Journal of Insights in Basic and Applied Sciences
مجلة رؤى في العلوم الأساسية والتطبيقية
ISSN: 3106-1737
Volume 2, Issue 4, 2026, Pages: 345-359
Journal homepage: https://jibas.com.ly/index.php/jibas/en

Design of a Stand-Alone Residential Solar Power System: An Integrated Computational Methodology and a Case Study

Abdulgader Alsharif [1 *], Abdussalam Ali Ahmed[2], Ahmed Al-Smin[3], Taha Muftah AbuAli[4], Talal Mohamed Tamghili [5], Abu Bakr Saleh Nasr [6], Rahma elZer[7], A. F. A Fadiel[8], Esmail Mahmoud Ali Esmail [9], Taha E. Alhoudier[10]

[1, 9, 10] Department of electric and electronic engineering, College of Technical Sciences-Sebha, Sabha, Libya

[2] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Bani Waleed University, Libya

[3,5] Higher Institute of Science and Technology Suk Algumaa, Tripoli, Libya

[4] College of Technical Sciences Bani Walid, libya

[6]Telecommunications Engineering Department – College of Engineering Technology, Zuwara, Zuwara, Libya

[7] Department of Physics, University of Derna, Derna, Libya

[8] Department of Mechanical Engineering Technology, Higher Institute for Sciences and Technology, Tobruk, Libya

تصميم منظومة طاقة شمسية منزلية مستقلة عن الشبكة: منهجية حسابية متكاملة ودراسة حالة

عبدالقادر الشريف[1*]، عبدالسلام علي أحمد[2]، أحمد السمين[3]، طه مفتاح أبوعلي[4]، طلال محمد تامقيلي [5]، أبوبكر صالح سالم نصر[6]، رحمه الزير[7]، علي فضيل[8]، إسماعيل محمود علي إسماعيل [9]، طه الحضيري [10]

[1،9،10] قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية العلوم التقنية - سبها، سبها، ليبيا

[2]قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، جامعة بني وليد، ليبيا

[3،5] قسم الهندسة الإلكترونية، المعهد العالي للعلوم والتقنية سوق الجمعة/طرابلس

[4] كلية العلوم التقنية، بني وليد، ليبيا

[6] قسم هندسة الاتصالات –كلية التقنية الهندسية زوارة، زوارة، ليبيا

[7] قسم الفيزياء، جامعة درنة، درنة، ليبيا

[8] قسم تقنيات الهندسة الميكانيكية، المعهد العالي للعلوم والتقنية، طبرق، ليبيا

[*]Corresponding author: alsharif@ctss.edu.ly

Received: September 10, 2026	Accepted: October 25, 2026	Published: November 07, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:

This paper presents a sequential method for sizing a stand-alone photovoltaic (PV) system that supplies the full electrical demand of a residential house. The method computes the daily energy demand, applies a loss margin, and then determines the PV array power, the battery bank capacity, the charge controller current rating, and the inverter power rating. The method is applied to a house with a daily demand of 1160 Wh, a 24 V DC bus, and a design autonomy of two cloudy days. The results give a PV array of 400 W (two 200 W modules), a battery bank of 24 V / 200 Ah formed by two 12 V / 200 Ah batteries in series, a 25 A MPPT charge controller, and a 300 W pure sine wave inverter. The paper also examines how sensitive the result is to peak sun hours, depth of discharge, and load growth, and it states the limits of the calculation, which does not replace a complete design to the applicable standards or field validation.

Keywords: stand-alone PV system; PV array sizing; battery capacity; charge controller; inverter; IEEE 1562; IEEE 1013.

الملخص

تعرض هذه الورقة منهجية متسلسلة لتحديد مكونات منظومة كهروضوئية مستقلة عن الشبكة تغذي الحمل الكهربائي الكامل لمنزل سكني. تقوم المنهجية على حساب الطاقة اليومية المستهلكة، ثم إضافة هامش للفقد، ثم تحديد قدرة مصفوفة الألواح، وسعة بنك البطاريات، وتيار منظم الشحن، وقدرة العاكس. وتُطبَّق المنهجية على منزل يستهلك 1160 واط·ساعة يوميًا، بنظام تيار مستمر جهده 24 فولتًا، ويُصمَّم ليتحمل يومين متتاليين من الغيوم. وتُظهر النتائج الحاجة إلى مصفوفة قدرتها 400 واط (لوحان بقدرة 200 واط لكل منهما)، وبنك بطاريات 24 فولتًا وسعته 200 أمبير·ساعة مكوَّن من بطاريتين 12 فولتًا على التوالي، ومنظم شحن من نوع MPPT بتيار 25 أمبيرًا، وعاكس جيبي نقي بقدرة 300 واط. كما تناقش الورقة حساسية النتائج لساعات الذروة الشمسية وعمق التفريغ ونمو الحمل، وتبيّن حدود الحساب، وهو لا يغني عن التصميم الكامل وفق المعايير المعتمدة ولا عن التحقق الميداني.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، المنظومة المستقلة عن الشبكة، حساب مصفوفة الألواح، سعة البطاريات، منظم الشحن، العاكس، المعيار IEEE 1562.

1. المقدمة

تعتمد أعداد كبيرة من المساكن على منظومات كهروضوئية مستقلة عن الشبكة، ولا سيما في المناطق التي تغيب فيها الشبكة العامة أو تضعف أو تنقطع بصورة متكررة. ويؤدي خطأ التصميم في هذه المنظومات إلى أحد أمرين: تكلفة استثمارية زائدة عند المبالغة في الحجم، أو انقطاع في الخدمة عند التقليل منه. وقد نشرت مؤسسة مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) ممارسات موصى بها لتحديد أحجام المصفوفة الكهروضوئية والبطاريات في الأنظمة التي تكون فيها الطاقة الشمسية المصدر الوحيد للشحن [1].

تستند هذه الورقة إلى المعيار IEEE 1562-2021 [1] في تحديد حجم المصفوفة والبطارية، وإلى المعيار IEEE 1013-2019 [2] فيما يخص البطاريات الرصاصية الحمضية. ويلزم التنبيه إلى أن المعيار الأول لا يتناول تحديد حجم منظم الشحن والعاكس والأسلاك [1]. وتُستخدم مقاييس تذبذب الإشعاع الشمسي منذ زمن طويل في تصميم المنظومات المستقلة عن الشبكة [3]. لذلك تعتمد الورقة في هذه العناصر على علاقات تقديرية مبسطة، وتعاملها بوصفها خطوات مساندة لا بديلًا عن المعايير المختصة.

تهدف الورقة إلى تقديم إطار حسابي يمكن تتبّع خطواته وتطبيقه على حالة رقمية، مع بيان الافتراضات التي تؤثر في النتيجة أكثر من غيرها.

2. التعريفات والمصطلحات الأساسية

جدول 1. التعريفات والرموز المستخدمة في الحساب

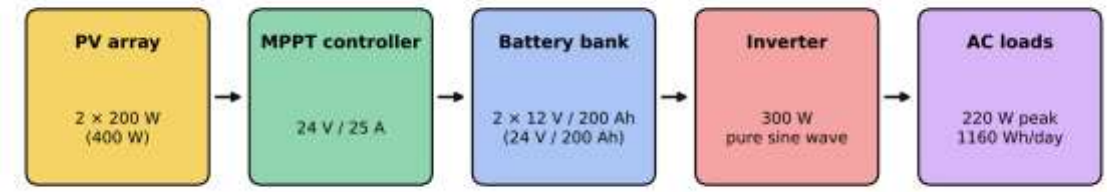
المصطلح	الرمز	التعريف	الوحدة
الطاقة المستهلكة اليومية	E_{daily}	مجموع الطاقة التي تستهلكها الأحمال الكهربائية خلال 24 ساعة	واط·ساعة/يوم
الطاقة التصميمية	E_{design}	الطاقة اليومية بعد إضافة هامش الفقد	واط·ساعة/يوم
ساعات الذروة الشمسية	PSH	عدد الساعات المكافئة التي يبلغ فيها الإشعاع الشمسي 1000 واط/م²	ساعة/يوم
سعة البطارية	C	كمية الشحنة الكهربائية التي يمكن للبطارية تخزينها	أمبير·ساعة
عمق التفريغ	DoD	النسبة المئوية من السعة الاسمية التي يُسمح بتفريغها	%
الفقد الكلي	L	الطاقة المفقودة في الأسلاك والبطاريات ومنظم الشحن والعاكس	—

منظم الشحن (MPPT)	—	جهاز يتتبع نقطة القدرة العظمى للوح، ويحوّل جهده إلى جهد البطارية بكفاءة أعلى من منظمات PWM	—
العاكس (Inverter)	—	جهاز يحوّل التيار المستمر (DC) إلى تيار متردد (AC)	—

نعني بالفقد الكلي الطاقة التي تضيع في الأسلاك ومقاومة البطاريات ومنظم الشحن والعاكس. ونقدّره في هذه الدراسة بنحو 30% بوصفه هامشًا تصميميًا محافظًا، لا بوصفه قيمة مقاسة. وتتفاوت قيمته الفعلية تفاوتًا كبيرًا بحسب جودة المكونات وطول الكابلات ومقاطعها.

3. منهجية التصميم

تتكون المنهجية من ست خطوات متتابعة، تُطبَّق كلها على دراسة الحالة في القسم IV. ويبيّن الشكل 1 مخطط كتل المنظومة.



شكل 1. مخطط كتل المنظومة المستقلة عن الشبكة

A. حساب الطاقة اليومية

تُحسب طاقة كل جهاز وفق العلاقة:

$$E_{device} = N \times P \times t \ (\text{Wh/day}) \qquad (1)$$

حيث N عدد الأجهزة من النوع الواحد، وP قدرة الجهاز بالواط، وt عدد ساعات التشغيل في اليوم. ثم تُجمع طاقات الأجهزة كلها للحصول على الطاقة اليومية E_{daily}. ويجب أخذ قدرة كل جهاز من لوحته الاسمية أو من قياس مباشر، لا من التقدير العام، لأن خطأ الحمل ينتقل إلى كل خطوة لاحقة.

B. إضافة هامش الفقد

نضيف نسبة فقد تقديرية $L = 0.3$ للحصول على الطاقة التصميمية:

$$E_{design} = E_{daily} \times (1 + L) \qquad (2)$$

ويغطي هذا الهامش كفاءة العاكس أيضًا، لأن الأحمال تُغذّى من البطارية عبر العاكس، فتكون الطاقة المسحوبة من البطارية أكبر من الطاقة المستهلكة فعليًا.

C. حساب قدرة الألواح الشمسية

تُقسم الطاقة التصميمية على متوسط ساعات الذروة الشمسية في أسوأ شهر من السنة PSH_{min}:

$$P_{array} = \frac{E_{design}}{PSH_{min}} \ (\text{W}) \qquad (3)$$

ثم يُحسب عدد الألواح بقسمة قدرة المصفوفة على قدرة اللوح الواحد، مع تقريب الناتج إلى أعلى عدد صحيح.

D. حساب سعة بنك البطاريات

تُحسب السعة اللازمة بالأمبير·ساعة وفق العلاقة:

$$C_{bat} = \frac{E_{design} \times D_{autonomy}}{V_{system} \times DoD_{max}} \qquad (4)$$

حيث $D_{autonomy}$ عدد أيام الاستقلالية، وV_{system} جهد النظام، وDoD_{max} أقصى عمق تفريغ مسموح به. وتمثّل هذه العلاقة صيغة مبسطة لإجراءات المعيار IEEE 1013-2019 [2]، إذ لا تتضمن تصحيح السعة بحسب درجة الحرارة وعوامل التقادم التي يتناولها المعيار. وقد تناولت دراسات اختبار البطاريات الرصاصية في التطبيقات الكهروضوئية إجراءات تحديد السعة وعدد الدورات [4]. ويتأثر عمر البطارية بعمق التفريغ ودرجة الحرارة، وقد أوصت دراسة ميدانية في بنغلاديش بألا يتجاوز التفريغ 60% لتحقيق أداء أفضل [5].

E. حساب تيار منظم الشحن

يُقدَّر تيار المنظم من مجموع تيارات الدائرة القصيرة للألواح، مع معامل أمان قدره 1.25:

$$I_{controller} \approx N_{panels} \times I_{sc} \times 1.25 \qquad (5)$$

ويُفضَّل استخدام منظم من نوع MPPT على منظم PWM، لأنه يتتبع نقطة القدرة العظمى للمصفوفة فيستخلص طاقة أكبر في الظروف نفسها. وتُظهر مقارنة تجريبية أن منظم MPPT يحقق كفاءة متوسطة أعلى من منظم PWM، مع بقاء الأخير خيارًا مقبولًا وأقل كلفة [6]. وفي محاكاة باستخدام MATLAB Simulink بلغ متوسط كفاءة PWM نحو 31.25% مقابل 72% لمنظم MPPT [7]. ولا يغطي المعيار IEEE 1562-2021 تحديد حجم منظم الشحن [1]، لذلك تبقى هذه الخطوة تقديرية.

F. حساب قدرة العاكس

تُحدَّد قدرة العاكس من مجموع قدرات الأحمال التي قد تعمل معًا في وقت الذروة، P_{peak}، مضروبًا في معامل أمان قدره 1.3:

$$P_{inverter} = P_{peak} \times 1.3 \qquad (6)$$

ويُفضَّل عاكس من نوع الموجة الجيبية النقية، لملاءمته الأجهزة الإلكترونية الحساسة والمحركات. وينبغي أن يتحمل العاكس أيضًا تيار الإقلاع الذي تسحبه المحركات والضواغط، وقد يبلغ أضعاف القدرة الاسمية. ولهذا لا تكفي المعادلة (6) وحدها عند وجود هذه الأحمال.

4. دراسة حالة رقمية

A. معطيات الحمل

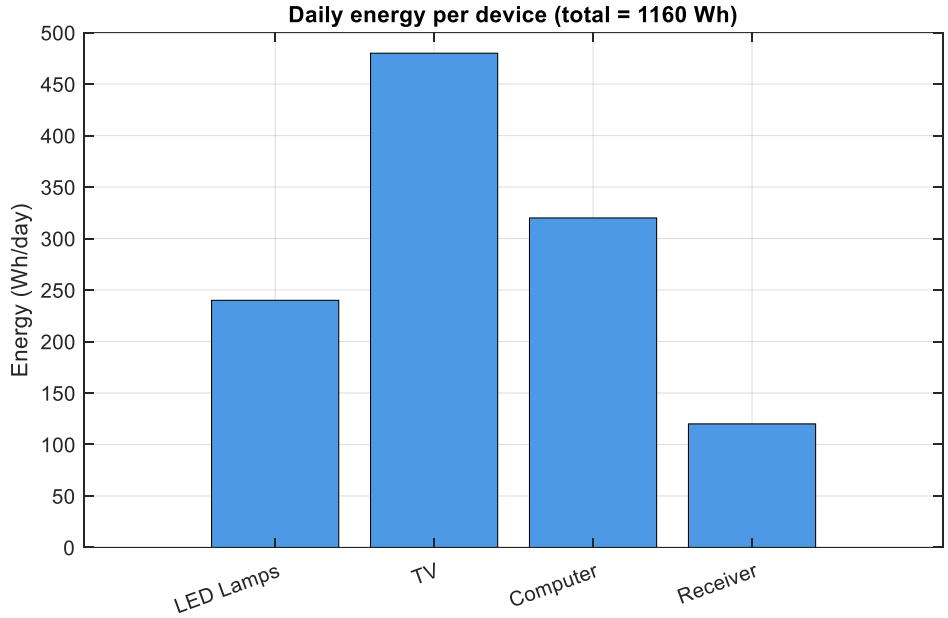
يُفترض منزل صغير تتوزع أحماله كما في الجدول 2. وقد اختيرت الأحمال لتمثل الاستخدام الأساسي من إضاءة وترفيه وعمل مكتبي واستقبال رقمي.

جدول 2. الأحمال الكهربائية اليومية المفترضة

الجهاز	العدد	القدرة (واط)	ساعات التشغيل/يوم	الطاقة (واط·ساعة/يوم)
مصابيح LED	4	10	6	240
تلفاز	1	80	6	480

حاسوب	1	80	4	320
جهاز استقبال رقمي	1	20	6	120
المجموع	—	—	—	**1160**

وبذلك تكون الطاقة اليومية $E_{daily} = 1160$ واط·ساعة/يوم. ويوضح الشكل 2 توزيعها على الأجهزة.



شكل 2. الطاقة اليومية المستهلكة لكل مجموعة من الأحمال

B. الطاقة التصميمية

بتطبيق المعادلة (2) مع $L = 0.3$:

$$E_{design} = 1160 \times 1.3 = 1508 \text{ Wh/day}$$

C. قدرة الألواح

نفترض أن أسوأ شهر شتوي يوفر $PSH_{min} = 4$ ساعات ذروة شمسية، فتكون القدرة المطلوبة:

$$P_{array} = \frac{1508}{4} = 377 \text{ W}$$

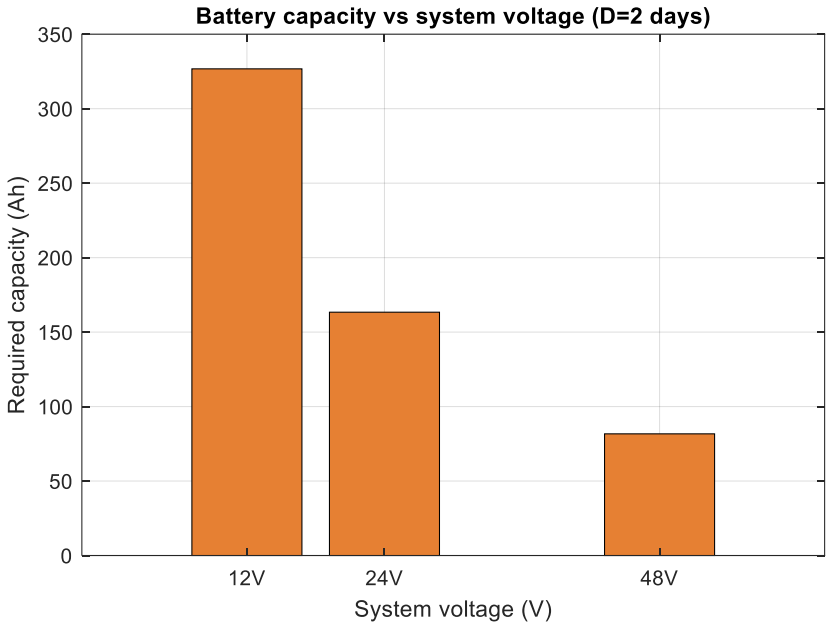
ويمكن تحقيق هذه القدرة بلوحين بقدرة 200 واط لكل منهما، أو بأربعة ألواح بقدرة 100 واط لكل منها. ونختار الخيار الأول لقلة عدد الألواح والتوصيلات. ويلاحظ أن القدرة المركبة تتجاوز المطلوبة بنحو 6% فقط، وهو هامش ضيق يُناقش في القسم V. وتتوافر تقديرات شهرية للإشعاع الشمسي لاثنتي عشرة مدينة ليبية يمكن الرجوع إليها للتحقق من قيمة 4 ساعات [8].

D. سعة البطاريات

لنظام جهده $V_{system} = 24$ فولتًا، واستقلالية $D_{autonomy}$ = يومان من الغيوم، وعمق تفريغ أقصى $DoD_{max} = 0.7$ (أي الاحتفاظ بنحو 30% من السعة الاسمية)، تُحسب السعة من المعادلة (4):

$$C_{bat} = \frac{1508 \times 2}{24 \times 0.7} \approx 179.5 \text{ Ah}$$

أي نحو 180 أمبير·ساعة عند 24 فولتًا. ونختار بنك بطاريات بسعة 200 أمبير·ساعة، أي بهامش يقارب 11% فوق الحد الأدنى. ويوضح الشكل 3 أثر الجهد في السعة المطلوبة عند يومين من الاستقلالية، ويعرض الجدول 3 خيارات تكوين البنك باستخدام بطاريات 12 فولتًا.



شكل 3. السعة المطلوبة من البطارية عند ثلاثة مستويات للجهد (D = 2 يومين، DoD = 0.7)

جدول 3. خيارات تكوين بنك البطاريات لنظام 24 فولتًا

التكوين	الجهد الناتج	السعة الناتجة (أمبير·ساعة)	أيام الاستقلالية المتحققة	ملاحظة
بطاريتان 12 فولت / 100 أمبير·ساعة على التوالي	24 فولت	100	1.1	تكفي ليوم غائم واحد تقريبًا، ولا تحقق المطلوب
أربع بطاريات 12 فولت / 100 أمبير·ساعة (توالٍ وتوازٍ)	24 فولت	200	2.2	تحقق يومين من الغيوم مع هامش
بطاريتان 12 فولت / 200 أمبير·ساعة على التوالي	24 فولت	200	2.2	الخيار المختار، وهو الأقل عددًا من الوحدات

وتُحسب أيام الاستقلالية المتحققة بقسمة الطاقة المتاحة، وهي السعة مضروبة في 24 فولتًا وفي 0.7، على الطاقة التصميمية البالغة 1508 واط·ساعة. وتُقارن دراسة تجريبية في الإمارات خصائص التفريغ لبطاريات الجل وAGM بسعة 150 أمبير·ساعة في تطبيقات مستقلة [9]، ولا تعتمد هذه الورقة على أرقام عمر الدورات لأي من النوعين، لأن المعيار IEEE 1013-2019 لا يقدم تنبؤات بعمر الدورات [2]، لذلك يبقى اختيار التقنية قرارًا منفصلًا عن الحساب.

E. منظم الشحن

بافتراض أن تيار الدائرة القصيرة للوح الواحد نحو 8.5 أمبير، وأن عدد الألواح لوحان:

$$I_{controller} \approx 2 \times 8.5 \times 1.25 = 21.25 \text{ A}$$

يعني ذلك أن منظمًا بقدرة 25 أمبيرًا هو أدنى قيمة قياسية تحقق الحساب، وهو منظم MPPT بجهد 24 فولتًا. ولا يسمح هذا المنظم بإضافة ألواح كثيرة، فهو يحتمل مجموع تيارات قصر للألواح يبلغ نحو 20 أمبيرًا بعد تطبيق معامل الأمان، أي لوحين فقط بالمواصفات المفترضة. ويجب إعادة اختيار المنظم إذا توسعت المصفوفة.

F. العاكس

قدرة الحمل في وقت الذروة، وهي مجموع قدرات الأجهزة كلها مفترضًا أنها تعمل معًا:

$$P_{peak} = (4 \times 10) + 80 + 80 + 20 = 220 \text{ W}$$

وبتطبيق المعادلة (6):

$$P_{inverter} = 220 \times 1.3 = 286 \text{ W}$$

ونختار عاكسًا بقدرة مستمرة 300 واط على الأقل من نوع الموجة الجيبية النقية. وتتجاوز كفاءة العواكس الجيدة من هذا النوع 90% في العادة، ولذلك أُدرجت الكفاءة ضمن هامش الفقد L ولم تُحسب منفصلة. أما تيار الإقلاع فلم يُحسب هنا، وهو عامل حاسم عند تشغيل المحركات كالثلاجات والمضخات.

G. ملخص المنظومة المقترحة

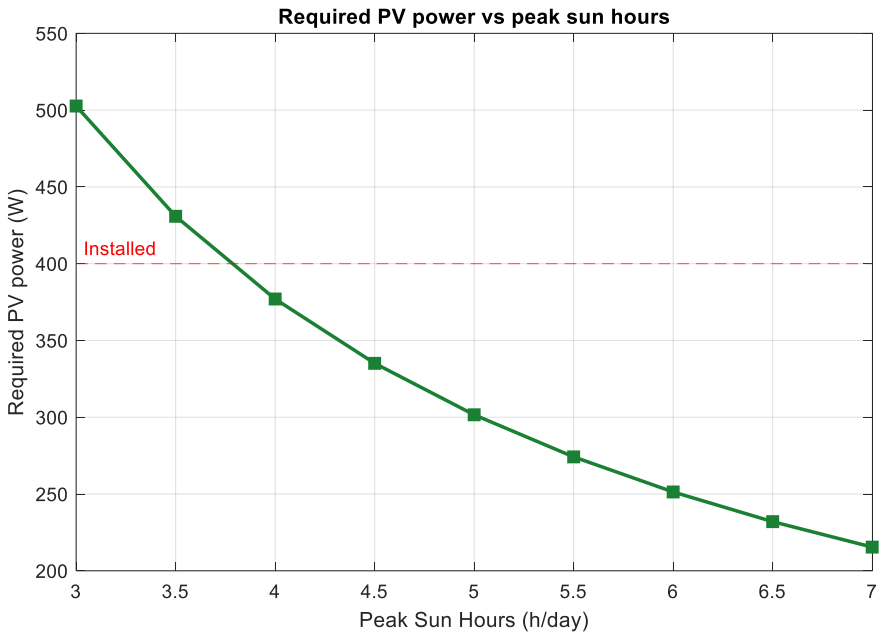
جدول 4. مواصفات المنظومة المقترحة

المكوّن	المواصفة
المصفوفة الشمسية	لوحان بقدرة 200 واط لكل منهما (إجمالي 400 واط)
بنك البطاريات	بطاريتان 12 فولت / 200 أمبير·ساعة متصلتان على التوالي (24 فولت / 200 أمبير·ساعة)
منظم الشحن	بجهد 24 فولت وتيار 25 أمبير MPPT
العاكس	موجة جيبية نقية بقدرة 300 واط على الأقل
أيام الاستقلالية	يومان من الغيوم
عناصر الحماية	قواطع تيار مستمر وتيار متردد، وفواصم، وتأريض، وأسلاك بمقاطع مناسبة

5. مناقشة النتائج والقيود

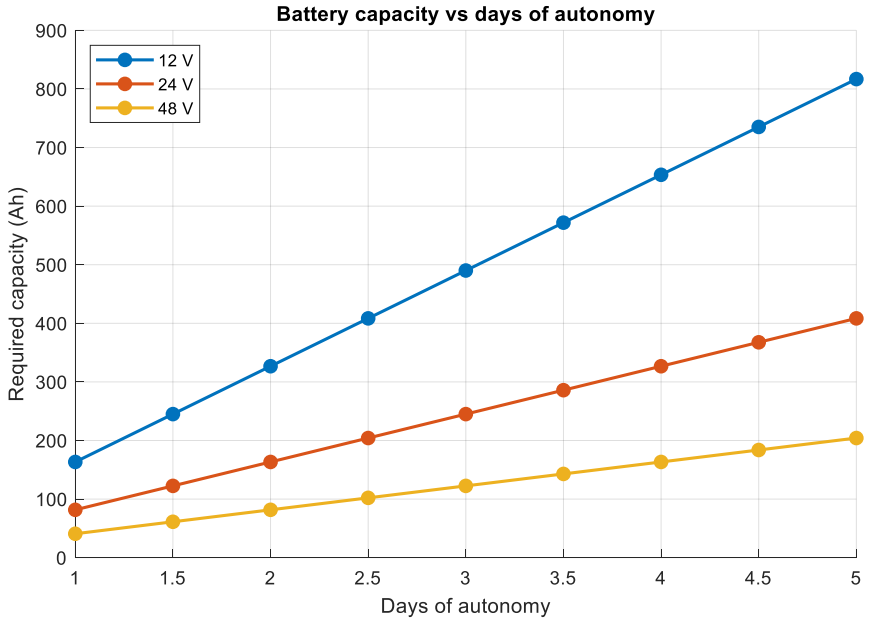
يُظهر الحساب أن المنظومة المقترحة تغطي الحمل المفترض باستقلالية يومين من الغيوم. غير أن النتيجة تعتمد على افتراضات عدة، وتتناول الفقرات الآتية أكثرها أثرًا.

1. افتراض ساعات الذروة الشمسية. اعتمدنا القيمة 4 ساعات/يوم تقديرًا محافظًا. تُظهر دراسة أن سبها تسجل أعلى متوسط يومي للإشعاع بين أربع مدن ليبية [10]، وتشير دراسة محلية تستخدم بيانات NASA POWER لعام 2025 إلى أن المتوسط السنوي للإشعاع الأفقي الكلي في تارهونة نحو 5.7 كيلوواط·ساعة/م²/يوم [11]. ولم نحسب الشهر الأسوأ في هذه الورقة، لذلك تبقى القيمة 4 افتراضًا يحتاج إلى التحقق. والتصميم حساس لهذا الافتراض، إذ يبيّن الشكل 4 أن القدرة المركبة (400 واط) تكفي ما دامت ساعات الذروة لا تقل عن نحو 3.8 ساعة، وأن أي انخفاض دون ذلك يعني عجزًا في شحن البطاريات. لذلك يُنصح بالتحقق من بيانات الموقع الفعلي قبل الاعتماد على القيمة المفترضة.



شكل 4. القدرة المطلوبة من المصفوفة بدلالة ساعات الذروة الشمسية، والخط المتقطع يمثل القدرة المركبة

2. عمق التفريغ وعمر البطارية. يزيد رفع عمق التفريغ السعة المتاحة من البطارية، لكنه يقصّر عمرها الافتراضي. وقد اخترنا DoD = 0.7 حلًا وسطًا بين الأمرين. ويبيّن الشكل 5 أن السعة المطلوبة تزداد خطيًا مع أيام الاستقلالية، وأن رفع الجهد يخفض السعة المطلوبة بالأمبير·ساعة. ومن ثم يصبح نظام 48 فولتًا خيارًا مناسبًا عند توسيع الحمل، لأنه يقلل التيارات والفقد في الكابلات، رغم أنه يتطلب معدات أكثر تخصصًا. وتوصي دراسة بنغلاديش بألا يتجاوز التفريغ 60% [5]، وهذا يعني أن عمق 70% الذي اعتمدناه أعلى من هذه التوصية. ولو طُبّق عمق 60% لارتفعت السعة المطلوبة إلى نحو 209 أمبير·ساعة، فلا تكفي بطارية 200 أمبير·ساعة، ويلزم بنك بسعة 250 أمبير·ساعة. لذلك ينبغي اعتبار النتيجة الحالية حدًا أدنى للسعة لا قيمة نهائية.



شكل 5. السعة المطلوبة من البطارية بدلالة أيام الاستقلالية عند ثلاثة مستويات للجهد (DoD = 0.7)

3. كفاءة المنظم. تشير دراسة تجريبية مقارنة إلى أن منظم MPPT رفع أداء الألواح بنسبة تتراوح بين 2% و5% مقارنة بمنظم PWM، وتخلص إلى أن منظم PWM قد يُقترح في المنظومات الكبيرة، بينما يناسب MPPT تطبيقات محددة [12]. ولذلك يجب تقييم جدوى الخيارين في حالة الحمل المفترض.

4. توسيع الحمل. يفترض التصميم حملًا قدره 220 واط عند الذروة. فإذا أُضيفت أحمال كبيرة كالثلاجة أو المكيف أو السخان الكهربائي، فلا تكفي المنظومة الحالية، ويلزم إعادة حساب المصفوفة والبطاريات والعاكس والمنظم، وربما الانتقال إلى نظام 48 فولتًا [13]-[17].

5. حدود النموذج. يعتمد الحساب على حمل يومي ثابت، ولا يأخذ في الحسبان تغيّر الحمل بين الفصول، ولا تغيّر الإشعاع بين الشهور بصورة تفصيلية، ولا أثر درجة الحرارة في سعة البطارية وكفاءة الألواح، ولا تقادم البطاريات عبر السنين. ولم تُجرَ محاكاة زمنية ساعية للمنظومة ولا قياسات ميدانية للتحقق من النتائج، وتبقى هذه الخطوة أولوية للعمل اللاحق.

6. السلامة والتركيب. تتطلب المنظومة قواطع وفواصم وتأريضًا وتركيبًا على يد فني مختص. ولا يتناول هذا الحساب الحماية من الصواعق وتنسيق العزل واختيار مقاطع الكابلات، وهي موضوعات تحتاج إلى دراسة مستقلة [18]-[20] .

6. الخاتمة

قدّمت هذه الورقة منهجية متسلسلة لتصميم منظومة شمسية منزلية مستقلة عن الشبكة، تبدأ بحصر الأحمال وتنتهي باختيار العاكس، وطبّقتها على حالة رقمية. وتبيّن أن حملًا يوميًا قدره 1160 واط·ساعة يمكن تلبيته بمصفوفة قدرتها 400 واط، وبنك بطاريات 24 V / 200 Ah، ومنظم MPPT بقدرة 25 A، وعاكس بقدرة 300 واط، باستقلالية تكفي يومين من الغيوم. وتبقى النتيجة مرهونة بالافتراضات التي نوقشت، وأهمها ساعات الذروة الشمسية في موقع التركيب. ونوصي بالرجوع إلى المعيار IEEE 1562-2021 والمعيار IEEE 1013-2019 مرجعين للتصميم، وبإجراء الحسابات على أسوأ شهر مناخي، ومراعاة عمر البطارية وعمق التفريغ، والتحقق من أداء المنظومة بمحاكاة زمنية أو بقياسات ميدانية قبل اتخاذ قرار الشراء.

المراجع

[1] IEEE Standards Association, "IEEE Recommended Practice for Sizing Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems," IEEE Std 1562-2021, Sep. 2021.

[2] IEEE Standards Association, "IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems," IEEE Std 1013-2019.

[3] Yin, Jun, Annalisa Molini, and Amilcare Porporato. "Impacts of solar intermittency on future photovoltaic reliability." Nature communications 11.1 (2020): 4781.

[4] Chauhan, R. K., Chauhan, K., Subrahmanyam, B. R., Singh, A. G., & Garg, M. M. (2020). Distributed and centralized autonomous DC microgrid for residential buildings: A case study. Journal of Building Engineering, 27, 100978.

[5] Asgar, M. A., & Urmee, T. P. (2000, January). Performance testing of lead acid batteries as a function of depth of discharge and temperature in photovoltaic application in rural Bangladesh. In World Renewable Energy Congress VI (pp. 817-820). Pergamon.

[6] Laguado–Serrano, M. A., Paipa, E. L., Bustos–Márquez, L. F., & Sepulveda–Mora, S. B. (2019). Performance comparison between PWM and MPPT charge controllers. Scientia et technica, 24(1), 6-11.

[7] Alsharif, A. (2025). AI-based spatiotemporal analysis of solar and wind energy potential using satellite and ground sensor data. Scientific Journal for Publishing in Health Research and Technology, 01-07.

[8] Sikumbang, R. W. (2024). Analisis efisiensi solar charge controller menggunakan integrasi numerik dengan matlab simulink. Kurvatek, 9(2), 127-134.

[9] Teyabeen, A. A., Elhatmi, N. B., Essnid, A. A., & Mohamed, F. (2024). Estimation of monthly global solar radiation over twelve major cities of Libya. Energy and Built Environment, 5(1), 46-57.

[10] Omer, Z. M., Alameri, A. M., Fardoun, A. A., & Hussein, A. A. (2014). Comparison of Discharge Performance of 12V/150Ah Gel and AGM Sealed Lead-acid Batteries in Stand-alone PV-based Systems in UAE. Renewable Energy and Power Quality Journal, 12(6).

[11] Abdalraheem, A., & Omar, B. (2024, September). Analytical study of global solar radiation and climate data for solar energy system applied at south of Libya. In Sebha University Conference Proceedings (pp. 53-56).

[12] Abussif, N. A. A. (2026). Physical Evaluation of Atmospheric Optical Properties and Solar Radiation Analysis over Tarhuna–Libya by using NASA POWER Data. مجلة روافد المعرفة, 6(12), 164-187.

[13] Jafari, M., Ghadamian, H., & Seidabadi, L. (2018). An experimental and comparative analysis of the battery charge controllers in off-grid PV systems. Journal of Renewable Energy and Environment, 5(4), 46-53.

[14] Hamad, M. A. F., & Mohammed, M. K. H. (2025). Investigation and Modelling of a Dual Solar Photovoltaic System for Consistent Energy Supply at Al-Brega Clinic, Libya. Journal of Scientific and Human Dimensions, 96-106.

[15] Hamad, M. A. F., & Mohammed, M. K. H. (2025). Investigation and Modelling of a Dual Solar Photovoltaic System for Consistent Energy Supply at Al-Brega Clinic, Libya. Journal of Scientific and Human Dimensions, 96-106.

[16] Madi, J. O., Altarhouni, A. M., & Faraj, M. (2026). Investment Prospects in Renewable Energy in North Africa. Journal of Scientific and Human Dimensions, 501-506.

[17] Abraheem, A., Alsharif, A., & Ahmed, A. A. (2026). Decentralized Green Hydrogen Energy Systems: Optimizing 5kW Electrolyzer-Fuel Cell Integration with Metal Hydride Storage for Off-Grid Homes. *Journal of Insights in Basic and Applied Sciences*, 157-164.

[18] Solman, F. I., Abdulkarim, Z. H., Salih, S. A., & Faraj, N. F. (2026). Design, Implementation, and Techno-Economic-Environmental Assessment of a Hybrid Solar Energy System: A Case Study of an Educational Institution in Al-Qubbah, Libya. *Journal of Insights in Basic and Applied Sciences*, 82-111.

[19] Idris, S. M. (2026). Power Factor Improvement Using Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems: An Approximate Real-World Analytical Study of an 11-kV Industrial Feeder. *Journal of Insights in Basic and Applied Sciences*, 276-287.

[20] Alsharif, A., Qassab, K. S. Q., Dobi, A., Ahmed, A. A., Alsharif, M. A., Almaktoof, A., & Imbamya, I. (2026). A Comprehensive Review of Energy Storage Batteries for Solar Energy Systems. *Journal of Insights in Basic and Applied Sciences*, 154-171.

الملحق: كود MATLAB للبرنامج المصمم

```
% ============================================================
clear; clc; close all;

%% --- (1) LOAD INPUT ---
% Each row: [Quantity, Power (W), Hours/day]
loads = [
   4, 10, 6;   % LED lamps
   1, 80, 6;   % TV
   1, 80, 4;   % Computer
   1, 20, 6    % Receiver
];

loadNames = {'LED Lamps', 'TV', 'Computer', 'Receiver'};

% Basic validation
assert(all(loads(:) >= 0), 'All load values must be non-negative.');
assert(all(loads(:,1) >= 1), 'Quantity must be >= 1.');

%% --- (2) DESIGN PARAMETERS ---
L_loss      = 0.30;   % Total system loss factor (30%)
PSH_min     = 4.0;    % Worst-month peak sun hours (h/day)
```

```
V_system     = 24;     % DC bus voltage (V)
D_autonomy   = 2;      % Days of autonomy (cloudy days)
DoD_max      = 0.70;   % Max depth of discharge (30% reserve)
eta_inv      = 0.90;   % Inverter efficiency
I_sc_panel   = 8.5;    % Short-circuit current per panel (A)
margin_ctrl  = 1.25;   % Charge controller safety margin
margin_inv   = 1.30;   % Inverter safety margin

% Market options
panel_options = [100 150 200 250 300 350 400]; % W
batt_V_options = [12 12 12 12 12];             % V
batt_Ah_options = [80 100 150 200 250];        % Ah

%% --- (3) STAGE 1: DAILY ENERGY (Eq. 1) ---
E_device = loads(:,1) .* loads(:,2) .* loads(:,3); % Wh/day per device
E_daily  = sum(E_device);                          % Total Wh/day

fprintf('\n ====== (1) DAILY ENERGY CONSUMPTION ====== \n');
fprintf('%-14s %-5s %-8s %-8s %-12s\n', ...
   'Device', 'Qty', 'P (W)', 't (h)', 'E (Wh/day)');
fprintf('%s\n', repmat('-', 1, 55));

for k = 1:numel(loadNames)
   fprintf('%-14s %-5d %-8d %-8d %-12.0f\n', ...
      loadNames{k}, loads(k,1), loads(k,2), loads(k,3), E_device(k));
end

fprintf('%s\n', repmat('-', 1, 55));
fprintf('E_daily = %.0f Wh/day (%.3f kWh/day)\n\n', ...
   E_daily, E_daily/1000);

%% --- (4) STAGE 2: DESIGN ENERGY (Eq. 2) ---
E_design = E_daily * (1 + L_loss);

fprintf('====== (2) DESIGN ENERGY (with %.0f%% loss) ======\n', L_loss*100);
fprintf('E_design = %.0f Wh/day (%.3f kWh/day)\n\n', ...
   E_design, E_design/1000);

%% --- (5) STAGE 3: PV ARRAY SIZING (Eq. 3) ---
P_array_req = E_design / PSH_min;

fprintf('====== (3) PV ARRAY SIZING ======\n');
fprintf('PSH_min = %.1f h/day\n', PSH_min);
fprintf('P_array_required = %.2f W\n', P_array_req);

% Choose best option: minimum panel count, then minimum over-size
bestP = struct('N', inf, 'P_panel', 0, 'P_total', 0, 'waste', inf);

for pp = panel_options
   n = ceil(P_array_req / pp);
   ptot = n * pp;
   w = ptot - P_array_req;

   if n < bestP.N || (n == bestP.N && w < bestP.waste)
      bestP.N = n;
      bestP.P_panel = pp;
      bestP.P_total = ptot;
      bestP.waste = w;
```

```
    end
end

fprintf('Best choice: %d x %d W = %d W (over-size %.1f W)\n\n', ...
    bestP.N, bestP.P_panel, bestP.P_total, bestP.waste);

fprintf('All candidates:\n');
for pp = panel_options
    n = ceil(P_array_req / pp);
    fprintf('  %d x %d W = %d W\n', n, pp, n*pp);
end
fprintf('\n');

%% --- (6) STAGE 4: BATTERY BANK (Eq. 4) ---
% Simplified formula (matches paper Eq. 4, accounting for DoD)
C_bat_req = (E_design * D_autonomy) / (V_system * DoD_max);

fprintf('====== (4) BATTERY BANK SIZING ======\n');
fprintf('C_bat_required = %.2f Ah at %d V\n\n', C_bat_req, V_system);

% Battery bank configuration search
fprintf('Battery configurations (V_system = %d V, C_req = %.1f Ah):\n', ...
    V_system, C_bat_req);

bestB = struct('N', inf, 'V_b', 0, 'Ah_b', 0, ...
    'N_series', 0, 'N_parallel', 0, 'C_bank', 0, 'err', inf);

for k = 1:numel(batt_V_options)
    Vb = batt_V_options(k);
    Ahb = batt_Ah_options(k);

    Ns = ceil(V_system / Vb);
    if Ns * Vb ~= V_system
        continue;
    end

    Np = ceil(C_bat_req / Ahb);
    Ntot = Ns * Np;
    Cbank = Np * Ahb;
    err = Cbank - C_bat_req;

    fprintf('  %d x (%.0fV/%dAh) -> %dS%dP = %d units, %d V, %d Ah\n', ...
        Ntot, Vb, Ahb, Ns, Np, Ntot, Ns*Vb, Cbank);

    if Ntot < bestB.N || (Ntot == bestB.N && err < bestB.err)
        bestB.N = Ntot;
        bestB.V_b = Vb;
        bestB.Ah_b = Ahb;
        bestB.N_series = Ns;
        bestB.N_parallel = Np;
        bestB.C_bank = Cbank;
        bestB.err = err;
    end
end

fprintf('Best: %d x (%.0fV/%dAh) = %dS%dP -> %d V, %d Ah\n\n', ...
    bestB.N, bestB.V_b, bestB.Ah_b, ...
    bestB.N_series, bestB.N_parallel, ...
```

```
    bestB.N_series*bestB.V_b, bestB.C_bank);

%% --- (7) STAGE 5: CHARGE CONTROLLER (Eq. 5) ---
I_ctrl_req = bestP.N * I_sc_panel * margin_ctrl;
ctrl_std = [10 15 20 25 30 40 50 60 80 100];
idx = find(ctrl_std >= I_ctrl_req, 1, 'first');

if isempty(idx)
    I_ctrl_std = ceil(I_ctrl_req/10)*10;
else
    I_ctrl_std = ctrl_std(idx);
end

fprintf('====== (5) CHARGE CONTROLLER ======\n');
fprintf('I_ctrl_req = %d x %.1f A x %.2f = %.2f A\n', ...
    bestP.N, I_sc_panel, margin_ctrl, I_ctrl_req);
fprintf('Standard selection: MPPT %d A @ %d V\n\n', I_ctrl_std, V_system);

%% --- (8) STAGE 6: INVERTER (Eq. 6) ---
P_peak = sum(loads(:,1) .* loads(:,2)); % all loads ON simultaneously
P_inv_req = P_peak * margin_inv;

inv_std = [300 500 800 1000 1500 2000 3000 5000 8000];
idx = find(inv_std >= P_inv_req, 1, 'first');

if isempty(idx)
    P_inv_std = ceil(P_inv_req/500)*500;
else
    P_inv_std = inv_std(idx);
end

fprintf('====== (6) INVERTER ======\n');
fprintf('P_peak = %.0f W\n', P_peak);
fprintf('P_inv_req = %.1f W\n', P_inv_req);
fprintf('Standard selection: %d W Pure Sine Wave\n\n', P_inv_std);

%% --- (9) FINAL SUMMARY ---
fprintf('===== FINAL DESIGN SUMMARY ======\n');
fprintf('Daily energy (E_daily)    : %.0f Wh/day\n', E_daily);
fprintf('Design energy (E_design)  : %.0f Wh/day\n', E_design);
fprintf('PV array                  : %d x %d W = %d W\n', ...
    bestP.N, bestP.P_panel, bestP.P_total);
fprintf('Battery bank              : %d x (%.0fV/%dAh) - %d V, %d Ah\n', ...
    bestB.N, bestB.V_b, bestB.Ah_b, ...
    bestB.N_series*bestB.V_b, bestB.C_bank);
fprintf('Charge controller         : MPPT %d A @ %d V\n', ...
    I_ctrl_std, V_system);
fprintf('Inverter                  : %d W Pure Sine Wave\n', P_inv_std);
fprintf('Days of autonomy          : %d\n', D_autonomy);
fprintf('================================\n\n');

%% --- (10) FIGURES ---
% Plot 1: Load distribution
figure('Name', 'Load Distribution', 'Color', 'w', 'Position', [100 100 700 400]);
bar(E_device, 'FaceColor', [0.3 0.6 0.9]);
set(gca, 'XTickLabel', loadNames, 'XTickLabelRotation', 20);
ylabel('Energy (Wh/day)');
title(sprintf('Daily energy per device (total = %.0f Wh)', E_daily));
```

```
grid on;

% Plot 2: Required battery capacity vs system voltage
V_list = [12 24 48];
C_list = (E_design * D_autonomy) ./ (V_list * DoD_max);
figure('Name', 'Battery Capacity vs Voltage', 'Color', 'w', 'Position', [120 120 600 400]);
bar(V_list, C_list, 'FaceColor', [0.9 0.5 0.2]);
xlabel('System voltage (V)');
ylabel('Required capacity (Ah)');
title(sprintf('Battery capacity vs system voltage (D=%d days)', D_autonomy));
grid on;
set(gca, 'XTick', V_list);
set(gca, 'XTickLabel', {'12 V', '24 V', '48 V'});

% Plot 3: Battery capacity vs autonomy days for each voltage
days = 1:0.5:5;
figure('Name', 'Autonomy Sensitivity', 'Color', 'w', 'Position', [140 140 700 450]);
hold on;
colors = lines(numel(V_list));
for i = 1:numel(V_list)
    C = (E_design .* days) ./ (V_list(i) * DoD_max);
    plot(days, C, '-o', 'LineWidth', 1.6, 'Color', colors(i,:), ...
        'MarkerFaceColor', colors(i,:));
end
xlabel('Days of autonomy');
ylabel('Required capacity (Ah)');
title('Battery capacity vs days of autonomy (DoD = 0.7)');
legend(arrayfun(@(v) sprintf('%d V', v), V_list, 'UniformOutput', false), ...
    'Location', 'northwest');
grid on; hold off;

% Plot 4: Required PV power vs peak sun hours
psh = 3:0.5:7;
figure('Name', 'PV Power Sensitivity', 'Color', 'w', 'Position', [160 160 700 450]);
plot(psh, E_design./psh, '-s', 'LineWidth', 1.8, ...
    'Color', [0.1 0.5 0.2], 'MarkerFaceColor', [0.1 0.5 0.2]);
xlabel('Peak Sun Hours (h/day)');
ylabel('Required PV power (W)');
title('Required PV power vs peak sun hours');
grid on;
hold on;
yline(bestP.P_total, '-r', 'Installed');
hold off;

% Plot 5: System block diagram
figure('Name', 'System Diagram', 'Color', 'w', 'Position', [180 180 900 300]);
axis([0 13 0 4]); axis off; hold on;
blocks = {{0.5 1.5 2 1}, {3.5 1.5 2.4 1}, {6.5 1.5 2.2 1}, {9.5 1.5 2.4 1}};
colors = {{1.00 0.85 0.30}, {0.40 0.80 0.60}, {0.60 0.70 1.00}, {1.00 0.60 0.60}};
labels = {'PV Array', 'MPPT Controller', 'Battery Bank', 'Inverter (AC)'};

for i = 1:4
    rectangle('Position', blocks{i}, 'Curvature', 0.2, ...
        'FaceColor', colors{i}, 'EdgeColor', 'k', 'LineWidth', 1.5);
    cx = blocks{i}(1) + blocks{i}(3)/2;
    cy = blocks{i}(2) + blocks{i}(4)/2;
    text(cx, cy, labels{i}, 'HorizontalAlignment', 'center', ...
        'FontWeight', 'bold', 'FontSize', 10);
end
```

```
plot([2.5 3.5], [2 2], 'k->', 'LineWidth', 2, 'MarkerSize', 14);
plot([5.9 6.5], [2 2], 'k->', 'LineWidth', 2, 'MarkerSize', 14);
plot([8.7 9.5], [2 2], 'k->', 'LineWidth', 2, 'MarkerSize', 14);
plot([11.9 12.7], [2 2], 'k->', 'LineWidth', 2, 'MarkerSize', 14);
text(12.85, 2, 'Loads', 'FontWeight', 'bold', 'HorizontalAlignment', 'left');
hold off;

%% --- (11) SENSITIVITY TABLE ---
psh_range = 3:0.5:7;
sens = zeros(numel(psh_range), 3);

for i = 1:numel(psh_range)
    Preq = E_design / psh_range(i);
    sens(i,1) = psh_range(i);
    sens(i,2) = Preq;
    sens(i,3) = ceil(Preq / bestP.P_panel);
end

fprintf('Sensitivity: PSH vs required PV power (panel = %d W)\n', bestP.P_panel);
fprintf('  PSH(h)   Preq(W)   N_panels\n');
for i = 1:numel(psh_range)
    fprintf('  %4.1f     %7.1f     %d\n', sens(i,1), sens(i,2), sens(i,3));
end
```

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 **JIBAS** and/or the editor(s). **JIBAS** 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.