

تقييم أداء منظومة هجينة (شمس – شبكة) بقدرة 5 كيلو فولت أمبير: دراسة ميدانية في النواقية – بنغازي

علي محمود علي الشيشي^{1*}، فرج عابد ابريك اوشليف²، يوسف عطية يوسف ساسي³
^{1,2,3} قسم الطاقات المتجددة، المعهد العالي للعلوم والتقنية سلوق، بنغازي، ليبيا
 *البريد الإلكتروني (للباحث المرجعي): alial-shaiki@hicps.edu.ly

Performance Evaluation of a 5 kVA Hybrid Solar–Grid System: A Field Study in Al-Nawaqiyah – Benghazi

Ali Elsheikhi ^{1*}, Farag Farag ², Yousef Sassi ³

^{1,2,3} Renewable Energies Department, High Institute of Science and Technology suluq, Benghazi, Libya.

Received: 10-04-2025; Accepted: 22-06-2025; Published: 21-07-2025

المخلص

تُعد تقنيات الطاقات المتجددة من الركائز الأساسية للحياة الحديثة في مختلف دول العالم، وليبيا ليست بمعزل عن هذا التوجه العالمي، حيث تشهد في الوقت الراهن جهودًا مكثفة من خلال الشركة العامة للكهرباء ومراكز الأبحاث العامة والخاصة لاستيعاب هذه التقنيات وتوطينها. وقد لوحظ مؤخرًا الاعتماد على المنظومات الشمسية في بعض المباني داخل ليبيا. وتشير الدراسات السابقة إلى أن منظومة بقدرة 5 كيلو فولت أمبير تُعد الأنسب للاستخدام في المنزل الليبي المتوسط. في هذه الدراسة، تم تركيب وتشغيل منظومة هجينة شمسية-شبكة في أحد المواقع بمدينة بنغازي بهدف تقييم أدائها من خلال إجراء قياسات عملية بعد توصيل الأحمال. أظهرت النتائج أن المنظومة استطاعت تشغيل الأحمال بكفاءة جيدة عند نسبة تحميل بلغت حوالي 60%، كما لوحظ أن معامل القدرة تراوح بين 0.8 و0.98 حسب نوع الحمل (حثي، مقاومي، أو مختلط). وتبين من خلال النتائج أن أداء العاكس كان متوافقًا مع المعايير الدولية المعتمدة، حيث حافظ على معامل قدرة أعلى من 0.8، وهي نتيجة بالغة الأهمية في ظل انتشار بعض العواكس غير المعتمدة في السوق الليبي، والتي تعمل بمعامل قدرة منخفض، مما يتسبب في مشكلات بتغذية الأجهزة المنزلية. ويُعد معامل القدرة مؤشرًا رئيسيًا على جودة توزيع الطاقة الكهربائية في مثل هذه الأنظمة.

الكلمات الدالة: الإشعاع الشمسي، الحمل الحثي، الحمل المقاومي، العاكس الشمسي، الطاقة الشمسية.

Abstract

Renewable energy technologies play a critical role in achieving sustainable development worldwide. Libya, as part of the global energy transition, has started integrating solar energy systems in residential and public buildings. Previous studies indicate that a 5 kVA hybrid solar–grid system is the most suitable configuration for typical Libyan households. This study presents a practical evaluation of such a system installed in Benghazi, aiming to assess its real-time performance under actual load conditions. Field measurements revealed that the

system operated efficiently at an average load factor of approximately 60%, with the power factor varying between 0.8 and 0.98 depending on the load type (resistive, inductive, or mixed). The inverter performance met international standards, consistently maintaining a power factor above 0.8. These results emphasize the importance of using certified inverters, especially given the influx of low-quality solar components into the Libyan market, which adversely affect household appliances due to poor power quality. Power factor remains a key indicator of the overall performance and energy distribution quality of hybrid systems.

Keywords: Hybrid solar-grid system, Inductive load, Power factor, Resistive load, Solar radiation.

1- المقدمة

تحتل ليبيا باحتياطات نفطية تضعها ضمن أعلى عشر دول عالمياً في هذا المجال، ولكن يتفق الجميع على أن هذه الموارد **محدودة** وقد تنضب في المستقبل. لذا، يُنصح باستخدام عائدات النفط لتأسيس بنية تحتية للطاقة المتجددة وتطوير التشريعات اللازمة لعهد ما بعد النفط.

في السوق الليبي رُصد رفض واسع للأنظمة الشمسية بقدرة 1 ك.وَت، وذلك لعدم قدرتها على تشغيل أجهزة التكييف رغم كفاءتها لدى الأحمال المنزلية البسيطة نتيجة لذلك ازداد الإقبال على منظومات بقدرة 5 kVA الشائعة في البيوت الليبية لكن تواجه تحديات تتعلق بتصميم الأنظمة بشكل صحيح من حيث عدد الألواح والبطاريات وبقية المواصفات.

أشارت دراسات سابقة إلى مقارنة أداء العواكس بقدرتي 2.5 و 5 كيلو فولت أمبير، حيث أظهرت النتائج تفوق العاكس بقدرة 5 kVA في قدرته على تشغيل أحمال أكبر بتيار وجهد أعلى، مما يجعله أكثر ملاءمة للاستخدامات المنزلية التي تتطلب قدرات تشغيلية مرتفعة. ومن جهة أخرى، قامت شركة سورية أوفر (2023) بدراسة تطبيقية على منظومة شمسية بقدرة 3.6 كيلو وات، وتمكنت من تشغيل عدد من الأجهزة المنزلية الأساسية مثل غسالة الملابس، الثلاجة، ومكيف الهواء، حيث أثبتت الدراسة كفاءة المنظومة في تلبية متطلبات هذه الأحمال بشكل فعال ومستقر. [1]

أشارت دراسات حديثة إلى فعالية التحكم الذكي المدعوم بالذكاء الاصطناعي (ML) لتحسين استهلاك الطاقة الشمسية وتقليل الاعتماد على الشبكة بأكثر من 26% ضمن منظومات بقدرة 5 ك.وَت. [8]

8. كما أظهرت دراسة في غانا أن النظام الهجين (شمس-شبكة) يوفر أداءً أفضل مقارنة بكل من النظام الشمسي فقط أو الشبكة الصغيرة. [16] يدعم ذلك دراسة عالمية تؤكد أن الأنظمة السكنية الهجينة تراوح طاقتها عادة بين 5-10 ك.وَت وتحقق كفاءة عالية وتوفيراً في التكاليف. [14]

من الناحية الفنية، تأثير المناخ على أداء الألواح الشمسية مهم، حيث تقل كفاءتها عند ارتفاع درجات الحرارة بمعدل $0.4\% \sim 0.5\% / ^\circ\text{C}$ [13]. كذلك واعتماد العاكسات المعتمدة أمرٌ حاسم؛ مطالعة السوق العالمية تشير إلى نمو سوق العاكسات الهجينة بمعدل سنوي مُركَّب $\sim 15\%$ ، مدعوم بحوافز حكومية وتحسن تكنولوجيا البطاريات. [15]

بالنظر إلى السياق الليبي: المناخ الصحراوي الساخن يتطلب مراعاة فقد الكفاءة الحرارية، والتوافر المحدود لمعرفة التصميم الأمثل للمنظومات الهجينة 5 kVA. كما أن تعدد العلامات وسوء الجودة في بعض العناصر قد يؤدي إلى انخفاض معامل القدرة، وهو ما يمكن أن يقلل من عمر العاكس ويصعب تقديم طاقة ثابتة للأجهزة المنزلية.

لذلك، تهدف هذه الدراسة إلى :

1. تقييم الأداء العملي لمنظومة هجينة قدرة 5 kVA مرتبطة بالشبكة.
2. تحليل معامل القدرة في أحمال مختلفة (مقاومية، حثية، مختلطة).
3. ضبط التصميم التقني (عدد الألواح، البطاريات) ليتلاءم مع الظروف الميدانية في بنغازي
4. تقديم توصيات تقنية تتماشى مع متطلبات السوق الليبي والمناخ المحلي



شكل (1). العاكس وشاشة العرض تبين القدرة الظاهرية والفعالة.

2. الجانب العملي والمنهجية

في هذه الدراسة، تم تركيب منظومة شمسية هجينة مكونة من ستة ألواح شمسية من نوع Aurex، قدرة كل لوح 400 وات، بجهد 48 فولت، وتيار مستمر 10 أمبير. تم توصيل الألواح بطريقة السلسلة والتوازي بحيث يتكوّن ثلاث صفوف، كل صف يحتوي على لوحين متصلين على التوالي، ومن ثم توصيل هذه الصفوف على التوازي. وبهذا التصميم، أصبح الجهد الكلي للمنظومة حوالي 86 فولت، بينما بلغ التيار حوالي 30 أمبير.

تم توصيل هذه الألواح بجهاز تحكم هجين مدمج (Hybrid Controller) بجهد دخل 30 فولت وجهد خرج 220 فولت من نوع Aurex. كما تم ربط النظام بأربع بطاريات لتخزين الطاقة، كل واحدة منها بجهد 48 فولت وسعة 160 أمبير ساعة، ليصبح إجمالي سعة التخزين حوالي 9600 وات ساعة. الشكل (2) يوضّح التوصيلات الكهربائية الكاملة للنظام.

تم تنفيذ التجارب العملية في الموقع الفعلي للمنظومة في منطقة النواقية بمركز الإشعاع الشمسي، الذي يبعد حوالي 15 كيلومتراً عن مدينة بنغازي. أجريت القياسات خلال فصل الصيف، في تمام الساعة 11:20 صباحاً بتاريخ 24 يوليو 2024م، وذلك لضمان تحقيق ظروف إشعاع شمسي مرتفعة تمكّن من تقييم الأداء الحقيقي للنظام.



شكل (2). جهاز التحكم (العاكس) والمصفوفة الشمسية الكهروضوئية.

من الجداول (1) الذي يبين مواصفات العاكس والجدول (2) الذي يبين مواصفات اللوح الشمسي اللذان تم تركيبهما في مركز الإشعاع الشمسي حيث نستطيع أن نتعرف على خصائصهما بالتفصيل .

جدول 1. مواصفات العاكس .

Specification	Value
Rated power	5KVA/4000W,80A MPPT
DC Input	48V DC/83A
AC Output	230VAC/50/60HZ,18A
AC Charger mode:	
AC Input	230 VAC.50/60 HZ.35A
DC Output	54 VDC.MAX.80 A
AC Output	230VAC/50/60HZ,22A
Solar Charger mode :	
Rated Current MPPT	80A
System voltage	48VDC
MIN Solar voltage	60VDC
MAX Solar voltage	145VDC

جدول 2. مواصفات اللوح الشمسي.

Specification	Value
Rated Maximum Power (Pmax)	400 W
Voltage at Pmax (Vmp)	40 V
Current at Pmax (Imp)	9.6 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.32 V
Short Circuit Current (Isc)	(Isc)
Maximum System Voltage	1000 V
Weight	22 kg
Dimensions	2025 × 1052 × 35 mm

2.1 الخواص التي تمت دراستها في البحث

(أ) الإشعاع الشمسي W/m^2 (Solar radiation)

الإشعاع الشمسي هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة والقادرة على توليد قدرة كهربائية. تصل الأرض نسبة صغيرة جداً من أشعة الشمس، حيث لا تصيبها إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من الطاقة الشمسية، والتي تُقدَّر بحوالي 130 ميغا وات لكل متر مربع من سطح الشمس. ورغم ضالة هذه الكمية، إلا أنها مسؤولة عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي [4]

(ب) حمل المقاومة W (Load resistance)

حمل المقاومة هو أي عنصر كهربائي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية مباشرة إلى طاقة حرارية. يُعد هذا النوع من الأحمال من أبسط أنواع الأحمال الكهربائية.

(ت) الحمل الحثي W (Inductive load)

الحمل الحثي هو أي عنصر كهربائي يخزن الطاقة في مجال مغناطيسي عند مرور التيار الكهربائي عبره. عندما يمر تيار كهربائي في عنصر حثي، يتولد مجال مغناطيسي يتناسب طردياً مع شدة التيار [5]

(ج) معامل القدرة (Power Factor)

معامل القدرة هو النسبة بين القدرة الكهربائية المستخدمة في أداء عمل مفيد والقدرة الكلية المسحوبة من الشبكة. يتم تعريفه على أنه نسبة القدرة الفعلية (النشطة) المستخدمة في الدائرة، والتي تقاس بالوات (W) أو الكيلو وات (kW) ، إلى القدرة الظاهرية، التي تقاس بالفولت أمبير (VA) أو الكيلو فولت أمبير (kVA) .

معامل القدرة = القدرة الفعلية ÷ القدرة الظاهرية

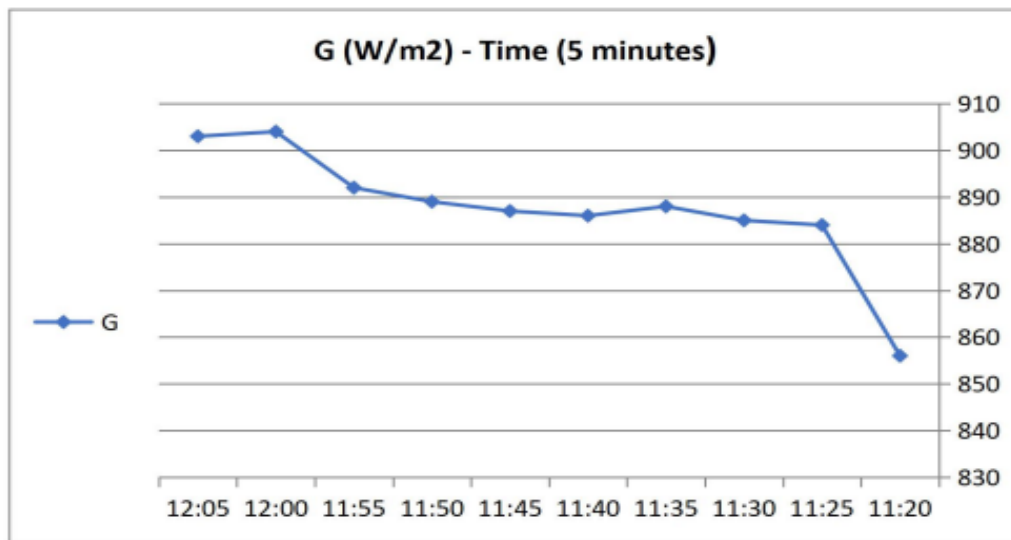
حيث أن القدرة الظاهرية تتكون من مكونين رئيسيين:

1. القدرة الفعلية: وهي القدرة المنتجة التي تغذي الأحمال وتقوم بالعمل المفيد.
2. القدرة التفاعلية: وهي القدرة اللازمة لتوليد الحقول المغناطيسية المطلوبة لتشغيل الأحمال الحثية، ولا تقوم بأي عمل مفيد [9.10]

3. النتائج والمناقشة

3-1 تجربة (1) قياس للإشعاع الشمسي

دراسة الإشعاع الشمسي بالموقع بناء على قياسات ميدانية باستخدام جهاز قياس الإشعاع الشمسي (Solar meter) تم أخذ هذه القياسات كل 5 دقيقة حسب المواصفات الدولية، ولذلك لبيان أن المنظومات الشمسية يتم الحاجة إليها بشكل يومي لتأمين التغذية بالكهرباء للأحمال لذلك يجب دراسة منحنى الإشعاع الشمسي اليومي لأنه أكثر فائدة من المنحنى الشهري أو السنوي، ولدراسة طبيعة التغير في الجهد والتيار حسب الزمن حيث أن ارتفاع درجة حرارة اللوح له تأثير سلبي ويتضح أيضاً في فترات قصيرة جداً أقل من 10 دقائق لطبيعة البيئة الليبية المرتفعة الحرارة بشكل طردي مع الزمن حيث كلما زاد زمن التجربة كلما زاد الفقد في الطاقة وذلك من الساعة 11 صباحاً إلى الساعة 4 مساءً ثم تبدأ في الانخفاض. الرياح تقوم بتبريد الألواح الشمسية لزيادة القدرة ومن الشكل (3) يتبين أن أعلى قيمة للإشعاع الشمسي كانت 904 وات/متر مربع وأقل قيمة للإشعاع الشمسي كانت 856 وات / متر مربع وبدأت التجربة عند الساعة 11:20 صباحاً بتاريخ 24/7/2024 في فصل الصيف، وهذه القيم متكررة تقريباً خلال هذا الفصل عند منتصف النهار وتقل كمية الشعاع بسبب الرطوبة العالية صيفاً.



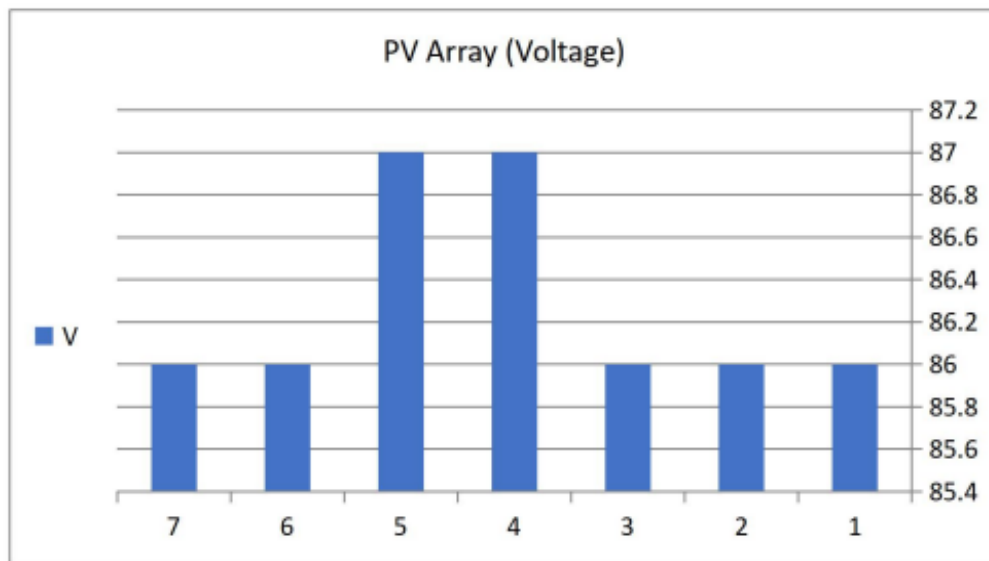
شكل 3. قياسات الإشعاع الشمسي G بالنسبة للزمن.

3.2 تجربة (2) قياس أداء المنظومة الشمسية بدون أحمال (Without load)

أجريت هذه التجربة بتاريخ الموافق 22/6/2024 ومكونات التجربة تشمل عاكس وعدد 4 بطاريات 200 أمبير وعدد 4 ألواح شمسية وتهدف التجربة الى تأكيد قيمة الجهد الحقيقي الذي يتم الحصول عليه من اللوح والتي تم توصيلها كل عدد لوحين على توالي ثم على التوازي في صفين. الجدول التالي يبين نتائج التجربة. للاطلاع على عملية شحن البطاريات وقيمة جهد الشحن الذي يتوقف عندها المنظم عن الشحن.

جدول 3. قياس أداء المنظومة بدون أحمال.

N	T [Hrs-sec]	HZ	OUTPUT [V]	LOAD [%]	B [V]	PV [A]	PV [V]	PV [W]
1	10:45	50	230	0	46.9	2	86	117
2	10:46	50	230	0	48	2	86	135
3	10:47	50	230	0	54.1	2	86	132
4	10:48	50	230	0	54	2	87	112
5	10:49	50	230	0	54	2	87	129
6	10:50	50	230	0	54.1	2	86	180
7	10:51	50	230	0	54.1	2	86	123
	AVG	50	230	0	52.2	2	86	32.5



شكل 4. قياسات جهد المصفوفة تحت التشغيل بدون تحميل.

من خلال الجدول (3) والشكل (4)، نلاحظ أن جهد المنظومة ظل ثابتاً طوال فترة التجربة، حيث بلغت قيمته 86 فولت، بينما كان تيار الشحن 2 أمبير. في بداية التجربة، بلغت قدرة الألواح الشمسية 117 وات، وازدادت تدريجياً حتى وصلت إلى القيمة القصوى لشحن البطارية، حيث بلغت القدرة 180 وات، وهي النقطة التي يتوقف عندها جهاز التحكم عن الشحن. أما جهد البطارية فقد بدأ عند 46.9 فولت، وارتفع تدريجياً ليصل إلى 54.1 فولت في نهاية التجربة، وهو الحد الأقصى لشحن البطارية الذي يقوم عنده الشاحن تلقائياً بإيقاف عملية الشحن للحفاظ على سلامة البطارية.

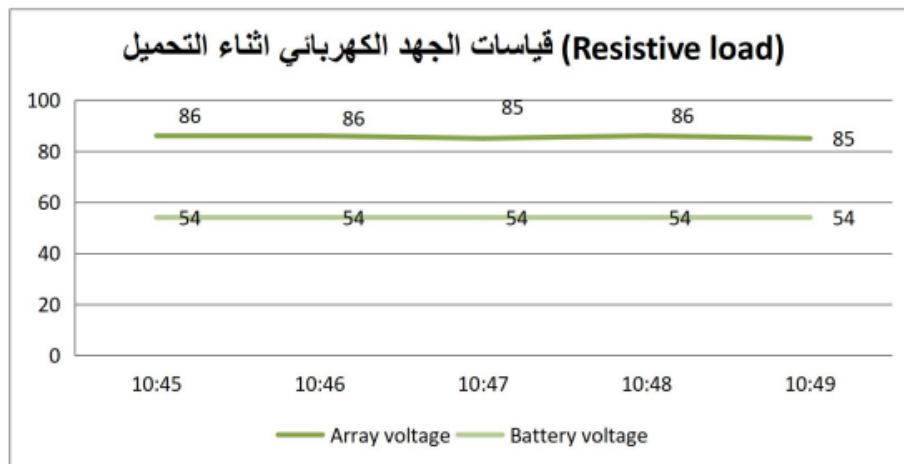
3.3 تجربة (3) قياس أداء المنظومة الشمسية (حمل المقاومة) (Resistive load)

أجريت هذه التجربة بتاريخ الموافق 22/6/2024 ومكونات التجربة تشمل عاكس وعدد 4 بطاريات (200 امبير) وعدد 4 ألواح شمسية . تهدف التجربة إلى تشغيل حمل مقاومة قدرته 1080 وات وقياس الأداء للمنظومة وبيان نسبة التحميل والقدرة الناتجة من الألواح وغيرها من المتغيرات.

جدول 4. نتائج قياس أداء المنظومة – أحمال مقاومي (Resistive load).

N	TIM E [hrs-sec]	SOLAR RADIATIO N [W/M ²]	A C [A]	OUTPU T [W]	LOA D [%]	LOA D [VA]	LOA D [W]	B V [V]	PV [V]	PV [W]
1	11:05	1291.5	6.3	205	27	1080	1080	54	86	92
2	11:10	1291.5	6.3	205	27	1080	1080	54	86	92
3	11:15	890.1	4.3	207	18	734	737	54	85	92
4	11:18	910.8	4.4	207	18	744	738	54	86	92
5	11:21	600.3	2.9	207	9	373	337	54	85	92
6	11:25	600.3	2.9	207	9	372	372	54	86	92
	AVG	930.8	4.5	206	18	730.5	724	54	86	92

نلاحظ من الجدول (4) أن جهد المنظومة كان ثابتا طول فترة التجربة حيث كانت قيمته 86 فولت وكانت قدرة الحمل حسب لوحة التعريف 1200 وات (جهاز تدفئة كهربائية) بعدد 3 مراحل لقياس القدرة المستهلكة: المرحلة الأولى 300 وات والثانية 800 وات والثالثة 1200 وات وتم تشغيل الحمل ولوحظ أن الاستهلاك حسب شاشة العرض يتراوح بين 724-1080 وات. وكان تيار السحب للحمل من 2.9-6.3 أمبير تيار متغير بمتوسط 4.5 أمبير وكانت نسبة التحميل تتراوح ما بين 9-27%. وكان معامل القدرة (القدرة الفعالة لحمل المقاومة = القدرة الظاهرية) في حدود 0.99 وهذا يدل أن كفاءة العاكس في الحدود المطلوبة.

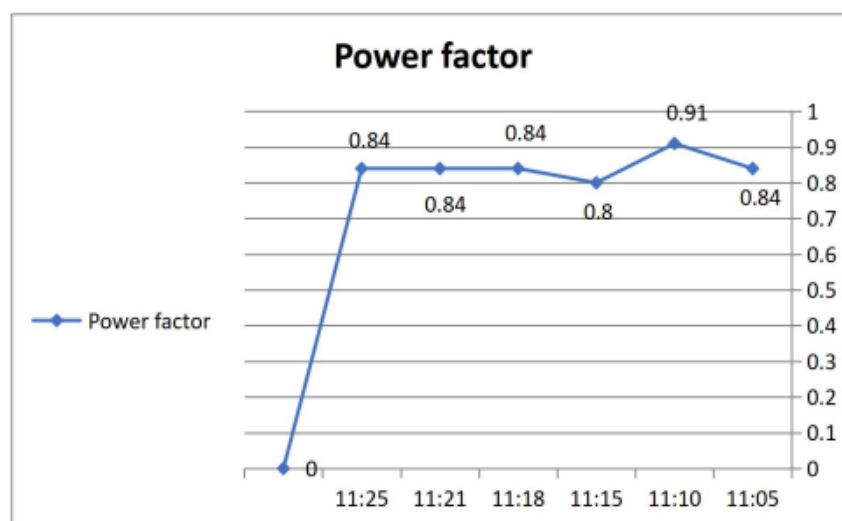


شكل (5). قياسات الجهد الكهربائي أثناء التحميل (Resistive load, 1200 W).

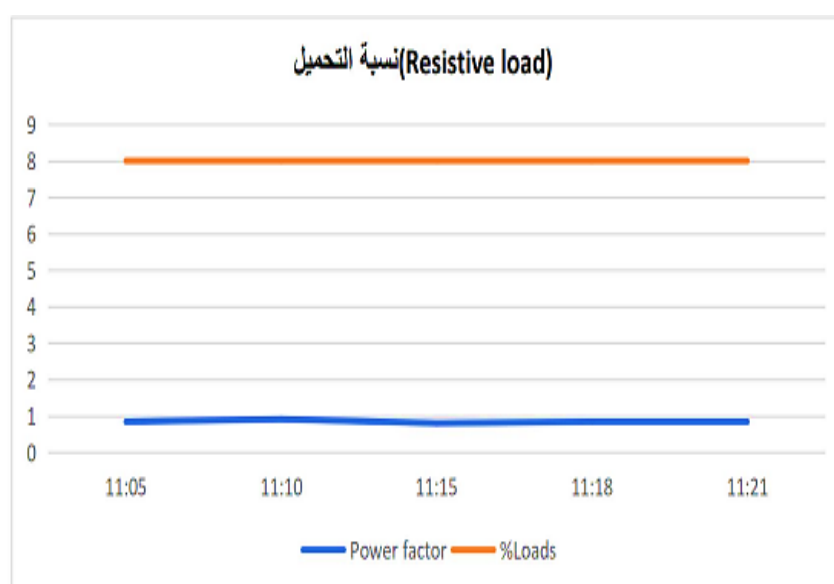
3.4 تجربة (4) قياس أداء المنظومة الشمسية بالحمل الحثي (Indicative load)
أجريت هذه التجربة بتاريخ الموافق 22/6/2024 ومكونات التجربة تشمل عاكس وعدد 4 بطاريات 200 أمبير وعدد 4 ألواح شمسية وتهدف التجربة إلى تشغيل حمل حتى قدرته 373 وات وقياس الأداء للمنظومة وبيان نسبة التحميل والقدرة الناتجة من الألواح وغيرها من المتغيرات.

جدول 5: نتائج قياس أداء المنظومة – حمل حثي (Indicative load).

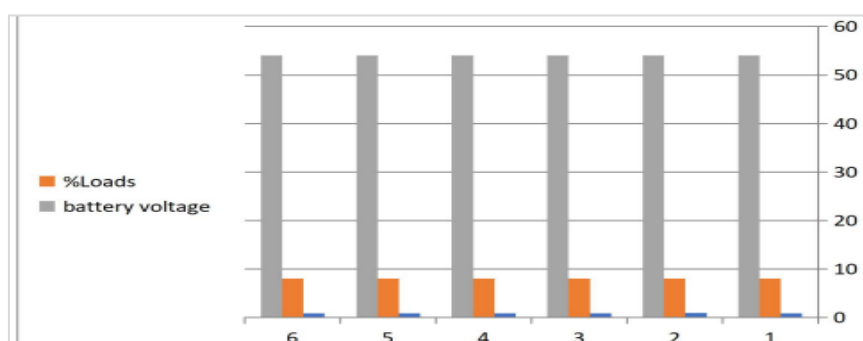
N	TIME (hrs-sec)	SOLAR RADIATION W/M ²	AC A	OUTPUT W	LOAD %	LOAD VA	LOAD W	B V	PV V	PV W
1	:1149	916	1.9	230	8	406	343	54	86	96
2	:1154	870	1.9	203	8	385	353	54	86	92
3	12	780	1.9	204	8	429	345	54	87	92
4	12:08	907	1.9	204	8	406	345	54	86	92
5	12:13	914	1.9	204	8	406	342	54	86	92
	AVG	600.3	1.9	209	8	406	345	54	86	92



شكل 6. قياسات معامل القدرة أثناء التحميل (345W).



شكل 7. قياسات نسبة التحميل ومعامل القدرة.



شكل 8. العلاقة بين نسبة التحميل وجهد البطاريات (Inductive load).

نلاحظ من جدول (5) أن جهد المنظومة كان ثابتا طول فترة التجربة حيث كانت قيمته 86 فولت وكانت قدرة الحمل 373 وات أثناء تشغيل الحمل ولوحظ أن الاستهلاك حسب شاشة العرض يتراوح بين 343-353 وات وبمتوسط 345 , وكان تيار السحب للحمل ثابتا 1.9 امبير تيار متغير ويلحظ ان معامل القدرة شكل (6) كان في المتوسط 0.84 وهي اعلى من القيمة المقررة للمحركات حسب لوحة التعريف وهي 0.8 التي لا يجب ان يتم تشغيل المحركات عند قيمة أقل منها. وكانت نسبة التحميل 8% , شكل (7) وهي قيمة منخفضة ويفضل أن تكون عادة بالعواكس المستخدمة حديثا في حالة وضعية الشحن لدى وحدات التخزين 100% عند 54 فولت في حدود من 70-90% ويبين الشكل (8) العلاقة بين نسبة التحميل وجهد وحدات التخزين حيث أن وضعية الشحن في وحدات التخزين كانت 100% عند 54 فولت.

3.5 تجربة (5) قياس الاستهلاك لأحمال المبنى بالموقع.

المبنى بالموقع مساحته 120 متر مربع ويشتمل على الأجهزة التالية حسب جدول (6).

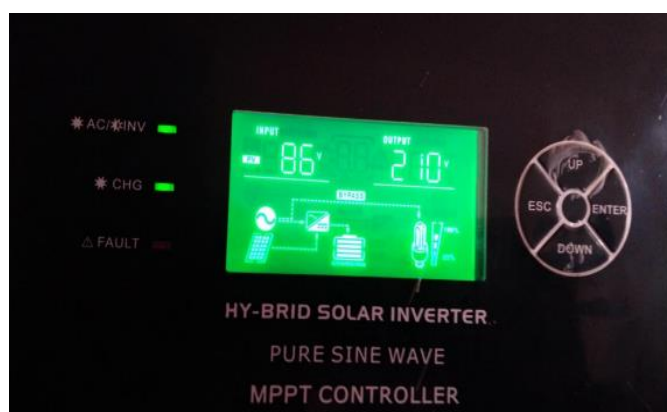
جدول 6. الأحمال المركبة بالمبنى.

اسم الجهاز	مبرد هواء	مسخن مياه	انارة خارجية	انارة داخلية	بث مرئي	مستقبل	Wi-Fi	ثلاجة	حاسب آلي ثابت
القدرة بالوات	1200	1200	12	10	60	20	20	65	65
العدد	1	1	10	8	1	1	1	1	1
اجمالي القدرة	1200	1200	120	80	60	20	20	65	60

من جدول (5) إجمالي قدرة 2825 وات وتم تشغيل الأجهزة بالجدول أعلاه بواسطة منظومة هايبر مع ملاحظة أن الثلاجة وسخان المياه لا تعمل باستمرار حيث عند الوصول الى درجة حرارة معينة تتوقف تلقائيا. وتم الحصول على القياسات التالية من شاشة العرض حسب الجدول (7).

جدول 7. نتائج قياسات الأداء لمنظومة الهايبر حسب شاشة العرض.

القدرة الكلية VA	القدرة الفعالة W	معامل القدرة Pf	نسبة التحميل	جهد البطاريات VB	جهد الألواح Vpv	التيار A
2500	2460	0.98	61	54	86	12.7



شكل 10. جهد المصفوفة 86 V



شكل 9. انتاجية المصفوفة الشمسية الهجينة بالكيلوات 1.56



شكل 12. القدرة الظاهرية (VA 2500)



شكل 11. نسبة التحميل 61%

الاستنتاجات

- في ضوء ما تم عرضه من نتائج ميدانية وتحليل تقني لأداء المنظومة الشمسية الهجينة بقدرة 5 كيلوفولت أمبير في منطقة النواحية بمدينة بنغازي، يمكن استخلاص النقاط التالية:
- أثبتت المنظومة كفاءتها العالية في تلبية احتياجات الأحمال المنزلية المتوسطة، حيث تم تحقيق نسبة تحميل بلغت حوالي 60% في الظروف التشغيلية الواقعية، مما يدل على ملاءمتها للاستخدام في البيئة السكنية الليبية.
 - أظهرت النتائج ثباتاً في جهد المصفوفة الشمسية طوال فترات التشغيل، وفعالية في شحن البطاريات ضمن الحدود المسموح بها، مما يعكس جودة التصميم الهندسي للمنظومة وتوافق مكوناتها.

- أبانت الاختبارات أن العاكس المستخدم حافظ على معامل قدرة مرتفع تراوح بين 0.84 و0.99 تبعاً لنوع الحمل، وهو مؤشر مهم على كفاءة تحويل الطاقة وتقليل الفاقد، خاصة في الأحمال الحثية المعقدة.
- أوضحت التجربة أن الحمل المقاوم يمثل الخيار الأكثر كفاءة من حيث الأداء الكهربائي، إلا أن المنظومة أثبتت قدرتها أيضاً على تشغيل الأحمال الحثية بكفاءة جيدة دون تأثير سلبي على استقرار النظام.
- ساعدت دراسة الاستهلاك الفعلي للأجهزة داخل المبنى في إعطاء تصور واقعي حول قدرة المنظومة على العمل في بيئة حقيقية، حيث تمكنت من تشغيل أجهزة متعددة كالمكيفات، الثلاجة، الإضاءة، وغيرها دون انقطاع أو تذبذب ملحوظ.
- تُظهر البيانات الميدانية أن العوامل المناخية كالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة لها أثر مباشر على كفاءة الأداء، مما يستدعي مستقبلاً تطوير أنظمة تبريد أو تهوية للألواح لرفع الكفاءة في المناخ الليبي الحار.
- من خلال التجارب، اتضح أن المنظومة تحقق نتائج متقدمة عند استخدام مكونات عالية الجودة ومعتمدة، بخلاف المكونات التجارية غير المطابقة، التي قد تتسبب في انخفاض معامل القدرة وتقصير عمر النظام.
- تؤكد هذه الدراسة أهمية ضبط التصميم الفني (عدد الألواح، سعة البطاريات، نوع العاكس) ليتلاءم مع طبيعة الاستخدام المحلي وظروف التشغيل، مع ضرورة نشر ثقافة الصيانة الدورية والتدريب الفني.
- توصي الدراسة بتشجيع التوجه نحو الأنظمة الهجينة (شمس-شبكة) في المدن الليبية، نظراً لما توفره من استقلالية تشغيلية وتقليل الضغط على الشبكة العامة، مع توفير اقتصادي ملحوظ على المدى البعيد.
- تمثل هذه الدراسة نموذجاً أولياً يمكن البناء عليه في تطوير مشاريع الطاقة الشمسية المنزلية في ليبيا، مع إمكانية التوسع في تطبيقاتها على مؤسسات عامة أو مدارس أو مراكز صحية في المناطق ذات الشبكة الضعيفة.

الخلاصة

في هذا البحث تم قياس الإشعاع الشمسي في مدينة بنغازي في شهر يونيو سنة 2024 ومن خلال القياسات بواسطة جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي (Solar meter) تبين أن أعلى قيمة إشعاع كانت 904 وات/متر مربع وأقل قيمة إشعاع كانت 856 وات/متر مربع حيث لاحظنا أيضاً سرعة تغير شدة الإشعاع الشمسي في فترات زمنية قصيرة أقل من 10 دقائق وفي قياس أداء المنظومة بدون أحمال كان جهد المنظومة ثابتاً طول فترة التشغيل حيث كانت قيمته 86 فولت وتيار شحن 2 أمبير وكانت قدرة الألواح 117 وات في بداية التجربة ووصلت إلى أعلى قيمة 180 وات وكان جهد البطارية 46.9 فولت ووصل إلى 54.1 فولت، وفي نتائج أداء المنظومة الشمسية بحمل حثي كان جهد المنظومة أيضاً ثابتاً طول فترة التجربة وكان تيار السحب للحمل يتراوح من 2.9-6.3 أمبير وكانت نسبة التحميل تتراوح من 27%-9% وكان معامل القدرة في حدود 0.99 وهذا يدل على كفاءة العاكس في الحدود المطلوبة، وفي حالة قياس الاستهلاك لحمل المبنى بالموقع تبين أن أقصى قدرة تم الحصول عليها من الألواح هي 1560 وات وكانت نسبة التحميل جيدة وهي تتراوح من 58%-61%.

المراجع

- [1] Justin, I., Frederick, O., & Loveday, O. C. (2018). *Assessment of load information of 2.5 kVA power inverter and 5.0 kVA operational capacity of photovoltaic inverter*. Unpublished manuscript. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10857.01121>
- [2] Al-Khatib, W. M., Ghazal, Z. A., Al-Hadi, A. M., Arabyat, Z. M., Al-Hababbeh, O., & Khasawneh, H. J. (2024). Optimizing solar energy utilization in facilities using machine learning-based scheduling techniques: A case study. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4693172>
- [3] Nkrumah Yeboah, G., Opoku, R., Uba, F., Mensah, G., & Andoh, P. Y. (2024). Comparative analysis of power quality of solar PV power only, hybrid solar PV–grid power, and national grid power only for SMEs: The case of a laundry shop in Ghana. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4998951>
- [4] Petty, G. W. (2006). *Atmospheric radiation*. Sundog Publishing.
- [5] Roselyn, J. P., Ravi, A., Devaraj, D., Venkatesan, R., Sadees, M., & Vijayakumar, K. (2020). Intelligent coordinated control for improved voltage and frequency regulation with smooth switchover operation in LV microgrid. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 22, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2020.100356>
- [6] Emanuel, A. E. (1993). On the definition of power factor and apparent power in unbalanced polyphase circuits with sinusoidal voltages and currents. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8(3), 841–852. <https://doi.org/10.1109/61.252612>
- [7] Jeon, S.-J. (2005). Definitions of apparent power and power factor in a power system having transmission lines with unequal resistances. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(3), 1806–1811. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.848658>
- [8] Al-Khatib, W. M., Ghazal, Z. A., Al-Hadi, A. M., Arabyat, Z. M., Al-Hababbeh, O., & Khasawneh, H. J. (2024). *(Duplicate citation removed if needed)*
- [9] Theraja, B. L., Theraja, A. K., Tarnekar, S. G., Khedkar, M. K., & Sedha, R. S. (2000). *Electrical technology*. S. Chand.
- [10] Kirtley, J. L. (2010). *Electric power principles*. Wiley.
- [11] Emanuel, A. E. (2011). *Power definitions and the physical mechanism of power flow*. Wiley.
- [12] Kirschen, D. S., & Strbac, G. (2018). *Fundamentals of power system economics* (2nd ed.). Wiley.
- [13] Arshad, M., & Qureshi, A. (2024). The environmental factors affecting solar photovoltaic output. *Renewable Energy Journal*.
- [14] Data Insights Market. (2025). *Residential hybrid solar system solution analysis and forecasts*.
- [15] Archive Market Research. (2025). *Hybrid solar inverter trends and forecasts 2023–2033*.
- [16] Yeboah, G. N., Opoku, R., Uba, F., Mensah, G., & Andoh, P. Y. (2024). *Comparative analysis of power quality of solar PV power only, hybrid solar PV–grid power, and national grid power only for SMEs: The case of a laundry shop in Ghana*. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4998951>

الوحدات

فيما يلي توضيح لأهم الوحدات المستخدمة في هذا البحث وفقاً للنظام الدولي للوحدات: (SI)

الكمية الفيزيائية	الرمز	الوحدة الدولية (SI)
القدرة الكهربائية	P	وات (W)
القدرة الظاهرية	S	فولت أمبير (VA)
القدرة التفاعلية	Q	فولت أمبير تفاعلي (VAR)
الجهد الكهربائي	V	فولت (V)
التيار الكهربائي	I	أمبير (A)
الطاقة	E	واط ساعة / (Wh) كيلو واط ساعة (kWh)
الإشعاع الشمسي	G	وات لكل متر مربع (W/m^2)
التردد	f	هرتز (Hz)
الزمن	t	ثانية / (s) ساعة (h)
السعة الكهربائية للبطارية	C	أمبير ساعة (Ah)
معامل القدرة	PF	بدون وحدة (نسبة)
درجة الحرارة	T	درجة مئوية ($^{\circ}C$)
الكتلة / الوزن	m	كيلوغرام (kg) أو كيلوجرام (kg)