الطاقة الشمسية الصديقة للبيئة
دراسة استشرافية

شيشة نوال[1*]

[1] جامعة الجيلالي بونعامة- خميس مليانة (الجزائر)

The Environmentally Friendly Solar Energy Prospective Study

Chicha Nawel [1,*]

[1] Djilali Bounaama university, Khemis Miliana (Algeria)

تاريخ الاستلام: 2022/11/05؛ **تاريخ المراجعة**: 2022/12/28؛ **تاريخ القبول**: 2023/06/15

ملخص:

في سنة 2030 تنتهي صلاحية اللوحات الشمسية التي دخلت الخدمة في سنة 2000 ، مما أثار قلق العديد من المنظمات والهيئات الدولية عن مصير أطنان اللوحات التي تكب في مفارغ الرمي، ومن هنا تهدف هذه الدراسة الى التعرف على حجم الزيادة في انتاج الطاقات الشمسية للدول الأكثر استخداما للطاقات المتجددة، و إلى الكشف عن نفايات الألواح الشمسية المستخدمة في انتاج الطاقة الكهروضوئية. توصلت الدراسة إلى أن معالجة نفايات الطاقة الشمسية يحتاج إلى تبني استراتيجية وطنية ودولية، لأن النفايات لا تسبب أضرارا لمن يستخدمها أو ينتجها فقط، وانما تأثر على الدول الفقيرة التي ترمى فيها، فالمعادن الصلبة الموجود في النفايات تستطيع التسرب للمياه الجوفية مما يشكل خطرا على البيئة.

الكلمات المفتاح : الطاقات المتجددة، الألواح الشمسية، النفايات

تصنيف JEL : Q42, Q47, Q53

Abstract:

In 2030, the validity of the solar panels that entered service in the 2000 raised the concern of many international organizations and bodies about what will happen to the tons of solar panels that are dumped every year. The purpose of this study is to determine how much of an increase there has been in solar energy production in the most popular countries for photovoltaic energy production. It aims also to identify the waste solar panels that have accumulated over the years. Because solar energy waste affects developing nations as much as it does its users and producers, the study found that a national and international approach is necessary for its disposal.

Keywords: renewable energies, solar panels, waste

Jel Classification Codes : Q42, Q47, Q53

* شيشة نوال: الإيميل: n.chicha@univ-dbkm.dz

I- تمهيد :

لما كان النمو الاقتصادي والرفاه الاجتماعي يفرضان الزيادة في الطلب على الطاقات باستمرار، ادى ذلك إلى الافراط في استهلاك الموارد من مياه ونفط وغاز وخشب وفحم ومن كل ما يستخرج من سطح الأرض وباطنها. إن تدهور البيئة بقي على علاقة طردية باستهلاك الموارد، مما دفع بالمنظمات المجتمعية والهيئات الدولية إلى دق ناقوس الخطر في وجه التهديدات التي مست أمن البشرية من كل النواحي وفي كل مكان في الأرض، و الناتجة عن الاحتباس الحراري، تفاقم ندرة الموارد، تغير في خصائص التربة وتضرر الحياة على الأرض. لهذا، لم يعد انتقال الدول إلى استخدام الطاقات المتجددة مسألة اختيار، بل هو حتمية والتزام منها في ترشيد استخدام الطاقة والبحث عن الطاقات البديلة.

تعد الألواح الشمسية مصدرا مهما للطاقة المتجددة، يتزايد عليها الطلب سنة بعد سنة، ونظرا للتطور التكنولوجي الذي زاد من كفاءتها، وقلص من تكلفتها، شُكلت منها مزارع ضخمة لانتاج تيارات كهربائية قوّية تلبي مختلف حاجات المجتمع في مختلف القطاعات وعلى وجه الخصوص الاقتصاد والزراعة، كما صارت الطاقة الأوسع استخداما في المدن والأرياف، تستخدم في الاضاءة والتدفئة وتصنع منها بطاريات للسيارات بدل الوقود الأحفوري.

حسب الوكالة الدولية للطاقة المتجددة انه في سنة 2018، أن صناعة الطاقة المتجددة أنتجت 250ططى لناهتتء ألف طن متري من نفايات الألواح الشمسية (Folk، 2020)، وقد تصل الكمية إلى 78 مليون طن على مستوى العالم بحدود عام 2050 (أبو صوف، 2021).

الإشكالية:

في سنة 2030 تنتهي صلاحية اللوحات الشمسية التي دخلت الخدمة في سنة 2000 مما أثار قلق العديد من المنظمات والهيئات الدولية عن مصير اطنان اللوحات التي تكب في مفارغ الرمي. إن الخطر الذي تخلفه نفايات الألواح الشمسية يعيد عجلة المضي في الطاقات المتجددة إلى نقطة البداية، مما يطرح تساؤلا آخر حول ما إذا كانت الطاقة الشمسية صديقة للبيئة، أم أنها لا تختلف في أضرارها عن مصادر الطاقات غير المتجددة.

من أجل الاجابة على سؤال الاشكالية نطرح مجموعة من الأسئلة الفرعية التالية:

ماذا نعني بالطاقات المتجددة؟

هل يزداد حجم الطلب على انتاج الطاقة الشمسية، وماهي مسببات زيادة هذا الطلب؟

ما هي تقديرات نفايات الطاقة الشمسية؟

ما هي المرحلة الأكثر انتاجا للنفايات من مراحل عمر اللوحات؟

هل يمكن معالجة هذه النفايات؟

الفرضيات:

لأجل الاجابة على الأسئلة الجزئية، نضع مجموعة من الفرضيات التالية:

- يزداد الطلب على انتاج الطاقة الشمسية نظرا لانخفاض تكلفة انتاجها وزيادة كفاءتها؛

- يصاحب الزيادة في الطلب على انتاج الطاقة الشمسية زيادة في تكوين نفايات الألواح الشمسية؛
- تتكوّن نفايات الألواح الشمسية عبر كل مراحل عمرها؛
- قللت كل من التكنولوجيا المتخصصة وارتفاع تكلفة المعالجة، من اقبال المقاولين على معالجة نفايات الألواح الشمسية.

أهداف الدراسة:

تسعى هذه الدراسة لتحقيق مجموعة من الأهداف:

- التعرف على حجم الزيادة في انتاج الطاقات الشمسية للدول الأكثر استخداما للطاقات المتجددة؛
- الكشف عن نفايات الطاقة الكهروضوئية التي تنشأ عبر مراحل عمر اللوحات الشمسية؛
- الكشف عن الاستراتيجيات التي وضعت لمعالجة نفايات اللوحات الشمسية.

أهمية الدراسة:

أهمية نفايات الطاقة الشمسية من أهمية الطاقة المتجددة، فإذا تمّ إهمال النفايات، فإن الطاقة المتجددة لن تحقق أهدافها.

منهجية الدراسة:

اعتمدنا على المنهج الاستنباطي بأداتيه الوصف والتحليل في مناقشة مختلف المفاهيم المرتبطة بالموضوع، والمنهج الاستقرائي فيما يخص مناقشة البيانات الاحصائية الواردة.

II. التأصيل النظري للدراسة

أولا- مفهم الطاقات المتجددة

كي يتضح مفهوم الطاقة المتجددة لابد من تعريف للطاقة غير المتجددة

1. تعريف الطاقات غير المجددة:

تشير الطاقة غير المتجددة إلى الطاقة التي يتم الحصول عليها من مخازن الطاقة الساكنة التي تبقى تحت الأرض مالم يتم استخدامها من البشر، ومن أمثلتها: الوقود النووي والوقود الأحفوري المتكوّن من الفحم والنفط والغاز الطبيعي، وعلية فالطاقات غير المتجددة هي طاقات معزولة، ولأجل امدادها لابد من عمل خارجي، ولتجنب استخدام عبارة "غير المتجددة" لقبت بمصادر الطاقة المنتهية أو البنية (Twidel & Weir, 2006, p. 07)، وعليه، فما يميّز الطاقات غير المتجددة ما يلي:

- طاقات متوفرة بمكيات محدودة، مما يعني أن انتهاؤها مرتبط بكميات استهلاكها؛
- تخص أماكن معزولة من الأرض، مما يعني أنها تستفيد منها المجتمعات التي تملكها، وتطلبها المجتمعات التي تفتقدها، مما ينقص من كمياتها؛
- ولأجل استغلالها لابد من استخراجها، مما يعني أنها تحتاج إلى استثمارات كبرى، مما يزيد من تكلفتها؛

2. تعريف الطاقات المتجددة

تعرف وكالة الطاقة العالمية الطاقات المتجددة بأنها تلك الطاقات التي تتشكل من مصادر الطاقة الناتجة عن مسارات الطبيعة التلقائية كأشعة الشمس والرياح والتي تتجدد في الطبيعة بوتيرة أعلى من وتيرة استهلاكها (يوسف كافي، 2017، صفحة 176). الطاقة المتجددة هي طاقة يتم الحصول عليها من تدفقات الطاقة الطبيعية والمستمرة التي تحدث مباشرة في البيئة، وكلمة "مستمرة" تشير إلى فترة 24 ساعة، وتمر هذه الطاقة في البيئة في شكل تيارات او تدفقات، بغض النظر عما إذا كانت هناك أجهزة لاعتراضها وتسخيرها، ويمكن أيضا تسمية هذه الطاقة بالطاقة الخضراء أو الطاقة المستدامة، ومن الأمثلة الواضحة عليها الطاقة الشمسية (Twidel & Weir, 2006, p. 07).

من خلال التعاريف السابقة يتضح أن الطاقة المتجددة تتميّز بأنها:

- تستمد من البيئة ومن مصادر مستدامة؛
- غير مضرة بالبيئة عكس الطاقات غير المتجددة؛
- غير محدودة الكمية، ومتوفرة عند كل المجتمعات؛

الشكل 1 الفرق بين الطاقات المتجددة والطاقات غير المتجددة (أنظر الملاحق)

3. مصادر الطاقة المتجددة

يعتمد توفير الطاقة المفيدة أو الطاقة النهائية باستخدام الطاقات المتجددة على تدفقات الطاقة المتولدة عن: 1- حركة وجاذبية الكواكب (أي طاقة المد والجزر)، 2- الحرارة التي تخزنها وتطلقها الأرض (أي الطاقة الحرارية الأرضية)، 3- الطاقة التي تشعها الشمس على وجه الخصوص (أي الاشعاع الشمسي). هذه التدفقات تُنتج مجموعة كبيرة ومتنوعة من الطاقات المتجددة من حيث كثافة الطاقة والاختلافات في اشكال الطاقة المتاحة وما يرتبط بها من ناقلات الطاقة (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2007, p. 07).

و يتم تصنيف مصادر الطاقة المتجددة، كما يلي (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2011، صفحة 08):

الطاقة الحيوية: يمكن انتاجها من تشكيلة من المواد الخام بالكتلة الإحيائية، بما في ذلك الغابات، والمخلفات الزراعية، ومخلفات الحيوانات، وزراعة الغابات ذات الدورة القصيرة، والمكونات العضوية للنفايات الصلبة، وغيرها من المكونات الصلبة العضوية.

الطاقة الشمسية: تستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء، ولإنتاج الطاقة الحرارية (التدفئة أو التبريد) للوفاء باحتياجات الإضاءة المباشرة، ومن الممكن ايضا انتاج الوقود الذي قد يستخدم في النقل وفي أغراض أخرى.

الطاقة الحرارية الأرضية: هي تلك الطاقة التي يمكن الوصل اليها في جوف الأرض، وتستخرج الحرارة من خزانات حرارية أرضية بواسطة الآبار وسائل أخرى، ويطلق على الخزنات الساخنة التي يمكن النفاذ إليها على نحو كاف وبشكل طبيعي اسم الخزنات الهيدروحرارية، أما الخزنات الساخنة التي لا يمكن النفاذ إليها على نحو كاف تكون بحاجة لمحفز مائي فيطلق عليها النظم الحرارية الأرضية المعززة.

الطاقة الكهرومائية: وهي طاقة تنتج من تدفق المياه من أماكن عالية إلى أماكن منخفضة، تنتج منها الكهرباء اساسا، تستخدم فيها مياه السدود والخزنات العلاقة وتدفق الأنهار، تستخدم الكهرومائية في المدن والأرياف، كما تستغل في التزود بالمياه الشروب، وفي الري، والتحكم في الفيضانات والجفاف والملاحة.

الطاقة البحرية: طاقة ماء البحر الكامنة والحركية والحرارية والكيميائية يمكن تحويلها إلى كهرباء وطاقة حرارية أو مياه شرب، ويوجد انواع عديدة من التكنولوجيا الممكن استخدامها لتوليد هذه الطاقة ومنها الخزنات المخصصة لموجات المد، توربينات تحت الماء، ومحولات الحرارة لتحويل الطاقة الحرارية بالمحيطات وغيرها.

طافة الرياح: هي طاقة يتم انتاجها من حركة الهواء، وتفيد في التخفيف من حدة تغيّر المناخ، وتنتج باستخدام توربينات الرياح الضخمة الموجودة على الأرض (اليابسة)، أو في البحر أو مسطحات المياه العذبة.

ثانيا. فوائد وتكلفة الطاقات المتجددة

1. فوائد الطاقة المتجددة

الانتقال للطاقات المتجددة ليس اختيارا، لكن الأثار والخصائص السلبية للطاقات غير المتجددة، هي من دفعت الدول والمؤسسات إلى البحث عن بديل طاقوي آخر يحقق الاحتياجات، وله أثار أمنة على البيئة والانسان معا، ويمكن أن يبقى للأجيال القادمة كي تستفيد منه.

البحث عن فوائد الطاقات المتجددة لا يكفي فيه الكلام النظري، ولكن عندما تتحدث الأرقام، فإن أهداف الطاقات المتجددة تصبح واضحة جدا، وتطبيقها يصير أكثر الحاحا. حسب تقرير صادر في شهر جوان 2021، نشرته منظمة الصحة العالمية على موقعها بعنوان " "تتبع الهدف السابع من أهداف التنمية المستدامة: التقدم نحو تحقيق الطاقة المستدامة"، حيث يكشف التقرير عن النتائج التي وصل اليها المخطط الذي اعدته الأمم المتحدة لعام 2030، ومن بين ما جاء في التقرير:

منذ سنة 2010، إن أكثر من مليار شخص أُتيح لهم الحصول على الكهرباء على مستوى العالم، بينما انخفض عدد الأشخاص الذين يعيشون بدون كهرباء من 1,2 مليار نسمة في عام 2010 إلى 759 مليوناً في 2019. وتسارعت وتيرة جهود توفير الكهرباء من خلال حلول لامركزية ترتكز على الطاقة المتجددة. وأنتقل عدد من يحصلون على الكهرباء من خلال أنظمة متصلة بشبكات صغيرة من خمسة ملايين إلى 11 مليون شخص. في الوقت نفسه، لم يتمكن نحو 2.6 مليار شخص من سكان العالم من الحصول على الوقود النظيف لأغراض الطهي في عام 2019. يؤدي استنشاق دخان الطهي إلى وفاة الملايين كل عام، يعاني 910 ملايين نسمة من نقص وسائل الطهي النظيف، 81٪ من سكان العالم موجودون في 20 بلدا تعاني من نقص في إمكانية الحصول على وقود الطهي النظيف وتقنياته.

من أجل تحقيق الهدف السابع من أهداف التنمية المستدامة، ينبغي السعي لتحقيق زيادة كبيرة في استغلال الطاقة المتجددة التي أثبتت أنها أكثر مرونة وقدرة على الصمود في وجه التحديات مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى، وخصوصا خلال أزمة كورونا. وقد شهدت مصادر الطاقة المتجددة نموا غير مسبوق خلال العشرة أعوام الماضية، إلا أن حصتها من إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة ظلت ثابتة مع نمو استهلاك الطاقة العالمي بمعدل

مماثل. فالطاقة المتجددة تحقق مكاسب كبيرة في قطاع الكهرباء حيث بلغت نحو 25٪ في عام 2018، لكن التقدم في قطاعي التدفئة والنقل كان أبطأ من ذلك بكثير (منظمة الصحة العالمية، 2021).

2. تكلفة المعادن الداخلة في صناعة الطاقات المتجددة

حسب تقرير صدر في جويلية 2020 عن معهد منهاتن بالولايات المتحدة الأمريكية، بعنوان: "المناجم، المعادن والطاقة المتجددة، تقييم للواقع". توصل التقرير إلى انه لا يوجد نظام "متجدد" للطاقة في الواقع، لأن جميع الآلات تتطلب التعدين المستمر ومعالجة ملايين الأطنان من المواد الأولية والتخلص من الأجهزة التي تتآكل. بالمقارنة مع الهيدروكربونات، تستلزم الآلات الخضراء في المتوسط زيادة بمقدار 10 أضعاف في كميات المواد التي يتم استخراجها ومعالجتها لإنتاج نفس الكمية من الطاقة غير المتجددة. (الأرقام التي ترد الفقرة الموالية محولة من الباوند إلى الكيلوغرام، حيث 2.20462 = باوند (رطل)= 1 كغ)

من النتائج التي وصل اليها التقرير ايضا، هو أن بناء مزرعة رياح واحدة بقدرة 100 ميجاوات واط (يوجد الآلاف منها) يتطلب حوالي 30000 طن من خام الحديد، 50000 طن من الخرسانة و900 طن من البلاستيك غير القابل لإعادة التدوير، وتكون حمولة الإسمنت والفولاذ والزجاج أكبر بنسبة 150٪ من طاقة الرياح بالنسبة لنفس ناتج الطاقة غير المتجددة. بالنسبة لبطاريات الليثيوم التي تخزن الحرارة الشمسية (EV)، فإن كل بطارية تزن حوالي 454 كغ تحتوي على 11 كغ من الليثيوم، و14 كغ من الكوبالت، 27 كغ من النيكل، 50 كلغ من الجرافيت، 41 كغ من النحاس، 182 كغ من الفولاذ والألومنيوم، والباقي من البلاستيك ومكونات أخرى مختلفة. لإنتاج كميات المعادن الداخلة في صناعة بطارية الليثيوم يستلزم الحصول على معادن خام مستخرجة من الأرض وزنها: 11340 كغ من خام الليثيوم، 13608 كغ من الكوبالت، 2722 من النيكل، 454 كغ من الجرافيت، 11340 كغ من النحاس. بإضافة المواد الخام للمكونات الأخرى المختلفة، فإن كمية المواد الخام الاجمالية المطلوبة تقارب 40823 كغ، ولإنتاج هذه الكمية من المواد الخام يستلزم ما بين 90715 و 680388 كغ من تربة الأرض بمتوسط يزيد عن 226796 كغ تربة لكل بطارية (Mills, 2020) .

3- نفايات الطاقات المتجددة

المفارقة في الطاقات المتجددة هي أنها تستخدم النفايات الصلبة لاستخراج الطاقة الآمنة، لكن بالمقابل يوجد جانب مقلق لهذه الطاقة المتجددة المتمثل في المخلفات التي تفرزها، والتي لا تختلف في اثرها السلبية على البيئة عما تخلفه النفايات التي تستخدم في توليد الطاقة المستدامة. إن مخلفات العقد الأول من القرن الواحد والعشرين تقاس بملايين الأطنان مما يشكل مشكلة خطيرة ينبغي الاهتمام لتخلص منها كونها بعيدة كل البعد عن أن تكون صديقة للبيئة. تقول Folk (2020): عندما وصلت بعض المواد المستخدمة في توليد الطاقة المتجددة إلى نهاية حياتها، ظهر قلق متزايد بكيفية التعامل معها كنفايات، ورغم أن الطاقة المتجددة أنظف من الوقود الأحفوري، لا تزال تتطلب استخدام الموارد التي يمكن أن تلوث البيئة وتؤثر على صحة الإنسان، إذ تعد صناعة الطاقة المتجددة جديدة نسبيًا في عملياتها، ولذا كان من المتأخر التفكير في التخلص من نفاياتها.

المخلفات التي تقلق الباحثين والهيئات البيئية وكذا الحكومات هي مخلفات تتعلق بالمواد المستخدمة في انتاج الطاقة الكهربائية والحرارية التي مصادرها الشمس والرياح، ذلك لأن البنية التحتية لهذه الطاقة تستدعي انتاج كميات كبيرة من الأدوات التي تولد الطاقة، سواء تعلق الأمر بتوربينات الرياح أو ألواح الطاقة الشمسية، وفيما يلي سنركز على مولدات الطاقة الشمسية.

II - النفايات المتصلة بزيادة تكوين الطاقة الشمسية

أولا. نمو الطاقة الشمسية في العالم

ظهرت الطاقة الشمسية في سنة 2000، ومنذ ذلك الوقت وهي تنمو بسرعة كبيرة نظرا للطلب المتزايد عليها من جهة، وانخفاض تكاليف تصنيعها من جهة أخرى، أنظر الجدول رقم 01 في الملاحق

يظهر الجدول رقم 01، إنتاج الطاقة الشمسية لعدد من الدوّل من مختلف القارات الخمس، أهم ملاحظة هي التزايد المستمر في انتاج الطاقة من سنة لأخرى، أكبر منتج للطاقة الشمسية هي دولة الصين وتليها الولايات المتحدة الأمريكية، ثمّ اليابان وألمانيا بالترتيب. في قارة إفريقيا، تعتبر دولة جنوب افريقيا هي الرائدة وتليها المملكة المغربية، ثمّ تأتي مصر. بالنسبة للجزائر، فإن انتاج الطاقة الشمسية ينمو ببطء شديد عكس باقي الدوّل، وذلك لأن الجزائر تحقق الاكتفاء الذاتي في طاقة الكهرباء المستخرجة من الغاز.

ثانيا. تكلفة إنتاج الطاقة الشمسية

انخفض سعر الخلايا الشمسية في السوق الدولية على نحو كبير في عام 2009، مما أثر سلبا على مُصنعو السيليكون النقي ومُنتجو الخلايا الشمسية، حيث انخفض سعر الخلايا الشمسية لمستوى قاربت فيه تكلفة انتاج الكهرباء المولدة من الشمس تلك المولدة من الفحم (Chen، 2020، صفحة 71).

حسب دراسة قامت بها الوكالة الدولية لإنتاج الطاقات المتجددة في سنة 2012، فإن اسعار الخلايا الضوئية تتناقص ولكنها تختلف تبعا للمؤسسة المنتجة ومميزات السوق وكفاءة الخلية، فقد كان السعر العالمي للخلايا من النوع c-Si الكهروضوئية في سنة 2008 هو 4.05 دور أمريكي لكل واط، وقد انخفض هذا السعر في سنة 2010 إلى 2.21 دولار لكل واط، بانخفاض قدره 45٪ في سنتين فقط. في سنة 2012، انخفضت اسعار الخلايا c-Si في اوروبا واليابان إلى ما بين 1.4 و1.22 دولار أمريكي/واط. في الفصل الأول من سنة 2010، كانت أسعار الخلايا الشمسية في الولايات المتحدة أقل من اسعارها في أوروبا، ويرجع ذلك للسياسة الدعم التي تبنتها أنداك حكومة الولايات المتحددة، بينما انخفاض سعر الخلايا في الصين فيرجع إلى قلّة جودتها. لهذا، كان سعر الخلية الشمسية المصنعة من السيليكون في أوروبا ما بين 2.21 و1.43 دولار/ واط، وفي الولايات المتحدة بلغ سعرها ما بين 2.53 و 1.74 دولار/واط. بالنسبة لنوع آخر من الخلايا يسمى بالخلايا ذات الغشية الرقيقة، بلغت تكلفة انتاجها في اوروبا 1.27 دولار/ واط، بينما تكلفتها في الولايات المتحدة فبلغت 1.19 دولار/واط (IRENA, 2012, p. 15)

ثالثا. مكوّنات الألواح الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح من أكثر الطاقات الواعدة في المستقبل، نظرا لانخفاض تكلفتها إذا ما قرنت مع باقي تكاليف الطاقات المتجددة الأخرى، ولتوليد الطاقة الشمسية يستخدم ما يسمى بالخلايا الشمسية والتي تعمل على تحويل اشعة الشمس خصوصا الأشعة فوق البنفسجية إلى طاقة كهربائية مباشرة، والخطر في نفايات الطاقة الشمسية لا يتعلق بها في حدا ذاتها، وإنما بالمعادن والمركبات التي تصنع منها الخلايا الشمسية والتي منها: مادة السيلكون نقي خال من الشوائب التي يحتوي عليها. مادة الفوسفور الصلبة التي تسبب انبعاث ضوئي أو إنارة عندما تتعرض للأضواء ذات الأطوال الموجية والألوان المختلفة، و مادة البورون البلورية (يدخل في تركيب الزجاج) وهي مادة قاسية الصلابة ذات موصيلية كهربائية، ومواد أخرى كالرصاص والكبريت، ما يعاب عن الخلايا الشمسية أنها هشة ويمكن أن تتلف بسهولة وتتطلب مخزون إضافي من الخلايا، وأيضا كفاءتها منخفضة نسبيا مقارنة بأنظمة الطاقة المتجددة الأخرى، مما يعني هناك حاجة لكميات كبيرة منها لتوليد طاقة كافية، مما يستدعي مساحة كبيرة من الأرض لتركيب الألواح الشمسية (طه و بريوا، صفحة 21).

رابعا. نفايات الطاقة الشمسية والأخطار الناتجة عنها:

كما سبق وتمّ ذكره، فإن الخلايا الشمسية تتكوّن من موارد كيميائية، ولإنتاج كميات كافية من الكهرباء تلبي الحاجيات البشرية، يستلزم انتاج حجم كبير من الألواح الشمسية.

في هذا السياق، يقول Prendergast (2020): يتراوح عمر لألواح الشمسية مابين 20 و30 عامًا، ويتطلب تصنيعها استخدام العديد من المواد الكيميائية الضارة، بالإضافة إلى ذلك، ومنذ طرحها لأول مرة في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، وصلت أطنان الألواح الشمسية إلى نهاية عمرها الافتراضي، ولأنه ليس من السهل التخلص من المعادن السامة التي بداخلها، فغالبًا ما يتم رميها في حاويات القمامة أو إرسالها إلى البلدان النامية لتكلفتها الأرخص. عندما توضع الألواح الشمسية في الحاويات، فإن المعادن السامة التي تحتويها يمكن أن تتسرب إلى البيئة وربما تشكل خطراً على الصحة العامة إذا وصلت إلى إمدادات المياه الجوفية.

حسب Shellenberger (2018)، فإن مشكلة التخلص من الألواح الشمسية "سوف تنفجر بكامل قوتها خلال عقدين أو ثلاثة عقود القادمة، وستدمر البيئة، لأنها "كمية هائلة من النفايات وليس من السهل إعادة تدويرها، توجد مشكلة الآن، وسوف تزداد وتتوسع بسرعة مع توسع صناعة الطاقة الكهروضوئية، إن الملوثات مثل الرصاص أو الكادميوم المسرطنة سوف تنقلها مياه الأمطار إلى المياه الجوفية مما يتسبب في انتشار أمراض السرطان.

قدر المخبر الوطني الأمريكي أن إعادة تدوير بعض أنواع الألواح الشمسية يكلف ما بين 20 و30 دولار، في حين أن ارسالها لمفرغة النفايات يكلف ما بين 1 دولار إلى 2 دولار (ارسالها إلى الدول الفقيرة) (أبو صوف، 2021)، كما بيّن وضع الجدوى الاقتصادية لإعادة تدوير لوحات الطاقة الشمسية على أن العملية لاتزال بعيدة، فقط يتمركز الاهتمام بالنفايات من الألواح التي تدر ربحا أعلى لأنها تحتوي على مواد ثمينة، على عكس نوع

آخر من اللوحات، فإن تكلفة إعادة تدويره أعلى من تكلفة ارساله لمفرغة النفايات. تتطلب عملية إعادة تدوير الألواح الشمسية، تكنولوجيا الانحلال الحراري عند حوالي 500 درجة مئوية لاستعادة رقائق السيليكون البلورية من الوحدات وحفر كيميائي لإزالة الطلاء المعدني والطلاء المضاد للانعكاس وطبقات الانتشار، وبالنسبة لعمليات إعادة تدوير الألواح الكهروضوئية، فإنها تتكون من ثلاث مراحل أساسية، وهي (D'Adamo, Miliacca, & Rosa, 2017, p. 2):

- التفريغ الميكانيكي أو الكيميائي أو الحراري؛
- إزالة الطلاء الكيميائي؛
- الاستخراج (التكرير الكيميائي).

خامسا. تقدير النفايات من الألواح الكهروضوئية

بما أن العمر الافتراضي للألواح الشمسية هو 30 سنة، وبحسب الخصائص التي سبق ذكرها، فإن كفاءة اللوحات منخفضة مما يتناسب عكسيا مع عمرها، وهذا الأمر يفرض على مستخدمي اللوحات استبدالها قبل نهاية عمرها الافتراضي. علاوة على ذلك، فإن بحوث التطوير التي تجريها المؤسسات المنتجة على هذه اللوحات من اجل زيادة كفاءتها، يقابلها تقليص في مدّة الحياة، وذلك بهدف زيادة المبيعات، بالإضافة إلى انكسار اللوحات وتشققها واتلافها بفعل العوامل الطبيعية، هذا كله سيزيد من كمية النفايات التي يخلفها انتاج الطاقة الشمسية.

حسب تقرير للوكالة الدولية للطاقة المتجددة (International renewable energy agency, 2016)، وهو أول تقرير لهيئة عالمية تثير فيه الانتباه لمخلفات الألواح الكهروضوئية في دول العالم، عن طرق تقدير تدفق النفايات المصاحب لزيادة انتشار هذه الألواح لغاية سنة 2050. جاء في التقرير أن نفايات الألواح الكهروضوئية تتكون في كل المراحل الأربعة لدورة الحياة: مرحلة انتاج الألواح، مرحلة نقلها، مرحلة تركيبها ومرحلة التخلص منها في نهاية عمرها الافتراضي. إن نفايات اللوحات الشمسية ليست بمشكلة في مرحلة الانتاج، لأن في هذه المرحلة تتم إدارة نفايات الانتاج وجمعها ومعالجتها بسهولة من طرف مقاولي معالجة النفايات.

استخدمت الوكالة الدولية للطاقة قانون "Weibull" لتقدير الفاقد من الألواح الشمسية ويكتب هذا القانون وفق الشكل التالي:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/T)^{\alpha}}$$

t: الزمن مقاس بالسنوات، T: متوسط عمر اللوحات (30 سنة)

α = معامل يتحكم في النموذج، قيمته تختلف بحسب حالة الفاقد، ففي حالة تقدير الفاقد المبكرة، = 2.4928α. بينما في حالة تقدير الفاقد المنتظم، α = 5.3749

عملية التقدير تتم وفق حالتين:

أ- تقييم الفاقد المبكر للوحات، يقوم على مجموعة من الفرضيات:

متوسط عمر اللوحة 30 سنة،

- 99.99٪ احتمال الخسارة بعد 30 سنة من عمر اللوحة

- نسبة 0.5٪ من الألواح الضوئية تصل إلى نهاية عمرها الافتراضي بسبب التلف أثناء نقلها وتركيبها؛
- نسبة 0.5٪ من الألواح الضوئية تتحوّل إلى نفايات في مدة سنتين بسبب سوء التركيب؛
- نسبة 2٪ ستصبح نفايات بعد 10 سنوات؛
- نسبة 4٪ ستصبح نفايات بعد 15 سنة بسبب أعطال فنية.

ب- تقييم الفاقد المنتظم، يقوم على افتراضين:

- متوسط عمر اللوحة 30 سنة،
- 99.99٪ احتمال الخسارة بعد 30 سنة من عمر اللوحة

حساب تقدير نفايات (الفاقد) اللوحات الشمسية، يظهر في الشكل رقم 02 (أنظر الملاحق)

يظهر من الشكل 02، أن كميات النفايات من اللوحات الشمسية الضوئية ستظل في تزايد مستمر، وأن الكميات المقدرة للفاقد المبكر من اللوحات هي أكبر من الكميات المقدرة للفاقد المنتظم للوحات الشمسية الضوئية. ترجع اسباب التزايد المستمر للنفايات إلى تزايد المستمر الطلب على هذه اللوحات.

بالنظر إلى الكميات المقدرة من الألواح الشمسية التي يتم تثبيتها في كل فترة زمنية ولمدّة 30 سنة كعمر افتراضي للوحات، فإنه يمكن حساب نسبة التلف التقديري المبكر لكل 10 سنوات من العمر الافتراضي، كما يظهر الشكل البياني رقم 03 (أنظر الملاحق).

بالنسبة لحساب النسب المئوية لتقديرات التلف المنتظم يظهرها الشكل رقم 04 (أنظر الملاحق)

يلاحظ على الشكل (3)، أنه في سنة 2030 قُدرت النفايات بـ 5٪ مقابل 5ملايين طن من اللوحات المركبة ، بمعنى أن حجم الهدر قُدر بـ 220 ألف طن، بينما كمية اللوحات المُثبّتة سيبلغ 9 ملايين طن، يقابلها حجم فاقد يقدر بنسبة 14٪. بينما في سنة 2050 فإن نسبة الفاقد تقدر بـ80 ٪ مقارنة بـ 7 ملايين طن من اللوحات المركبة الجديدة.

في الشكل (4): بالنسبة لحالة الفقدان المنتظم، فإنه في سنة 2030، يتوقع أن تبلغ نسبة النفايات 4٪، بينما في سنة 2020، ستصعد هذه النسبة إلى 39٪، وفي سنة 2050 ستبلغ نسبة الفاقد 89٪.

سادسا. معالجة نفايات الألواح الشمسية

1. برنامج CIRCUSO الأوروبي

نظرا للخطر المحدق الذي تشكله نفايات الألواح الضوئية، عملت 7 دول أوروبية منها فرنسا واسبانيا وألمانيا وبلجيكا، على التصدي لمشكلة النفايات، وأوجدت لنفسها ما يسمى بـ"نموذج الأعمال الدائرية لصناعة الطاقة الشمسية"، وهو برنامج يعمل على جمع نفايات الألواح الكهروضوئية التي انتهت مدّة صلاحيتها، لأجل تدويرها والاستفادة منها مجددا، انخرطت في هذا البرنامج 11 مؤسسة جمع نفايات ويعتبرون شركاء في برنامج Circuso (https://www.circusol.eu)، ويرى هؤلاء أنه يمكن إصلاح أو تجديد 2 من 3 من هذه اللوحات الكهروضوئية (مرحلة الانتاج)، لذلك يمكن تدوير حوالي 50٪ من النفايات، ويُقدر شركاء البرنامج أنه في سنة 2030، سيتم جمع 8 ملايين طن من اللوحات الشمسية، و2 مليون بطارية تخزين طاقة شمسية قديمة، كما يمكن توفير 13

جيقا واط من الطاقة الشمسية الخاصة بالاتحاد الأوروبي من خلال الطاقة الشمسية الكهروضوئية الناتجة عن العمر الثاني، وايضا يمكن تخزين طاقة قدرها 25 جيجاوات من بطاريات التخزين (من بين بطاريات التخزين يوجد بطاريات تستخدم في السيارات كبديل للوقود) ذات العمر الثاني (Circusol, 2021). ويظهر الشكل رقم 5 الدول التي يغطيها البرنامج الأوروبي للأعمال الدائرية لصناعة الطاقة الشمسية، وكذلك المؤسسات المنخرطة فيه (أنظر الملاحق).

2. مؤسسة Pvcycle البلجيكية

هي المؤسسة الوحيدة في دولة بلجيكا، انشات في سنة 2016، متحصلة على شهادة Iso 14000 و Iso 9001، كما أنها مؤسسة غير ربحية نشاطها جمع نفايات الألواح الشمسية الكهروضوئية، عملية جمع النفايات مجانية، بمعنى أنها لا تدفع للأفراد أو المؤسسات التي ترمي الألواح الكهروضوئية (Pvcycle, 2021). عملية جمع ومعالجة النفايات التي تقوم بها المؤسسة تتم عبر المراحل التي تظهر في الشكل رقم 06 (أنظر الملاحق).

3. مؤسسة Soren الفرنسية

هي مؤسسة اقتصادية مرخصة، مختصة في جمع نفايات الألواح الشمسية، في سنة 2021، شغلت 340 فرد، وخصصت 232 نقطة تجميع نفايات. جمعت كمية قدرها 15000 طن من الألواح ما بين سنة 2015 و2020 وحققت مبيعات قيمتها 4 مليون أورو سنة 2020. تجمع المؤسسة النفايات مجانا من أصحابها الأفراد أو المزارع، لتنقل إلى مراكز المعالجة، اين يتم فصل المكوّنات عن بعضها البعض، حيث تبلغ كمية المسترجعات من المواد كما يلي: 67٪ زجاج، 12٪ الومنيوم، 2٪ نحاس، 4٪ سيليكون، 9٪ مواد أخرى مسترجعة واهما مادة البلاستيك، 6٪ مواد أخرى لا يمكن استرجاعها(Soren, 2021) ، والشكل رقم 07 يوضح مسار جمع النفيات عند المؤسسة (أنظر الملاجق).

ما يلاحظ على شكل مسار جمع النفايات لمؤسسة Soren الفرنسية هو ذاته المسار الذي تتبعه المؤسسة البلجيكية Pvcycle، لأن كلا المؤسستان تشتركان في البرنامج الأوروبي لجمع ومعالجة النفايات.

III- خاتمـــــة:

مشكلة النفايات اللوحات الشمسية ظهرت منذ بداية استخدام الطاقة الكهروضوئية المتجددة، لكن ما زاد المشكلة تعقيدا هو كمية النفايات التي ستظهر في سنة 2030، وهي الفترة التي تنتهي فيها صلاحية ملايين الأطنان من اللوحات، لهذا جاءت هذه الدراسة لتكشف عن الوجه الخفي للطاقة الشمسية.

نتائج الدراسة

في النهاية، توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج نذكرها فيما يلي:

- كشفت دراستنا ان للطاقات المتجددة والتي تسمى بالصديقة للبيئة، التي تقضي على النفايات، أنها ليست كذلك، فهي كالطاقة غير المتجددة، تخلف نفايات تضر بالبيئة وبالحياة التي عليها؛
- كشفت دراستنا أيضا، أن صناعة معدات الطاقة المتجددة (طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية) يستلزم توفير كميات كبيرة من المعادن الخام التي تستخرج من باطن الأرض، وفي ظل تزايد الطلب على الطاقة المتجددة

سيرافقه ارتفاع في الطلب على هذه المعادن، مما يعني أن حق الأجيال القادمة من الثروات (أحد ابعاد التنمية المستدامة) سيتأثر سلبا ولن يتحقق.

- تبيّن أيضا أن زيادة الطاقة الشمسية يصاحبه زيادة في استخدام اللوحات الشمسية، مما يعني زيادة أيضا في الفاقد من اللوحات غير القابلة للاستخدام سواء في مرحلة الانتاج، او مرحلة النقل، او مرحلة التركيب والتثبيت.

- ظهر كذلك، أن الزيادة في نفايات الطاقة الشمسية مرده إلى: الانخفاض المتواصل في أسعار الخلايا الشمسية، بالإضافة إلى زيادة كفاءتها نتيجة تطور التكنولوجيا (نحن في الجيل الرابع) ، مقابل تقليص مدّة حياتها لزيادة مبيعات المنتجين لها.

- نفايات اللوحات الشمسية لا يقتصر على المراحل الثلاث الأولى من عمرها، بل تظهر نفايات أخرى اشد خطورة، عند اول استخدام للوحات، فبحجم مزرعة تحوي على مئات المترات المربعة من اللوحات التي تتعرض للتعطل والكسر والعوامل، مما يزيد من خطورتها عند تعرضها لمياه الأمطار التي تنقل مكوناتها الصلبة إلى باطن الأرض، ولمدة 30 سنة في المتوسط.

- تبيّن أيضا أن معالجة نفايات الطاقة الشمسية يحتاج إلى تبني استراتيجية وطنية ودولية، لأن نفايات الألواح الشمسية لا تسبب أضرار لمن يستخدمها أو ينتجها فقط، وانما يمتد أثرها للدول الفقير التي تستقبل هذه النفايات، أو للدول المجاورة، فالمعادن الصلبة الموجود في النفايات تستطيع التسرب للمياه الجوفية مما يشكل خطرا على التربة وعلى الحياة عامة في الطبيعة.

- ليس كل نفايات الطاقة الشمسية يمكن معالجتها، ممكن فقط لبعض الأنواع التي تُستخدم فيها المواد الثمينة من أجل استرجاعها، بينما النوع غير المربح في إعادة تدويره فيرمى في مكب النفايات.

- أدت معالجة بعض أنواع اللوحات الشمسية بإضافة عمر ثان لها، مما يقلص من استخدام المواد التي تدخل في صنعها.

توصيـــــات

على اثر النتائج المتوصل إليها، يمكن اقتراح مجموعة من التوصيات:

- إعطاء مزيد من الاهتمام لنفايات الطاقات المتجددة والتي لن تصبح صديقة للبيئة مالم يوجد حل للنفايات التي تخلفها.

- المزيد من تطوير تكنولوجيا الطاقة الشمسية لزيادة كفاءة اللوحات لخفض الكميات المستخدمة منها في توليد تيارات كهربائية كبيرة، بما في ذلك اللوحات المستخدمة في المنازل.

العمل على ايجاد استراتيجية للتخلص من النفايات الشمسية بدل ارسالها للدول الفقيرة (أفعال تعكس البعد السابع للتنمية المستدامة الخاص بالطاقات المتجددة لأفاق 2030)، ولأن خطرها لا يخص نوع دون آخر.

IV- الإحالات والمراجع:

مصطفى يوسف كافي. (2017). اقتصاديات الموارد والبيئة. الأردن: دار المنهل.

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. (2011). مصادر الطاقة المتجددة والتخفيف من آثار تغير الرياح. Cambridge university press.

عزمي طه، و دانكان بريوا. (بلا تاريخ). دليل تدريبي لمشروع الطاقة في دارفور. منظمة الأمم المتحدة للتنمية والصناعة: سينان العالمية للطباعة.

منظمة الصحة العالمية. (يونيو 2021). منظمة الصحة العالمية. تم الاسترداد من تحقيق هدف حصول الجميع على خدمات الطاقة المستدامة سيظل بعيد المنال ما لم تتم معالجة أوجه التفاوت: https://www.who.int/

نعمت أبو صوف. (2021). الطاقة المتجددة والتعامل مع النفايات. جريدة الاقتصادية، https://www.aleqt.com/.

C.Julian Chen. (2020). فيزياء الطاقة الشمسية، تعريب مصطفى محمد زاد. المملكة المتحدة: مؤسسة هنداوي.

Referrals and references:

Azmi Taha, and Duncan Prewa. (no date). Training manual for the power project in Darfur. United Nations Development and Industry Organization: Sinan International Press.

C.Julian Chen. (2020). Solar Energy Physics, Arabization of Mostafa Mohamed Zad. United Kingdom: Hindawi Foundation.

Circusol .(2021) .*WHY CIRCUSOL* .Circusol: https://www.circusol.eu/

Conor Prendergast .(2020) .Solar Panel Waste: The Dark Side of Clean Energy .*Discover magazine* ، https://www.discovermagazine.com./

Emily Folk .(2020) .Waste in the Renewable Energy Industry and How We Can Sustainably Power Our World . *revewbal energy magazine journal* ،https://www.renewableenergymagazine.com./

Global Health Organization. (June, 2021). Global Health Organization. The payback from achieving universal access to sustainable energy services will remain elusive unless disparities are addressed: https://www.who.int/

Idiano D'Adamo ،Michela Miliacca و، Paolo Rosa .(2017) .Economic Feasibility for Recycling of Waste Crystalline Silicon Photovoltaic Modules .*international journal of photoenergy*.6-1 ،

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2011). Renewable energy sources and mitigating the effects of changing winds. Cambridge university press.

International renewable energy agency .(2016) .*End of life management solar photovoltaic panels* .IRENA and IEA-PVPS.

IRENA .(2012) .*RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES* .Germany: IRENA Innovation.

IRINA .(2021) .*Renewable Energy Statistics 2021* .Abu Dhabi :The International Renewable Energy Agency.

John Twidel و، Tony Weir .(2006) .*Renewable Energy resources, 2 nd. ed* .USA: Taylor & Francis.

Mark.P Mills .(2020) .*Mines, Minerals, and "Green "Energy: A Reality Check* .USA: Manhattan Institute.

Martin Kaltschmitt ،Wolfgang Streicher و، Andreas Wiese .(2007) .*Renewable Energy, Technology, economics and environment* .New york: Springer Berlin Heidelberg.

Michael Shellenberger .(2018 ,05 23) .*If Solar Panels Are So Clean, Why Do They Produce So Much Toxic Waste*،Forbes: https://www.forbes.com/

Mostafa Youssef Kafi. (2017). Resource and environment economics. Jordan: Dar Al-Manhal.

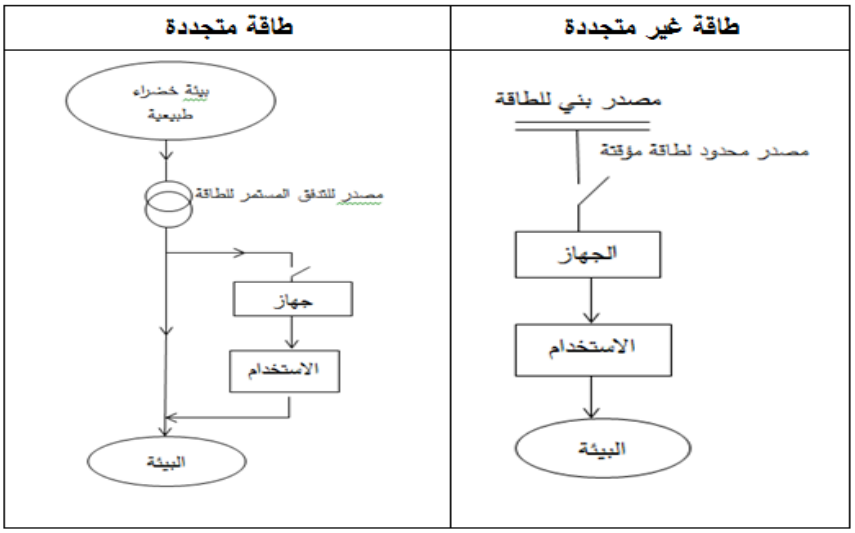
Nemat Abu Souf. (2021). Renewable energy and waste management. Al-Eqtisadiah Newspaper, https://www.aleqt.com./

Pvcycle .(2021) .*EXIGENCES DE TRANSPORT ET D 'EMBALLAGE* .Pvcycle: https://pvcycle.be/

Soren .(2021) .*Comment s 'effectue la collecte des panneaux usagés* تم .Soren: https://www.soren.eco/

الملاحق

الشكل 01: الفرق بين تدفقات الطاقات غير المتجددة والطاقات المتجددة



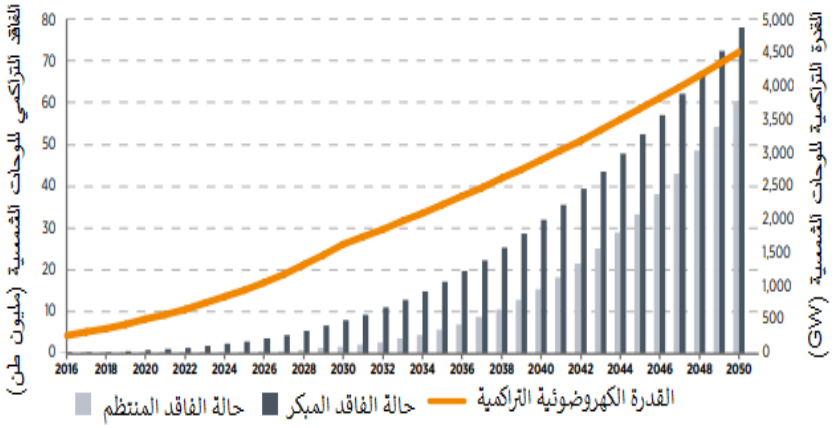
(Twidel & Weir, 2006, p. 08)

الجدول 1: انتاج الطاقة الشمسية في بعض دول العالم الفترة 2011-2019 (GWh)

الدوّل	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
العالم	65631	101770	137621	19262	25249	326136	438178	564 10	693063
الجزائر	103	193	193	198	162	339	560	655	678
مصر	245	504	25	140	52	234	603	553	1490
المغرب	22	57	57	63	28	427	445	980	1609
ج. افريقيا	4	8	54	1075	2399	3341	5058	6203	6771
الصين	1999	4392	8799	23758	39987	67874	118267	178071	224541
الهند	309	975	1684	3100	5975	10182	18128	31064	43870
اليابان	4839	6613	12880	22952	34802	45761	55068	62668	68953
ج. كوريا	917	1103	1605	2557	3975	5123	7057	9208	12996
ألمانيا	19599	26280	31010	63056	38726	38098	39401	45784	46392
إيطاليا	10805	18871	21598	22319	22955	22117	24390	22266	23701
فرنسا	2334	4428	5194	6392	7754	8660	9586	10891	12225
بلجيكا	1169	2148	2644	2886	3056	3095	3308	3903	4227
اسبانيا	9399	11968	13099	13672	13859	13643	143397	12744	15103
بريطانيا	244	1354	2010	4054	7533	10395	11462	12736	12918
و.م. الأمريكية	6215	10145	15872	25764	35635	50334	70980	85184	97478
استراليا	1391	2325	3475	4010	5023	6209	8071	9929	14848

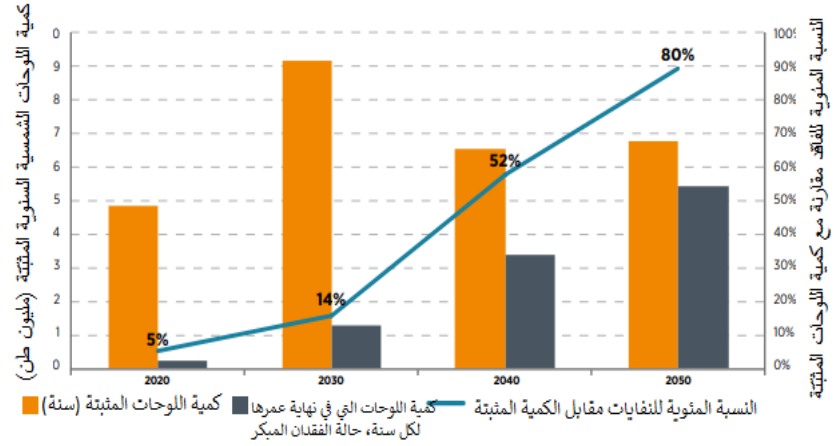
المصدر: (IRINA, 2021)

الشكل 2: كميات النفايات المقدرة من الألواح الشمسية الضوئية في نهاية حياتها



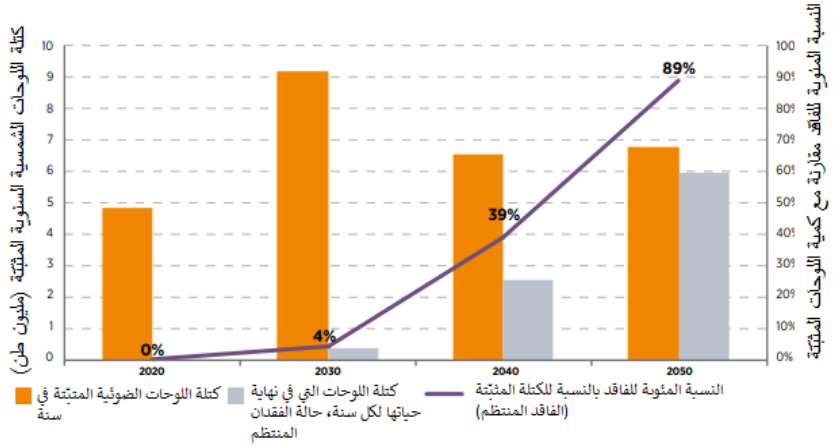
(International renewable energy agency، 2016، صفحة 32)

الشكل 3: النسب المئوية للفاقد المبكر من اللوحات الشمسية الضوئية مقابل كمية اللوحات التي يتم تثبيتها سنويا



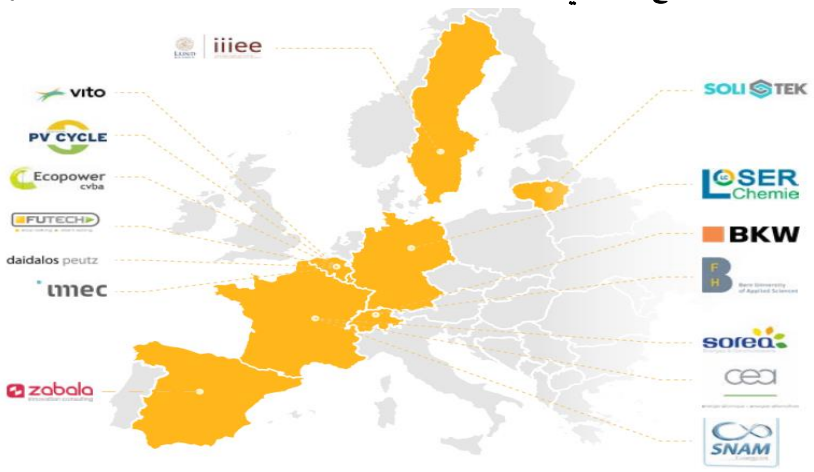
(International renewable energy agency، 2016)

الشكل 4: النسب المئوية للفاقد المبكر من اللوحات الشمسية مقابل كمية اللوحات التي يتم تثبيتها



(International renewable energy agency، 2016)

الشكل 5: الدول التي يغطيها البرنامج الأوروبي للأعمال الدائرية لصناعة الطاقة الشمسية، وكذلك المؤسسات المنخرطة فيه



المصدر: (Circusol, 2021)

الشكل 6: عملية جمع نفايات الألواح الشمسية المنتهية الصلاحية من السكنات والمزارع

المصدر: (Pvcycle, 2021)

الشكل 7: عملية استرجاع النفايات لدى مؤسسة Soren الفرسية

المصدر: (Soren, 2021)

كيفية الاستشهاد بهذا المقال حسب أسلوبAPA:

نوال شيشة. (2023). الطاقة الشمسية الصديقة للبيئة دراسة استشرافية، مجلة رؤى اقتصادية، 13(01)، جامعة الوادي، الجزائر، ص.ص 85-101.

يتم الاحتفاظ بحقوق التأليف والنشر لجميع الأوراق المنشورة في هذه المجلة من قبل المؤلفين المعنيين بموجب رخصة المشاع الإبداعي نسب المصنف - غير تجاري 4.0 رخصة عمومية دولية (CC BY-NC 4.0).

Roa Iktissadia Review is licensed under a **Creative Commons Attribution-Non Commercial license** 4.0 International License. Libraries Resource Directory. We are listed under Research Associations category