Al-imad Journal of Humanities and Applied Sciences (AJHAS)
مجلة العماد للعلوم الإنسانية والتطبيقية
ISSN: 3106-0323
Volume 2 – Issue 2 – 2026
Pages 321-344

Design and Economic Feasibility Analysis of a Grid -connected photovoltaic power plant

Abeer Abdulmajid Ali abeed [1*], Ahmed Alsiheeri Hassan Laq [2]
[1] Higher Institute of Science and Technology, Asaba, Libya
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering / Nalut University, Libya
*Corresponding: s62145812@gmail.com

تصميم ودراسة جدوى اقتصادية لإنشاء محطة طاقة شمسية متصلة مع الشبكة

عبير عبد المجيد علي اعبيد [1*]، أحمد السحيري حسن لقع [2]
[1] المعهد العالي للعلوم والتقنية، الاصابعة، ليبيا
[2] قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة / جامعة نالوت، ليبيا

Received: 05-06-2026; Accepted: 02-07-2026; Published: 25-07-2026

Abstract:
The study addresses the importance of photovoltaic solar energy as a renewable source and its role in reducing greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide, and enhancing environmental sustainability, making it one of the cleanest energy sources. The results indicate that solar power plants produce no direct emissions during operation and that emissions resulting from the manufacturing of solar panels are limited compared with fossil fuel-based power plants. The study also shows that despite the high initial costs of establishing solar energy systems, their long-term economic and environmental benefits make them a sustainable and effective option for electricity generation. The study recommends expanding the use of solar energy and supporting its development due to its significant role in reducing emissions, combating climate change, and achieving sustainability.

Keywords: Sustainable Energy; Solar Energy; Grid-Connected Photovoltaic System.

الملخص
تناول الدراسة أهمية الطاقة الشمسية الكهروضوئية كمصدر متجدد ودورها في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري مثل ثاني أكسيد الكربون وتعزيز الاستدامة البيئية، مما يجعلها واحدة من أنظف مصادر الطاقة. توضح النتائج أن محطات الطاقة الشمسية لا تنتج انبعاثات مباشرة أثناء تشغيلها، وأن الانبعاثات الناتجة عن تصنيع الألواح الشمسية محدودة مقارنة بمحطات الوقود الأحفوري. كما تبين الدراسة أنه رغم ارتفاع تكاليف إنشاء أنظمة الطاقة الشمسية في البداية، فإن فوائدها البيئية والاقتصادية على المدى الطويل تجعلها خياراً مستداماً وفعالاً لإنتاج الكهرباء. وتوصي الدراسة بتوسيع استخدام الطاقة الشمسية ودعم تطويرها لما لها من دور مهم في تقليل الانبعاثات ومكافحة التغير المناخي وتحقيق الاستدامة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المستدامة، الطاقة الشمسية، طاقة كهروضوئية متصلة بالشبكة.

المقدمة:

تعد مشاريع الطاقة الشمسية من أبرز الحلول المستدامة لتلبية احتياجات الطاقة المتزايدة عالميًا[1] . في ظل التحديات البيئية الناجمة عن استخدام مصادر الطاقة التقليدية، أصبحت الطاقة الشمسية خيارًا استراتيجيًا

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

يعتمد على الاستفادة من مصدر طبيعي ومتجدد. ومع تطور التكنولوجيا، باتت تكلفة إنشاء وتشغيل محطات الطاقة الشمسية أقل من ذي قبل، مما يجعلها خيارًا اقتصاديًا وصديقًا للبيئة[5][6] .
تتمثل دراسة الجدوى في تقييم شامل لمشروع إنشاء محطة طاقة شمسية من جميع الجوانب، بما في ذلك التحليل الفني، والاقتصادي، والبيئي، والقانوني. وتهدف إلى تحديد مدى جدوى المشروع من حيث التكلفة والعائد على الاستثمار، بالإضافة إلى تحليل المخاطر والتحديات المحتملة.
من خلال هذه الدراسة، يمكن فهم الفرص الاستثمارية المتاحة وتحقيق الأهداف التنموية المستدامة، مع المساهمة في تقليل انبعاثات الكربون وتعزيز الاستقلال الطاقي.

مشكلة البحث:
تواجه العديد من الدول تحديات في توفير مصادر طاقة مستدامة تلبي الطلب المتزايد مع الحد من الآثار البيئية الناتجة عن الاعتماد على الوقود الأحفوري. ورغم أن الطاقة الشمسية تُعد من أبرز مصادر الطاقة المتجددة، فإن انتشارها يواجه تحديات تتعلق بارتفاع التكاليف الأولية ومتطلبات البنية التحتية. لذلك، تتمثل مشكلة البحث في تقييم جدوى إنشاء محطة للطاقة الشمسية من الجوانب الاقتصادية والبيئية والتقنية، بهدف دعم التحول نحو الطاقة النظيفة.

فرضيات البحث:
1. **الفرضية الرئيسية:** إنشاء محطة طاقة شمسية يعد مشروعًا مجديًا اقتصاديًا وبيئيًا وتقنيًا، ويمكن أن يسهم في تلبية احتياجات الطاقة المستدامة.
2. **الفرضيات الفرعية:**

- التكاليف الأولية لإنشاء محطة طاقة شمسية يمكن استردادها خلال فترة زمنية معقولة من خلال العائد على الاستثمار.
- محطة الطاقة الشمسية تساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية وتحسين الأثر البيئي مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية.
- التقنيات المتاحة حاليًا قادرة على تحقيق كفاءة عالية في إنتاج الطاقة الشمسية، مع إمكانية تطوير حلول لتجاوز التحديات التقنية.
- توفر المنطقة المستهدفة مستويات إشعاع شمسي ملائمة والبنية التحتية المطلوبة يجعل المشروع ممكن التنفيذ.
- الاعتماد على الطاقة الشمسية يساهم في تقليل استهلاك الوقود الأحفوري ويعزز التنمية المستدامة.

أهداف البحث:
- **الهدف الرئيسي:** تقييم مدى جدوى إنشاء محطة طاقة شمسية من النواحي الاقتصادية، والبيئية، والتقنية.

الأهداف الفرعية:
1. تحديد التكلفة الإجمالية لإنشاء محطة طاقة شمسية والعائد المتوقع على الاستثمار.
2. دراسة التأثير البيئي لاستخدام الطاقة الشمسية مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية.
3. تحليل التحديات التقنية التي قد تواجه تشغيل المحطة واقتراح حلول عملية لتجاوزها.
4. والبنية التحتية اللازمة لتنفيذ البحث.
5. إبراز دور الطاقة الشمسية في تحقيق التنمية المستدامة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية[5].

منهجية الدراسة:
تتبنى هذه الدراسة منهجًا تحليليًا كميًا يعتمد على جمع البيانات وتحليلها لتقييم جدوى إنشاء محطة طاقة شمسية من مختلف النواحي. وتشمل المنهجية الخطوات التالية:

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **جمع البيانات:**
1. جمع بيانات تفصيلية حول مستويات الإشعاع الشمسي في المنطقة المستهدفة باستخدام مصادر موثوقة، مثل قواعد بيانات الطقس العالمية.
2. الحصول على معلومات حول التكاليف المرتبطة بتصميم وتركيب وتشغيل محطة الطاقة الشمسية.

- **تحليل الجدوى الفنية:**
1. استخدام برنامج PVsyst لتحليل أداء المحطة الشمسية وتقييم كفاءة الأنظمة المختلفة بناءً على ظروف الموقع.
2. تصميم النموذج الأولي لمحطة الطاقة الشمسية باستخدام البرنامج لتحديد الإنتاجية المتوقعة للطاقة.

- **تحليل الجدوى الاقتصادية:**
1. حساب التكلفة الإجمالية للمشروع (CAPEX) والتكاليف التشغيلية (OPEX).
2. تقدير العائد المالي المتوقع وفترة استرداد رأس المال باستخدام مقاييس مثل القيمة الحالية الصافية (NPV)ومعدل العائد الداخلي (IRR).

- **صياغة التوصيات:**

بناءً على نتائج التحليل، يتم تقديم توصيات عملية لتنفيذ المشروع وتحقيق أهدافه بأعلى كفاءة ممكنة.

1. الجانب النظري:

1.1 الطاقة الشمسية:

تُعتبر الشمس المصدر الرئيسي لجميع أنواع الطاقة الموجودة على سطح الأرض. إضافة إلى ذلك، تُعدّ الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، إذ تسهم في تكوين طاقات أخرى مثل طاقة الرياح، حركة المياه، المد والجزر، وحتى الطاقة الحرارية الجوفية الموجودة في باطن الأرض. يمكن القول بأن الشمس هي السبب الرئيسي أيضًا في تكوين أنواع الوقود الأحفوري مثل الفحم، البترول، والغاز الطبيعي.[7]

تحتلّ الطاقة الشمسية مكانة بارزة بين مصادر الطاقة الأخرى في العالم الحديث، حيث أصبحت بديلًا قويًا للبترول في إنتاج الكهرباء.[8]

هناك عدة أنواع من محطات الطاقة الشمسية تبني حاليا في انحاء مختلفة من العالم، وتشمل:

1. **محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية:** (Photovoltaic solar power plants) تعتمد على تحويل ضوء الشمس مباشرة الي كهرباء باستخدام الخلايا الشمسية.
2. **محطات الطاقة الشمسية الحرارية:** (solar thermal power plants) تستغل الحرارة الناتجة عن اشعة الشمس لتوليد الطاقة.
3. **محطات الطاقة الشمسية المركزة:** (concentrated Solar power plants) تستخدم عدسات او مرايا لتجميع وتركيز اشعة الشمس لتسخين سائل معين، يتم استخدامه في توليد الكهرباء.[2] [5]

2.1 محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

محطة الطاقة الشمسية هي منشأة واسعة النطاق تعتمد على الأنظمة الكهروضوئية لتوفير الطاقة الكهربائية بشكل تجاري لشبكة الكهرباء. كما تُعرف باسم الحديقة الشمسية أو مزرعة الطاقة الشمسية.

قرر العديد من المستهلكين تركيب شبكات من الخلايا الكهروضوئية على مبانيهم لاستخراج أقصى قدر ممكن من الطاقة الشمسية، مما يقلل اعتمادهم على مصادر الطاقة التقليدية ويخفض تكاليف الكهرباء. تعمل هذه الخلايا الشمسية عن طريق تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء باستخدام تأثير الكهروضوئية [5].

[7]

غالبًا ما تُستخدم الخلايا الكهروضوئية في الأجهزة الصغيرة مثل الآلات الحاسبة والساعات. يتم تصنيعها من مواد شبه موصلة مثل رقائق الكمبيوتر. عندما يمتص ضوء الشمس هذه المواد، فإنه يسبب تحرر الإلكترونات من الذرات. تتحرك هذه الإلكترونات عبر المادة لتوليد الكهرباء، وتُعرف هذه العملية بـ "التأثير الكهروضوئي"، حيث يتم تحويل الفوتونات (جسيمات الضوء) إلى كهرباء.

عندما يتم توصيل الجانب الموجب بالسالب في الخلايا الكهروضوئية باستخدام موصل كهربائي، تتشكل دائرة كهربائية. وعندما تتدفق الإلكترونات عبر هذه الدائرة، تتولد الكهرباء. عادةً ما يتم تجميع الخلايا

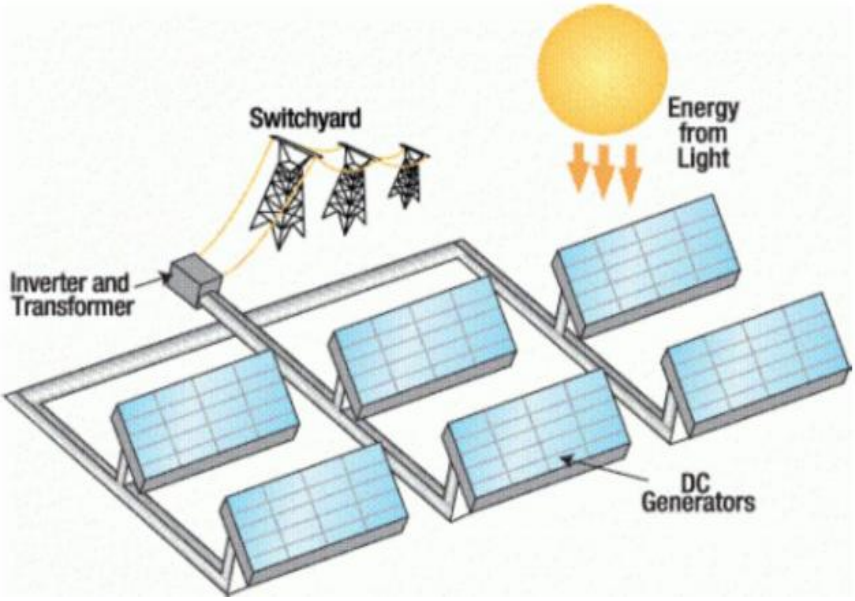
 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الشمسية لتكوين لوحات شمسية. يمكن ربط هذه اللوحات معًا لتشكيل مصفوفة شمسية. وكلما زاد عدد اللوحات المتصلة، زادت كمية الطاقة التي يمكن إنتاجها.
التحويل المباشر لضوء الشمس إلى طاقة كهربائية دون الحاجة إلى محركات حرارية يُعرف بـ "الطاقة الكهروضوئية". هذه العملية آمنة وصديقة للبيئة، حيث لا تتطلب انبعاث أي نوع من الدخان أو المواد الكيميائية الضارة.
الأنظمة الكهروضوئية تتميز بالمتانة والبساطة، وتتطلب صيانة أقل نسبيًا. كما يمكن بناؤها كأنظمة مستقلة، حيث يمكن أن توفر طاقة تتراوح بين ميكروواط إلى ميجاوات، حسب حجم النظام.
مع تطور التكنولوجيا، تنمو سوق الخلايا الكهروضوئية [8] [9] سنويًا بفضل تطبيقاتها الواسعة، مما يجعلها من أكثر التقنيات الواعدة لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة النظيفة [6].

3.1 المكونات الأساسية لأنظمة توليد الطاقة الكهروضوئية:

نظام توليد الطاقة الكهروضوئية يتكون من مجموعة مكونات تعمل معًا لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية تُستخدم في التطبيقات المختلفة. المكونات الرئيسية لهذا النظام تشمل:

1. **الخلايا الشمسية (مولدات التيار المستمر)**: هي العنصر الأساسي في النظام، حيث تقوم بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء بتيار مستمر باستخدام التأثير الكهروضوئي.[6]
2. **المحولات (Inverters)**: تُستخدم لتحويل التيار المستمر الناتج عن الخلايا الشمسية إلى تيار متناوب يمكن استخدامه في الشبكة الكهربائية أو الأجهزة المنزلية[3].
3. **التوصيلات الكهربائية**: تشمل الأسلاك والكابلات التي تربط بين المكونات المختلفة للنظام، مثل ربط الألواح الشمسية بالمحولات وبشبكة الكهرباء[3][4] .
4. **التوصيلات الميكانيكية**: تضم الهياكل الداعمة للألواح الشمسية التي تُثبت عليها الخلايا، وتكون مصممة لتحمل الظروف الجوية مثل الرياح والأمطار، وتوجيه الألواح بشكل مناسب للحصول على أقصى قدر من أشعة الشمس[4].
5. **وحدات التخزين (اختيارية)**: تُستخدم البطاريات لتخزين الطاقة الشمسية الفائضة لاستخدامها لاحقًا، خاصة في الأنظمة غير المتصلة بالشبكة[13] [10].
6. **وحدات التحكم**: تشمل أجهزة تنظيم الجهد وأجهزة الحماية لضمان كفاءة النظام ومنع تلف المكونات نتيجة التغيرات المفاجئة في التيار أو الجهد[4].
7. **أجهزة القياس والمراقبة**: تُستخدم لقياس إنتاج الطاقة ومراقبة أداء النظام بشكل مستمر لضمان التشغيل الأمثل [11].



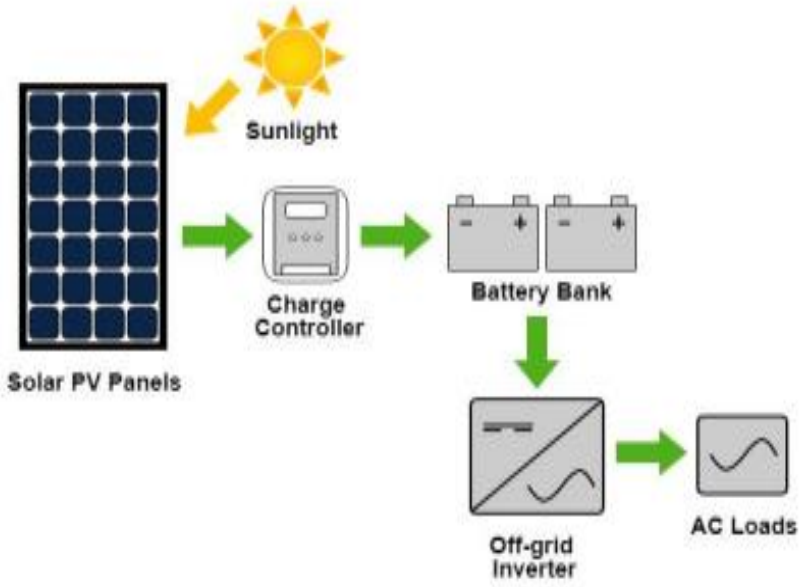
الشكل (1) محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

4.1 أنواع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

وفقًا لنمط التشغيل، يمكن تقسيم محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية إلى محطات طاقة شمسية مستقلة (غير متصلة بالشبكة) ومحطات طاقة شمسية كهروضوئية متصلة بالشبكة.

1. الطاقة الشمسية الكهروضوئية غير المتصلة بالشبكة.
2. تُعرف أنظمة توليد الطاقة الكهروضوئية المستقلة أيضًا بأنظمة الطاقة الشمسية غير المتصلة بالشبكة. تتكون بشكل أساسي من الوحدات الشمسية، والعاكس، وجهاز التحكم، وبطارية التخزين. تحتاج أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية غير المتصلة بالشبكة إلى بطاريات عميقة الشحن قابلة لإعادة الشحن مثل بطاريات الرصاص الحمضية، أو النيكل-كادميوم، أو الليثيوم-أيون لتخزين الكهرباء للاستخدام في الظروف التي يكون فيها إنتاج نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية قليلًا أو معدومًا، مثل خلال الليل [1]. [2]



الشكل (2) النظام الشمسي خارج الشبكة

1.4.1 الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة:

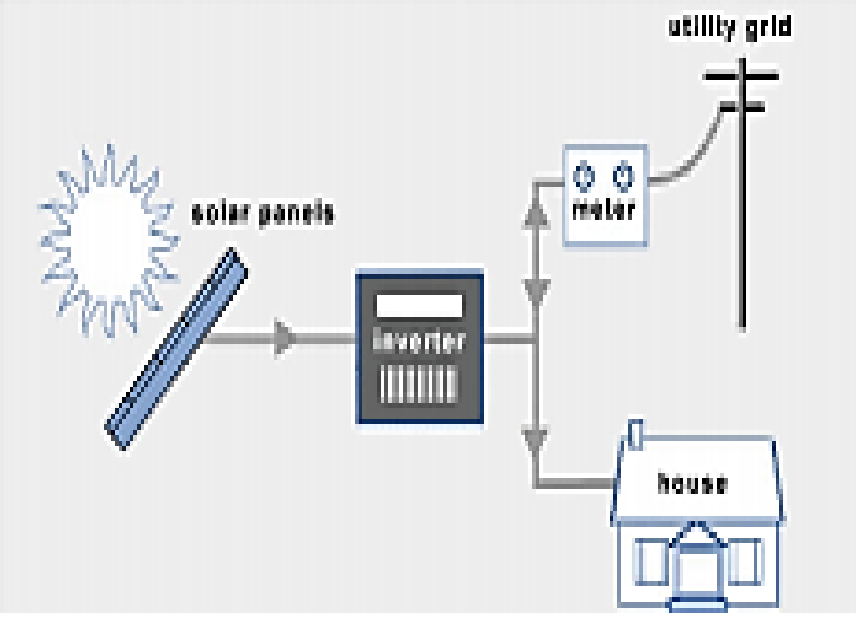
تقوم هذه الطريقة بنقل الطاقة الكهربائية من أنظمة الطاقة الكهروضوئية مباشرة إلى الشبكة الكهربائية. على عكس الأنظمة غير المتصلة بالشبكة، لم يتم تصميمها لتكون بديلاً عن الطاقة الكهربائية من الشبكة. توجد الأنظمة المتصلة بالشبكة عادة في المناطق الحضرية التي تحتوي على إمدادات رئيسية متاحة بسهولة، وبدلاً من تخزين الكهرباء الناتجة عن نظام الطاقة الكهروضوئية في البطاريات، يتم تغذية الطاقة مرة أخرى إلى الشبكة.

هناك نوعان عامان من التصميمات الكهربائية لأنظمة الطاقة الكهروضوئية: الأنظمة التي تتفاعل مع شبكة الطاقة العامة ولا تحتوي على قدرة احتياطي بطارية، والأنظمة التي تتفاعل وتشمل احتياطي البطارية. يتطلب النوع الأخير من الأجهزة تخزين الطاقة في شكل بطارية للحفاظ على دوائر "الأحمال الحرجة" تعمل أثناء انقطاع الخدمة. يتم فصل الوحدة عن الشبكة عند حدوث انقطاع وتغذي دوائر الحمل المنفصلة. إذا حدث انقطاع في ضوء النهار، ستساعد مجموعة الألواح الشمسية في تزويد الأحمال بالطاقة.[4] [2]

2.4.1 نظام متصل بالشبكة بدون تخزين:

يختلف نظام الطاقة الشمسية المتصل بالشبكة هذا عن نظيره المستقل في عدم وجود نظام تخزين (بطاريات). وبالتالي، لكي يعمل هذا النظام على مدار الساعة، يجب أن يكون هناك تيار كهربائي على الشبكة العامة، وبالتالي تحل الشبكة الكهربائية العامة محل بطاريات التخزين كما هو موضح في الشكل (3).

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



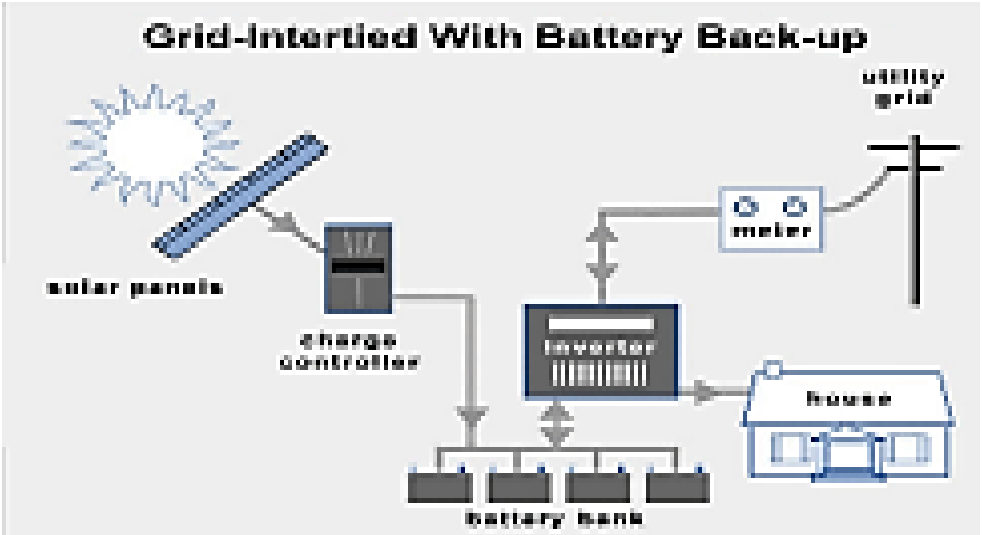
الشكل (3) نظام متصل بالشبكة بدون تخزين

كما يعمل النظام على تعويض نقص الطاقة الكهربائية في حال كان استهلاك الكهرباء أكبر من كمية الإنتاج من النظام الشمسي. من ناحية أخرى، يسمح للشبكة بتمرير الفائض من الطاقة الكهربائية إليها إذا كانت نسبة إنتاج الطاقة الشمسية تتجاوز الاستهلاك من خلال نظام ذكي يُسمى "القياس الصافي" (Net Metering).[10] [9]

نظام القياس الصافي هو آلية تُستخدم لقياس الفائض من الطاقة التي يتم إنتاجها بواسطة الأنظمة الكهروضوئية وتغذيتها في الشبكة. يساعد هذا النظام أصحاب الأنظمة الشمسية في تحقيق فوائد مالية، حيث يُمكنهم الحصول على ائتمان للطاقة الزائدة التي يتم إرسالها إلى الشبكة، مما يساعد في تقليل فواتير الكهرباء، وخاصة في الفترات التي تتجاوز فيها الطاقة المنتجة استهلاكهم[10].

3.4.1 نظام متصل بالشبكة مع البطاريات:

يجمع هذا النظام الثنائي بين النظامين السابقين، النظام الشمسي المستقل غير المتصل بالشبكة مع بطاريات التخزين (نظام الطاقة الشمسية غير المتصل بالشبكة) ونظام الطاقة الشمسية المتصل بالشبكة في غياب نظام التخزين (نظام الطاقة الشمسية المتصل بالشبكة)، كما هو موضح في الشكل(4).



الشكل (4) نظام متصل بالشبكة مع البطاريات

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

وبناءً على ذلك، يجمع هذا النظام بين خصائص كل من أنظمة الطاقة الشمسية المتصلة بالشبكة وغير المتصلة بالشبكة، حيث يمكن أن يعمل أحيانًا كنظام مرتبط بالشبكة إذا كان هناك تيار كهربائي في الشبكة الكهربائية. بالإضافة إلى ذلك، يمكنه العمل كنظام غير متصل بالشبكة إذا تم فقد الاتصال أو انقطع التيار الكهربائي. يُعتبر هذا النظام واحدًا من أفضل الأنظمة المقترحة نظرًا لقدرته على الاستقلال عن الشبكة الكهربائية الرئيسية، وفي الوقت نفسه، يمكنه بيع كمية الفائض من الطاقة الكهربائية إلى شبكة الكهرباء أو حتى تخزينها للاستخدام عند الحاجة[4] [6] .

5.4.1 الحسابات اليدوية:

يبلغ متوسط معدل الاشعاع الشمسي اليومي في نالوت 1.7kWh/m²/day.

أي أن KW1 ينتج 1700KWh/year.

وبالتالي فان تركيب 50MW يمكن ان ينتج 50x1700=850x10^{5}KWH/y

الطاقة المنتجة في اليوم= $\frac{\text{الطاقة المنتجة في السنة}}{\text{عدد أيام السنة}}$ [6]

$$\text{Kwh/day } 232876 \times 10^5 = \frac{850x10^5}{365}$$

نستخدم الواح 600w langis solar

$$\text{عدد الألواح المطلوبة } \frac{50mw}{600w} = 833{,}33 \text{ [14] [13]}$$

حساب الجهد بتأثير درجة الحرارة بغرض

T_1 =25C, Voc=52.81v , vmp=44.66 ,Isc=14.45 , TVOC=0.25%

الجهد عند ارتفاع درجة الحرارة الى 60C:[6]

$$\text{Vmpp mine} = 44.66 + \left(44.66 \times \frac{-0.25}{100}\right)(60 - 25) = 40.75V$$

الجهد عند انخفاض درجة الحرارة 0C:

$$\text{Vmpp mix}=44.66 + \left(44.66 \times \frac{-0.25}{100}\right)(0 - 25) = 44.38v$$

$$\text{Vom mod mix}= 52.81 + \left(52.81 \times \frac{-0.25}{100}\right) + (0 - 25) = 56.11v$$

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. حساب الحد الأدنى لعدد الألواح بناءً على جهد البدء للعاكس

- المعادلة:

$$\frac{{}_{\text{start}}U}{V_{\text{mpp-mod}} \times (1 - \text{Loss Factor})} = {}_{\text{min}}N$$

- القيم المعطاة:
- $U_{\text{start}} = 930\ \text{V}$
- $V_{\text{mpp-mod}} = 40.75\ \text{V}$
- $\text{Loss Factor} = 5\% = 0.05$
- الحساب:

$$24.02 \approx \frac{930}{38.7125} = \frac{930}{0.95 \times 40.75} = \frac{930}{(0.05 - 1) \times 40.75} = {}_{\text{min}}N$$

إذن: $N_{\text{min}} = 24$ لوحًا

2. الحد الأقصى لعدد الألواح عند MPPT:

- المعادلة:

$$\frac{{}_{\text{mppt-max}}V}{{}_{\text{mpp-mod}}V} = {}_{\text{max}}N$$

- القيم المعطاة:
- $V_{\text{mppt-max}} = 1300\ \text{V}$
- $V_{\text{mpp-mod}} = 47.45\ \text{V}$
- الحساب:

$$27.39 \approx \frac{1300}{47.45} = {}_{\text{max}}N$$

إذن: $N_{\text{max}} = 27$ لوحًا

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. الحد الأدنى لعدد الألواح عند MPPT:

- المعادلة:

$$\frac{{}_{\text{mppt-min}}V}{V_{\text{mpp-mod}} \times (1 - \text{Loss Factor})} = {}_{\text{min}}N$$

- القيم المعطاة:
- $910\ \text{V} = {}_{\text{mppt-min}}V$
- $40.73\ \text{V} = {}_{\text{mpp-mod}}V$
- $\text{Loss Factor} = 5\% = 0.05$
- الحساب:

$$23.51 \approx \frac{910}{38.6935} = \frac{910}{0.95 \times 40.73} = \frac{910}{(0.05 - 1) \times 40.73} = {}_{\text{min}}N$$

إذن: ${}_{\text{min}}N = 23$ لوحًا

2. حساب الحد الأقصى لعدد الألواح بناءً على الجهد الأقصى للعاكس

- المعادلة:

$$\frac{{}_{\text{inverter-max}}V}{{}_{\text{oc-mod}}V} = {}_{\text{max}}N$$

- القيم المعطاة:
- $1500\ \text{V} = {}_{\text{inverter-max}}V$
- $56.11\ \text{V} = {}_{\text{oc-mod}}V$
- الحساب:

$$26.74 \approx \frac{1500}{56.11} = {}_{\text{max}}N$$

إذن: ${}_{\text{max}}N = 26$ لوحًا

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. حساب عدد الألواح بناءً على الجهد المقدر للعاكس:

- **المعادلة:**

$$\frac{V_{\text{rated-inverter}}}{V_{\text{mpp-mod}}} = N_{\text{min}}$$

- **القيم المعطاة:**
- $V_{\text{rated-inverter}} = 640\ \text{V}$
- $V_{\text{mpp-mod}} = 44.66\ \text{V}$
- **الحساب:**

$$\frac{640}{44.66} = N_{\text{min}} \approx 14.33$$

إذن: $N_{\text{min}} = 14$ لوحًا

حساب المسافة بين الألواح: [4]

Land scape: L = 1.134m w = 2.278m β = 30

حساب المسافة بين الالواح بين الالواح بالنسبة لأسوء درجة ميل لظل الشمس في الشتاء هي 21 ديسمبر عند الساعة 10 صباحا.

α = 19 ƶ= 180-135 =45 h=L * sin β

h= 1.134*sin (30) = 0.567m

d =h $(\frac{\cos ƶ}{Tan\ ƶ})$

d = 0.567 $(\frac{COS\ 45}{Tan\ 19})$ =1.164 m

D= (L*cosβ)+ d

D = (0.567 * cos 30) + 1.164 =2.15 m

A =2.278*2.15 =4.8977m^2

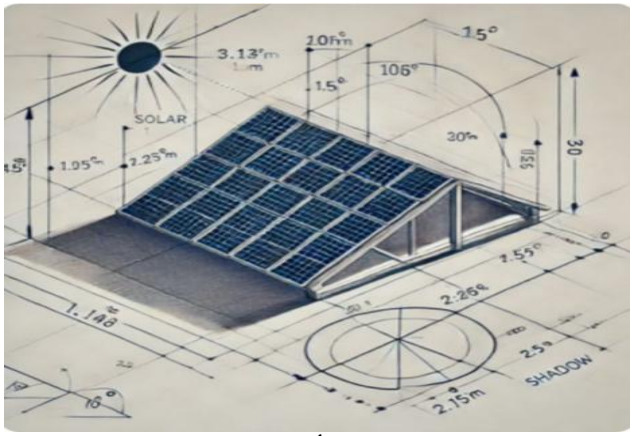
درجة زاوية ميل الظل عند الساعة 10 صباحا عن طريق مخطط الشمس:

المساحة الكلية للمحطة = عدد الالواح (المساحة الواح الواحد – h) [11]

= 83330 (0.567* 4.8977)

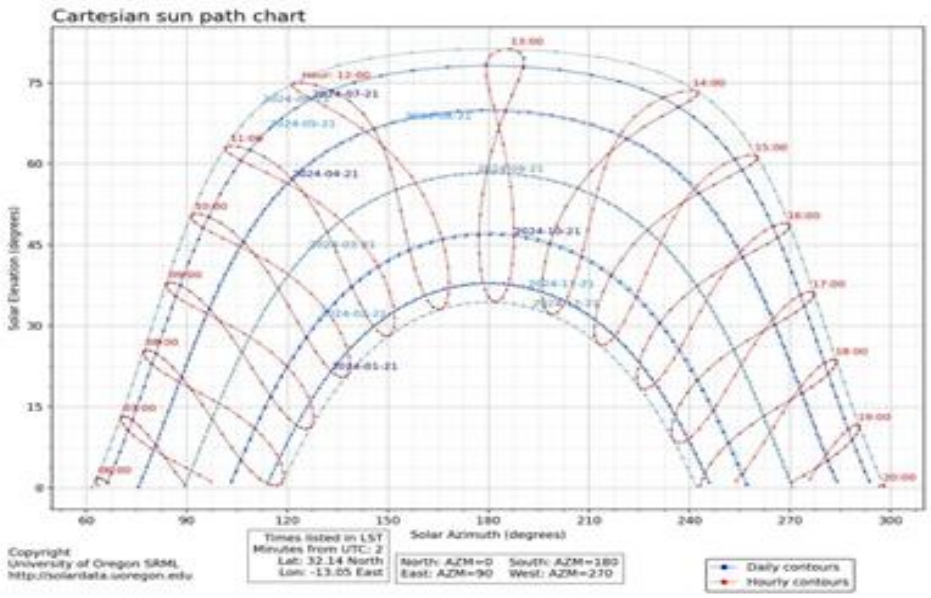
= 83330 (4.3) = 358319m²

= 35 هكتار



الشكل (5) رسم توضيحي لترتيب الألواح الشمسية وزاوية الميل والظلال.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



الشكل (6) مخطط مسار الشمس (Sun Path Chart).

المصدر: University of Oregon, Solar Radiation Monitoring Laboratory (SRML)

2. الجانب العملي:

1.2 الموقع المختار:

- **الموقع: الجبل الغربي**، على بعد 320 km غرب مدينة طرابلس.
- **الإحداثيات الجغرافية:**
- خط العرض 32.14° N (Latitude)
- خط الطول 13.05° E (Longitude)
-

الشكل (7): موقع الدراسة في الجبل الغربي، ليبيا.

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على Google Maps.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1.1.2 مميزات الموقع:

1. **إشعاع شمسي مرتفع:**

- **إشعاع شمسي عالي:** تتمتع ليبيا بمعدلات إشعاع شمسية مرتفعة، مما يجعل الموقع في الجبل الغربي مناسبًا لاستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية.
- المنطقة تستفيد من ساعات طويلة من أشعة الشمس، وهو ما يجعلها مثالية لإنتاج الطاقة الشمسية على مدار السنة.

2. **المسافة عن مدينة نالوت:**

- الموقع الذي يقع غرب نالوت يضمن أن المحطة الشمسية تكون في مكان غير مزدحم، مما يقلل من التأثيرات البيئية، ويُسهم في استغلال المساحات الشاسعة التي تفتقر للاستخدامات الأخرى.

3. **الاستفادة من الشبكة الكهربائية الحالية:**

- محطة تحويل نالوت (KV11/30/66/220): الموقع يتمتع بقربه من محطة تحويل نالوت، مما يسهل عملية ربط الطاقة المنتجة بالشبكة الوطنية عبر خطوط الجهد المختلفة (KV220، وKV66، وKV30، وKV11).
- تكامل مع الشبكة الوطنية: وجود محطة تحويل قريبة يُسهم في خفض تكاليف البنية التحتية، ويسمح بتوزيع الطاقة على مختلف أنحاء ليبيا بشكل فعال.

2.2 انشاء المحطة:

1.2.2 تحديد حجم الوحدات الكهروضوئية واختيارها:

أ. **حجم النظام المطلوب:**

- قدرة المحطة المطلوبة 50MW.
- اختيار الوحدات الكهروضوئية يعتمد على:

1. **طاقة الخرج للوحدة الواحدة.**
2. **كفاءة الوحدة.**
3. **التكاليف الإجمالية.** [10]

2.2.2 عدد الوحدات اللازمة:

- افتراض استخدام وحدات كهروضوئية بقدرة W600 لكل وحدة.

3.2 العوامل المؤثرة على اختيار الوحدة الكهروضوئية:

1. **الكفاءة والتكلفة:**

- الكفاءة تحدد المساحة المطلوبة لتوليد الطاقة المطلوبة.
- الكلفة تلعب دورًا رئيسيًا في تحديد نوع الوحدة:

2. **وحدات أحادية البلورية:(Monocrystalline)**

- كفاءة أعلى (15-23%).
- تكلفة أعلى.
- مناسبة إذا كانت المساحة محدودة.

3. **وحدات متعددة البلورات:(Polycrystalline)**

- كفاءة أقل (13-20%).
- تكلفة أقل.
- خيار اقتصادي في حالة توفر مساحة كافية[12] [13].

4. **الاعتبارات النهائية:**

- في هذه الدراسة، تم اختيار وحدات متعددة البلورات (Polycrystalline) لتحقيق توازن بين الكفاءة والتكلفة.

4.2 الالواح المستخدمة:

البيانات الكهربائية للوحة الطاقة الشمسية :LR5-72HTH-600M LONGI SOLAR

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

جدول (1) بيانات لوحة الطاقة الشمسية

المؤشر	القيمة
الطاقة القصوى	600W
أقصى جهد للطاقة(Vmp/V)	44.66 V
الحد الأقصى لتيار الدائرة(Imp/A)	13.44 A
جهد الدائرة المفتوحة(Voc/V)	52.81 V
تيار الدائرة القصيرة(Isc/A)	14.46 A
كفاءة اللوحة(%) STC	23.2 %
تسامح انتاج الطاقة	0 ~ +3%
درجة حرارة التشغيل(°C)	-40°C ~ +85°C
الحد الأقصى لجهد النظام(VDC)	1000/1500 VDC (IED)
الحد الأقصى لسلسلة الصمامات	25 A
معامل درجة حرارة أقصى الطاقة	-0.29 %/°C
معامل درجة حرارة الجهد(Voc)	-0.25 %/°C
معامل درجة الحرارة(Isc)	0.045 %/°C
المادة	أحادية السليكون
الوزن	27 kg
الأبعاد (مم)	2278 × 1134 × 30 mm
الضمان	15سنة
العمر	25 سنة

لحساب عدد الألواح المطلوبة بناء على إجمالي القدرة المنتجة = W499,998 باستخدام الألواح بقدرة W600 لكل وحدة، نستخدم العلاقة:

$$\text{عدد الألواح} = \frac{\text{إجمال القدرة المنتجة}}{\text{قدرة اللوحة الواحدة}}$$

الحساب:

$$\text{عدد الألواح} = \frac{998,499}{600} = 833.33$$

النتيجة:

عدد الألواح المطلوبة = 834 لوحة (تقريباً إلى أقرب عدد صحيح أعلى)

5.2 أنواع العواكس:

العاكس (Inverter) هو جهاز أساسي في الأنظمة الشمسية، يحوّل التيار المستمر (DC) الناتج عن الألواح الشمسية إلى تيار متناوب (AC) لاستخدامه في الشبكة الكهربائية أو الأحمال. اختيار حجم العاكس يتطلب مراعاة عوامل تقنية وبيئية لضمان الكفاءة والأداء الأمثل.[13] [12]

1. **معايير تحديد حجم العاكس:**

أ. **قدرة العاكس المطلوبة:**

- القدرة الاسمية للعاكس (Inverter Rating) تُحدد بناءً على القدرة الإجمالية للنظام الشمسي.

1. **المواصفات الفنية معلومات العواكس (Inverter)**

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

جدول (2) جانب الإدخال (DC - PV Field)

العنوان	القيمة
الشركة المصنعة	Santerno
الموديل	Sunway TG 1800 1500V TE - 640 EV
سنة التصنيع	2021
بدأ الإنتاج	2020

جدول (3) جانب الإخراج(AC - Grid)

العنوان	القيمة
الحد الأدنى لجهدMPP	V 910
جهد MPP الاسمي	V 930
التيار الأقصى لكلMPPT	A 1088.3
جهد MPP الأقصى	V 1300
أقصى جهد PV مطلق	V 1500
عتبة القدرة(Power Threshold)	W 16000
أقصى تيارPV	A 3000

جدول (4) الكفاءة

العنوان	القيمة
الجهد الاسمي للشبكة	640 فولت
نوع النظام	ثلاثي الطور(Three-phase)
التردد	50/60هرتز
القدرة الاسميةAC	1995كيلو فولت أمبير
القدرة القصوىAC	1995كيلو فولت أمبير
التيار الاسميAC	1800أمبير
التيار الأقصىAC	1800أمبير

جدول (5) الإجمالي العدد الإجمالي للعواكس: 1995/83330 =25

العنوان	القيمة
الكفاءة القصوى	98.7%
كفاءةEURO	98.5%

6.2 المساحة المطلوبة:

نظرًا لأن الوحدات الشمسية لا تستهلك الكثير من الطاقة، فإنها تتطلب مساحة كبيرة وتخطيطًا مثاليًا. الوحدات الشمسية بقدرة 600W والمحددة في الجدول (1) أعلاه هي بطول (2.278) متر وعرض (1.143) متر، بإجمالي مساحة 2.583 متر مربع لكل وحدة.

$$215262.83m^2 = 83,333.333 \times 2.583$$

وبالتالي، فإن إجمالي المساحة المربعة للوحدات الكهروضوئية للمحطة المصممة هو:
يتم تركيب الألواح الكهروضوئية على هيكل إطار معدني خاص مع حاملات، وتوفير إمالة معينة مقبولة، ووضعها في مواجهة مدار الشمس للحصول على أفضل إشعاع شمسي. يتم تثبيت هياكل الإطار في الأرض

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

على قواعد أساس. تتطلب صفائف ومجموعات الألواح الكهروضوئية مسافات كافية بينها لكي تتمكن من التنقل، بالإضافة إلى القيام بأعمال التنظيف والصيانة [12].
لذلك، يجب إعادة حساب إجمالي المساحة المربعة المحسوبة للألواح الكهروضوئية مع تضمين المسافات المطلوبة بين المصفوفات والمجموعات. يتم الحصول على المساحة النهائية المطلوبة عن طريق تقسيم مساحة اللوحة الكهروضوئية، مما يعطي الإجمالي 83.333.33 متر مربع أي ما يعادل 35 هيكتار.

ملخص تصميم المحطة الكهروضوئية:

جدول (6) ملخص تصميم محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة.

المعيار	القيمة
الطاقة	50MW
عدد الوحدات	26
عدد المجموعات لكل وحدة	3205
عدد الألواح المقترحة	83330
الإجمالي للعواكس	25
عدد العواكس لكل سلسلة	يعتمد على أقصى جهد
اجمالي الجهد الناتج	V1052
اجمالي التيار الناتج	A44242
القدرة الفعلية	49998 KWp
الكفاءة المطلوبة	38%
المساحة	35هكتار

7.2 نتائج المحاكاة الفنية باستخدام برنامج PVSYST:

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	87.2	37.22	10.28	126.2	121.1	5718941	5628120	0.892
February	100.2	42.68	11.09	131.7	127.2	5964629	5869885	0.892
March	147.4	59.04	14.63	173.0	166.6	7688528	7573727	0.876
April	182.1	74.62	18.00	190.4	182.5	8335688	8215824	0.863
May	211.4	82.48	21.93	201.7	192.9	8717478	8579303	0.851
June	209.5	81.24	24.58	190.9	182.2	8161448	8034650	0.842
July	226.3	72.04	27.33	208.8	199.6	8831082	8696026	0.833
August	209.8	70.90	27.45	210.9	202.6	8955138	8822186	0.836
September	169.3	65.07	25.04	190.2	183.1	8179616	8060455	0.847
October	135.5	51.61	21.95	172.2	166.8	7536226	7422499	0.862
November	101.6	37.39	16.12	147.6	142.0	6571446	6476240	0.877
December	81.9	31.19	11.56	125.4	120.0	5630756	5539856	0.883
Year	1862.2	705.49	19.21	2069.0	1986.7	90290977	88918770	0.860

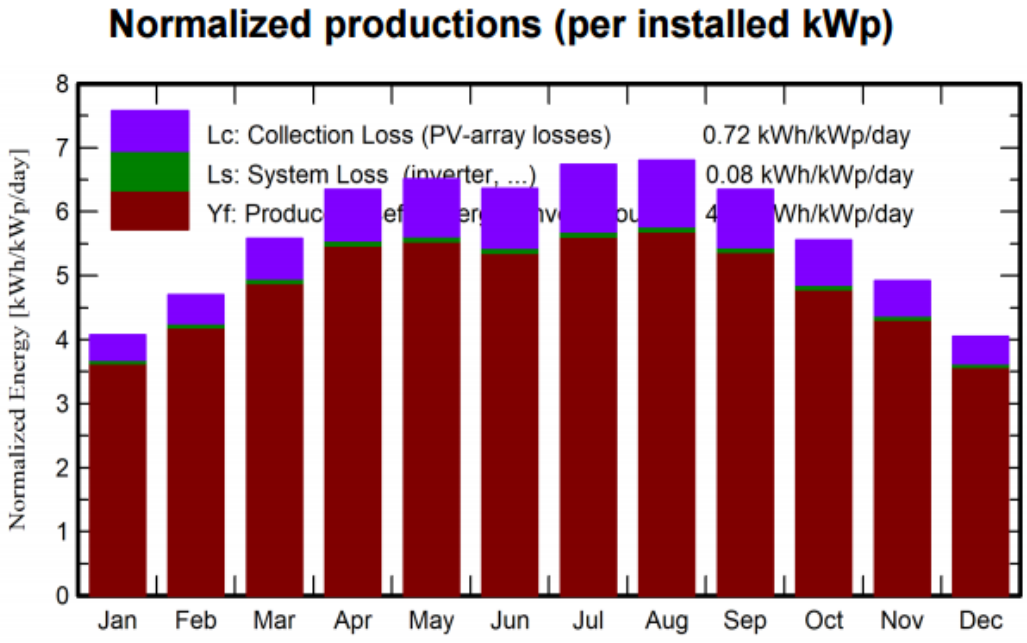
Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

الشكل (8): نتائج برنامج المحكاة PVSYST
المصدر: لقطة شاشة من برنامج PVSYST من إعداد الباحثين

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

يُظهر الجدول نتائج المحاكاة الفنية لنظام شمسي كهروضوئي باستخدام برنامج PVSYST، حيث يقدم بيانات شهرية وسنوية حول أداء النظام وعدة مؤشرات مرتبطة بالإشعاع الشمسي وكمية الطاقة المنتجة.
الإشعاع الشمسي الأفقي الإجمالي (GlobHor) يمثل كمية الإشعاع التي تصل إلى سطح أفقي، وهو أعلى في أشهر الصيف كما هو موضح في شهر يوليو (226.3 kWh/m²) وأقل في الشتاء مثل ديسمبر (81.9 kWh/m²). أما الإشعاع المنتشر (DiffHor) ، فيعكس الإشعاع غير المباشر ويُلاحظ أنه يكون أقل خلال الأشهر ذات السماء الصافية وأعلى في الفصول ذات الغيوم الكثيفة.
الإشعاع الساقط على السطح المائل (GlobInc) يعبر عن كمية الإشعاع المتاحة للألواح الشمسية بناءً على زاوية الميل، وهو أيضًا يتبع نمطًا موسميًا حيث يصل إلى ذروته في مايو (201.7 kWh/m²) وينخفض في ديسمبر. (125.4 kWh/m²) يُظهر العمود الخاص بالإشعاع الفعّال (GlobEff) تأثير الظلال وزوايا الميل على الإشعاع المتاح، وهو دائمًا أقل من GlobInc نتيجة التصحيحات المطبقة.
بالنسبة للطاقة المنتجة، يعكس العمود (EArray) كمية الطاقة الناتجة عند خرج الألواح الشمسية، والتي ترتفع بشكل كبير في مايو (877,478 kWh) وتنخفض في ديسمبر. (563,075 kWh) يتم تغذية جزء كبير من هذه الطاقة في الشبكة الكهربائية (E_Grid)، ولكن مع الأخذ بالاعتبار خسائر التحويل، حيث تظهر أعلى قيمة للتغذية في مايو أيضًا (857,903 kWh) وأقلها في ديسمبر (553,986 kWh) .
أما نسبة الأداء (PR) ، فهي مؤشر رئيسي لفعالية النظام، حيث تبقى ثابتة نسبيًا طوال العام وتتراوح بين 0.833 و0.892، مع متوسط سنوي يبلغ 0.860. تعكس هذه النسبة مدى كفاءة النظام في تحويل الإشعاع الشمسي المتاح إلى طاقة كهربائية، مما يدل على تصميم جيد وأداء ثابت.
بشكل عام، يبرز الجدول الأداء الممتاز للنظام خلال فصلي الربيع والصيف بسبب توفر الإشعاع الشمسي بكميات أكبر، بينما ينخفض الأداء في الشتاء نتيجة انخفاض الإشعاع وزيادة تأثير الظلال.



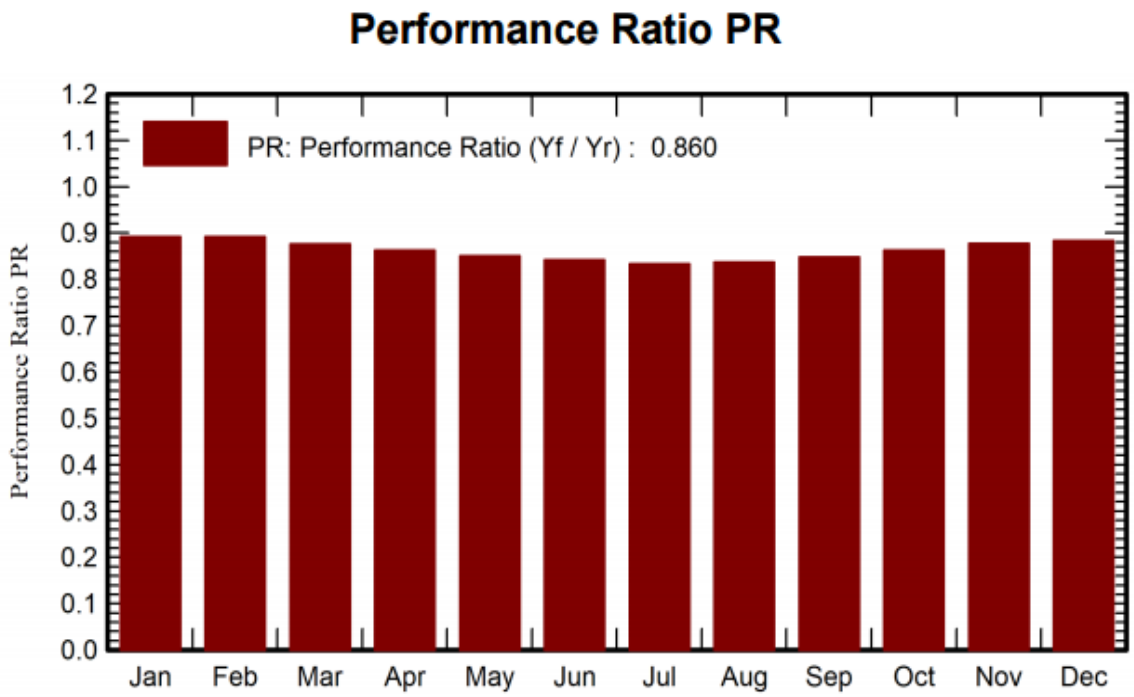
الشكل (8) نتائج برنامج المحكاة PVSYST
المصدر: لقطة شاشة من برنامج PVSYST من أعداد الباحث
الرسم البياني:
- **باللون الأحمر: (Yf)**يمثل الإنتاج النهائي للطاقة الكهربائية (Normalized Energy)، والذي يتم قياسه بوحدة kWh/kWp/Day. يعكس هذا الشريط الطاقة اليومية الفعلية التي ينتجها النظام بعد حساب جميع الخسائر.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **باللون البنفسجي: (Lc)**يمثل خسائر الجمع (Collection Loss)، التي تحدث نتيجة خسائر الألواح الكهروضوئية مثل التظليل، انخفاض كفاءة الألواح، وتأثيرات الحرارة.
- **باللون الأخضر: (Ls)**يمثل خسائر النظام (System Loss)، مثل فقدان الطاقة بسبب كفاءة العاكس المحدودة وغيرها من المكونات الكهربائية.

ملاحظات حول البيانات:

- الإنتاجية تكون أقل خلال الأشهر الشتوية (يناير وفبراير وديسمبر) بسبب انخفاض الإشعاع الشمسي، كما يظهر انخفاض ملحوظ في الطول الكلي للأشرطة الحمراء.
- في الأشهر الصيفية (مايو ويونيو ويوليو)، تكون الإنتاجية أعلى بوضوح نتيجة زيادة الإشعاع الشمسي.
- خسائر الجمع (Lc) وخسائر النظام (Ls) تظل صغيرة نسبيًا مقارنة بالإنتاج النهائي للطاقة(Yf) ، مما يعكس كفاءة النظام العالية.
- يُظهر سبتمبر مثالًا على الإنتاجية المثلى، حيث تكون الخسائر (البنفسجية والخضراء) أقل، مما يؤدي إلى إنتاج نهائي أعلى.



الشكل (9) الإنتاج النوعي لكل كيلوواط ذروة مركب

المصدر: من أعداد الباحث اعتمادا على نتائج برنامج PVSYST

يوضح الرسم البياني نسبة الأداء (Performance Ratio - PR) الشهرية للنظام الشمسي على مدار العام. تمثل نسبة الأداء فعالية النظام في تحويل الإشعاع الشمسي المتاح إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام، وهي تُعبّر عن جودة النظام بغض النظر عن تقلبات الإشعاع الشمسي.

تحليل الرسم البياني:

- **القيمة الإجمالية للنظام:** يبلغ متوسط نسبة الأداء السنوي 0.860 (86%)، وهو مؤشر جيد على كفاءة النظام.
- **الثبات على مدار العام:** يظهر أن نسبة الأداء مستقرة نسبيًا بين الأشهر المختلفة، مما يعكس انتظام أداء النظام بغض النظر عن التغيرات المناخية والفصول.
- **أشهر الصيف:** على الرغم من أن هذه الأشهر تشهد إنتاجًا أعلى للطاقة بسبب زيادة الإشعاع الشمسي، إلا أن نسبة الأداء لا تختلف كثيرًا، مما يشير إلى كفاءة تشغيل جيدة تحت الأحمال العالية.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **أشهر الشتاء:** نسبة الأداء تبقى مقاربة لنظيرتها في الأشهر الصيفية، على الرغم من انخفاض الإشعاع الشمسي، مما يعكس تصميمًا جيدًا للنظام للتعامل مع مختلف الظروف المناخية.

نسبة الأداء (PR) عند 86% تشير إلى أن النظام يعمل بكفاءة جيدة مع خسائر منخفضة. هذا يعني أن الطاقة المنتجة مقاربة جدًا للطاقة المتوقعة من النظام، مما يدل على أن التصميم والتنفيذ كانا فعّالين، وأن الخسائر الناتجة عن العوامل البيئية أو التكنولوجية ضئيلة.

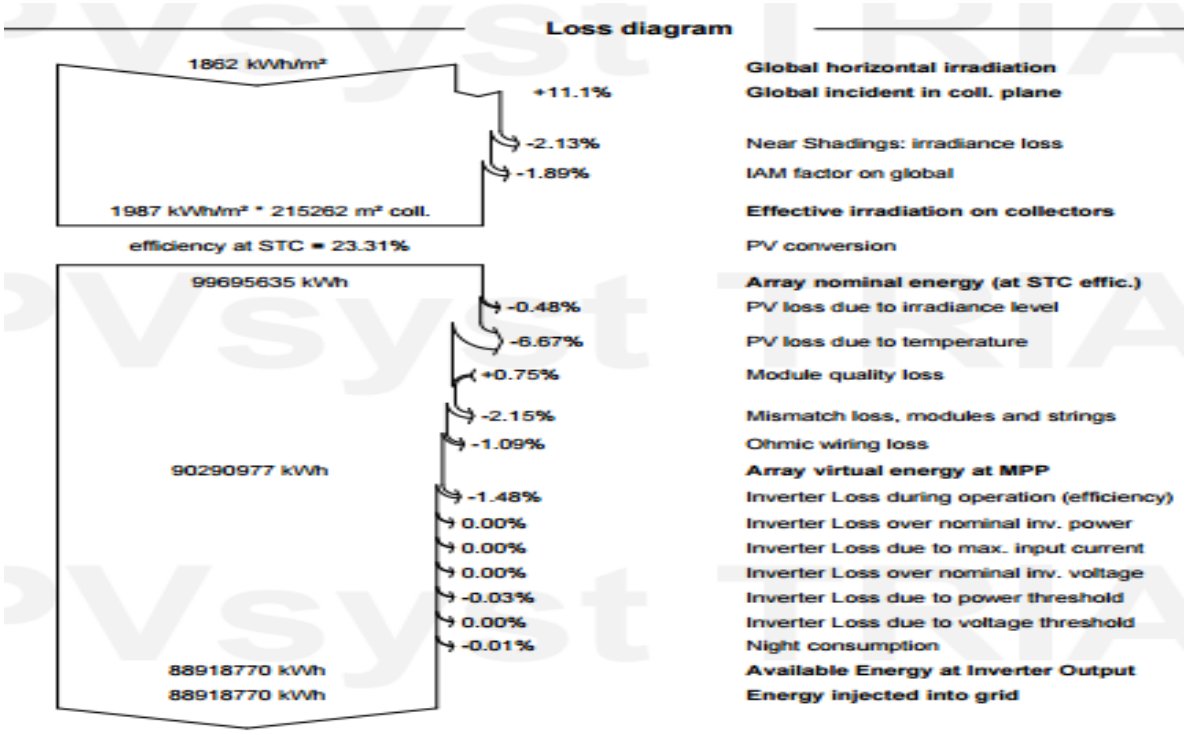
يمثل المخطط المعروض تحليلًا شاملًا لتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئي. يبدأ التحليل بالإشعاع الأفقي الإجمالي الذي بلغ 1862 kWh/m². بعد تصحيح تأثير زاوية الميل، ارتفع الإشعاع ليصل إلى 1987 kWh/m²، بزيادة نسبتها 11.1%. مع ذلك، تعرض الإشعاع لخسائر نتيجة التظليل القريب بنسبة 2.13% وتأثير زاوية السقوط بنسبة 1.89%، مما نتج عنه إشعاع فعّال عند المجمعات.

عند هذه المرحلة، تم تحويل الإشعاع إلى طاقة اسمية بلغت 96,965,635 KWh ساعة، اعتمادًا على كفاءة الألواح البالغة 23.31% تحت الظروف القياسية. خلال هذه العملية، حدثت خسائر نتيجة انخفاض مستويات الإشعاع بنسبة 0.48%، بالإضافة إلى تأثير درجة الحرارة الذي أدى إلى فقدان 6.67% من الطاقة. كما ساهمت جودة الوحدات بانخفاض طفيف قدره 0.75%.

علاوة على ذلك، ظهرت خسائر أخرى مثل عدم تطابق المكونات والسلاسل بنسبة 2.15%، وفقدان الطاقة في الأسلاك بنسبة 1.09%. بعد هذه الخسائر، وصلت الطاقة الناتجة عند نقطة الطاقة القصوى إلى 90,290,977 KWh ساعة.

عند تحويل الطاقة عبر العاكس، انخفض الإنتاج بنسبة 1.48% بسبب كفاءة العاكس أثناء التشغيل، بينما لم تظهر أي خسائر إضافية مرتبطة بحدود الجهد أو التيار الاسمي أو عتبات القدرة. أخيرًا، بلغت الطاقة المتاحة عند خرج العاكس 88,918,770 KWh، وهي الكمية نفسها التي تم حقنها في الشبكة الكهربائية.

بشكل عام، يُظهر المخطط أن أكبر الخسائر كانت مرتبطة بالعوامل البيئية مثل تأثير الحرارة وخسائر الإشعاع، بينما كانت الخسائر الناتجة عن المكونات الكهربائية ضئيلة، مما يعكس تصميمًا جيدًا وكفاءة عالية للنظام.



الشكل (10) معامل الأداء (performance Ratio)

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادا على نتائج برنامج PVSYST

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. الدراسة الاقتصادية:

الدراسة التجارية لمشروع الطاقة الشمسية هي عملية تحليلية تهدف إلى تقييم الجدوى الاقتصادية للمشروع من خلال تقدير التكاليف والإيرادات والمخاطر والعوائد المتوقعة. تبدأ الدراسة بحساب التكاليف الاستثمارية اللازمة لتأسيس المشروع، والتي تشمل شراء الألواح الشمسية، والعاكسات، والهياكل الداعمة، بالإضافة إلى تكاليف التركيب التي تتضمن العمالة والمعدات. كما يتم احتساب تكاليف البنية التحتية، مثل تجهيز الموقع والأعمال المدنية المطلوبة.

تنتقل الدراسة إلى تحليل التكاليف التشغيلية والصيانة التي تشمل الصيانة الدورية للمعدات، واستبدال العاكسات بعد انتهاء عمرها الافتراضي (10-15 سنة)، وتنظيف الألواح لضمان كفاءتها التشغيلية. يتم كذلك احتساب أي تكاليف إضافية مرتبطة باستهلاك الطاقة، خصوصًا في الفترات الليلية.

من ناحية الإيرادات، يتم تقدير العوائد من بيع الكهرباء المُنتجة إلى الشبكة بناءً على سعر الكيلوواط-ساعة المُتفق عليه. إذا كان المشروع يهدف إلى تقليل استهلاك الكهرباء الخاص بالمنشأة، تُحسب الإيرادات بناءً على حجم التوفير المتوقع في فاتورة الكهرباء. يتم أخذ الدعم الحكومي أو الحوافز الضريبية، إن وجدت، بعين الاعتبار لتعزيز الجدوى المالية للمشروع.

بعد تحديد التكاليف والإيرادات، يتم إجراء التحليل المالي الذي يشمل حساب مؤشرات مثل العائد على الاستثمار (ROI) الذي يوضح نسبة الربح إلى التكلفة، وصافي القيمة الحالية (NPV) الذي يقيس الفرق بين الإيرادات والتكاليف على مدار عمر المشروع، وفترة الاسترداد التي تُحدد عدد السنوات اللازمة لتغطية التكاليف الأولية. كما يتم حساب معدل العائد الداخلي (IRR) لتقييم جاذبية المشروع مقارنة بالخيارات الاستثمارية الأخرى[16] [10] [8].

علاوة على كذلك تتضمن الدراسة عوامل السوق مثل الطلب المحلي على كهرباء وسعرها الحالي واتجاهات الاعتماد على الطاقة المتجددة. يتم كذلك دراسة المخاطر المحتملة التي قد تؤثر على المشروع، مثل تقلبات أسعار المواد الخام أو تغيرات السياسات الحكومية المتعلقة بالطاقة أو المشاكل التقنية التي قد تؤدي إلى انخفاض كفاءة المعدات مع مرور الوقت.

في ختام الدراسة يتم مقارنة المشروع بالمشاريع المنافسة من خلال تقييم نقاط القوة والضعف وتحليل تكاليف الإنتاج والتسعير. أذا أظهرت الدراسة ان الايرادات المتوقعة تفوق التكاليف الاستثمارية والتشغيلية بشكل كبير، مع وجود مؤشرات مالية إيجابية، مثل فترة استرداد قصيرة وعائد استثمار مرتفع يمكن اعتبار المشروع مجديا من الناحية التجارية والمالية.

1.3 تكلفة التشغيل والصيانة:

Currency	$		
System PV		**Own consumption energy**	
Peak power Wp	50000000	Own consumption kWh/y	88918770
Energy production KWh/y	88918770	Cost $/kWh	0.10
Decay module PV %	0.70	Own consumption $	8891877
Costs		**Contribution**	
Initial cost $	40000000	Contribution $/kWh	0.00
Cost $/KWp	800	Initial contribution $	0
Annual cost $	100	Annual contribution $	0
Final cost of disposal $	0		
Analysis period		**Bank financing**	
Years contributions	25	Mutual interests %	0.00
Years economic analysis	25	Annual loan installment $	0
Depreciation (payback period) years	4	Discount rate %, for NPV	2.0
Result			
Pay back [years | months]	[4 | 6]		
YTD Return (25 years)	18.23%	Cash balance (25 years)	182294425
Compound interest (25 years)	7.10%	Cash balance (25 years)	182294425
Net Present Value (NPV) $ (25y)	133598221	Internal Rate of Return (IRR) %	3.6
	execute		

شكل (11) مخطط توزيع خسائر نظام الطاقة الشمسية

المصدر: لقطة شاشة من برنامج PVsyst، من إعداد الباحث

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نظام الطاقة الشمسية:(System PV)

- **القدرة القصوى للنظام:** MW50,000,000M (50 KW/h).
- **إنتاج الطاقة السنوي:** KWh88,918,770
- **معدل تدهور الألواح الشمسية:** 0.70% سنويًا.

التكاليف:(Costs)

- **التكلفة الابتدائية:** 40,000,000 دولار.
- **تكلفة الوحدة (للكيلوواط):** 800 دولار/KWh.
- **التكلفة السنوية للصيانة:** 100 دولار.
- **التكاليف النهائية للتخلص:** 0 دولار (لا تكاليف).

الطاقة المستهلكة ذاتيًا:(Own Consumption Energy)

- **كمية الطاقة المستهلكة ذاتيًا:** KWh88,918,770
- **تكلفة الكيلوواط/ساعة المستهلك ذاتيًا:** 0.10 دولار.
- **الإجمالي المستهلك:** 8,891,877دولار.

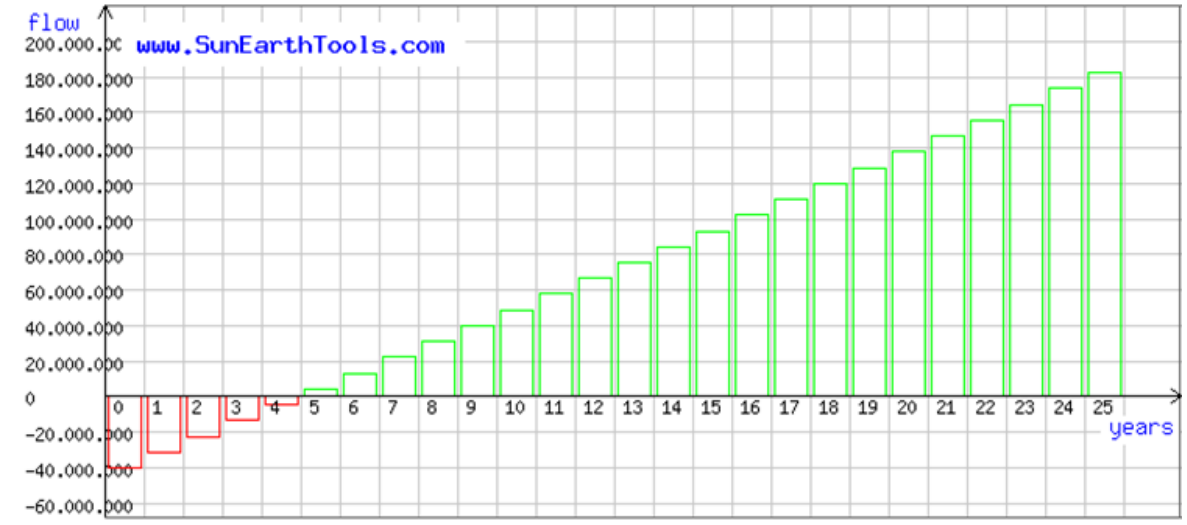
فترة التحليل:(Analysis Period)

- **مدة المساهمة:** 25 سنة.
- **التحليل الاقتصادي:** 25 سنة.
- **فترة الاسترداد (الاستهلاك):** 4 سنوات.

نتائج الأداء المالي:(Result)

- **مدة استرداد التكلفة:** بين 4 إلى 6 سنوات.
- **العائد السنوي التراكمي: (25 سنة)** 18.23%.
- **سعر الفائدة المركب: (25 سنة)**7.10%.
- **القيمة الحالية الصافية: (NPV) على مدى 25 سنة** 133,598,221دولار.
- **التوازن النقدي بعد 25 سنة** 18,229,4425 دولار.
- **معدل العائد الداخلي: (IRR)** 20%.

هذا المشروع يبدو واعدًا للغاية من حيث العائد المالي طويل الأجل. مع فترة استرداد تكلفة قصيرة (4-6 سنوات) وقيمة حالية صافية عالية جدًا، يبدو النظام جذابًا للاستثمار، خاصة إذا تم استهلاك كامل الطاقة المنتجة ذاتيًا. ومع ذلك، معدل العائد الداخلي (IRR) البالغ 20% قد يعتبر منخفضًا نسبيًا إذا ما قورن بفرص استثمارية أخرى، ويعتمد الجذب المالي للمشروع على استقرار التكاليف وأسعار الطاقة.



الشكل (12) الرسم البياني المالي

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

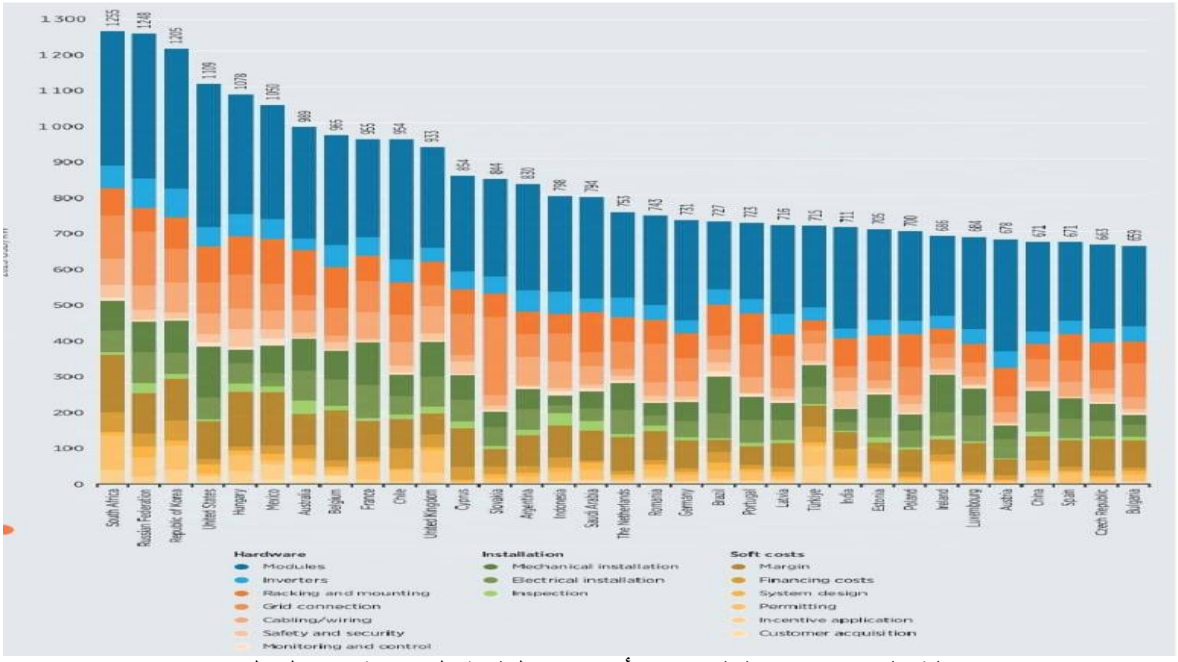
2.3 تحليل الرسم البياني المالي:

وصف الرسم البياني:

- **المحور الأفقي:(years)** يمثل عدد السنوات (25 سنة) وهي مدة التحليل المالي للمشروع.
- **المحور الرأسي:(flow)** يمثل التدفقات النقدية (بالدولار)، حيث القيم السالبة باللون الأحمر تعكس النفقات، والقيم الموجبة باللون الأخضر تعكس الإيرادات.

الملاحظات الرئيسية:

1. **الفترة الأولية (سنوات النفقات):**
   - السنوات الأولى (0-3 سنوات) تظهر نفقات مرتفعة، وهي التكاليف الأولية لإنشاء المشروع وتشغيله.
   - تصل التدفقات النقدية إلى أدنى قيمة سلبية في السنة الأولى.
2. **نقطة التعادل:(Break-even Point)**
   - تظهر نقطة التحول في السنة الرابعة حيث تتحول التدفقات من السلبية إلى الإيجابية.
   - هذا يتماشى مع فترة الاسترداد المتوقعة (4-6 سنوات) التي وردت في الجدول السابق.
3. **التدفقات النقدية الإيجابية:**
   - بعد نقطة التعادل، تبدأ الإيرادات بالتزايد التدريجي سنويًا.
   - الاتجاه التصاعدي يشير إلى أرباح مستدامة ومستقرة على مدى السنوات المتبقية.
4. **النمو التراكمي:**
   - بحلول السنة الـ25، يظهر الرسم النقدي ارتفاعًا كبيرًا، مما يعكس صافي التدفقات النقدية المتراكمة التي تجاوزت 180 مليون دولار.



الشكل (13) مخطط تفاوت أستخدام الطاقة الشمسية بين الدول

University of Oregon, Solar Radiation Monitoring Laboratory (SRML).

يُظهر المخطط التفاوت الكبير في تكاليف تركيب الطاقة الشمسية بين الدول المختلفة، حيث تتراوح التكاليف بين أكثر من 1200 دولار لكل كيلوواط في دول مثل جنوب إفريقيا وروسيا وكوريا الجنوبية إلى أقل من 700 دولار في دول مثل الصين وإسبانيا وبلغاريا. التكاليف الأعلى تعود إلى زيادة أسعار المعدات مثل الألواح الشمسية والمحولات، بالإضافة إلى ارتفاع التكاليف الإدارية والإجراءات التنظيمية في بعض الدول. في المقابل، الدول ذات التكاليف المنخفضة تستفيد من دعم حكومي كبير وموارد محلية ميسورة

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

التكلفة، مع بساطة الإجراءات الإدارية. من الواضح أن تقليل التكاليف الإدارية وتحسين كفاءة التصميم يمكن أن يساهم بشكل كبير في خفض التكلفة الإجمالية لمشاريع الطاقة الشمسية عالميًا.[15][16]

الجدول (7): الملخص المالي للمشروع

year	flow	revenue		Prod.	Bill	Cost	Loan	YTD
0	-40.000.000	0		0	0	0	0	0.00 %
1	-31.108.223	8.891.777		0	8.891.877	-100	0	-77.77 %
2	-22.216.446	17.783.554		0	17.783.754	-200	0	-27.77 %
3	-13.324.669	26.675.331		0	26.675.631	-300	0	-11.10 %
4	-4.432.892	35.567.108		0	35.567.508	-400	0	-2.77 %
5	4.458.885	44.458.885		0	44.459.385	-500	0	2.23 %
6	13.350.662	53.350.662		0	53.351.262	-600	0	5.56 %
7	22.242.439	62.242.439		0	62.243.139	-700	0	7.94 %
8	31.134.216	71.134.216		0	71.135.016	-800	0	9.73 %
9	40.025.993	80.025.993		0	80.026.893	-900	0	11.12 %
10	48.917.770	88.917.770		0	88.918.770	-1.000	0	12.23 %
11	57.809.547	97.809.547		0	97.810.647	-1.100	0	13.14 %
12	66.701.324	106.701.324		0	106.702.524	-1.200	0	13.90 %
13	75.593.101	115.593.101		0	115.594.401	-1.300	0	14.54 %
14	84.484.878	124.484.878		0	124.486.278	-1.400	0	15.09 %
15	93.376.655	133.376.655		0	133.378.155	-1.500	0	15.56 %
16	102.268.432	142.268.432		0	142.270.032	-1.600	0	15.98 %
17	111.160.209	151.160.209		0	151.161.909	-1.700	0	16.35 %
18	120.051.986	160.051.986		0	160.053.786	-1.800	0	16.67 %
19	128.943.763	168.943.763		0	168.945.663	-1.900	0	16.97 %
20	137.835.540	177.835.540		0	177.837.540	-2.000	0	17.23 %
21	146.727.317	186.727.317		0	186.729.417	-2.100	0	17.47 %
22	155.619.094	195.619.094		0	195.621.294	-2.200	0	17.68 %
23	164.510.871	204.510.871		0	204.513.171	-2.300	0	17.88 %
24	173.402.648	213.402.648		0	213.405.048	-2.400	0	18.06 %
25	182.294.425	222.294.425		0	222.296.925	-2.500	0	18.23 %

المصدر: لقطة شاشة من برنامج PVSYST من إعداد الباحث

3.3 تحليل الجدول المالي للمشروع:

أعمدة الجدول:

1. **السنة (year):** تمثل السنة التي يتم فيها تحليل التدفقات النقدية.
2. **التدفقات النقدية (Flow):** تعبر عن صافي التدفق النقدي لكل سنة.
3. **الإيرادا (Revenue):** إجمالي العائد السنوي من الطاقة المنتجة.
4. **الإنتاج (Prod):** لم تُظهر أي قيمة في الجدول (قد تكون غير مفعّلة أو لا تُستخدم في هذا السيناريو).
5. **الفواتير(Bill):** الإيرادات السنوية للطاقة المباعة.
6. **التكاليف (Cost):** التكاليف السنوية التشغيلية (تزيد تدريجيًا كل عام بمقدار ثابت).
7. **القروض (Loan):** لم تُظهر أي قيمة (لا توجد تمويلات بالقروض لهذا المشروع).
8. **العائد السنوي التراكمي(YTD):** النسبة التراكمية للعائد السنوي حتى السنة الحالية.

ملاحظات رئيسية:

1. **السنة الأولى:(0)**
   - النفقات الرأسمالية للمشروع بلغت 40,000,000 دولار، مما أدى إلى تدفق نقدي سلبي كبير.
   - الإيرادات صفرية نظرًا لأن الإنتاج لم يبدأ بعد.
2. **الفترة (1-3 سنوات):**
   - الإيرادات السنوية تبدأ بالزيادة تدريجيًا مع استرداد المشروع لنفقاته.
   - النسبة التراكمية للعائد (YTD) تتحسن، لكنها لا تزال سلبية حتى السنة الثالثة.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. **نقطة التعادل:(Break-even Point)**
- عند السنة الرابعة، يتحول صافي التدفقات النقدية إلى الإيجابية، ويبدأ المشروع في تحقيق أرباح.
- YTDيصبح إيجابيًا بنسبة 2.23% في السنة الخامسة.

4. **الفترة (4-25 سنة):**
- الإيرادات ترتفع سنويًا بمعدل ثابت تقريبًا، مما يعكس استقرار المشروع.
- النفقات التشغيلية تزيد بمقدار بسيط كل عام (100 دولار إضافية سنويًا)، لكنها لا تؤثر بشكل كبير على الأرباح.
- التدفق النقدي الإيجابي يرتفع بشكل ملحوظ، حيث يصل إلى 182,294,425 دولارًا في السنة الـ25.

5. **القيمة النهائية (السنة 25):**
- الإيرادات الإجمالية تصل إلى 222,294,425 دولارًا.
- التدفقات النقدية النهائية تظهر أرباحًا كبيرة ومتراكمة.
- العائد التراكمي (YTD) يستقر عند 18.23%.

4.3 الاستنتاج:

1. **الكفاءة البيئية للطاقة الشمسية:** تعد الطاقة الشمسية الكهروضوئية من أنظف مصادر الطاقة المتجددة، حيث تساهم بشكل كبير في تقليل الانبعاثات الضارة بغازات الاحتباس الحراري مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية مثل الفحم والنفط والغاز. لا تنتج أنظمة الطاقة الشمسية أي انبعاثات أثناء عملية توليد الكهرباء، مما يجعلها خيارًا مثاليًا في مواجهة التحديات البيئية الحالية.
2. **القدرة على توفير الانبعاثات:** يمكن لمحطات الطاقة الشمسية أن تساهم في تقليل الانبعاثات بمقدار 400 إلى 600 طن من CO_2 سنويًا لكل ميغاواط من الطاقة المنتجة. وهذا يمثل وفرًا بيئيًا كبيرًا في حال توسيع نطاق استخدام هذه التكنولوجيا في مختلف القطاعات.
3. **استدامة الطاقة الشمسية:** الطاقة الشمسية تعتبر مصدراً مستداماً للطاقة، حيث تعتمد على الشمس، وهو مصدر غير محدود ويتميز بتوفره المستمر. وعلى الرغم من الانبعاثات التي قد تحدث في مرحلة تصنيع الألواح الشمسية، فإن الفوائد البيئية خلال دورة حياة المحطة الشمسية تفوق بكثير تلك التي تنتج عن محطات الطاقة التقليدية.
4. **تحديات متعلقة بتقنيات التصنيع والتكلفة:** لا تزال تكاليف تصنيع الألواح الشمسية تعتبر أحد التحديات الرئيسية، رغم التحسينات المستمرة في هذه التقنيات. كما أن عملية التصنيع قد تترك انبعاثات في مراحل معينة. ولكن بالنظر إلى التقدم التكنولوجي، يتم تقليل هذه الانبعاثات بشكل مستمر.

5.3 التوصيات:

1. تعزيز الاستثمار: دعوة الحكومات والشركات للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية الكبرى لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
2. دعم الأبحاث العلمية والابتكار التركيز على تطوير تقنيات تصنيع الألواح وتحسين كفاءتها وتطوير حلول تخزين الطاقة.
3. تحفيز الاستخدام في المناطق النائية استغلال الطاقة الشمسية في المناطق غير المتصلة بالشبكة الكهربائية الوطنية لتحسين جودة الحياة
4. التوسع في الطاقة المتجددة تبني استراتيجيات وطنية تدمج مزيجاً من الطاقات المتجددة (شمس ورياح، إلخ) لضمان طاقة مستدامة
5. التشجيع على إعادة التدوير تشجيع البحث في تدوير الألواح الشمسية بعد انتهاء عمرها الافتراضي للحد من الأثر البيئي للمواد.

 Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المراجع:

[1] أكسفورد. (2021). موسوعة أكسفورد للطاقة المتجددة (Oxford Encyclopedia of Renewable Energy). أكسفورد يونيفيرسيتي برس.

[2] منصور، طارق. (2018). تقنيات الطاقة المتجددة: الأسس والتطبيقات (Renewable Energy Technologies: Fundamentals and Applications). دار النشر الجامعي.

[3] عبد الرحمن، أحمد. (2020). الطاقة الشمسية الكهروضوئية: الأسس والتطبيقات العملية (Photovoltaic Solar Energy: Fundamentals and Practical Applications). دار المعرفة.

[4] سميد، جوناثان. (2017). التأثير البيئي للطاقة الشمسية (Environmental Impact of Solar Energy). Springer.

[5] بيرنارد، ماركوس. (2019). دور الطاقة الشمسية في التغير المناخي (The Role of Solar Energy in Climate Change). Elsevier.

[6] الوكالة الدولية للطاقة. (n.d.). تقارير الطاقة الدولية (International Energy Agency Reports). استرجاع من www.iea.org.

[7] جامعة أوريغون (University of Oregon). (n.d.). مخطط مسار الشمس (Sun Path Chart). Solar Radiation Monitoring Laboratory (SRML).

[8] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي. (2022). التحول نحو الطاقة المستدامة في الاقتصاد الليبي: التنمية المستدامة. نيويورك.

[9] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA). (2021). التحول الطاقي في أفريقيا: تقرير تحليلي.

[10] الهيئة العامة للبيئة - ليبيا. (2023). التقرير الوطني للطاقة والبيئة في ليبيا. طرابلس.

[11] المركز الليبي لبحوث ودراسات الطاقة الشمسية. (2020-2025). الأهداف والخطط البحثية والتقارير السنوية. طرابلس، ليبيا.

[12] Afriyie, A. B., Asumadu, S., & Kumi, E. (2024). Household preferences and willingness to pay for alternative energy sources: A discrete choice experiment in Ghana. Energy Economics, 126, 107–118.

[13] Almeida, R., Silva, L., & Costa, F. (2024). Research-driven innovation and renewable energy adoption in developing countries. Renewable Energy Journal, 189, 142–156.

[14] Azubike, V. C. (2024). Energy security and transition in developing economies. Energy Policy, 181, 113–122.

[15] Bahour, M. M., Alkbir, M. F. M., Januddi, F., & Bakri, A. (2021). Barriers and current challenges facing renewable energy implementation in Libya: An analytical review. Energy Policy, 156, 112–127.

[16] Badole, S. B., Khan, A., & Karki, R. (2024). Willingness to pay for residential solar adoption in emerging economies. Energy Economics, 122, 102–110.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **AJHAS** and/or the editor(s). **AJHAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).