الدكتور محمد فرحات والدكتور نادر ابوزيد

الجدوى الاقتصادية لإنتاج الطاقة الشمسية للاستهلاك المنزلي في ظل أزمة الكهرباء في لبنان

المقدمة:

بعد تفاقم أزمة الكهرباء التي استعصت على معظم الحلول الهادفة لتأمين التيار بشكل مستمر لجميع القطاعات في لبنان بشكل عام، وللاستهلاك المنزلي بصورة خاصة، الأمر الذي يتسبب بتعطيل الكثير من المرافق العامة والخاصة ويرخي بظلاله الثقيلة على إنتاجية البلد ومستوى معيشة المواطنين حتى في منازلهم التي باتت لا تحصل على أكثر من ساعتين أو ثلاث ساعات خلال اليوم، مما اضطر معظم القطاعات للاعتماد على المولدات الكهربائية، وازدهرت ظاهرة تأمين الكهرباء من قبل أصحاب المولدات في جميع أرجاء الوطن.

ومع تدهور القيمة الشرائية للعملة الوطنية وبالتالي مداخيل السكان وعدم تصحيحها حتى الآن؛ ومع ارتفاع أسعار المازوت والزيوت باتت كلفة الاشتراك بكهرباء المولدات أو اقتناء المولد تتجاوز قدرة الشريحة العظمى من السكان على تحمّل هذه التكاليف التي لا تخلو من

المبالغة والاستغلال من قبل أصحاب هذه المولدات، ناهيك عن لجوء أصحاب المولدات لاعتماد اسلوب التقنين في تزويد المشتركين ساعات محدودة في اليوم تزامناً مع رفع قيمة الاشتراكات وأسعار الكيلووات شهرياً وبشكل متصاعد، حيث تجاوزت كلفة الحصول على 5 أمبير ولساعات محدودة في اليوم؛ الحد الأدنى للأجور إن لم نقل بأنها تجاوزت ضعفه في كثير من الحالات.

إنّ انسداد الأفق أمام إيجاد الحلول لهذه المعضلة منذ ظهورها على الساحة اللبنانية واتساع دائرة هذه الأزمة مع استمرار اتساع الفجوة حاضراً، وانعدام أفق الحلول للسيطرة عليها في المستقبل بسبب الإدارة الفاشلة والفساد السياسي والإداري المستشري في الدولة عموماً، وفي قطاع الكهرباء خصوصاً، سيّما أن التوسع في قطاع السكن وكذلك في كافة القطاعات التي تحتاج إلى طاقة كهربائية، قد زاد من حدة الانعكاسات السلبية وساهم في استنزاف تخصيصات ضخمة تجاوزت 40 مليار دولار دون أن تؤدي إلى تخفيف الأزمة بل زادت من عمقها حتى باتت تشكل السبب الأول لعجز الموازنة وتراكم الدين العام.

مشكلة البحث:

بعد الاندفاع الواضح للتوجه إلى استخدام الطاقة الشمسية لأغراض السكن المنزلي في ظل أزمة الكهرباء في لبنان، وعلى ضوء الدراسات والتقارير التي تشجع على هذا التوجه انطلاقاً من وضع لبنان والعالم، يبدو من الخارج أن موضوع الألواح الشمسية مشروع مربح وجذاب على المديين المتوسط والبعيد، كما أنه يسمح باستخدام الطاقة النظيفة والاستغناء عن مصادر الطاقة غير المتجدّدة والتي تسبب تلوث الطبيعة، في الوقت الذي يتّجه فيه العالم نحو التنمية المستدامة والصناعات الخضراء.

انسجاما مع أهداف التنمية المستدامة خصوصاً ما جاء في الهدف السابع الذي يتضمن على أنه "يتمتع لبنان بقدرة كبيرة على الانتقال من الوقود كمصدر أساسي للطاقة والاعتماد بشكل أكبر على طاقة متجدّدة من مصادر مثل الشمس والرياح والمياه، ينبغي بذل جهود كبيرة لتحسين انبعاثات الغازات الدفينة وتوفير طاقة بتكلفة ميسورة".

وعلى ضوء ذلك ارتأى الباحثون ضرورة دراسة الجدوى الاقتصادية لاعتماد الطاقة الشمسية في الاستخدام المنزلي. وبذلك تم صياغة مشكلة البحث كما يلي:

ما هي الجدوى الاقتصادية لإنتاج الطاقة الشمسية للاستخدام المنزلي في لبنان؟

ويتفرّع عن هذا السؤال الرئيس الأسئلة البحثية الفرعية التالية:

1. هل يوجد جدوى اقتصادية لاستخدام الطاقة الشمسية للاستخدام المنزلي بالمقارنة مع تكاليف استخدامها من المصادر الأخرى المتاحة (أصحاب المولدات).
2. هل تُسهم الطاقة الشمسية في حل أزمة الكهرباء المنزلية في لبنان؟

فرضيات البحث:

1. H1:1 يوجد جدوى اقتصادية بدلالة نتائج دراسة جدوى علمية لاستخدام الطاقة الشمسية في الاستخدام المنزلي في لبنان بالمقارنة مع تكاليف استخدامها من المصادر الأخرى المتاحة (أصحاب المولدات).
2. H0:1 لا يوجد جدوى اقتصادية بدلالة نتائج دراسة جدوى علمية لاستخدام الطاقة الشمسية في الاستخدام المنزلي في لبنان.
3. H1:2 تسهم الطاقة الشمسية بدلالة نتائج دراسة جدوى علمية في حل أزمة الكهرباء في لبنان.

4. H0:2 لا تسهم الطاقة الشمسية بدلالة نتائج دراسة جدوى علمية في حل أزمة الكهرباء في لبنان.

دوافع وأسباب الأخذ بالطاقة الشمسية:

إنّ الطاقة الكهربائية المتولدة من البترول (النفط والغاز) أو المحطات الكهرومائية أصبحت مهدّدة وغير مضمونة النتائج بسبب توقعات النضوب، بالإضافة لما يمكن أن تحدثه من أزمات وصراع عالمي تظهر مؤشراته باستمرار الصراع بين الدول العظمى مثل امريكا وأوروبا من جهة والصين وروسيا من جهة أخرى، زد على ذلك الارتفاع الكبير الّذي باتت تشهده أسعار النفط، حيث ستزداد أزمة الطاقة المعتمدة على البترول وتزداد أثارها السلبية على كافة مجالات الحياة وعلى كافة القطاعات الإنتاجية، الصناعية والزراعية، والخدمية التجارية والسكنية والصحية والتعليمية وغير ذلك.

إنّ هذه الأسباب مع جملة أسباب أخرى، منها التلوّث الذي انتشر في العالم جراء استخدام الطاقة التقليدية (النفط والغاز والفحم) والتي كان لها التأثير السلبي على البيئة من خلال طرح الانبعاثات الكربونية السامة التي أصبحت تمثل خطراً على البشرية لما تسببه من أمراض مزمنة وخطيرة، قد دفعت بالعالم إلى البحث عن مصادر طاقة بديلة وتركزت الجهود على أنواع الطاقة المتجدّدة مثل الطاقة المتولّدة بواسطة الرياح، والطاقة الشمسية، وذلك بسبب إيجابيتها المتمثلة بكونها صديقة للبيئة والإنسان ولا تطرح انبعاثات غازية وكربونية، ولا ينجم من استخدامها ضوضاء، ولا تحتاج إلى أكلاف نقل واحتياجها إلى الأثمان المرتفعة للنفط والغاز، كما يمكن استخدامها في أي مجال ومكان بسهولة وأمان، كما أثبتت الدراسات التي أجريت حولها (خميس، د.ت.)

أ. الدوافع السلبية للتفكير بالطاقة المتجدّدة: تكمن أبرز الأسباب والدوافع للتفكير بالطاقة المتجدّدة كما سبق ذكره في توقعات اقتراب نضوب النفط في العالم، بالإضافة للأضرار التي نجمت عن اعتماده وخاصة على البيئة والتسبب ببعض الأمراض. وكذلك بسبب الصراع والتنافس بين الدول الكبرى التي تسعى للاستحواذ على مصادر القوّة باعتباره أنّ الطاقة تشكل أبرز العوامل المؤثرة في استمرار الصراع والتنافس من أجل التأثير على الدول الأخرى وإخضاعها لسياساتها.

ب. الدوافع الإيجابية للتفكير بالطاقة الشمسية: إنّ أبرز إيجابيات الاعتماد على الطاقة الشمسية المتجدّدة هو تحقيق الاستقرار الاقتصادي والسياسي، لأن مصدر الطاقة هو مورد حر ومحلي موجود داخل البلد ولا يشكل مصدر قلق للدخول في دائرة الصراع والتنافس والتسلح الاقتصادي. إن اعتماد هذه الطاقة يساعد الدولة على تحقيق التطور السريع نظراً لأنه من أبرز مقومات النمو الاقتصادي المساهمة في تحقيق رفاهية المجتمع، فالطاقة الشمسية هي بديل عن استخدام الوقود الذي ينفذ مع مرور الوقت إضافة إلى تلويث البيئة وتلاعب أسعار الطاقة التي تتجه لارتفاع غير مسبوق في ظل الأوضاع الدولية المتفجرة بعد الحرب الروسية – الاوكرانية.

مبررات البحث:

حيث لا يمكن الاستغناء عن الطاقة في أي وقت وفي أي بلد لأنها تشكل الطاقة التقليدية، الأمر الذي يرفع وتيرة الصراع بمرور الزمن واقتراب نضوب النفط، ونظراً لأزمة الطاقة الحادة في لبنان، البلد الذي لا يملك الموارد الكافية للحصول على احتياجاته من مصادر الطاقة التقليدية بسبب ارتفاع أسعارها في ظل ندرة تدفق العملات الصعبة؛ وانعكاس هذا الارتفاع على ارتفاع تكاليف إنتاج قطاعاته الإنتاجية والخدماتية وما يترتب عن ذلك من تراجع الناتج القومي وتردي الأحوال المعيشية بمعدل يزيد عن 80% من السكان الذين باتوا تحت سقف الفقر والحرمان من أبسط مقومات العيش في القرن الواحد والعشرين، لذلك أصبح

من الضروري البحث عن مصادر بديلة للطاقة. ولما كانت الطاقة الشمسية هي من أبرز أنواع الطاقة نظراً لسهولة الحصول عليها إذا ما توفّرت الامكانات المادية لذلك؛ ولا تحتاج إلى خوض صراعات دولية وتعتبر الأكثر أماناً ونظافة والأقل كلفة قياساً بغيرها من مصادر الطاقة الموجودة. إن توليد الكهرباء من طاقة الشمس باستخدام جهاز توليد يعمل بالطاقة الشمسية يمثّل ثورة علمية مبتكرة تؤمن للأجيال القادمة الحياة الأفضل، الآمنة والنظيفة الخالية من التلوث البيئي المدمّر للصحة. لقد أصبحت الطاقة الشمسية في طريقها للمساهمة بتوفير المزيد من الكهرباء، وذلك لاعتبارات اقتصادية أكثر منها بيئية، حيث أن تكلفة الكهرباء من ألواح الطاقة الشمسية أصبحت الآن تقترب وأحياناً تكون أرخص من حرق الغاز الطبيعي أو الفيول لإنتاج الكهرباء، حتى بدون دعم وحوافز تهدف إلى تشجيع مصادر الطاقة غير الملوثة للبيئة.

وبما أن لبنان يتمتّع بالبيئة الملائمة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية وحصوله على ساعات شمسية جيدة في أغلب فصول السنة، ونظراً للوضع المتردي للطاقة في لبنان وانسداداً للأفق أمام المعالجة المنظورة لهذه الأزمة، حيث يصل سعر الأمبير الواحد لكل ساعة دوران إلى 1082.5 ل.ل للمشترك في المولدات، وأحياناً يصل التقنين في تزويدهم بالكهرباء إلى أقل من 12 ساعة يومياً، ويتراوح التقنين من قبل شركة كهرباء لبنان بين 2 – 4 ساعات يومياً، الأمر الذي لا يحقق أقل مستويات الاكتفاء عند المواطنين.

أهمية البحث:

تحدّد دراسة جدوى مشروع الطاقة الشمسية مدى أهمية مثل هذه المشاريع في توليد الكهرباء نظراً لقلة موارد الكهرباء في لبنان، مع تبيان تكلفتها بالتفصيل. كما توضّح أهمية فكرة الطاقة الشمسية، وما هي الخطوات العملية اللازمة لتنفيذها بإتقان، لا سيّما وأن الطاقة الشمسية جزء من خطط التنويع الاقتصادي المرغوب اعتمادها. وتشكّل أهمية هذا المشروع في الحصول على الطاقة الشمسية النظيفة، إضافة إلى قدرة بيع وتوريد الطاقة الزائدة إلى الحكومة أو المحلاّت أو المساكن المجاورة بأسعار مجزية وتحقيق وفر على المستهلك.

رغم أنّ هذا المشروع مكلف إلى حدّ ما، إلاّ أنّ نتائجه مضمونة نظراً لأنّ لبنان مشمساً لحوالي 300 يوم في السنة. لذلك تُعدّ دراسة جدوى اقتصادية من المتطلبات الهامة والضرورية التي يجب أن يقوم بها الراغب في هذا المشروع ليستطيع تنفيذ مشروعه بكل نجاح. فدراسة الجدوى تركز أنّ الهدف من مشروع الطاقة الشمسية هو الاستفادة المجزية من الشمس بواسطة بعض الأدوات.

مميزات مشاريع الطاقة الشمسية:

الطاقة الشمسية هي الإشعاع الحراري الناتج من الشمس، ويمكن الاستفادة منها في التفاعلات الكيميائية أو توليد الكهرباء. تتجاوز الكمية الإجمالية للطاقة الشمسية على كوكب الأرض متطلبات الطاقة الحالية والمتوقعة مستقبلاً في العالم، لكن يجب تسخيرها بشكل مناسب لتلبية احتياجات البشر من الطاقة. ومن المتوقع أن يتم استخدامها بشكل متزايد في القرن الحالي بسبب خصائصها غير الملوثة للبيئة؛ ولأنها متجددة ولا تنفذ **Invalid source specified.** وبهذا فقد أصبحت الطاقة الشمسية من أفضل مشاريع الطاقة في الوقت الراهن، فازداد الطلب عليها من أجل توفير نفقات الكهرباء والتعويض عن عدم توافرها بالحدود الدنيا. كما أنّ من أبرز ما يميز هذا المشروع هو عدم حاجته إلى خبرة سابقة للعمل فيه وبشكل تفصيلي. تتميز مشاريع الطاقة الشمسية بما يلي:

1. إنها في حالة تطوير تكنولوجي مستمر الأمر الذي يؤدي إلى تزايد التحسينات في المستقبل.
2. فواتير شهرية أقل.
3. الصيانة الكلية منخفضة التكلفة بالمقارنة مع غيرها من مصادر توليد الطاقة.
4. مصدر متجدّد وغير منتهٍ، حيث أن الطاقة الشمسية دائمة.
5. متعدّدة الاستخدامات.

6. صديقة للبيئة ونظيفة، لا ينبعث منها غازات أو مواد سامة على عكس المصادر الأخرى.

إلاّ أنّ ذلك لا ينفي وجود سلبيات متمثلة في حالة التقطّع في فصل الشتاء، حيث يقل تعرض الألواح للشمس بسبب احتجابها بالغيوم لعدّة ساعات وربما لعدّة أيام. يضاف إلى ذلك التكلفة المرتفعة مقارنة بمستوى المداخيل الراهنة في لبنان وبسبب غلاء أسعار الألواح والبطاريات والانفرترات المستوردة؛ وعدم وجود دعم وحوافز تشجيعية من قبل الدولة. كما أن الألواح الشمسية تحتاج إلى مساحة ملائمة وكبيرة نسبياً قد لا يتوافران لدى بعض سكان البنايات.

الدراسات السابقة:

نشرت جريدة النهار الصادرة في 22/9/2021 مقالاً للكاتبة فرح نصّور يشير إلى أنّه "في وسط أزمة المحروقات والكهرباء التي تتواصل منذ فترة، بدأ الناس يتقاطرون لشراء البدائل الكفيلة بتأمين وإنارة منازلهم ومؤسساتهم بأساليب مختلفة، لكن خيار أنظمة الطاقة الشمسية تصّدر خيارات المواطنين، وإن كانت تكلفة إنشاء هذه الأنظمة تظهر وكأنها الأعلى". واستناداً إلى افتراض ارتفاع هذه التكلفة كان لا بدّ من التحقق من هذا الادعاء كي لا يكون محبطاً للراغبين بنصب منظومة طاقة شمسية في منازلهم، واقتضى ذلك الاطلاع على الدراسات السابقة حول الموضوع والقيام بدراسة الجدوى الاقتصادية لذلك البديل الذي يرى فيه الكثيرون حلاً مقبولاً لما يعانوه من مشاكل في حصولهم على احتياجاتهم من الطاقة بأوقات وتكاليف معقولة ومقبولة، وذلك بتقديم دراسة واقعية تفيد في توضيح الحقيقة أمام الناس.

قدّمت دعاء نجّار (2018) بحثاً حول الطاقة الشمسية، استعرضت فيه التعريف بهذه الطاقة واستخداماتها، كما قدّم S. ASHOK (n.d) دراسة تحت عنوان "Solar Energy" توقّع فيه أن يتم استخدام الطاقة الشمسية بشكل متزايد في القرن الحالي بسبب خصائصها غير الملوثة للبيئة؛ ولأنها متجدّدة. أما Timothy Thiele (2022) فقد شرح في دراسته "Top 10

”Residential Uses for Solar Energy مجالات الطاقة الشمسية للاستخدام المنزلي، وتدفئة حوض السباحة، وشحن البطارية، والطهي. في حين ذهب Zachary Shahan (2014) لشرح فوائد الطاقة الشمسية في مقاله الذي حمل عنوان “advantages of solar energy” حيث أشار إلى دور منظومة الطاقة الشمسية في إضاءة الفناء الخارجي للمنازل، والممشى والحدائق، وقسّم فوائدها بين محاربة الاحتباس الحراري والتغيّر المناخي، والأمان في الاستخدام، وتقليل الحاجة إلى البنية التحتية. وفي دراسة حول الألواح الشمسية فقد خلصت الباحثة مريم خميس (د.ت) إلى أن "انطلاقاً من وضع لبنان والعالم؛ يبدو من الخارج موضوع الألواح الشمسية مشروعاً مربحاً وجذاباً على المدى البعيد، كما أنه يسمح باستخدام الطاقة النظيفة والاستغناء عن مصادر الطاقة غير المتجدّدة والتي تسبب بتلوث الطبيعة، في الوقت الذي يتجه فيه العالم نحو التنمية المستدامة والصناعات الخضراء ويقف في وجه استخدام هذه المنظومة في لبنان عدة أسباب أهمها: ضعف القدرة الشرائية لمعظم المواطنين، عدم قدرة المصارف على تقديم القروض الميسرة والمدعومة، عدم وجود فرص لدعم هذا المشروع من الدولة، صعوبة الاستيراد في الفترة الحالية بسبب انهيار قيمة العملة الوطنية، وأخيراً عدم توفّر المواد المطلوبة لصناعة الألواح في لبنان".

واستناداً لما سبق، فقد أوضحت الدراسات السابقة أن مشروع الطاقة الشمسية للمنازل هو مكلف نوعاً ما بالمقارنة مع المستوى الحالي لمداخيل المواطنين في لبنان، ولكنه ناجح وأرباحه تتجاوز تكاليفه على المديين المتوسط والطويل، وان أسعار الوقود لا تؤثر عليه؛ خاصة في هذا الوقت الذي يشهد ارتفاعاً كبيراً في أسعارها. كما أوضحت الدراسات السابقة أن تكلفة مشروع الطاقة الشمسية تتوقف على المساهمة التي يشغلها المشروع، وعلى الطاقة المطلوبة، وحسب احتياجات المنزل. وتتغيّر تكاليف انشاء مشروع الطاقة الشمسية تبعاً للتفاصيل التي تخص مساحة المكان ونوع وعدد الألواح الشمسية والبطاريات والانفرترات، وكمية طاقة الشمس المنتظرة من المشروع التي تحددها الاحتياجات المنزلية من الطاقة.

استخدامات الطاقة الشمسية في المنازل:

يتم استخدام الألواح الشمسية من خلال وضعها على سطح المنزل غالباً أو على الشرفات المناسبة أو حديقة المنزل ان وجدت، حيث تستغل الطاقة الشمسية المستخدمة من الألواح في إضاءة الفناء الداخلي والخارجي للمنازل وفي التدفئة، أو التبريد، أو لتشغيل الأجهزة الكهربائية، أو تدفئة حوض السباحة من خلال إضافة بطانية شمسية خاصة بتدفئة المياه على سطح البركة، وكذلك لتسخين المياه داخل المنزل من خلال الاستعانة بنظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية. وكذلك يستفاد من الطاقة الشمسية في شحن البطاريات أثناء النهار وخلال وجود أشعة الشمس ليتم استخدامها ليلاً. كما تفيد الطاقة الشمسية في استخدام "الفرن الشمسي" الخاص بالطهي كبديل عن الطهي المنزلي التقليدي، ويكون عبارة عن صندوق، فيه مقلاة ومحاط برقائق ألمنيوم لكي تمتص الشمس وتعكسها على الطعام. بالإضافة لوجود عازل حراري ومقياس حراري لقياس درجة الحرارة في الفرن (Thimothy Thiele, 2022).

فوائد الطاقة الشمسية:

يمكن حصر أهم الفوائد بالنقاط الثلاث التالية:

1. محاربة الاحتباس الحراري والتغيير المناخي الذي يهدّد البيئة والحياة على كوكب الأرض. وتُعد الطاقة الشمسية واحدة من أفضل الحلول لهذه الظواهر التي تسبب أزمة كارثية للبشر والأرض؛ إذ تتأثر سلباً البيئة والغذاء والمنازل والمياه والكائنات الحية والنباتات جميعها بهاتين الظاهرتين لكن استخدام الطاقة الشمسية يحدّ منها.
2. الأمان في الاستخدام: تعدّ الملايين من أنظمة الألواح الشمسية المنتشرة في العالم آمنة للاستخدام مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى مثل الكهرباء، حيث يؤدي انهيار محطة طاقة

كهربائية بسبب عبث أو كوارث طبيعية إلى مشاكل وأضرار كبيرة، بينما ألواح الطاقة الشمسية لا تتسبب بمثل هذه الأخطار والمشاكل حتى في حال تعطلها لسبب ما.

3. تقليل الحاجة إلى البنية التحتية: لا يحتاج استخدام الطاقة الشمسية إلى بنية تحتية ضخمة كالتي تحتاجها مصادر الطاقة الأخرى كالكهرباء، حيث يكفي وضع الألواح الشمسية في المناطق المفتوحة بجانب المباني، أو على الأسطح وأحياناً على الشرفات، للاستفادة من الطاقة الشمسية. (Zachary Shahan, 2014)

احتياجات مشروع الطاقة الشمسية للمنازل:

يتطلب مشروع الطاقة الشمسية للمنازل بعض المستلزمات الضرورية اللازمة لتوليد الطاقة الشمسية وهي كما يلي:

- **أولاً: الألواح الشمسية:** هي المكوّن الأساس في مشروع تزويد السكن بالكهرباء حيث تقوم بامتصاص الطاقة الشمسية ثم يتم تحويلها إلى كهرباء، أو تخزينها في بطاريات للاستفادة منها في فترة الليل وذلك من خلال الخلايا الكهروضوئية. والألواح الشمسية على نوعين: فهي إما تكون ألواح أحادية تعرف باسم "مونو"، أو تكون ألواح متعدّدة الكريستال تتميز بقدرة تحمّل عالية تناسب الأماكن ذات الحرارة المرتفعة.
- **ثانياً: البطاريات:** وهي البطاريات الخاصة بالطاقة الشمسية لتخزين الطاقة في فترة النهار من أجل استخدامها في فترة الليل، وهي على أربعة أنواع: (1) بطاريات الرصاص المفتوحة وهي تستخدم بكثرة في مشاريع الطاقة الشمسية، (2) بطاريات الرصاص العازلة للماء والتي لا تحتاج إلى تغيير سائل، وهي ذات جودة عالية وسعرها معقول، ولا تحتاج إلى صيانة كبيرة، وعمرها الافتراضي طويل نسبياً، (3) بطاريات النيكل والكادميوم، هيدريد المعادن، غير المستخدمة حالياً في مشاريع الطاقة الشمسية، (4) بطاريات الليثيوم التي تمتاز بإمكانية شحنها بشكل سريع، ويجب الحرص أثناء شحنها كي لا تتعدّى الحد الأقصى للشحن ويصبح بالإمكان تعرّضها للانفجار، ولذلك

يجب توفير المنظم الخاص بالشحن بالجودة العالية لتفادي هذه المشكلة، فتكون بذلك هذه البطارية من أفضل البطاريات المنصوح باستخدامها في الطاقة الشمسية.

- **ثالثاً: الأنفرتر (Inverter) المعاكس أو محول التيار الكهربائي:** هو جهاز يقوم بتحويل التيار المستمر القادم من البطاريات أو الألواح الشمسية وغيرها إلى تيار مرتد (AC) من أجل تشغيلها كافة الأجهزة الكهربائية المنزلية. إنّ كل أنفرتر في السوق لديه قدرة قصوى يمكن تحمله، وتقاس هذه القدرة بالواط، حيث يتم تحديد قدرة وعدد أحمال الأجهزة الكهربائية بناءً على قدرة الأنفرتر المناسب، ويفضّل عدم تحميله ما يزيد عن 70% من قدرته. فكلما كانت قدرة الأنفرتر أعلى من قدرة الأجهزة كان ذلك أفضل، وتطبيقاً على ذلك إذا كانت قدرة الأنفرتر 500 واط، يفضّل تشغيل أجهزة كهربائية بقدرة 400 واط على الأنفرتر كحد أقصى لتجذب ارتفاع حرارة القطع الإلكترونية وكذلك فصل الفيوز، علماً بأن بعض الإنفرترات تحتوي من الداخل على حمايات من الحمل الزائد وتيار القصر والجهد الزائد، وأيضاً من الارتفاع في درجة الحرارة، كما يوجد بها ميزة التحذير من ضعف البطاريات عند تفريغها لنسبة معينة، وأخيراً تتواجد في بعض الأنفرتيرات خاصية وجود نظام التحويل التلقائي بين شبكة الكهرباء والبطارية.

فما هو الانفرتير المناسب؟ لاختيار الانفرتر المناسب يجب مراعاة عدّة نقاط تتمثل في:

1. نوع الاجهزة الكهربائية المراد تشغيلها على الانفرتر.
2. اختيار أنفرتر من ماركة مشهورة ومعروفة ومجرّبة.
3. اختيار أنفرتر بقدرة أعلى من قدرة الأجهزة الكهربائية بنسبة 30% على الأقل.
4. الابتعاد عن الانفرترات الرخيصة والمصمّمة بموجة خرج معدّلة أو مربّعة، لأنها قد تسبب أي عطل للأجهزة الكهربائية تتسبّب بدفع تكاليف كثيرة. لذلك يُفضّل شراء انفرتر

بموجة جيبيّة نقيّة حتى إذا كانت غالية نسبيّاً، لكي لا تتعرّض لأعطال الأجهزة الكهربائية ودفع تكاليف باهظة لم تؤخذ بعين الاعتبار.

5. إنّ ثلاجة المنزل تعتمد على تيار بدء التشغيل وليس فقط على قدرة الانفرتر، لذلك يجب اختيار الانفرتر بناءً على ذلك.
6. يوجد في السوق انفرترات تقوم بوظيفة منظم الشحن الشائع الاستخدام في أنظمة الطاقة الشمسية، وقد ساعدت هذه الانفرترات الحديثة على الاستغناء عن منظم الشحن في مشاريع الطاقة الشمسية المنزلية وصغيرة الحجم.

ما هي موجة خرج الانفرتر؟ وكيفية احتساب كفاءة الانفرتر؟

يوجد عدّة موجات خرج توضع عادة على سطح الانفرتر أو في ورقة بياناته. فهناك موجة معدّلة أو موجة مربعة، ولكن أفضل أنواع موجات الخرج هي تلك التي تعمل تماماً مثل شبكة الكهرباء وتُعرف بالـ "الموجة الجيبية النقية" "**Pure sine wave**". وهي تكون على شكل موجات ناعمة وليس مربعة أو معدّلة.

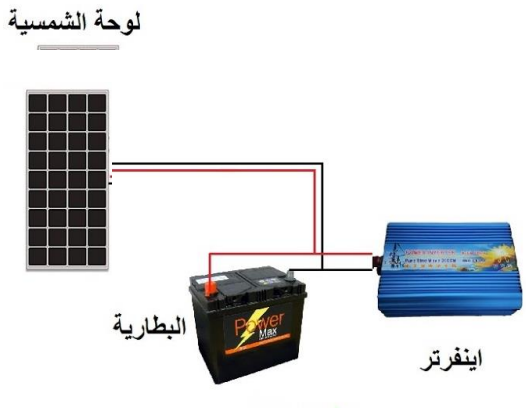
وتُحسب نسبة الكفاءة عن: النسبة بين طاقة خرج الانفرتر مقسومة على طاقة الدخل × 100%.

- **رابعاً: منظّم الشحن في الطاقة الشمسية (Solar Power Controller)**: يقوم بتنظيم الجهد والتيار القادم من الألواح الشمسية لقيم متوافقة مع جهد النظام – فولتية البطاريات وفولتية الدخل للانفرتر –، كما يعمل على شحن البطاريات على عدّة مراحل، إذ يقوم بالشحن السريع ثم التدرّج لتخفيض قيمة تيار الشحن عند الاقتراب من ملء البطاريات، كما يحمي البطاريات من الشحن الزائد والتفريغ الكامل. ومن وظائفه أيضاً حماية اللوح أو الخلايا الشمسية من تيار القصر، وتثبيت وتنقية فولتية الألواح الواصل للبطارية والأحمال، بالإضافة لإمكانية ضبط نطاق أو مجال فولتية المنظم لحماية

البطاريات والأحمال. كما أنّ منظم الشحن يضمن عدم رجوع التيار من البطارية للألواح ليلاً، ويوجد به شاشة لتوضيح حالة شحن البطاريات (باران، 2019) وكما سبق ذكره في النقطة 6 من أنواع الانفرترات، فإن وظائف منظم الشحن هذا، قد دمجت في وظائف بعض الانفرترات الحديثة والتي تناسب الاستخدام المنزلي وتخفض من تكاليف نصب منظومة طاقة شمسية في المنازل.

خامساً: التوصيلات والاكسسوارات: تابلو، جهاز حماية، فيوزات، حامل فيوز، هاوس ديجنتير، ساعة فولتات، أسلاك كهرباء، موصلة الحماية من الصواعق وغير ذلك

سادساً: المكان المناسب وقاعدة تركيب الألواح: يصلح أي مكان مشمس لمباشرة العمل فيه؛ فوق أسطح المنازل أو على الشرفات، أو فوق أي قطعة أرض المعرّضة للشمس بصورة دائمة ومباشرة. والطاقة الشمسية هي من المشاريع التي يمكن تركيبها وتنفيذها بسهولة. وكل ما تحتاجه هو عمل قاعدة جيدة ومتينة في المكان المناسب، وتركيب احتياجات المشروع السالفة الذكر والتي لا يحتاج تركيبها إلى خبرات معقدة.



دراسة الجدوى الاقتصادية للمشروع:

بيّن محمد (2018) كيف أن المباني الذكيّة تعد من أكبر المباني الموفرة للطاقة، وكذلك الجدوى الاقتصاديّة لاستخدام المباني الذكيّة الموفرة للطاقة وأساليب إدارتها. كما وضح أبو زيد وآخرون (2019) جدوى إنشاء محطة توليد طاقة كهربائيّة لمنزل سكني في منطقة صحراء برج العرب والجدوى الاقتصاديّة في توفير استهلاك الكهرباء من قبل شركة الكهرباء الحكوميّة.

وعلى العموم، فإن أهم ما يُذكر في دراسة جدوى مشروع الطاقة الشمسيّة هو:

1- التطور المستمر الّذي يرافق تقدّم التكنولوجيا في صناعة الطاقة الشمسيّة باستمرار وتوقّع ازدياد التحسينات في المستقبل بما يمكن أن تؤدي الابتكارات في فيزياء الكم وتقنية النانو إلى زيادة فعاليّة الألواح الشمسيّة ومضاعفة القدرات الموجودة حالياً. ويُجسد التطور في أي نوع من أنواع التكنولوجيا ضمان استمرارها.
2- الصيانة القليلة وانخفاض التكلفة، إذ لا تحتاج مشاريع الطاقة الشمسيّة نسبياً إلاّ لعمليات تنظيف عدّة مرات سنوياً وابقائها نظيفة فقط. فالألواح تُضمن لمدة 20-25 سنة، والأنفرتير هو الجزء الّذي يحتاج إلى تغيير بعد 5-10 سنوات، لأنه يعمل باستمرار على تحويل الطاقة الشمسيّة إلى كهرباء متردّدة وربطها مع الشبكة الكهربائيّة. أمّا في حال استخدام البطاريات لتخزين الطاقة إلى الاستخدام الليلي، فيصبح الأمر مختلفاً بنوع البطاريات المستعملة كما سبق عرضه في هذا البحث.
3- فواتير شهريّة قليلة وغير موجودة أغلب أشهر السنة.
4- مصدر متجدّد للطاقة لا يمكن نفاذه، على عكس معظم مصادر الطاقة الأخرى، لأن الشمس لا تزول.

5-متعدّدة ومتنوعة الاستخدام (توليد كهرباء، توليد حرارة، تسخين ماء، تقطير المياه، تشغيل الأقمار الاصطناعية في الفضاء... الخ).

بعد تحديد تكاليف إنشاء المشروع على ضوء تكلفة الألواح الشمسية لتوليد مقدار معين من "الوات"، وما يتطلب ذلك من أسعار البطاريات والانفرترات والإكسسوارات والقاعدة وأجرة التركيب، يتم حساب كمية الوات التي ستنتج. ومن خلال معرفة سعر شراء الكيلو واط يمكن التعرّف على الأرباح الناتجة عنه، وذلك يطرح حاصل ضرب سعر شراء الوات في كميته، مع حاصل جمع تكاليف إنشاء المشروع. فإذا كانت أرباح مشروع الطاقة الشمسية للمنازل أكبر من تكاليف إنشائه، فهذا يدل على أن المشروع مربح؛ فضلاً عن فوائده الأخرى، وإذا كانت أرباحه أقل من تكاليفه فهذا يدل على أنه غير مربح.

بالإضافة لذلك تتطلب دراسة الجدوى الراهنة، احتساب فترة الاسترداد بالطريقة المخصومة وغير المخصومة وصافي القيمة الحالية، ومؤشر الربحية.

الحالة العمليّة:

فيما يلي معطيات تعود لمشروع طاقة شمسيّة تم تركيبه في أحد منازل قرى الجنوب اللّبناني بتاريخ 2022/3/31 وينتج عنه طاقة بمقدار 15 أمبير نهاراً تقريباً:

- تم شراء 8 ألواح شمسيّة بتكلفة 250$ للوح الواحد.
- إنفرتر بتكلفة 700$
- بطارية ليثيوم بتكلفة 2,600$ (بسعة 45 أمبير تقريباً)
- نفقات التركيب 100$.
- اكسسوارات 200$.
- قاعدة تركيب الألواح 150$.

- متوسط العمر الافتراضي للمشروع هو 10 سنوات.

وقد كان سعر الصرف سوق السوداء حينها 24,000 ل.ل لكل دولار، كما أن تكلفة دوران ساعة موتور الكهرباء (الطاقة البديلة للطاقة الشمسيّة 1082.5 ل. ل لكل ساعة دوران لكل أمبير).

بناء على ما سبق فإن التكلفة الاستثمارية للمشروع تتكون من العناصر التالية:

التكلفة الاستثمارية	
المكوّن	**القيمة**
الألواح الشمسيّة	8 ألواح x $250= $2,000
إنفرتر	$700
بطارية ليثيوم	$2,600
نفقات التركيب	$100
إكسسوارات	$200
قاعدة تركيب الألواح	$150
مجموع التكلفة بالدولار الأمريكي	$5,750
مجموع التكلفة بالليرة اللّبنانيّة	5,750 x 24,000= 138,000,000 ل.ل

أما إيرادات المشروع، فهي تتمثل بالوفر الناتج عن استخدام الطاقة الشمسيّة بدلاً من موتور الكهرباء، وعليه يجب احتساب تكلفة دوران موتور الكهرباء في السنة على أساس كميّة الطاقة الّتي يمكن الحصول عليها جراء تنفيذ مشروع الطاقة الشمسيّة (علماً ان عدد الأيام المشمسة في لبنان هو 300 يوم تقريباً في السنة، وعليه فإنه سيتغذى المنزل بالنهار لمدة 12 ساعة تقريباً بمقدار 15 أمبير لكل ساعة، أما ليلاً فالتغذية الكهربائية ستكون على أساس مقدار

ما يمكن استخدامه من الطاقة المخزنة في البطارية، علماً ان سعة البطارية هي 45 أمبير، بافتراض سيتم استخدامها على مدى 9 ساعات أي بمقدار 5 أمبير كل ساعة على مدار 365 يوم).

وعليه تكون تكلفة دوران موتور الكهرباء في السنة على أساس التغذية المعطاة من مشروع الطاقة الشمسيّة كما يلي:

تكلفة دوران موتور الكهرباء سنوياً= التكلفة نهاراً سنوياً+ التكلفة ليلاً سنوياً.

التكلفة نهاراً سنوياً= تكلفة الأمبير x عدد الأمبيرات بالساعة x 12 ساعة x 300 يوما

التكلفة نهاراً سنوياً= 1082.5 x 15 x 12 x 300= 58,455,000 ل.ل

التكلفة ليلاً سنوياً= تكلفة الأمبير x عدد الأمبيرات x 9 ساعات x 365 يوما

التكلفة ليلاً سنوياً= 1082.5 x 5 x 9 x 365 = 17,780,063 ل.ل

إذاً تكون تكلفة دوران موتور الكهرباء سنوياً= 58,455,000 + 17,780,063= 76,235,063 ل.ل

فإذاً مشروع الطاقة الشمسية ذات متوسط عمر افتراضي 10 سنوات وتكلفته الاستثمارية 138,000,000 ل.ل، يوفر سنوياً 76,235,063 ل.ل ويمثل هذا الوفر التدفق النقدي السنوي الصافي الجاري للمشروع.

على ضوء المعطيات السابقة، سيتم تقييم المشروع بحسب المؤشرات التالية:

- متوسط فترة الاسترداد بالطريقة غير المخصومة.
- متوسط فترة الاسترداد بالطريقة المخصومة بمعدل خصم 3%

- صافي القيمة الحالية بمعدل خصم 3%.
- مؤشر الربحية بمعدل خصم 3%.

متوسط فترة الاسترداد بالطريقة غير المخصومة

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{\text{التكلفة الاستثمارية}}{\text{الوسط الحسابي للتدفقات النقدية السنوية الجارية الصافية}}$$

وبما ان التدفقات النقديّة السنويّة الجاريّة الصافية للمشروع متساوية طول فترة عمر المشروع، فإن الوسط الحسابي لها هو مماثل لقيمة التدفق النقدي السنوي الصافي الجاري للمشروع أي 76,235,063 ل.ل.

فترة الاسترداد = $\frac{138,000,000}{76,235,063}$ = 1.8101 أي أن المشروع يسترد تكلفته الاستثمارية بعد سنة وتسعة أشهر و22 يوماً تقريباً.

متوسط فترة الاسترداد بالطريقة المخصومة بمعدل خصم 3%

الجدول رقم (1): نتائج مؤشر فترة الاسترداد بالطريقة المخصومة بمعدل خصم 3%.

السنة	التدفق النقدي السنوي الصافي الجاري	معامل الخصم عند معدل فائدة 3%	القيمة الحالية للتدفق النقدي السنوي الصافي الجاري	التدفق النقدي السنوي الصافي الجاري المتراكم
1	76,235,063	0.971	74,024,246	74,024,246
2	76,235,063	0.943	71,889,664	145,913,910

3	76,235,063	0.915	69,755,083	215,668,993
4	76,235,063	0.889	67,772,971	283,441,964
5	76,235,063	0.863	65,790,859	349,232,823
6	76,235,063	0.838	63,884,983	413,117,806
7	76,235,063	0.813	61,979,106	475,096,912
8	76,235,063	0.789	60,149,465	535,246,377
9	76,235,063	0.766	58,396,058	593,642,435
10	76,235,063	0.744	56,718,887	650,361,322
المجموع	762,350,630		650,361,322	صفر

بناءً على نتائج الجدول رقم (1)، يتضح أن مجموع التدفقات النقدية السنويّة الصافية الجارية للمشروع على مدى عمره الافتراضي والبالغ 10 سنوات تساوي 762,350,630 ل.ل، تبلغ قيمتها الحالية عند معدل خصم 3% 650,361,322 ل.ل.، وأن المشروع يسترد تكلفته الاستثمارية البالغة 138,000,000 ل.ل خلال السنة الثانية من عمر المشروع، فبنهاية السنة الأولى من عمر المشروع تم استرداد مبلغ 74,024,246 ل.ل من التكلفة الاستثماريّة، ويتبقى مبلغ بقيمة 138,000,000 −74,024,246= 63,975,754 ل.ل يسترد خلال السنة الثانية من عمر الافتراضي للمشروع، وعليه تكون متوسط فترة الاسترداد المخصومة=

فترة الاسترداد المخصومة= عدد السنوات التي لم تغطِّ تدفقاتها النقدية كلفة المشروع + $12 \times \frac{\text{المتبقي من مبلغ الاستثمار}}{\text{القيمة الحالية للسنة التي اخذنا منها الباقي}}$

فترة الاسترداد المخصومة= 1 سنة + $\frac{63,975,754}{71,889,664} \times 12$ = 1 سنة + 10.6790 شهر

أي أن المشروع يسترد تكلفته الاستثمارية بعد سنة وعشرة أشهر و23 يوماً تقريباً.

صافي القيمة الحالية بمعدل خصم 3%

الجدول رقم (2): نتائج مؤشر صافي القيمة الحالية بمعدل خصم 3%.

السنة	التدفق النقدي السنوي الصافي الجاري	معامل الخصم عند معدل فائدة 3% لدفعات متساوية	القيمة الحالية للتدفقات النقدية السنوية الصافية الجارية
1	76,235,063	8.53	650,285,087
2	76,235,063		
3	76,235,063		
4	76,235,063		
5	76,235,063		
6	76,235,063		
7	76,235,063		
8	76,235,063		
9	76,235,063		

10	76,235,063		
المجموع	762,350,630		650,285,087
التكلفة الاستثمارية			138,000,000
صافي القيمة الحالية			512,285,087

يتم احتساب صافي القيمة الحالية وفقاً للمعادلة التالية:

صافي القيمة الحالية= القيمة الحالية للتدفقات النقدية السنوية الصافية الجارية– القيمة الحالية للتكلفة الاستثمارية

صافي القيمة الحالية= 650,285,087–138,000,000= 512,285,087 > صفر، وعليه يعتبر المشروع بحسب مؤشر صافي القيمة الحالية مُجدٍ، كون صافي القيمة الحالية للمشروع أكبر من صفر، بما يعني أن القيمة الحالية للتدفقات النقدية السنوية الصافية الجارية أكبر من التكلفة الاستثمارية.

مؤشر الربحية بمعدل خصم 3%

يتم احتساب مؤشر الربحية وفقاً للمعادلة التالية:

$$\text{مؤشر دليل الربحية} = \frac{\text{القيمة الحالية للتدفقات النقدية السنوية الصافية الجارية}}{\text{القيمة الحالية للتكلفة الاستثمارية}}$$

بناءً على المعلومات الواردة في الجدول رقم (2)، يكون مؤشر دليل الربحية يساوي $\frac{650,285,087}{138,000,000}$= 4.7122 >1، وعليه يعتبر المشروع بحسب مؤشر دليل الربحية مُجدٍ، كون مؤشر دليل الربحية للمشروع أكبر من 1.

استنادا الى دراسة جدوى المشروع الّذي تم تركيبه في أحد منازل قرى الجنوب اللّبناني بتاريخ 2022/3/31 والّذي ينتج عنه طاقة مقدرة وسطياً في النهار بمقدار 15 أمبير، فقد تبيّن وجود جدوى اقتصادية لاستخدام الطاقة الشمسية في الاستخدام المنزلي في لبنان بالمقارنة مع تكاليف استخدامها من المصادر الأخرى (أصحاب المولدات) وبذلك قبلت الفرضيّة الأولى للبحث. كما تبيّن أيضاً أن الطاقة الشمسية تسهم في حل أزمة الكهرباء في لبنان، وبالتالي قبول الفرضية الثانية للبحث.

الخلاصة:

تعمل الألواح الشمسيّة على تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء قابلة للاستخدام بحيث تشمل الكثير من الاستخدامات للأغراض والاحتياجات المتنوعة. وتعتبر الطاقة الشمسية واحدة من أسرع مصادر الطاقة نمواً وأرخصها في العالم، وسوف تستمر في الانتشار السريع في السنوات القادمة، وهي متاحة دائماً، حيث لا يمكن نفاذ الطاقة الشمسية على عكس بعض مصادر الطاقة الأخرى، فمن الممكن للطاقة الشمسية الّتي توفرها الأرض لساعة واحدة أن توفر متطلبات الطاقة العالميّة لمدّة عام واحد.

إن مع تحسّن تقنية الألواح الشمسيّة ومستلزماتها بصورة تطوّر تكنولوجي مستمر، تتحسّن الفوائد الاقتصادية للطاقة الشمسيّة، ممّا يزيد من المزايا البيئيّة لاختيار مصدر طاقة نظيفة ومتجدّدة.

إن موضوع دراسة جدوى مشروع الطاقة الشمسيّة يشغل العديد من اهتمام الأشخاص، ويبحث الكثيرون عن فهم هذا المشروع. فالطاقة الشمسيّة مفيدة، لا تتطلب الكثير من الصيانة ولها عدّة مزايا واستخدامات. لذلك يفكّر الناس بتركيب ألواح شمسيّة لإنتاج الكهرباء في المنازل

دون الحاجة لكهرباء المولدات عالية الكلفة، وعدم وجود أفق واضح لحل مشكلة شبكة الكهرباء الوطنيّة.

وأخيراً، تشكل التكلفة الجزء الأساس لتلبية احتياجات السكن من الطاقة بالكهرباء المنتجة من النظام الشمسي؛ دون دفع الأرقام الخرافية الّتي يدفعها المستهلك شهرياً لأصحاب المولدات؛ علماً بأنه يوجد إمكانية للحصول على مدفوعات مقابل الطاقة الفائضة الّتي يمكن تصديرها إلى شبكة الكهرباء؛ إذا تم توليد كهرباء أكثر مما يُستخدم، وذلك عند توصيل نظام الألواح الشمسيّة بالشبكة. وقد أظهرت فكرة دراسة جدوى المشروع المرفق بهذا البحث بأنها فكرة سديدة، مربحة ومفيدة، وينصح بتركيب ألواح شمسية بطاقات إنتاجية مختلفة وفقاً لاحتياجات وامكانيات كل مسكن.

المصادر والمراجع:

باللغة العربيّة:

There are no sources in the current document.

باللغة الأجنبيّة:

There are no sources in the current document.