضت أسعار أنظمة الأسطح السكنية والصغيرة التجارية التي تصل إلى 100 كيلوواط إلى 1.36 دولار لكل واط (1.24 يورو/ واط) بحلول نهاية عام 2014. وفي عام 2015، قدرت تكاليف أنظمة الأسطح السكنية الصغيرة في الولايات المتحدة بنحو 2.90 دولار لكل واط. وقدرت تكاليف نظم قياس المنفعة في الصين والهند بـ 1.00 دولار لكل واط²⁶.

4.1.1.1. التخزين:

أصبح تخزين الطاقة اليوم حاجة ضرورية بسبب مزاياه التالية²⁷:

- زيادة كثافة الطاقة،
- تمديد دورة حياة المنتجات والأنظمة،

- تقليل زمن دورة الشحن والتفريغ،
- ضمان التشغيل الآمن،
- تخفيض التكاليف.

إن تخزين الحرارة التي يتم جمعها من الشمس قبل توليد الكهرباء أكثر كفاءة بكثير في حدود 95٪ إلى 98٪ من تخزين الكهرباء. التخزين الحراري هو عنصر حاسم في تحقيق مستويات عالية من استغلال تقنيات الطاقة الشمسية، ولديه تطبيقات مهمة مثل تسخين المياه بالطاقة الشمسية، والتدفئة الشمسية والتبريد، وحرارة العمليات الشمسية، والطاقة الشمسية الحرارية، وحتى تصنيع الوقود الشمسي (الذي يشكل نوعاً محدداً من الطاقة الشمسية المخزنة القابلة للنقل)²⁸. وهناك عدة طرق لتخزين الحرارة التي يتم جمعها من الشمس: طريقة الحرارة المعقولة التي تعمل عن طريق تعديل درجة حرارة بعض الوسائط، وطريقة الحرارة الكامنة حيث يتم تغيير حالة بعض الوسائط - من الصلبة إلى السائلة، أو من الحالات السائلة إلى الغازية - عندما يتم تخزين الحرارة وفي الاتجاه المعاكس عند استخراج الحرارة. يمكن أن تكون وسيلة التخزين هي المنتج النهائي المرغوب، مثل الماء الساخن لأغراض صحية أو أغراض أخرى، أو من خلال وسيط محدد يتم إدخاله في النظام الشمسي لغرض التخزين.²⁹

2.111. الحدود الاقتصادية لصناعة الطاقة الشمسية

تواجه الصناعة الشمسية العديد من العوائق الاقتصادية التي تحد من انتشارها على نطاق واسع وبالتالي الاستفادة من اقتصاديات الحجم:

III.2.1. التكلفة:

دائمًا ما تكون التكلفة المبدئية لشراء وتركيب الألواح الشمسية العائق الأول حيث تعتبر تكلفة تركيب الألواح الشمسية مرتفعة نسبيًا رغم برامج الدعم والمبادرات الضريبية وحوافز التخفيض الممنوحة من قبل الحكومات للترويج لاستخدام الألواح الشمسية، إلا أن العالم مازال متأخرًا في الاستخدام الكامل والفعال للطاقة الشمسية، وقد يستغرق الأمر 10 إلى 15 عامًا قبل أن يتحقق التعادل في الاستثمارات الأولية بالنسبة لمقدار فترة الاسترداد، حيث تكلف الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية في جنوب أوروبا بين 5 إلى 6 سنوات لكل كيلووات ساعي وبإضافة تكاليف النقل التي تتجاوز 3 سنتات تصبح هذه الطاقة غير مجدية اقتصاديًا من حيث التكاليف في مقابل تكاليف النقل التنافسية للطاقة الأحفورية، لكن مع ظهور تكنولوجيات جديدة، من المرجح أن تنخفض تكلفة الألواح الشمسية ومن ثم يمكن أن نرى زيادة في استخدام الخلايا الشمسية لتوليد الكهرباء.³⁰

2.2.111 المواد وتقنيات التصنيع:

إن العائق الرئيسي للطاقة الشمسية هو الاقتصاد حيث أن المواد الأساسية التي تصنع منها الخلايا الشمسية مكلفة للغاية لأنها نادرة نسبياً في القشرة الأرضية مثل التيلوريد والغاليوم والإنديوم ، وحتى مع التقدم في علوم المواد وطرق التصنيع فإن التقنيات الأساسية باهظة التكلفة إلى حد كبير. هناك أنواع أرخص من الألواح الشمسية المستخدمة في الإلكترونيات الاستهلاكية ولكنها لا تولد الكثير من الطاقة مثل الخلايا الضوئية الكلاسيكية. وبعض الاكتشافات الحديثة تسمح باستخدام المزيد من الطيف الشمسي لتوليد الطاقة، ولكن هذه المواد التجريبية تستخدم نفس طريقة نمو البلورات المكلفة، لذلك لا تزال تحسينات التصنيع على بعد عقود.³¹

إذن لاتزال الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية أكثر تكلفة من أشكال الكهرباء الأخرى في أغلب مناطق العالم، وذلك بسبب العرض العالمي المنخفض من المعادن الأرضية النادرة المستخدمة عادة لتصنيع الطاقة الكهروضوئية في السنوات الأخيرة، وتنتج الصين 60٪ من الألواح الشمسية المستخدمة عالمياً وتقدم 97٪ من معادن الأرض النادرة في العالم وقد فرضت حصص إنتاج وتصدير مما أدى إلى ارتفاع أسعار المعادن الأرضية النادرة التي تساهم في جودة الألواح والخلايا الشمسية بشل أساسي كما تحتاج أبراج النقل باهظة التكلفة إلى نقل الطاقة البعيدة إلى المراكز الحضرية التي تستهلك الطاقة وهو ما يؤثر سلباً على تكاليف الصناعة ككل.³²

3.2.3.2.iii التخزين:

الطاقة الشمسية مرتبطة بالتوزيع الجغرافي غير المتكافئ لمواردها وهو ما يطرح ذات الاشكالية بالنسبة للطاقات الأحفورية وهي مشكل الندرة، كما أنها مقيدة بمشاكل التقطع بسبب عوامل الطقس وساعات النهار المحدودة وهو ما يؤثر على فكرة وفرتها المطلقة، لذلك يجري تطوير تكنولوجيا تخزين الطاقة الشمسية للتخفيف من حدة هذه المشكلة، رغم أن التخزين المتكامل والبنية التحتية للنقل أيضاً يظلان مكلفين، وإنشاء تركيبات للطاقة الشمسية في أماكن استهلاكها يواجه إشكالية المساحات الكافية³³. وتتركز جميع القدرات العالمية لتخزين الكهرباء في تخزين ضخ المياه، منها حوالي 150 جيغاوات في الخدمة ونحو 50 جيغاوات قيد الإنشاء. يتم ضخ المياه من جسم سفلي من الماء إلى الأعلى بواسطة الكهرباء، وإرسالها إلى التوربينات لتوليد الكهرباء. وتتضمن المحطات المائية التي يتم ضخها: أنظمة هيدروليكية أو مائية طبيعية، وأنظمة مائية مصطنعة تماماً ومستقلة عن الأنهار الطبيعية. وتتراوح كفاءة رحلة الكهرباء من 70٪ إلى 85٪ وهي أعلى في المصانع الحديثة، ومع ذلك، فإن كفاءة 80٪ تعني أن 100 ميغاوات/ساعة من المخرجات الكهربائية تتطلب أولاً استغلال 125 ميغاوات ساعة من الشبكة التقليدية للكهرباء³⁴. بينما تخزين الحرارة التي يتم جمعها من الشمس قبل توليد الكهرباء أكثر كفاءة بكثير في حدود 95٪ إلى 98٪ من تخزين الكهرباء.

4.2.3.2.iii الكفاءة الطاقوية:

خلال العقود القليلة الماضية، كانت محطات توليد الطاقة الشمسية تعمل تحت رعاية الحكومات وقد أثبتت أن توليد الكهرباء من طاقة الشمس أمر ممكن من الناحية التقنية ولكنه غير مجد اقتصادياً، على الأقل حتى الآن. تقع هذه المحطات في صحاري قاحلة قليلة الكثافة، والمطلوب مساحات كبيرة من الأراضي الرخيصة تصل إلى عشرات الآلاف من الكيلومترات المربعة لاستيعاب مراكز توليد الطاقة عن طريق الألواح الشمسية والمرايا، وفي المقابل فإن المحطة تحتوي على مئات الألواح لكن كفاءة أداء اللوحة منخفضة تتراوح بين 15٪ إلى 22٪ من التحويل الطاقوي حيث أن لوحة شمسية بمساحة 1م² تنتج 150 وات إلى 220 وات حسب جودة المواد المستخدمة وفي الظروف المثلى (يوم مشمس درجة حرارته حوالي 25 درجة مئوية) وبمقدار استقبال طاقي 1000 وات من الشمس، أي أن استقبال 1000 وات من الشمس على 1م² ينتج فقط 150 وات إلى 220 وات من الطاقة الكهربائية³⁵. ولتحقيق أقصى قدر من الكفاءة يجب أن تكون الألواح الشمسية متعامدة مع الشمس وتتطلب نظام محاذاة ميكانيكياً لمتابعة الشمس عبر السماء لذلك تعتبر صيانة أنظمة التوجيه باهظة للغاية بالنسبة للمحطات الصغيرة، أما بالنسبة إلى التركيبات الكبيرة، فالتكلفة تكون استثنائية³⁶. وعلى أساس التكلفة لكل واط، تعد الطاقة الشمسية أغلى طريقة لتوليد الكهرباء بالمقارنة مع الطاقة المائية والفحم والطاقة النووية وطاقة الرياح، وهذا هو سبب بناء محطات توليد الطاقة الشمسية التجارية. وحتى مع أحدث التطورات في المواد شبه الموصلة، لا تزال خلية شمسية واحدة تنتج كمية قليلة نسبياً من الكهرباء.

وهناك حاجة أيضا إلى مساحة كبيرة لجعل التركيبات جديرة بالاهتمام³⁷ ، فتغطية سطح كامل بألواح شمسية لا يوفر سوى الطاقة الكافية لأسرة واحدة فكيف سيكون الحال بالنسبة للعمارات السكنية والشركات الكبيرة. لذلك فالتقدم التكنولوجي ضروري من أجل جعل توليد الطاقة الشمسية أكثر كفاءة، أصغر في المساحات المستغلة وبأسعار تنافسية.

III.5.2. الاعتمادية والموثوقية:

لا تولد الألواح الشمسية الكهرباء إلا بوجود الشمس المشرقة في السماء حيث يتم توليد الطاقة الشمسية بكفاءة نسبية فقط خلال ساعات النهار وعندما تكون السماء صافية وعند درجات حرارة معتدلة تفوق 20 درجة مئوية، وتخفض السماء الملبدة بالغيوم وفصل الشتاء بشدة من إنتاج الكهرباء. لسوء الحظ، لا يتوافق هذا النوع من إمدادات الطاقة غير المنتسقة مع نمط الحياة الحديث، فالمستهلكون بحاجة دائمة ومستمرة إلى الطاقة بعد غروب الشمس وأثناء الطقس القاسي.

يمكن لبنوك تخزين البطاريات عالية التكلفة توفير الطاقة عندما تكون الألواح الشمسية متوقفة ولكنها عالية التكلفة كما تحتاج إلى قدرة كبيرة على تلبية الطلب المتوقع. وفي الأيام الغائمة قد لا تستطيع الألواح الشمسية إعادة شحن احتياطي الطاقة بالكامل. إضافة إلى ذلك قدم مجموعة من العلماء الروس سنة 2015 دراسة مهمة حول التغيرات في عدد البقع الشمسية على سطح الشمس ذات البنية الدورية التي تتغير كل 11 عامًا وهي تؤثر مباشرة على بيئة الأرض، وأكدت الدراسة أن نشاط التعرض للشمس سوف ينخفض وسوف تنخفض درجات الحرارة وتدخل الأرض في عصر جليدي مصغر جديد -كما حدث في نهاية القرن السابع عشر- ما بين 2030 و2040³⁸. لذلك تعمل هذه التبعية للطقس على تنزيل أنظمة الطاقة الشمسية لتكون مصادر طاقة تكميلية، ولهذه الأسباب، غالباً ما تُعتبر الطاقة الشمسية مصدرًا ثانويًا للطاقة³⁹.

وإضافة إلى الاعتمادية العالية على ظروف الطقس، يعتمد ويرتبط نمو صناعة الطاقة الشمسية منذ القرن الماضي وإلى يومنا هذا بسوق الطاقات الأحفورية وأهمها الغاز الطبيعي والنفط، حيث تؤثر أسعار هاذين المصدرين وخاصة النفط بشدة على وتيرة نمو صناعة الطاقة الشمسية من خلال علاقة عكسية مع أسعار هذه الطاقات. ظهرت تكنولوجيا الطاقة الشمسية في القرن الثامن عشر أي قبل اكتشاف الغاز والبتترول بحوالي قرن وبدأت بالتطور التدريجي كصناعة ناشئة في مقابل صناعة الطاقة من الفحم الحجري التي كانت أكثر كفاءة وتنافسية بكثير، وبعد اكتشاف الغاز الطبيعي في القرن التاسع عشر توقف نمو الصناعة الشمسية وعاد النمو بطيئاً بعد عقود. وبعد اكتشاف النفط (أول معمل في روسيا 1860) توقفت صناعة الطاقة الشمسية عن النمو مجدداً ثم عادت في أواخر القرن التاسع عشر إلى الواجهة بعد الأزمات النفطية مثل: أزمة 1973 وأزمة 1986 وأزمة 1997 التي أثرت على أسعار النفط سلباً وعلى نمو صناعة الطاقة الشمسية إيجاباً، أما من سنة 2006 إلى سنة 2013 فقد سجلت أعلى مستويات لسعر النفط في التاريخ وفي المقابل سجلت صناعة الطاقة الشمسية ركوداً وتراجعا كبيرا في الانتاج والتدفقات المالية في معظم مناطق العالم باستثناء آسيا. إن درجة الارتباط العالية للطاقة الشمسية بسوق النفط والغاز يمكن أن تفسر بالأسباب الرئيسية التالية:

- السبب الأول: الكفاءة الاستخدامية العالية والتكاليف المنخفضة لهذه المصادر الطاقوية التقليدية،
- السبب الثاني: عدم صحة التقديرات الأكثر تشاؤماً بمحدودية هذه المصادر ونفادها في المستقبل،
- السبب الثالث: ضعف الكفاءة الطاقوية لتركيبات الطاقة الشمسية.

IV. تقييم الفعالية البيئية لصناعة الطاقة الشمسية

لا تنتج ألواح وخلايا الطاقة الشمسية الغازات الدفيئة، ولا تتطلب الكثير من المياه، ورغم كون الألواح الشمسية منتجات صديقة للبيئة إلى حد ما، إلا أن صناعة الطاقة الشمسية ككل تواجه حدوداً بيئية لا تستطيع تخطيها على الأقل في المستقبل القريب، ويتعلق أهمها بدورة حياة المنتج، استهلاك الماء، استعمال المساحات والمواد المضرة بالبيئة.

1.IV. تحليل دورة الحياة:

عند تقييم أي تقنية لتحقيق الكفاءة والسلامة واستهلاك الطاقة والأثر البيئي وأحدث مقاييس الأداء، من الشائع فقط النظر في كيفية أداء تكنولوجيا الاستخدام والتصنيع. لكن حسب مقتضيات التنمية المستدامة اليوم أصبح من الأهمية بما كان النظر في دورة حياتها بالكامل قبل رسم أي خطط واتخاذ أي قرارات، فصحة الإنسان والتأثيرات البيئية التي لا تعتبر تقليدية بل هي أمور في غاية الأهمية عند اختيار منتج أو عملية. حالياً لا يوجد نموذج معياري لتحليل دورة الحياة، ولكن معظم النماذج توفر معلومات عن طريقة توافق التأثيرات الكاملة لخيارات الموارد والتكنولوجيا وهذا يشمل النظر إلى: تأثيرات المنبع مثل الحصول على المواد الخام والتصنيع والشحن؛ وتأثيرات المصب مثل الإزالة وإدارة النفايات؛ تبعات استخدام المنتج كالصيانة واستهلاك الطاقة؛ وكل المدخلات والمخرجات المرتبطة بكل مرحلة إلى غاية التخلص النهائي من المنتج⁴⁰.

في حين لا توجد انبعاثات مسببة لظاهرة الاحتباس الحراري بالنسبة لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية، إلا أن هناك انبعاثات مرتبطة بالمراحل الأخرى من دورة حياة تكنولوجيا الطاقة الشمسية ويشمل ذلك التصنيع، نقل المواد، التركيب، الصيانة، إيقاف التشغيل والتفكيك. وتتراوح معظم تقديرات انبعاثات دورة الحياة للأنظمة الكهروضوئية (PV) بين 0.07 و 0.18 رطل من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلو واط ساعي، بينما تتراوح معظم التقديرات لتركيز الطاقة الشمسية (CSP) من 0.08 إلى 0.2 رطل من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلو واط ساعي، وفي كلتا الحالتين، هذا أقل من معدلات الانبعاثات أثناء دورة حياة الغاز الطبيعي (2-0.6 رطل) والفحم (1.4-3.6 رطل)⁴¹.

وتتمتع الخلايا الكهروضوئية بعمر افتراضي قصير يتراوح بين 15 و 25 سنة وهذا يعني نفائات أكثر، وبما أنها تتكون من مواد خطرة، فأكثر تهديد للصحة العامة أن التخلص منها يولد أشكالاً أخرى من النفائات إذا لم يتم التخلص من الخلايا بشكل صحيح في نهاية حياتها، حيث يمكن للمادة السامة أو المسرطنة أن تتسرب للمياه الجوفية إذا بقيت الخلايا الكهروضوئية المتقاعدة في مقابل القمامة. وبالتالي فالتخلص السليم من الألواح الكهروضوئية أمر بالغ الأهمية لتخفيف تأثيرها الشامل على الصحة والسلامة البيئية⁴².

2.IV. استهلاك الماء:

لا تستخدم الخلايا الشمسية الكهروضوئية الماء لتوليد الكهرباء، ومع ذلك وكما هو الحال في جميع عمليات التصنيع، يتم استخدام المياه لتصنيع مكونات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وفي عمليات التنظيف والصيانة. وتتطلب محطات الطاقة الشمسية الحرارية المركزة (CSP) مثل جميع المحطات الكهربائية الحرارية، الماء للتبريد حيث يعتمد استخدام المياه على تصميم المصنع ومكان المصنع ونوع نظام التبريد.

تستهلك محطات الطاقة الشمسية المركزة التي تستخدم تكنولوجيا إعادة التدوير الرطب مع أبراج التبريد ما بين 2700 لتر و 3000 لتر من الماء لكل ميغاوات في الساعة من الكهرباء المنتجة كما أن محطات الطاقة الحرارية الشمسية التي تستخدم تكنولوجيا التبريد مرة واحدة لديها مستويات أعلى من استهلاك المياه، ويمكن لتقنية التبريد الجاف أن تقلل من استخدام المياه في محطات الطاقة الشمسية المركزة بنسبة 90٪ تقريباً إلا أن هذه

الوفورات المائية تعني تكاليف أعلى وكفاءة أقل. بالإضافة إلى ذلك، فإن تكنولوجيا التبريد الجاف أقل فعالية في درجات الحرارة فوق 100 درجة فهرنهايت أي 37.8 درجة مئوية⁴³.

وفي كل الأحوال فإن النسبة الأكبر من استعمال الماء في التركيبات الشمسية تعود إلى التنظيف الدوري للخلايا والألواح الشمسية وإزالة الغبار لزيادة كفاءتها وفعاليتها الطاقوية.

3.3.IV استعمال الأرض:

اعتمادًا على موقعها، يمكن لمرافق الطاقة الشمسية الأكبر حجمًا أن تثير الكثير من المخاوف بشأن تدهور الأراضي وهجرة السكان. ويختلف إجمالي متطلبات مساحة الأرض للتركيبات الشمسية باختلاف التقنيات المستخدمة، تضاريس الموقع، وكثافة الموارد الشمسية. وتتراوح تقديرات الأنظمة الكهروضوئية على حسب المرافق من 14000 م² إلى 42000 م² لكل ميغاوات، في حين تتراوح التقديرات الخاصة بمرافق الطاقة الشمسية المركزة ما بين 16000 م² و 70000 م² لكل ميغاوات. وعلى عكس مرافق الرياح، هناك إمكانيات أقل لمشاريع الطاقة الشمسية لتقاسم الأراضي مع الاستخدامات الزراعية، ومع ذلك، يمكن التقليل إلى أدنى حد ممكن من التأثيرات الأرضية الناجمة عن الأنظمة الشمسية على مستوى المرافق، وذلك عن طريق تحديد مراكزها في مواقع أقل جودة مثل الصحاري أو الحقول المربعة أو أراضي التعدين المهجورة أو ممرات النقل الموجودة⁴⁴، كذلك يمكن الاستفادة من ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية صغيرة الحجم التي لا تتعدى مساحتها النمطية 1 م² والتي يمكن تركيبها على المنازل أو المباني التجارية لأن تأثيرها ضئيل على استخدام الأراضي.

4.IV المواد الخطرة:

تتضمن عملية تصنيع الخلايا الكهروضوئية بعض المواد الخطرة التي يستخدم معظمها لتنظيف وتطهير أسطح أشباه الموصلات، وهذه المواد الكيميائية مشابهة لتلك المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات العامة وهي: حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك وحمض النيتريك وفلوريد الهيدروجين وثلاثي كلورو الإيثان والأسيتون. وتتناسب كمية ونوع المواد الكيميائية المستخدمة طرديًا مع نوع الخلية ودرجة فعاليتها الطاقوية، ودرجة التنظيف المطلوبة، وحجم رقاقة السيليكون أين يواجه العمال مخاطر مرتبطة باستنشاق غبار السيليكون⁴⁵.

تحتوي الخلايا الكهروضوئية ذات الأغشية الرقيقة على عدد من المواد السامة أكثر من تلك المستخدمة في الخلايا السليكونية الضوئية التقليدية، بما في ذلك آرسينيد الغاليوم والنحاس، ديسيلينيد الإنديوم والغاليوم وتيلورايد الكاديوم، التي يجب التعامل معها والتخلص منها بشكل صحيح، لأنها يمكن أن تشكل تهديدات خطيرة على البيئة والصحة العامة⁴⁶. ونظرًا لندرتها وقيمتها الوظيفية والاقتصادية العالية، تمتلك الشركات المصنعة حافزًا ماليًا قويًا لضمان إعادة تدوير هذه المواد عالية القيمة والتي نادرًا ما يتم إعادة تدويرها بدلاً من التخلص منها.

V. الخلاصة:

يعتقد الكثيرون أن الطاقة الشمسية هي الحل المثالي لمشاكل الطاقة والبيئة لأنها طاقة متجددة، لكن تحليلنا النقدي السابق يظهر عكس هذا التصور ويوفر مجموعة من النتائج المبررة التي لا يمكن إغفالها عند الحديث عن الطاقة الشمسية وقبل الإشادة المفرطة بمزاياها دون التطرق لحدودها.

1.V استنتاجات البحث: ومن أهم النتائج المتوصل لها نذكر ما يلي:

- تعد تكنولوجيا الطاقة الشمسية الأكثر كلفة لتوليد الكهرباء بالمقارنة مع الطاقة المائية والفحم والطاقة النووية وطاقة الرياح، وحتى مع أحدث التطورات في المواد شبه الموصلة، لا تزال خلية

- شمسية واحدة تنتج مقداراً صغيراً نسبياً من الكهرباء، إذن فالعائق الرئيسي لانتشار الطاقة الشمسية هو الاقتصاد حيث أن المواد الأساسية التي تصنع منها الخلايا الشمسية مكلفة للغاية لأنها نادرة نسبياً في القشرة الأرضية، وحتى مع التقدم في علوم المواد وطرق التصنيع فإن التقنيات الأساسية باهظة التكلفة إلى حد كبير، وهو ما يبقى صناعة الطاقة الشمسية صناعة ناشئة ذات تكاليف رأسمالية ضخمة ودرجة مخاطرة عالية حتى بالنسبة لأغنى الدول ;
- تعمل التبعية للطقس على تنزيل الطاقة الشمسية إلى مصدر طاقة تكميلي أو مصدر ثانوي للطاقة، حيث لا يتوافق نوع الإمدادات غير المتسق للطاقة الشمسية مع نمط الحياة الحديث، فالمستهلكون بحاجة مستمرة إلى الطاقة بعد غروب الشمس وأثناء الطقس القاسي ;
- ترتبط صناعة الطاقة الشمسية بشكل واضح بالتغيرات في سوق الطاقة الأحفورية وأهمها الغاز والنفط، ويمكن تفسير درجة الارتباط العالية لصناعة الطاقة الشمسية بسوق النفط والغاز بالأسباب الرئيسية التالية:
- السبب الأول: الكفاءة الاستخدامية العالية والتكاليف المنخفضة لهذه المصادر الطاقوية التقليدية،
 - السبب الثاني: عدم صحة التقديرات الأكثر تشاؤماً بمحدودية هذه المصادر ونفاذها في المستقبل،
 - السبب الثالث: ضعف الكفاءة الطاقوية لتركيبات الطاقة الشمسية.
- على الرغم من غياب غازات دفيئة وانبعاثات مسببة لظاهرة الاحتباس الحراري بالنسبة لتوليد الكهرباء والحرارة من الطاقة الشمسية، إلا أن هناك انبعاثات مرتبطة بالمراحل الأخرى من دورة حياة تكنولوجيا الطاقة الشمسية ويشمل ذلك التصنيع، نقل المواد، التركيب، الصيانة، إيقاف التشغيل والتفكيك;
- على عكس مرافق وتركيبات الرياح، هناك إمكانيات أقل لمشاريع الطاقة الشمسية لتقاسم الأراضي مع الاستخدامات الزراعية أو أي استخدامات أخرى، وحتى تركيب الخلايا الشمسية على أسطح البنايات لا يوفر الطاقة الكافية لتلبية احتياجات تلك البنايات;
- تحتوي الخلايا الكهروضوئية ذات الأغشية الرقيقة على عدد من المواد السامة أكثر من تلك المستخدمة في الخلايا السليكونية الضوئية التقليدية والتي يجب التعامل معها بحذر والتخلص منها بشكل صحيح وآمن، لأنها يمكن أن تشكل تهديدات خطيرة على البيئة والصحة العامة.
- واعتماداً على كل النتائج السابقة نستطيع الجزم بتحقيق فرضية الدراسة القائلة بعدم توفر صناعة الطاقة الشمسية على معظم معايير الفعالية الاقتصادية ومعايير الفعالية البيئية التي تمكن من اعتبارها صناعة مستدامة على الأقل في المدى القصير والمتوسط.
- 2.7. مقترحات البحث: وأهم ما يمكن أن نذكره الخبراء نوجزه في النقاط التالية:
- ثمين الاكتشافات الحديثة التي تسمح باستخدام المزيد من الطيف الشمسي لتوليد الطاقة وربطها بالعلوم التطبيقية التي ستتحول إلى تحسينات في مجال التصنيع ولو بعد عقود ;

- تطوير تكنولوجيا تخزين الطاقة الشمسية والاستثمار في بنوك تخزين البطاريات حيث أن التخزين المتكامل والبنية التحتية للنقل لايزالان مكلفين، والتركيز على إنشاء تركيبات للطاقة الشمسية في أماكن استهلاكها ;
- تكثيف الأبحاث في مجال المواد شبه الموصلة لجعل توليد الطاقة الشمسية أنظف أكثر كفاءة وأماناً، أصغر في المساحات المستغلة وبأسعار تنافسية ;
- العمل على إطالة العمر الافتراضي للخلايا الكهروضوئية للتقليل من نفايات نهاية دورة الحياة;
- استعمال تقنية التبريد الجاف وتطويرها لأنها تقلل من استخدام المياه في محطات الطاقة الشمسية الحرارية بنسبة 90٪ تقريباً;
- إيجاد حلول ابتكارية لاستعمال الماء في التركيبات الشمسية فيما يتعلق بالتنظيف الدوري للخلايا والألواح الشمسية وإزالة الغبار لزيادة كفاءتها وفعاليتها الطاقوية;
- التقليل إلى أدنى حد ممكن من التأثيرات الأرضية الناجمة عن الأنظمة الشمسية على مستوى المرافق، وذلك عن طريق تحديد مراكزها في مواقع أقل جودة مثل الصحاري أو الحقول المربعة أو أراضي التعدين المهجورة أو ممرات النقل الموجودة.

3.3.V. آفاق البحث:

في ظل مقتضيات التنمية المستدامة المفروضة على كل الصناعات في العالم فإنه يتعين على صناعة الطاقة الشمسية، وهي طاقة متجددة، أن تركز أبحاثها المستقبلية على تطوير تكنولوجيا الألواح والخلايا الشمسية لتستجيب لمعايير الاستدامة (المواد المستعملة، دورة الحياة، استهلاك الماء، استعمال المساحات للتركيبات، الانبعاثات، التخزين، النقل، التكاليف والتسعير، تأثير التغيرات المناخية، المسؤولية الاجتماعية...).

الإحالات والمراجع:

- ¹ Solar Energy, The NEED project 2018, Intermediate Energy Infobook, p23, from: <http://www.NEED.org>
- ² Solar power, from: <http://en.wikipedia.org>
- ³ The future of solar energy, Leading report 2015, Massachusetts Institute of Technology Initiative (MITEI), 2015.
- ⁴ Solar Energy, International Energy Agency, from: <http://www.iea.org>
- ⁵ Solar Energy, The NEED project 2018, Intermediate Energy Infobook, p23, from: <http://www.NEED.org>
- ⁶ Tayyebatossadat P. Aghaei, Solar Electric and Solar thermal Energy: A Summary of Current Technologies, Global Energy Network Institute (GENI), 2014, pp18-24.
- ⁷ Solar power, op.cit.
- ⁸ The future of solar energy, Leading report 2015, Massachusetts Institute of Technology Initiative (MITEI), 2015.
- ⁹ Solar Energy, International Energy Agency, op.cit.
- ¹⁰ Solar power, op.cit.
- ¹¹ Voir: -Solar Energy, The NEED project 2018, op.cit. p23.
- Tayyebatossadat P. Aghaei, op.cit., p7.
-Solar power, op.cit.
- ¹² Maria van der Hoeven, Solar Energy Perspectives, International Energy Agency, OECD, Paris, 2011, p47.

- ¹³ Idem.
- ¹⁴ A. Renuka Prasad, Sumer Singh et Harish Nagar, Importance of Solar Energy Technologies For Development of Rural Area in India, Science and Technology Revue, Issue 6, Volume 3, IJSRST, 2017, p588.
- ¹⁵ Maria van der Hoeven, Ibid., p123.
- ¹⁶ A. Renuka Prasad, Sumer Singh et Harish Nagar, op.cit., p590.
- ¹⁷ Maria van der Hoeven, op.cit., p69.
- ¹⁸ Ibid., p102.
- ¹⁹ Solar power, op.cit.
- ²⁰ Renewable Energy Statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2018, p2.
- ²¹ Ibid., p3.
- ²² Solar power, op.cit.
- ²³ Idem.
- ²⁴ Voir: -Daniele Meniti, Angel A. Bayod-Rujula et al, Recent Developments of Photovoltaics Integrated with Battery Storage Systems and related Feed-in Tariff Policies: A Review, Solar Energy and PV Systems in Smart Cities, International Journal of Photoenergy, Hindawi, 2017, pp4-5.
- Solar power, op.cit.
- ²⁵ Maria van der Hoeven, op.cit., p25.
- ²⁶ Solar power, op.cit.
- ²⁷ Dan Ton, Georgianne H.Peek et al, Solar Energy Grid Integration Systems: Energy Storage, Program Concept Paper, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2008, p16.
- ²⁸ A. Renuka Prasad, Sumer Singh et Harish Nagar, op.cit., p595.
- ²⁹ Maria van der Hoeven, op.cit., p138.
- ³⁰ Ralph Nader, Disadvantages of Solar Energy, from: <http://www.conserve.energy.future.com>
- ³¹ Disadvantages of Solar Power- why solar power has limited popularity, from: <http://www.solarpoweristhefuture.com>
- ³² Center For Climate and Energy Solutions, from: <http://www.c2es.org>
- ³³ Idem.
- ³⁴ Maria van der Hoeven, op.cit., p53.
- ³⁵ How efficient are Solar Panel, 2018, from: <http://www.greenmatch.co.UK>
- ³⁶ Ralph Nader, Disadvantages of Solar Energy, from: <http://www.conserve.energy.future.com>
- ³⁷ Disadvantages of Solar Power- why solar power has limited popularity, from: <http://www.solarpoweristhefuture.com>
- ³⁸ Helena Popova, Diminishing solar activity may bring new ice age by 2030, <http://www.astronomynow.com>
- ³⁹ Disadvantages of Solar Power- why solar power has limited popularity, op.cit.
- ⁴⁰ Maxwell Micali, Life Cycle Considerations of Solar Energy Technologies, WISE Intern, Yale University, 2011, p20, from: <http://www.wiseintern.org>
- ⁴¹ Environmental Impacts of Solar Power, Union of Concerned Scientists, from: <https://www.ucsusa.org>
- ⁴² Maxwell Micali, op.cit., p23.
- ⁴³ 134Sujith Ravi, David B.Lobelle and Christopher B.Field, Tradeoffs and Synergies between Biofuel Production and Large Solar Infrastructure in Deserts, Environmental Science and Technology, ACS Publications, 2014, pp3025-3026.
- ⁴⁴ Environmental Impacts of Solar Power, op.cit.
- ⁴⁵ Idem.
- ⁴⁶ Idem.