The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 3, Issue 3, 2025
Page No: 89-100
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2024: 5.49 معامل التأثير العربي (AIF) 2024: 0.71 ISI 2024: 0.696

تصميم ودراسة جدوى تركيب منظومة طاقة شمسية لمنزل في ليبيا باستخدام برنامج (*SAM*)

كمال محمد خوجه [1*]، فتحي حسن الامين [2]
[1] قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة مصراته، مصراته، ليبيا
[2] قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة مصراته، مصراته، ليبيا

Design And Feasibility Study of Installing a Solar Energy System for A House in Libya Using The (SAM)

Kamal Mohamed Khoja[1*], Fhath Hassan Alameen[2]
[1]Department of Mechanical Engineering, Misurata University, Misurata, Libya
[2]Department of Mechanical Engineering, Misurata University, Misurata, Libya

*Corresponding author kkhojaa2@gmail.com *المؤلف المراسل
تاريخ الاستلام: 2025-06-01 تاريخ القبول: 2025-06-17 تاريخ النشر: 2025-07-23

ملخص
تعرض هذه الورقة دراسة جدوى تركيب منظومة طاقة شمسية كهر وضوئية معزول لتلبية حمولة منزل نموذجي يقع في زليتن ليبيا بقدرة (12 كيلو واط) من الناحية المالية والفنية, ومن خلال استخدام برنامج نموذج مستشار النظام (*System Advisor Model (SAM))* , تم تحديد حجم وتكلفة النظام المقترح ووجد أنه يتكون من 27 لوحة كهر وضوئية، من تصنيع شركة (*JINKO*) قدرة كل منها (400.32 واط) ، والعاكس من تصنيع شركة (*SMA America*) بقدرة (12000 واط), يكشف التحليل الاقتصادي الذي تم إجراؤه أن النظام المقترح بتكلفة حالية صافية قدرها (79,000 د.ل),وتقدر مبيعات الطاقة لمدة 10 سنوات من الطاقة الزائدة من حاجة المنزل تقدر بحوالي (51,750 د.ل) ، مما يشير إلى أن مثل هذا النظام سيكون له معنى اقتصادي في المستقبل في ظل عزم الحكومة علي رفع الدعم علي المحروقات مما يؤدي إلي زيادة في سعر الكهرباء في ليبيا.
الكلمات المفتاحية: دراسة جدوى، الطاقة الشمسية الكهروضوئية، نظام معزول، حجم النظام.

Abstract
This paper presents a feasibility study for installing an insulated solar photovoltaic energy system to meet the load of a typical house located in Zliten, Libya, with a capacity of 12 kW from a financial and technical standpoint. Using the System Advisor Model (SAM) program, we figured out the size and cost of the proposed system, which includes 27 JINKO solar panels, each producing 400.32 watts, and a 12,000-watt inverter from SMA America. The economic analysis conducted reveals that the proposed system has a net current cost of 79,000 D.L. Energy sales for 10 years of excess energy from household needs are estimated at approximately 51,750 D.L., which indicates that such a system will make economic sense in the future in light of the government's determination to lift subsidies on fuel, which will lead to an increase in the price of electricity in Libya.

Keywords: Feasibility study, solar PV, insulated system, system size.

مقدمة:

لقد اعتمدت ليبيا، على مدار عقود، بشكل شبه كلي على النفط والغاز الطبيعي كمصدر رئيسي لإنتاج الطاقة الكهربائية. وقد ساعد هذا الاعتماد على الوفرة النسبية في الموارد الأحفورية ضمن الأراضي الليبية، إلا أن هذا النموذج الطاقوي أصبح يواجه تحديات متزايدة في ظل المتغيرات الداخلية والدولية (أبوراوي إشتيوي منصور،2023). فقد أسهم النمو السكاني المتسارع، إلى جانب توسّع الأنشطة الاقتصادية والعمرانية، في حدوث زيادة سنوية ملحوظة في الطلب على الكهرباء، تُقدَّر ما بين 6% إلى 8%، وهو ما يفوق في كثير من الأحيان القدرة الإنتاجية الحالية للبنية التحتية الكهربائية (أبونوار وآخرون، 2024). وفي الوقت نفسه، أدت التقلبات الحادة في أسعار النفط العالمية إلى زعزعة الاستقرار المالي في البلاد، نظراً لاعتماد الاقتصاد الليبي بدرجة كبيرة على العائدات النفطية. كما أن الاعتماد المستمر على مصادر الطاقة التقليدية يفاقم من التحديات البيئية، مثل انبعاثات الغازات الدفيئة وتلوث الهواء، وهو ما يجعل البحث عن بدائل مستدامة أمراً ملحاً أكثر من أي وقت مضى.

في هذا السياق، تُعد مصادر الطاقة المتجددة - مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح - من الحلول الاستراتيجية الواعدة التي يمكن أن تساهم في تحقيق الأمن الطاقوي، وتخفيف العبء على الميزانية العامة، وتقليل الآثار البيئية (أحمد واخرون، 2023). ورغم أن ليبيا تمتلك إمكانات هائلة في هذا المجال بفضل موقعها الجغرافي ومناخها الصحراوي الغني بالإشعاع الشمسي، فإن استغلال هذه الموارد ما يزال محدودًا للغاية، ويحتاج إلى خطط تطوير شاملة وإرادة سياسية واضحة. تُعتبر ليبيا ثاني أكبر دولة في شمال إفريقيا من حيث المساحة، حيث تمتد على نحو 1,750,000 كيلومتر مربع، بينما يقدر عدد سكانها بنحو 7 ملايين نسمة. يتركز معظم السكان في الشريط الساحلي الشمالي للبلاد، الذي يضم المدن الرئيسية والبنية التحتية الأساسية، في حين لا يتجاوز عدد السكان في الجنوب الصحراوي نسبة 10% من إجمالي عدد السكان (العربي وآخرون، 2024).

وقد ساهمت السياسات الحكومية السابقة، التي ركزت على دعم أسعار المحروقات بشكل مباشر، في تشجيع أنماط استهلاك غير رشيدة، كما أدت إلى تفشي ظاهرة تهريب الوقود إلى دول الجوار، وهو ما شكّل ضغطاً كبيراً على الاقتصاد الوطني وأدى إلى استنزاف الموارد العامة (Abudabbous.et al, 2025). من هذا المنطلق، بات من الضروري أن تعيد ليبيا النظر في استراتيجياتها المتعلقة بإنتاج وتوزيع الطاقة، عبر تبني حلول مستدامة وتنويع مصادر الطاقة، بما يسهم في تعزيز الاستقرار الاقتصادي، وتحقيق التنمية الشاملة، والمحافظة على البيئة للأجيال القادمة (Younis.et al, 2025).

منهجية البحث

أهمية البحث:

تنبع أهمية هذا البحث من سعيه إلى استكشاف مصادر بديلة لإنتاج الطاقة الكهربائية تتسم بكونها منخفضة التكلفة، وآمنة، وصديقة للبيئة، وذلك لمواجهة التحديات المستقبلية المرتبطة بارتفاع أسعار الكهرباء المحتمل في حال تم رفع الدعم الحكومي عن المحروقات. كما يهدف البحث إلى تسليط الضوء على الفرص الاقتصادية الكامنة في استخدام الطاقة الشمسية، لا سيما من خلال إمكانية تحقيق عوائد مالية إضافية عبر بيع الفائض من الكهرباء المُنتجة من الألواح الشمسية، مما يساهم في تعزيز مصادر الدخل الوطني ودعم استدامة قطاع الطاقة.

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في الارتفاع المتوقع في تعريفة الكهرباء التي تقدمها المنظومة الحكومية، الأمر الذي يُلقي بعبء مالي إضافي على المواطنين ويؤثر سلبًا على قدرتهم على تحمل تكاليف الطاقة على المدى الطويل. وفي ظل هذا التوجه، تبرز الحاجة الملحة إلى البحث في حلول بديلة ومستدامة، وعلى رأسها منظومات الطاقة الشمسية المنزلية، التي يمكن أن تساهم في توليد الكهرباء محليًا بتكلفة أقل، وتخفيف الاعتماد على الشبكة الحكومية.

فرضية البحث:

ينطلق هذا البحث من فرضية أساسية مفادها أن تركيب منظومة طاقة شمسية منزلية بقدرة 12 كيلوواط في مدينة زليتن، لتغذية منزل تسكنه عائلة مكونة من خمسة أفراد، يمكن أن يحقق اكتفاءً ذاتيًا

في تغطية الاحتياجات اليومية من الطاقة الكهربائية. كما تفترض الدراسة أن هذه المنظومة قد تمثل خيارًا ذا جدوى مالية، خاصة في حال بيع الفائض من الكهرباء المُنتجة إلى الشبكة العامة، مما يسهم في تقليل التكاليف الشهرية وتحقيق دخل إضافي للأسرة.

أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الرئيسة، تتمثل فيما يلي:

- التعرف على أهمية الاعتماد على الطاقة الشمسية الكهروضوئية كمصدر آمن، ونظيف، ومستدام للطاقة، بالإضافة إلى إمكانية تحقيق مردود مالي من استخدامها.
- تحليل الجدوى الفنية والمالية لتركيب منظومة طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 12 كيلوواط، ومدى قدرتها على تلبية احتياجات الطاقة المنزلية.
- تحديد التكلفة الإجمالية اللازمة لتنفيذ منظومة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، بما يشمل مكونات النظام والتركيب والتشغيل.

دراسات سابقة:

تمت دراسة الجدوى الاقتصادية لمنظومات الطاقة الشمسية في عدد من الأبحاث السابقة التي تناولت الجوانب الفنية والمالية لمشاريع الطاقة الكهروضوئية، ومن أبرز هذه الدراسات:

دراسة أحمد شاكر محمد ومحمد طارق محمد (2023م):

هدفت الدراسة إلى تحليل الجدوى المالية لتركيب منظومة شمسية صغيرة بقدرة 2 كيلوواط في بيئة منزلية.

نتائج الدراسة: أظهرت النتائج أن المشروع مجدٍ ماليًا، حيث بلغت الكلفة الاستثمارية حوالي 5485 دولارًا أمريكيًا، وهو مبلغ يُعتبر مقبولًا ضمن هذا النوع من المشاريع. كما بلغ معدل العائد إلى الكلفة (1.8)، وهو أعلى من الواحد الصحيح، مما يشير بوضوح إلى ربحية المشروع.

دراسة الزينة سليمان عمر موسى (2015م):

ركزت هذه الدراسة على تقييم أداء وكفاءة منظومة طاقة شمسية منزلية، مع مقارنة التكاليف مع الكهرباء التقليدية. كما استهدفت توفير حلول بديلة لتقليل الانقطاعات الكهربائية، خاصة في المناطق النائية، والحفاظ على البيئة.

نتائج الدراسة: بيّنت النتائج أن تكلفة الكيلوواط/ساعة المنتجة عبر الطاقة الشمسية أعلى من تلك التي توفرها الشبكة التقليدية، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع الكلفة الإنشائية للمنظومة الشمسية. وبالتالي، خلصت الدراسة إلى أن الطاقة الشمسية ليست منافسة اقتصاديًا في المناطق الحضرية إلا في حال انخفاض التكاليف الأولية، لكنها تظل خيارًا مناسبًا للمناطق النائية.

دراسة عبد المنعم شعبان وفتحي ربيع (2022م):

تناولت الدراسة كيفية تصميم منظومة كهروضوئية لتزويد مجمع سكني بالطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية.

نتائج الدراسة: توصل الباحثان إلى أن تكلفة إنتاج الكهرباء من خلال الطاقة الشمسية أقل من تكلفتها باستخدام المصادر التقليدية في بعض الحالات، كما أن المنظومات الشمسية تتطلب صيانة أقل بكثير، حيث يقتصر الأمر على التنظيف الدوري للألواح للحفاظ على الكفاءة، بعكس ما تحتاجه التوربينات الغازية من صيانة معقدة ومكلفة.

دراسة Nassar et al. (2024) :

هدفت الدراسة إلى تقييم مدى ملاءمة تقنيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح للتطبيق في المناطق شبه الجافة والجافة، مع التركيز على الخصائص المناخية لليبيا كنموذج تطبيقي.

نتائج الدراسة: أظهرت النتائج أن الظروف المناخية في ليبيا، بما في ذلك معدلات الإشعاع الشمسي العالية وساعات السطوع الطويلة، تتيح فرصًا كبيرة لاستغلال الطاقة الشمسية والرياح على نطاق واسع. وأوصت الدراسة بتسريع الاستثمار في هذه التقنيات لتعزيز أمن الطاقة وتقليل الاعتماد على المصادر الأحفورية.

دراسة Nassar et al. (2023) :
تناولت الدراسة محاكاة أداء تقنيات الطاقة الشمسية المركزة (CSP) من حيث الجوانب الطاقوية والاقتصادية والبيئية باستخدام برنامج System Advisor Model (SAM) ، مع تطبيق النموذج على ليبيا.
نتائج الدراسة: خلص الباحثون إلى أن تقنيات الطاقة الشمسية المركزة تمتلك جدوى واعدة في البيئة الليبية، حيث توفر أداءً مستقرًا وفعالاً في توليد الكهرباء، وتتميز بإمكانيات عالية للتخزين الحراري. كما أظهرت النمذجة أن هذه الأنظمة تحقق توازنًا جيدًا بين العائد المالي والتأثير البيئي المنخفض، مما يجعلها خيارًا استراتيجيًا في المدى المتوسط والطويل.

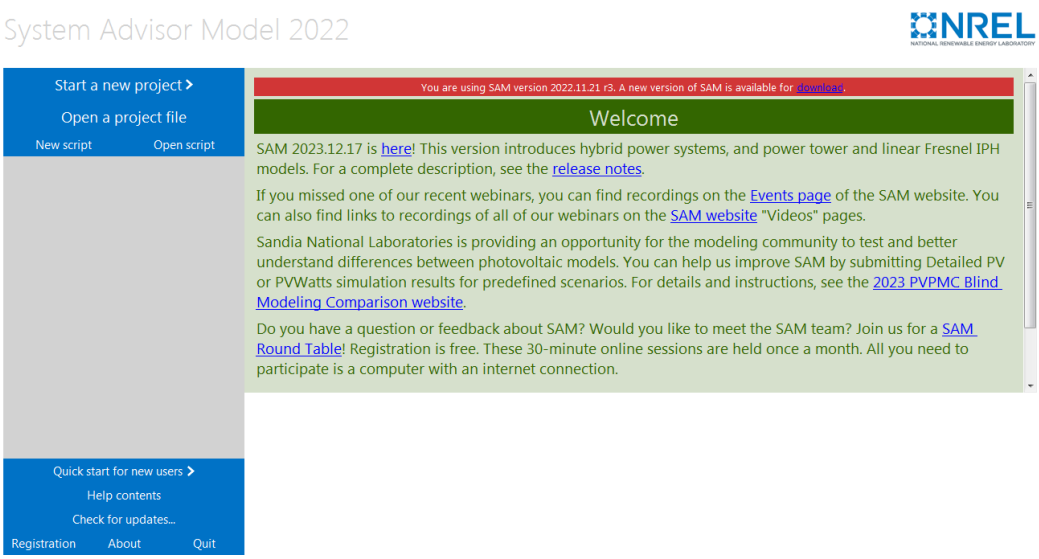
دراسة Almaktar, Elbreki & Shaaban (2021) :
ركزت الدراسة على تحليل جدوى استخدام الطاقة الشمسية لتعزيز موثوقية تشغيل النظام الكهربائي في ليبيا، خاصة في المجتمعات المحلية.
نتائج الدراسة: أظهرت التحليلات أن دمج أنظمة الطاقة الشمسية على مستوى المجتمعات المحلية يمكن أن يسهم في تحسين استقرار الشبكة وتقليل الانقطاعات الكهربائية. كما بيّنت الدراسة أن الإنتاج اللامركزي للطاقة يُعد حلاً فعالًا في مواجهة ضعف البنية التحتية المركزية، ويعزز من كفاءة توزيع الكهرباء في المناطق الريفية.

دراسة Abu-Aeshah, Alghafoud & Elsherif (2025) :
هدفت الدراسة إلى تقييم أداء نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية مزود بوحدة تخزين حراري، باستخدام برنامج SAM للمحاكاة.
نتائج الدراسة: أظهرت نتائج المحاكاة أن نظام التسخين الشمسي المزود بتخزين حراري يحقق كفاءة حرارية مرتفعة، ويمكن أن يقلل بشكل كبير من استهلاك الكهرباء المخصصة لتسخين المياه، خاصة في المنازل والمباني التجارية. كما تم التأكيد على أهمية التصميم الدقيق للمكونات لضمان أعلى كفاءة ممكنة.

النظام:

نموذج مستشار النظام (SAM):

يُعد برنامج SAM (System Advisor Model) تطبيقًا مجانيًا يعمل على سطح المكتب، ويُستخدم في التحليل الفني والاقتصادي لتقنيات الطاقة المتجددة. ويستفيد منه مجموعة واسعة من المستخدمين، بما في ذلك مديرو المشاريع، والمهندسون، ومحللو السياسات، ومطورو التكنولوجيا، والباحثون، وذلك بهدف دراسة وتحليل الجدوى الفنية والاقتصادية والمالية لمشاريع الطاقة المتجددة. كما هو موضح في الشكل (1).



شكل (1): يوضح نموذج مستشار النظام (SAM)

الأحمال الكهربائية ومكونات النظام:

الأحمال الكهربائية:

كدراسة حالة، تمت دراسة منزل نموذجي يقع في مدينة زليتن، ليبيا يعد تحديد الطلب على الطاقة للأسرة أمرًا ضروريًا لتصميم نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية المقترح ولهذا الغرض تم حساب إجمالي الأحمال الكهربائية للمنزل (انظر الجدول 1).

الجدول 1. إجمالي الأحمال الكهربائية للمنزل زليتن، ليبيا.

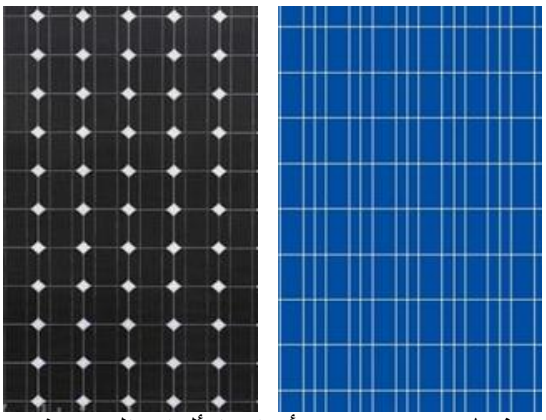
ت	الحمل الكهربائي	قدرة كهربائية	العدد	الاستطاعة الكلية
1	إنارة	10 واط	10	100 واط
2	برايز عامة	150 واط	13	1950 واط
3	تلفزيونLED	65 واط	2	130 واط
4	ثلاجة	150 واط	1	150 واط
5	سخانه	1500 واط	2	3000 واط
6	غسالة ملابس	1500 واط	1	1500 واط
7	مكيف	1500 واط	3	4500 واط
	الإجمالي			11330 واط

مكونات الأساسية لمنظومة الطاقة الشمسية:

الألواح الشمسية

تُعد الألواح الشمسية، والتي تُعرف أيضًا باسم الخلايا الشمسية أو الخلايا الكهروضوئية، من المكونات الأساسية والرئيسة التي لا يمكن الاستغناء عنها عند تصميم أو تركيب أي نظام شمسي منزلي. وتتوفر في الأسواق عدة أنواع من هذه الألواح، تختلف فيما بينها من حيث الكفاءة والسعر والاستخدام الأمثل. يوضّح الشكل (2) الفرق بين نوعي الألواح الشائعة وهما: ألواح البولي كريستالين (Polycrystalline) وألواح المونو كريستالين (Monocrystalline)، حيث يمتاز كل نوع بمواصفات تقنية واقتصادية خاصة تُؤخذ بعين الاعتبار عند اختيار النظام المناسب. وهناك بعض الشروط والمعايير التي تلزمنا عند تحديد عدد الألواح الشمسية وهي:

- إن تكون المساحة كافية لتركيب الألواح الشمسية.
- إن تكون الأرضية مستوية قدر الإمكان.
- يفضل المناطق التي يتواجد بها أشعة الشمس خلال النهار بمعدل 5 إلى 6 ساعات يومياً على الأقل، وكلما كان المعدل أكبر كان ذلك أفضل.



شكل (2): يوضح أنواع الألواح الشمسية.

منظم الشحن

يُوضّح الشكل (3) جهاز منظم الشحن (بالإنجليزية: Charge Controller)، والذي يُعد المكون الثاني الأساسي بعد الألواح الشمسية في أنظمة الطاقة الكهروضوئية. وتكمن وظيفته الرئيسة في تنظيم الجهد والتيار القادمين من الألواح الشمسية، بحيث يُنتج طاقة كهربائية بجهد وتيار مناسبين ومتوافقين مع متطلبات كل من البطاريات ومدخل العاكس (Inverter). ولا تقتصر مهام منظم الشحن على تنظيم الطاقة فحسب، بل يتولى كذلك حماية النظام من عدد من المخاطر التشغيلية. فهو يمنع التيار العكسي من العودة إلى الألواح الشمسية خلال الليل، كما يحمي البطاريات من الشحن الزائد والتفريغ العميق، إلى جانب وظائف إضافية تختلف باختلاف نوع الجهاز والمزايا التي يقدمها كل طراز. يتم تصنيع منظمات الشحن بجهد وتيار محددين، بالإضافة إلى نطاق جهد إدخال معين يُناسب عدد وترتيب الألواح الشمسية المتصلة به.

وتوجد نوعان رئيسيان من منظمات الشحن:

- منظم شحن من نوع PWM (Pulse Width Modulation): يُعد الأبسط من حيث التقنية، وأقل تكلفة، لكنه أقل كفاءة نسبيًا.
- منظم شحن من نوع MPPT (Maximum Power Point Tracking): وهو الأكثر تطورًا وانتشارًا في الاستخدامات الحديثة، حيث يتميز بكفاءة أعلى في تتبع أقصى نقطة قدرة للألواح الشمسية، مما يسمح باستخلاص أكبر قدر ممكن من الطاقة.

شكل (3): يوضح جهاز منظم الشحن.

- **البطاريات**

تُستخدم البطاريات في أنظمة الطاقة الشمسية لتخزين الطاقة الكهربائية التي يتم توليدها من الألواح الشمسية خلال ساعات النهار، وذلك بهدف تشغيل الأحمال الكهربائية المنزلية خلال فترات الليل أو أثناء غياب أشعة الشمس لفترات طويلة. ويتم شحن هذه البطاريات عن طريق منظم الشحن، الذي ينظم الجهد والتيار لضمان شحن آمن وفعال يتوافق مع متطلبات البطاريات. تتوفر البطاريات بعدة أنواع، ويُعد النوع الجلدي (Gel Batteries) من أكثر الأنواع استخدامًا في منظومات الطاقة الشمسية، نظرًا لكفاءته العالية وقدرته على تحمل ظروف التشغيل المختلفة، كما هو موضح في الشكل (4). ويمكن زيادة القدرة التخزينية لمنظومة البطاريات من خلال طريقتين:

- التوصيل على التوازي (Parallel): ويُستخدم لزيادة السعة الأمبيرية (Ah)، مما يُمكّن البطاريات من تخزين كمية أكبر من الطاقة.
- التوصيل على التوالي (Series): ويُستخدم لزيادة الجهد الكلي (Voltage) للنظام.

كما يمكن الدمج بين الطريقتين (Series–Parallel) لزيادة كلٍّ من التيار والجهد، وبالتالي رفع إجمالي الطاقة المخزنة داخل النظام على شكل طاقة كيميائية قابلة للتحويل إلى طاقة كهربائية عند الحاجة.

شكل (4): يوضح بطاريات الشحن

- **العاكس الكهربائي**

يُعرف جهاز العاكس الكهربائي أيضًا باسم "مزود الطاقة غير المنقطعة" (بالإنجليزية: Uninterruptible Power Supply - UPS)، وهو مكوّن أساسي في أنظمة الطاقة الشمسية. وتكمن وظيفته الرئيسة في تحويل التيار المستمر (DC) الناتج عن الألواح الشمسية – بعد تنظيمه من خلال منظم الشحن – إلى تيار متردد (AC)، ليتوافق مع متطلبات تشغيل الأجهزة الكهربائية المنزلية التي تعمل على التيار المتردد (عادةً 220 فولت). بالإضافة إلى ذلك، يتضمن العديد من أجهزة الانفرتر وحدة شحن مدمجة، تقوم بتحويل التيار المتردد الوارد من شبكة الكهرباء العمومية (بجهد 220 فولت) إلى تيار مستمر بجهد منخفض (12V / 24V / 48V)، وذلك لاستخدامه في شحن البطاريات بتيار وجهد مناسبين.

وبالتالي، يعمل الانفرتر كوحدة مزدوجة الوظيفة:

- تحويل الطاقة المخزنة في البطاريات إلى تيار متردد لتغذية الأحمال.
- شحن البطاريات باستخدام الشبكة العمومية عند توفرها، في حال غياب أو ضعف الطاقة الشمسية.

شكل (5): يوضح العاكس.

خطوات العمل:

اختيار الموقع:

تُعد ليبيا من الدول التي تتمتع بإمكانات ممتازة في مجال الطاقة الشمسية، نظرًا لموقعها الجغرافي المميز ضمن الحزام الشمسي، حيث تسجل معدلات إشعاع شمسي مرتفعة على مدار العام. وفي هذا البحث، سيتم استخدام منظومة طاقة شمسية كهروضوئية مقترحة لتغطية أحمال الطلب الكهربائي لمنزل يقع في مدينة زليتن، شرق العاصمة طرابلس. تقع مدينة زليتن عند خط عرض 32.756° شمالاً وخط طول 13.087° شرقًا، كما هو موضح في الشكل (6). وتُعد هذه المنطقة من المواقع المناسبة لتركيب الأنظمة الشمسية، نظرًا لتوافر الإشعاع الشمسي الكافي، وملاءمة الظروف المناخية لتشغيل الألواح الشمسية بكفاءة عالية.

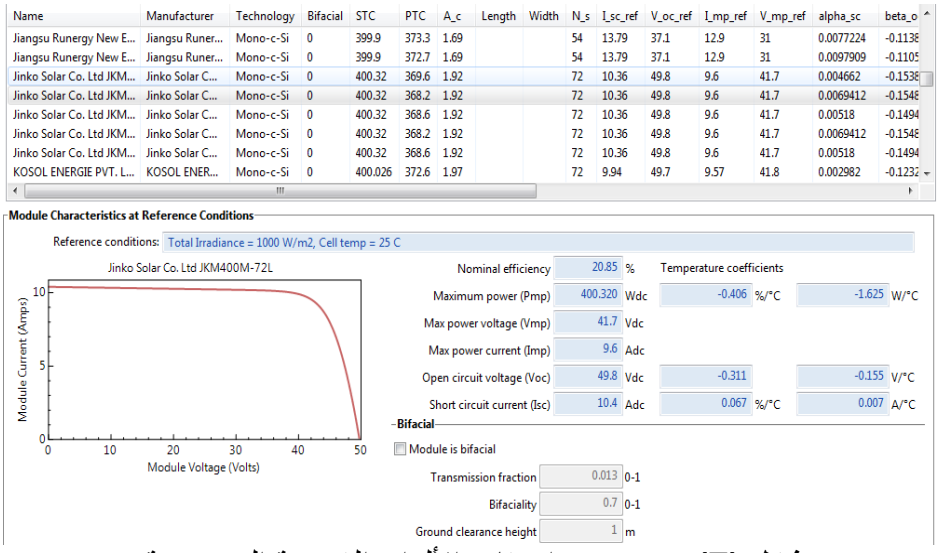
Latitude	32.756	degrees	Location	unknown	
Longitude	13.087	degrees	Data Source	ECMWF/ERA	
Time zone	GMT 2		For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.		
Elevation	46	m			
Time step	60	minutes			

شكل (6): يوضح الموقع لمنزل في زليتن

اختيار الألواح الشمسية والعاكس:

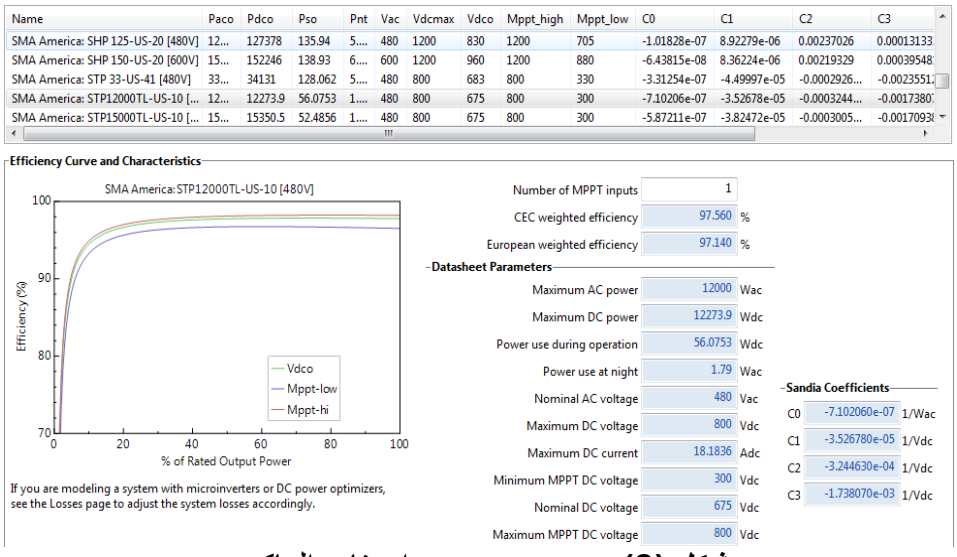
تم اختيار مكونات النظام الكهروضوئي المقترح بالاعتماد على نماذج موثوقة ضمن برنامج System Advisor Model (SAM)، لضمان تحقيق كفاءة تشغيلية وموثوقية عالية للنظام. كما هو موضح في الشكلين (7) و(8)، تم اختيار نموذج الألواح الشمسية من تصنيع شركة JINKO Solar، بقدرة اسمية 400.32 واط لكل لوح. وقد تم تحديد عدد الألواح المطلوبة بـ 27 لوحًا، لتلبية القدرة الإجمالية المطلوبة للنظام، على أن تُركب الألواح على مساحة تقدر بنحو 50 مترًا مربعًا. أما بالنسبة لجهاز العاكس (Inverter)، فقد تم اختيار عاكس من إنتاج شركة SMA America بقدرة 12,000

واط، بما يتوافق مع القدرة الكلية للنظام، ويضمن تحويل الطاقة الكهروضوئية إلى طاقة كهربائية مترددة بكفاءة عالية لتغذية الأحمال المنزلية.



Name	Manufacturer	Technology	Bifacial	STC	PTC	A_c	Length	Width	N_s	I_sc_ref	V_oc_ref	I_mp_ref	V_mp_ref	alpha_sc	beta_o
Jiangsu Runergy New E...	Jiangsu Runer...	Mono-c-Si	0	399.9	373.3	1.69			54	13.79	37.1	12.9	31	0.0077224	-0.1138
Jiangsu Runergy New E...	Jiangsu Runer...	Mono-c-Si	0	399.9	372.7	1.69			54	13.79	37.1	12.9	31	0.0097909	-0.1105
Jinko Solar Co. Ltd JKM...	Jinko Solar C...	Mono-c-Si	0	400.32	369.6	1.92			72	10.36	49.8	9.6	41.7	0.004662	-0.1538
Jinko Solar Co. Ltd JKM...	Jinko Solar C...	Mono-c-Si	0	400.32	368.2	1.92			72	10.36	49.8	9.6	41.7	0.0069412	-0.1548
Jinko Solar Co. Ltd JKM...	Jinko Solar C...	Mono-c-Si	0	400.32	368.6	1.92			72	10.36	49.8	9.6	41.7	0.00518	-0.1494
Jinko Solar Co. Ltd JKM...	Jinko Solar C...	Mono-c-Si	0	400.32	368.2	1.92			72	10.36	49.8	9.6	41.7	0.0069412	-0.1548
Jinko Solar Co. Ltd JKM...	Jinko Solar C...	Mono-c-Si	0	400.32	368.6	1.92			72	10.36	49.8	9.6	41.7	0.00518	-0.1494
KOSOL ENERGIE PVT. L...	KOSOL ENER...	Mono-c-Si	0	400.026	372.6	1.97			72	9.94	49.7	9.57	41.8	0.002982	-0.1232

شكل (7): يوضح مواصفات الألواح الشمسية المستخدمة.



Name	Paco	Pdco	Pso	Pnt	Vac	Vdcmax	Vdco	Mppt_high	Mppt_low	C0	C1	C2	C3
SMA America: SHP 125-US-20 [480V]	12...	127378	135.94	5....	480	1200	830	1200	705	-1.01828e-07	8.92279e-06	0.00237026	0.00013133
SMA America: SHP 150-US-20 [600V]	15...	152246	138.93	6....	600	1200	960	1200	880	-6.43815e-08	8.36224e-06	0.00219329	0.00039548
SMA America: STP 33-US-41 [480V]	33...	34131	128.062	5....	480	800	683	800	330	-3.31254e-07	-4.49997e-05	-0.0002926...	-0.0023551
SMA America: STP12000TL-US-10 [...	12...	12273.9	56.0753	1....	480	800	675	800	300	-7.10206e-07	-3.52678e-05	-0.0003244...	-0.0017380
SMA America: STP15000TL-US-10 [...	15...	15350.5	52.4856	1....	480	800	675	800	300	-5.87211e-07	-3.82472e-05	-0.0003005...	-0.0017093

شكل (8): يوضح نوع ومواصفات العاكس

النتائج:

تكلفة المشروع:

نظرًا لأن النظام المقترح في هذه الدراسة هو نظام معزول عن الشبكة (Off-Grid System)، فقد تم تقدير التكلفة الإجمالية للمشروع باستخدام برنامج System Advisor Model (SAM)، مع الأخذ بعين الاعتبار أسعار المكونات في السوق المحلي الليبي. وقد بلغت التكلفة الكلية للنظام حوالي 79,000 دينار ليبي. وفيما يلي توزيع تفصيلي لتكلفة المكونات الرئيسية:

- الألواح الشمسية (JINKO Solar): عدد 27 لوحًا بقدرة 400.32 واط لكل منها، بتكلفة إجمالية تبلغ 27,250 د.ل.
- العاكس (Inverter - SMA America): بقدرة 12,000 واط، بتكلفة 8,500 د.ل.
- البطاريات (نوع Gel): لتخزين الطاقة، بتكلفة إجمالية 42,500 د.ل.
- منظم الشحن (Charge Controller): بقدرة ملائمة للنظام، بتكلفة 750 د.ل.

يمثل هذا التقدير الشامل تكلفة شراء وتركيب المكونات الأساسية للنظام الكهروضوئي المنزلي، مع الأخذ في الاعتبار الاعتماد على مكونات عالية الجودة لتحقيق كفاءة تشغيلية واستدامة طويلة الأمد.

تكلفة الاستهلاك والمبيعات:

إنتاج منظومة الألواح الشمسية المقترحة بحسب مستشار النظام (SAM)، تقدر حوالي (101.463 كيلو واط سنة) كما هو موضح بالشكل رقم (9). ولحساب تكلفة الاستهلاك السنوية للمنزل تم الحصول على فواتير الكهرباء من الشركة العامة للكهرباء الليبية (GECOL)، ولحساب إجمالي سعر الكيلو واط ساعة لمدة 10 سنة المستخدمة من الشركة العامة للكهرباء بافتراض سعر تعريفة الكهرباء بعد رفع الدعم حوالي (0.35 د. ل) (انظر الجدول 2).

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	101,463 kWh
DC capacity factor in Year 1	111.3%
Energy yield in Year 1	9,748 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	3.57
Battery roundtrip efficiency	100.00%
Battery charge energy from system	100.0%
PPA price in Year 1	6.80 ¢/kWh
PPA price escalation	1.00 %/year
LPPA Levelized PPA price nominal	10.81 ¢/kWh
LPPA Levelized PPA price real	9.06 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy nominal	30539.46 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	25603.23 ¢/kWh
NPV Net present value	$-85,065,424
IRR Internal rate of return	NaN
Year IRR is achieved	20
IRR at end of project	NaN
Net capital cost	$89,946,864
Equity	$118,242,016
Size of debt	$-28,295,148
Debt percent	-31.46%

شكل (9): يوضح إنتاج منظومة الطاقة الشمسية.

جدول (2): يوضح إجمالي تكلفة استهلاك الكهرباء لمدة 10 سنة.

القراءة		الاستهلاك (كيلوات ساعة)	تكلفة الكهرباء (د.ل)	تكلفة الكهرباء لمدة 10 سنوات (د.ل)
من	الي			
2021/12/8	2022/3/15	26,658	8,280	82,800
2022/3/15	2022/6/5	13,104	4,586	45,860
2022/6/5	2022/9/28	30,546	10,691	106,910
2022/9/28	2022/12/18	13,905	4,866	48,660
المجموع		84,213	29,474	294,745.5

تُقدّر كمية الطاقة الكهربائية التي يمكن أن ينتجها النظام الكهروضوئي المنزلي المقترح بحوالي 17,250 كيلوواط/ساعة سنويًا. وبافتراض إمكانية بيع هذه الطاقة الفائضة إلى الشبكة العامة بسعر 0.30 دينار ليبي لكل كيلوواط/ساعة، فإن العائد السنوي المحتمل من بيع الكهرباء يقدّر بنحو:

17,250 × 0.30 = 5,175 دينار ليبي سنويًا.

تُعرض التفاصيل الكاملة لهذا التقدير في الجدول (3)، مما يعزز من الجدوى الاقتصادية للمشروع ويدعم فكرة استرداد التكاليف خلال فترة زمنية معقولة.

جدول (3): يوضح تكلفة بيع الكهرباء لمدة 10 سنوات

مقدار الطاقة المتاحة (كيلو واط سنة)	تكلفة الكهرباء المباعة (د.ل)	تكلفة بيع الكهرباء لمدة 10 سنوات (د.ل)
17,250	5,175	51,750

الخلاصة:

- بلغ إجمالي إنتاج منظومة الألواح الشمسية ما يقارب 101,463 كيلوواط/ساعة سنويًا.
- تبعًا لدراسة الأحمال المنزلية، فقد قُدّرت التكلفة الإجمالية للمشروع شاملاً التركيب بحوالي 79,000.00 دينار ليبي.
- ووفقًا لبيانات فواتير الاستهلاك، بلغ الاستهلاك الفعلي للطاقة الكهربائية المنزلية حوالي 84,213 كيلوواط/ساعة سنويًا، وهو ما يُعادل قيمة مالية تقدر بـ 29,474.00 دينار ليبي عند احتساب سعر التعريفة الحالية.
- أما إجمالي العائد المتوقع من بيع الفائض من الطاقة الشمسية إلى الشركة العامة للكهرباء (بافتراض أن الاستهلاك يمثل نحو 83% من الإنتاج)، فقد قُدّر بحوالي 5,175.00 دينار ليبي سنويًا.

الاستنتاجات والتوصيات:

أولاً: الاستنتاجات

- تُظهر دراسة الجدوى أن المشروع يتمتع بعائد اقتصادي مجزٍ، مما يُؤكد صحة الفرضية المتعلقة بتركيب منظومة طاقة شمسية منزلية لتغطية استهلاك الكهرباء وبيع الفائض منها.
- تسهم مشاريع الطاقة الشمسية في تقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري، ما يسمح بإعادة توجيه هذه الموارد إلى مجالات أخرى، بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة، ولا سيما تحقيق رفاهية الجيل الحالي دون المساس بحقوق الأجيال القادمة.
- من شأن التوسع في استخدام الطاقة الشمسية أن يقلل من الاعتماد على الغاز الطبيعي، والذي يشكل عبئًا ماليًا كبيرًا على ميزانية الدولة.
- لا تتوفر حالياً سياسات أو آليات دعم حكومي فعالة لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية في ليبيا، مما يعيق انتشارها بشكل واسع.
- تتمتع ليبيا بموارد طبيعية ممتازة، خصوصاً من حيث معدلات الإشعاع الشمسي، ما يجعلها بيئة مثالية للاستثمار في الطاقة الشمسية.

ثانياً: التوصيات

- ينبغي على الحكومة الليبية تقديم دعم ملموس لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية، سواء عبر الدعم المالي المباشر أو من خلال سنّ تشريعات تحفيزية، تشجع المواطنين على تبني هذه المشاريع، مع إمكانية بيع فائض الإنتاج للشبكة العامة كما هو معمول به في العديد من دول العالم.
- يُوصى بالاستفادة من تجارب الدول الرائدة في مجال الطاقة الشمسية الكهروضوئية، من حيث التكنولوجيا، السياسات، وآليات التمويل، لتطبيق نماذج ناجحة وملائمة في السياق الليبي.
- يجب العمل على توفير بيئة تشريعية ومؤسسية مستقرة وشفافة لجذب المستثمرين المحليين والأجانب إلى قطاع الطاقة الشمسية في ليبيا.

قائمة المراجع:

أولا: المراجع العربية

1. شاكر، ن. ع. (1998). دراسات الجدوى الاقتصادية وتقييم المشروعات الجديدة (الطبعة الأولى). القاهرة: كتب عربية للنشر.
2. ناصر، ي. ف. (2006). هندسة الطاقة الشمسية. سبها: جامعة سبها.
3. الشركة العامة للكهرباء. (دون تاريخ). بيانات وتقارير فنية. ليبيا.
4. زردق، أ. ع.، وبسيوني، م. س. (2011). مبادئ دراسات الجدوى الاقتصادية (الطبعة الأولى). الإسكندرية: الدار الجامعية.
5. عبد القادر، ن.، وسليمان، م. أ. (2009). الطاقة الشمسية: المصدر الرئيسي للطاقة النظيفة. القاهرة: دار الفكر العربي.
6. الخطيب، هـ. (2004). الطاقة والتنمية المستدامة في الدول العربية. الإمارات: دون ناشر.

7. صالح، إ.، خلاط، م.، والمشيرقي، م. (2003). توجهات الشركة العامة للكهرباء في كهربة المناطق النائية باستخدام منظومات الخلايا الشمسية. مجلة الطاقة والحياة، العدد (19)، 14–23.
8. أبوراوي إشتيوي منصور، ف. (2023). مقومات تنمية الطاقة الخضراء في ليبيا وتحدياتها. *مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية* (العدد 4)، 247–278 .
9. أبونوار، ع. س.، زقلم، أ. الط.، & زقلم، إ. الط. (2024). دراسة تحليلية عن الطاقة الشمسية كطاقة متجددة وتأثيرها على التنمية المستدامة في ليبيا . *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*، 3(4) ، 290 -299.
10. أحمد، ب.، الزير، ر.، أبوقيلة، م.، محمد، س.، الخازمي، ع.، أحمد، ع. أ.، أمبية، إ.، نصار، ي.، الشريف، ع. الق & .,خليل، م. م. (2023). أطلس تقنيات الطاقة الشمسية والطاقة الشمسية المركزة وطاقة الرياح في ليبيا .*مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي(NAJSP)* ، 1(4)، 8-24. https://najsp.com/index.php/home/article/view/79
11. العربي، أ. ا.، تيتيوي، أ. أ.، سعد، ل. آ.، & دراويل، م. (2024). استراتيجية الطاقة الشمسية في ليبيا (الإمكانات – التخطيط – آليات التنفيذ) . *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*، العدد الخاص بمؤتمرFICTS-2024 ، 96-104.
12. **أحمد شاكر محمد، محمد طارق محمد** .(2023) *دراسة الجدوى المالية لمشروع نصب منظومة طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 2 كيلوواط للاستخدام المنزلي* . *Entrepreneurship Journal for Finance and Business*, 4(1), 100–113.
13. **الزينة سليمان عمر** موسى .(2015) *دراسة منظومة طاقة شمسية لتشغيل منزل ومقارنتها بالطاقة الكهربائية التقليدية* (ملخّص). جامعة طرابلس.
14. **عبد المنعم شعبان، فتحي ربيع** .(2022)*دراسة تصميم منظومة طاقة شمسية لمنطقة سكنية*.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Abudabbous, A. A. M. (2025). Evaluation of energy output for a 50 MW coastal wind farm in Sirte, Libya utilizing the System Advisor Model. North Africa Journal of Scientific Publishing (NAJSP), 15, 15–25.
2. Abu-Aeshah, A. Y., Alghafoud, M. A., & Elsherif, M. M. (2025). Performance analyses of solar water heating system with thermal storage using SAM simulation. International Journal of Electrical Engineering and Sustainability, 1, 1–9.
3. Almaktar, M., Elbreki, A. M., & Shaaban, M. (2021). Revitalizing operational reliability of the electrical energy system in Libya: Feasibility analysis of solar generation in local communities. Journal of Cleaner Production, 279, 123647.
4. Ben Jebli, M., & Ben Youssef, S. (2017). The role of renewable energy and agriculture in reducing CO_2 emissions: evidence for North Africa countries. Ecological Indicators, 74, 295–301.
5. Bureau of Statistics and Census Libya. (2020). Estimated Population by Regions in Libya in 2020. Retrieved from http://www.bsc.ly#/
6. Economic Community of Africa. (2012). Towards a Common Currency in the East African Community (EAC): Issues, Challenges and Prospects.
7. Faisal Abdussalam Alfagi. Feasibility of solar energy in Libya and cost trend. (No further details provided.)

8. Hibal, et al. (2004). M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, Al-Fateh University, Libya.
9. Nassar, Y. F., El-Khozondar, H. J., Alatrash, A. A., Ahmed, B. A., Elzer, R. S., Ahmed, A. A., & Khaleel, M. M. (2024). Assessing the viability of solar and wind energy technologies in semi-arid and arid regions: A case study of Libya's climatic conditions. Applied Solar Energy, 60(1), 149–170. https://doi.org/10.3103/S0003701X24010154
10. Nassar, Y. F., ElKhozondar, H. J., Abouqeelah, M. H., Abubaker, A. A., Miskeen, A. B., Khaleel, M. M. & Elmnifi, M. (2023). Simulating the energy, economic and environmental performance of concentrating solar power technologies using SAM: Libya as a case study. Journal of Solar Energy and Sustainable Development, 12(2), 4–23.
11. Nathaniel, S., & Iheonu, C. (2019). Carbon dioxide abatement in Africa: The role of renewable and non-renewable energy consumption. Science of The Total Environment, 679, 337–345.
12. Program System Advisor Model (SAM). System Advisor Model (SAM) Website. Retrieved from https://sam.nrel.gov
13. Zaleek, M. (n.d.). (2022). Renewable Energy in Libya and Future Generation. Centre for Solar Energy and Research
14. Younis, A., Elmnifi, M., Jassim, L., Al-Raiani, K., Majdi, H. S., & Ayed, S. K. (2025, June). Experimental analysis of a solar module's characteristic performance in AL-Bayda City, Libya. In International Conference "New Technologies, Development and Applications" (pp. 681–713). Cham: Springer Nature Switzerland.