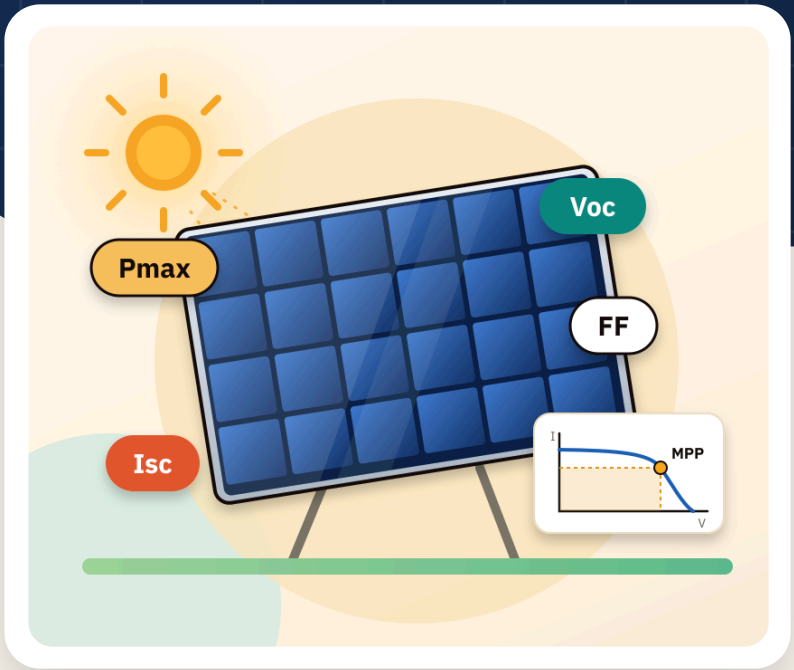
سولانا

الدليل الكامل · PDF

من الداتا شيت إلى الإنتاج الحقيقي

مواصفات ومصطلحات الألواح الشمسية

شرح كامل لـ 21 مصطلحًا في نشرة اللوح الفنية، مع الرسوم التوضيحية والجداول ومثال محلول بالأرقام وقائمة تحقق قبل الشراء.



- 21 مصطلحًا في ثلاث مجموعات
- ✎ رسوم توضيحية لكل فكرة
- = مثال محلول بالمعادلات
- √ قائمة تحقق قبل الشراء



م. ناصر صبر

خبير تصميم أنظمة الطاقة الشمسية وتخزين الطاقة

الإصدار الأول · نوفمبر 2026

solanapv.com

محتويات الدليل

دليل كامل يشرح 21 مصطلحًا من الداتا شيت، ومعه الرسوم والمثال المحلول وقائمة التحقق.

01 الخلاصة في دقيقة 2

02 كيف يعمل اللوح الشمسي؟ 2

03 بطاقة اللوح (Nameplate): ماذا تقرأ منها؟ 4

04 المجموعة الأولى: مصطلحات الأداء 4

05 المجموعة الثانية: مصطلحات الخسائر والتدهور 9

06 المجموعة الثالثة: مصطلحات التصميم 12

07 مثال محلول: نحسب من الداتا شيت 13

08 كيف تقرأ الداتا شيت بالترتيب؟ 14

09 ملخص المصطلحات 15

10 قائمة التحقق قبل شراء الألواح 16

11 اقرأ أيضًا 17

12 أسئلة شائعة 17

13 الشرح المرئي 18

14 المراجع 18

على ظهر كل لوح شمسي ملصق، ومع كل لوح نشرة فنية (داتا شيت)، وكلاهما مليء بالرموز: Pmax وVoc وIsc وغيرها. من يفهم هذه الرموز يستطيع أن يقارن بين لوحين، ويتوقع الإنتاج الفعلي للوح على سطحه، ويصمم نظامًا آمنًا. في هذا الدليل نشرح كل مصطلح بلغة بسيطة، ونبيّن ماذا تفعل به عمليًا.

هذا الدليل مبني على فيديو من جزأين للمهندس ناصر صبر عن أساسيات الألواح الشمسية، ومعه رسوم توضيحية، ومثال محلول بالأرقام، وطريقة مرتبة لقراءة الداتا شيت.

حمّل الدليل الكامل بصيغة PDF: المقال كاملًا في 20 صفحة بهوية سولانا، مع كل الرسوم والجداول والمثال المحلول وقائمة التحقق. احفظه واطبعه وارجع إليه عند قراءة أي داتا شيت. **تحميل ملف PDF**

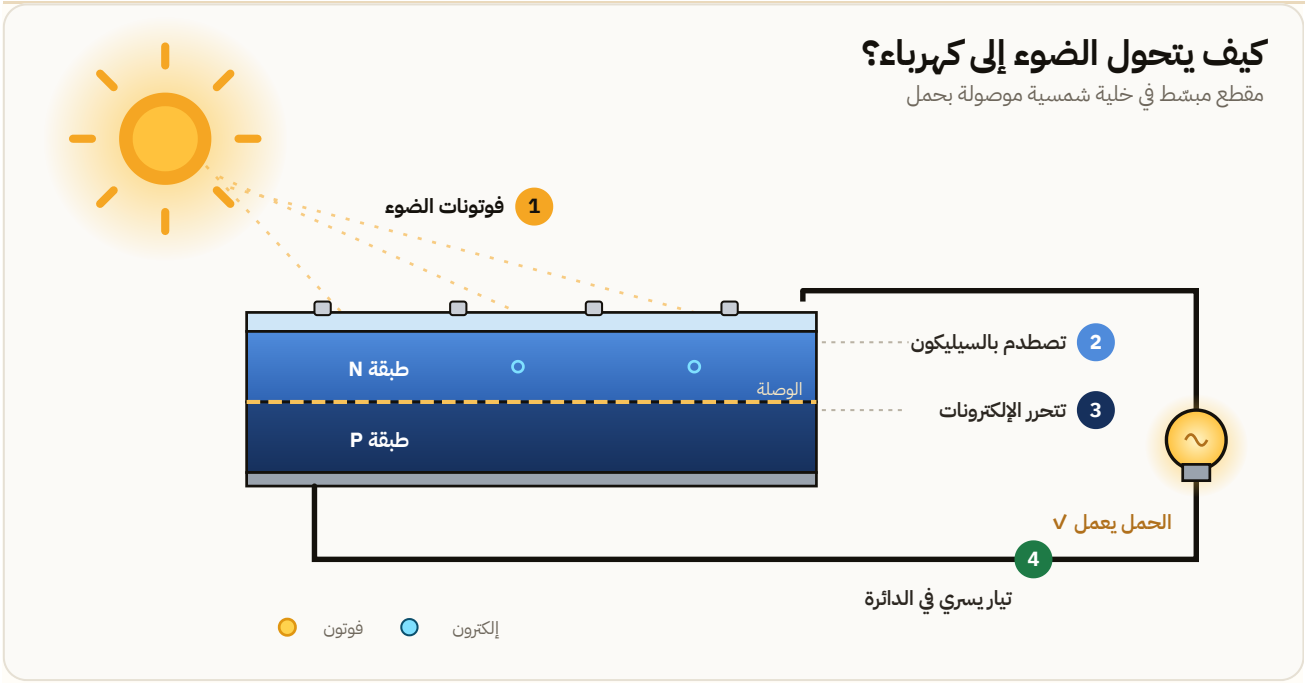
الخلاصة في دقيقة

- **للمقارنة بين لوحين:** القدرة القصوى (Pmax) وهامشها، والكفاءة، وكلها مقاسة عند الظروف القياسية نفسها (STC).
- **للتصميم والحماية:** جهد الدائرة المفتوحة (Voc) يحدد عدد الألواح في السلسلة، وتيار القصر (Isc) يحدد الفيوز والقاطع، وجهد النظام الأقصى سقف لا يُتجاوز.
- **لتوقع الإنتاج الحقيقي:** معامل درجة الحرارة ومعدل التدهور. وهذان أهم ما يُنظر إليه في المناخ الحار.
- **للحكم على الجودة:** عامل التعبئة، والمقاومتان الموازية والداخلية، والشهادات من جهات مستقلة.

كيف يعمل اللوح الشمسي؟

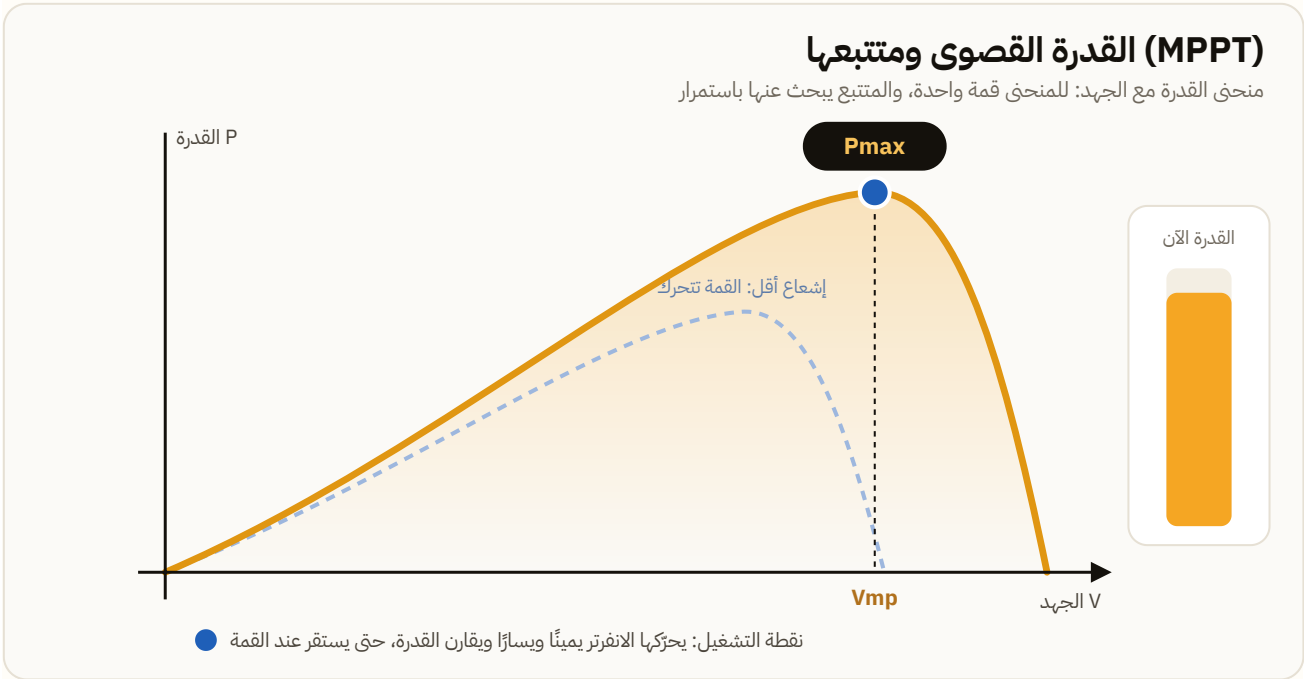
اللوح الشمسي يحوّل ضوء الشمس إلى كهرباء مباشرة، بظاهرة تُسمى **التأثير الكهروضوئي** (Photovoltaic Effect). وتحدث على أربع خطوات:

1. يحمل ضوء الشمس جسيمات صغيرة من الطاقة تُسمى **الفوتونات**.
2. تصطدم الفوتونات بذرات السيليكون، وهو المادة شبه الموصلة التي تُصنع منها الخلايا.
3. إذا كانت طاقة الفوتون كافية، يتحرر إلكترون من ذرته ويتحرك داخل المادة. وأقل طاقة تكفي لذلك تُسمى فجوة الطاقة (Bandgap).
4. حركة الإلكترونات هي التيار الكهربائي. تجمعه موصلات الخلايا وتُخرجه من اللوح إلى الحمل.



الشكل 1: الفوتونات تحرر الإلكترونات في خلية السيليكون، فيسري تيار في الدائرة ويعمل الحمل.

والكهرباء التي يخرجها اللوح لها نقطة تشغيل مثلى واحدة يعطي عندها أعلى قدرة، وهي «القدرة القصوى». والانفرتر يبحث عنها باستمرار بما يسمى «متتبع القدرة القصوى». تابع النقطة الزرقاء في الرسم:



الشكل 2: منحنى توضيحي للقدرة مع الجهد. قمة المنحنى هي القدرة القصوى Pmax، والمتتبع MPPT يحرّك نقطة التشغيل حولها حتى يستقر عندها. وعندما يقل الإشعاع تنخفض القمة وتتحرك، فيعيد المتتبع البحث.

ولهذا تهمنا لاحقًا المقاومتان الموازية والداخلية: كلتاهما تتعلق بمدى نجاح هذه الإلكترونات في الوصول إلى خارج اللوح.

بطاقة اللوح (Nameplate): ماذا تقرأ منها؟

خذ مثلًا لوحًا افتراضيًا بقدرة 550 واط. يضم ملصقه الخلفي عادة البيانات التالية:



ملصق خلفي لوح افتراضي. الأرقام للتوضيح فقط.

- القدرة القصوى عند الظروف القياسية 550 W، وهامش القدرة (Power Tolerance) 0 ~ +5 W.
- جهد القدرة القصوى (Vmp) 41.9 V، وتيارها (Imp) 13.13 A.
- جهد الدائرة المفتوحة (Voc) 49.8 V، وتيار القصر (Isc) 13.9 A.
- جهد النظام الأقصى 1500 V DC، ونطاق درجة حرارة التشغيل من -40 إلى +85°C.
- أبعاد اللوح 2278 × 1134 × 30 mm.
- الشهادات، مثل TUV وCE.

الشهادة من جهة مستقلة (طرف ثالث) تعني أن اللوح اجتاز اختبارات جودة وسلامة لا يجريها المصنّع بنفسه. وقد تذكر بعض الشركات تصنيف Tier 1 من BloombergNEF. وهذا التصنيف يقيس الملاءة المالية للشركة واستقرارها، لا أداء اللوح نفسه. واطلب دائمًا نسخة الشهادة، وراجع رقمها في موقع الجهة التي أصدرتها.

الملصق أم الداتا شيت؟ الملصق يعطيك الأرقام الأساسية فقط. أما الداتا شيت فيضيف معاملات درجة الحرارة وقيم NOCT ومنحنيات الأداء وشروط الضمان، وهي ما تحتاجه لتوقع الإنتاج الحقيقي.

المجموعة الأولى: مصطلحات الأداء

01 القدرة القصوى (Pmax) والظروف القياسية (STC)

القدرة القصوى هي الرقم الذي يُسمّى به اللوح. فلوح «550 واط» يعطي 550 واط، لكن فقط عند ظروف الاختبار القياسية (Standard Test Conditions):

جدول 1. ظروف الاختبار القياسية STC

الشرط	القيمة
شدة الإشعاع الشمسي	1000 W/m²
درجة حرارة الخلية	25°C
كتلة الهواء (Air Mass)	1.5

تُختبر كل الألواح عند هذه الظروف نفسها، ولذلك تصلح أرقامها للمقارنة. لكنها ظروف مثالية: الخلية فوق سطح في يوم مشمس تكون أسخن بكثير من 25 درجة، ولذلك ينتج اللوح عادة أقل من رقمه الاسمي. وسنحسب مقدار هذا الفرق في مثال لاحق في هذا الدليل.

02 جهد القدرة القصوى (Vmp) وتيارها (Imp)

اللوح يعطي أعلى قدرة عند نقطة توازن واحدة بين الجهد والتيار. الجهد عند هذه النقطة هو Vmp، والتيار هو Imp، وحاصل ضربهما هو القدرة القصوى:

$$Pmax = Vmp \times Imp$$

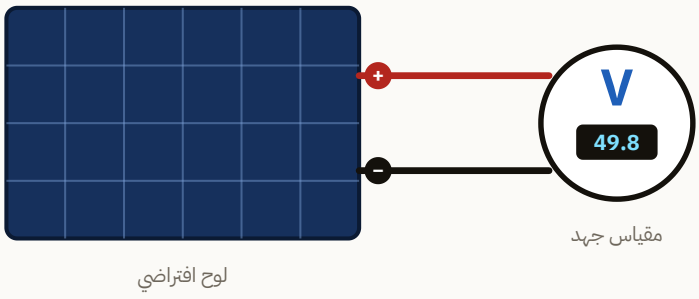
فإذا ابتعد اللوح عن هذه النقطة، برفع الجهد وخفض التيار أو العكس، قلّت القدرة. وتظهر هذه النقطة بوضوح على منحنى التيار والجهد في الشكل 3.

03 جهد الدائرة المفتوحة (Voc)

هو الجهد بين قطبي اللوح وهو غير موصول بأي حمل، أي والدائرة مفتوحة. وهو أعلى جهد يمكن أن يظهر على اللوح، ولذلك هو أساس حساب عدد الألواح التي توصل على التوالي.

جهد الدائرة المفتوحة (Voc)

نقيس جهد اللوح وهو غير موصول بأي حمل



49.8 V

- غير موصول بحمل، فلا يمر تيار
- أكبر جهد يخرج من اللوح
- يزداد الجهد كلما برد الجو

ملاحظة: رسم توضيحي: جهد الدائرة المفتوحة يُقاس بين قطبي اللوح دون أي حمل. القيمة مثال للوح افتراضي.

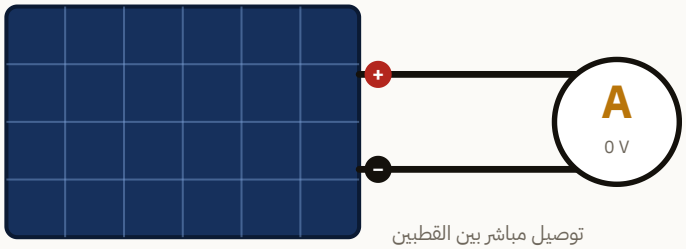
انتبه للبرد لا للحر: جهد الدائرة المفتوحة يرتفع عندما تنخفض درجة الحرارة. فأعلى جهد تصل إليه السلسلة يكون في صباح بارد مشمس، لا في الظهيرة. لذلك يُحسب عدد الألواح على أبرد حرارة متوقعة في الموقع.

04 تيار القصر (Isc)

هو التيار الذي يمر لو وُصل قطبا اللوح ببعضهما، أي حدث قصر. وهو أعلى تيار يمكن أن يخرج من اللوح، ولذلك نختار على أساسه الفيوز أو القاطع (Circuit Breaker) الذي يحمي اللوح، ونضيف إليه معامل الأمان، وهو 25% وفق الكود الأمريكي (NEC). وتحقق من النسبة المعتمدة في بلدك.

(Isc) تيار القصر

نصل قطبي اللوح ببعضهما عبر مقياس تيار



توصيل مباشر بين القطبين

لوح افتراضي

13.9 A

- القطبان موصولان ببعضهما، فالجهد صفر
- أعلى تيار يعطيه اللوح
- يزداد التيار مع شدة الإشعاع
- نختار الفيوز والقاطع على أساسه

ملاحظة: رسم توضيحي: عند وصل القطبين ببعضهما يمر تيار القصر. القيمة مثال للوح افتراضي.

05 الكفاءة (Efficiency)

الكفاءة هي نسبة الكهرباء التي ينتجها اللوح إلى الطاقة الشمسية الساقطة عليه. فلوح كفاءته 20% يحوّل خُمس الطاقة الساقطة عليه إلى كهرباء. وتُحسب هكذا:

$$\text{Efficiency} = P_{max} \div (\text{Area} \times 1000)$$

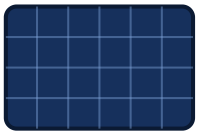
حيث Area مساحة اللوح بالمتر المربع، و1000 هي شدة الإشعاع القياسية بالواط لكل متر مربع.

والكفاءة لا تعني أن اللوح «أفضل» في كل حال. معناها العملي: كم واطًا تحصل عليه من كل متر مربع. فإذا كانت مساحة سطحك محدودة، فاللوح الأعلى كفاءة يعطيك قدرة أكبر على المساحة نفسها. وإذا كانت المساحة متوفرة، فقد يكون لوح أقل كفاءة وأرخص هو الخيار الأفضل اقتصاديًا. وقد تطورت الكفاءة كثيرًا في السنوات العشر الأخيرة: كفاءة الألواح التجارية تقترب اليوم من 25%، وكفاءة الخلايا في المختبرات تقترب من 28%.

الكفاءة: كم واطًا من كل متر مربع؟

مقارنة بين لوحين افتراضيين

لوح أصغر وأعلى كفاءة



450 W · 1.95 m²

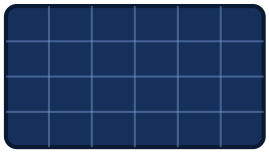
23.1%

الكفاءة · 231 واط لكل م²

سقف 12 م²: 6 ألواح

2700 W

لوح أكبر وأعلى قدرة وأقل كفاءة



650 W · 3.10 m²

21.0%

الكفاءة · 210 واط لكل م²

سقف 12 م²: 3 ألواح

1950 W

ملاحظة: أرقام الرسم افتراضية للتوضيح، واللوح الأكبر مساحة مرسوم أكبر. حساب السقف تقريبي ولا يشمل الفراغات والعوائق. اللوح الأكبر يعطي قدرة أعلى للوح الواحد، لكن الأصغر يعطي قدرة أكبر على المساحة نفسها.

06 هامش القدرة (Power Tolerance)

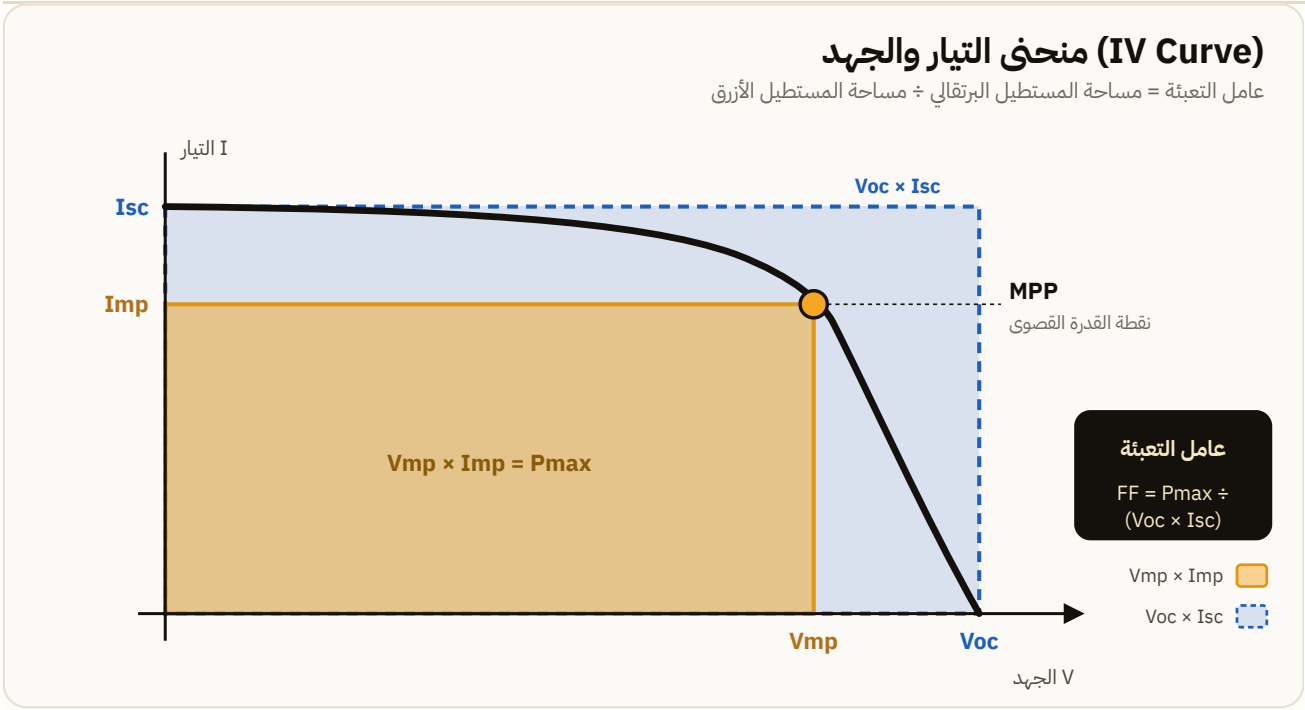
القدرة المكتوبة على اللوح ليست رقمًا مطلقًا، فالشركة تذكر هامشًا حولها. لوح 600 واط مثلًا قد يُكتب له 5W+ أو 3W+، وبعض الشركات تكتب ±5W:

- **هامش موجب فقط (+):** تضمن الشركة أن القدرة الفعلية لا تقل عن الرقم المكتوب، وقد تزيد عليه.
- **هامش موجب وسالب (±):** قد تكون القدرة الفعلية أقل من المكتوب.

الفرق صغير في لوح واحد، لكنه في مشروع من آلاف الألواح يصبح قيمة مضافة حقيقية.

07 منحنى التيار والجهد (IV Curve)

هذا المنحنى يجمع أغلب المصطلحات السابقة في رسم واحد. يبدأ عند تيار القصر Isc (جهد صفر)، وينتهي عند جهد الدائرة المفتوحة Voc (تيار صفر)، وبينهما «ركبة» المنحنى حيث نقطة القدرة القصوى:



الشكل 3: منحنى توضيحي للتيار والجهد. عند نقطة القدرة القصوى يكون حاصل ضرب الجهد والتيار أكبر ما يمكن.

ويُستخدم قياس هذا المنحنى في الموقع لاختبار الألواح أثناء التشغيل. فنحن نصمم بأرقام نظرية، ثم نقيس المنحنى الفعلي ونقارنه بالمتوقع، فإن ظهر فيه انخفاض أو تشوّه عرفنا أن هناك مشكلة.

08 عامل التعبئة (Fill Factor)

عامل التعبئة يقيس مدى «امتلاء» المنحنى، أي مدى قرب المستطيل البرتقالي (Vmp × Imp) من المستطيل الأزرق المنقط (Voc × Isc) في الشكل 3:

$$FF = (Vmp \times Imp) \div (Voc \times Isc)$$

كلما كان المنحنى أقرب إلى الشكل المربع، ارتفع عامل التعبئة وكان اللوح أجود.[3] ويتراوح عامل التعبئة للألواح الجيدة عادة بين 70% و85%. وهو لا يُكتب دائمًا في الداتا شيت، لكنك تحسبه بنفسك من الأرقام الأربعة المكتوبة.

09 نقطة القدرة القصوى (MPP) وتتبعها (MPPT)

نقطة القدرة القصوى ليست ثابتة. فهي تتحرك على مدار اليوم مع تغير الإشعاع ودرجة الحرارة. ولذلك يعتمد الانفرتر على تقنية MPPT (Maximum Power Point Tracking)، وهي خوارزمية تبحث عن هذه النقطة باستمرار وتجعل الألواح تعمل عندها، لنحصل على أعلى إنتاج في كل لحظة، كما في الشكل 2.

المجموعة الثانية: مصطلحات الخسائر والتدهور

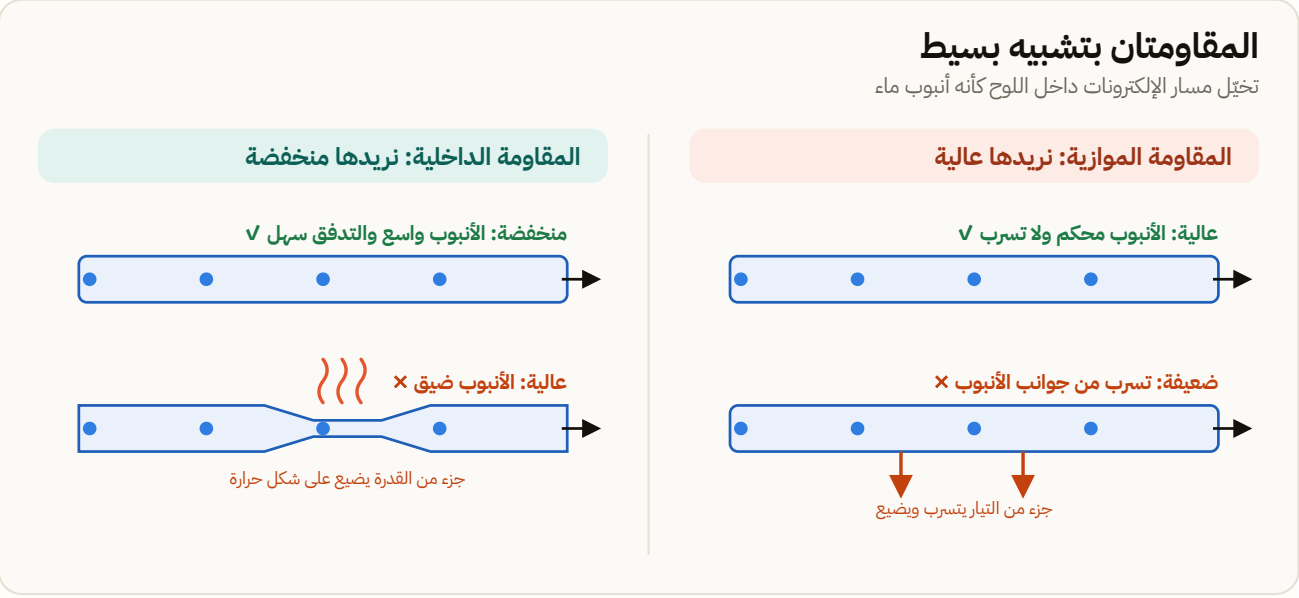
10 المقاومة الموازية (Shunt Resistance)

الإلكترونات المتحررة يجب أن تسير في مسارات محددة حتى تخرج من اللوح. والمقاومة الموازية هي ما يمنع التيار من التسرب خارج هذه المسارات. فإذا ضعفت، ضاع جزء من التيار داخل اللوح. وضعفها يدل غالبًا على مشكلة، مثل خلية مكسورة أو نقطة ساخنة أو ظل. لذلك نريدها **أعلى ما يمكن**.

11 المقاومة الداخلية (Series Resistance)

هي المقاومة التي يواجهها التيار داخل مساراته المخصصة. وكلما ارتفعت، ضاع جزء أكبر من القدرة على شكل حرارة وانخفضت الكفاءة. لذلك نريدها **أقل ما يمكن**.

القاعدة: اللوح الجيد مقاومته الموازية عالية ومقاومته الداخلية منخفضة (الشكل 4). وبهذا يحتفظ منحنى التيار والجهد بشكله المربع (الشكل 3) ويرتفع عامل التعبئة. أما إذا ضعفت الموازية أو ارتفعت الداخلية، فيفقد المنحنى هذا الشكل وتنخفض القدرة القصوى.



الشكل 4: تشبيه الأنبوب للمقاومتين الموازية والداخلية.

ملاحظة: المقاومة الموازية تشبه إحكام جدران الأنبوب: كلما كانت أعلى قلّ التسرب. والمقاومة الداخلية تشبه ضيق الأنبوب: كلما كانت أقل سهُل سريان التيار وقلّت الحرارة الضائعة.

12 معامل درجة الحرارة (Temperature Coefficient)

اللوح يُختبر عند 25 درجة، فإذا ارتفعت حرارة الخلية قلّ إنتاجه. ومعامل درجة الحرارة يخبرك بنسبة التغير مع كل درجة. وفي الداتا شيت ثلاثة معاملات: للقدرة (Pmax)، وللجهد (Voc)، وللتيار (Isc). ومعامل القدرة سالب، أي أن القدرة تقل مع الحرارة.

وهذا المعامل من أهم ما يُقارن بين الألواح في المناخ الحار: فرق صغير فيه يتضاعف أثره مع ساعات الصيف الطويلة. وفي مثال لاحق في هذا الدليل نحسب أثره بالأرقام.

13 درجة حرارة تشغيل الخلية الاسمية (NOCT)

معيار آخر لاختبار الألواح مثل STC، لكنه أقرب للواقع. فظروف STC مثالية لا يعمل فيها لوح فعليًا، أما NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) فيحاكي ظروف تشغيل أقرب إلى الحقيقة. وهو يُعرَّف عادة عند إشعاع 800 W/m² وحرارة هواء 20°C وسرعة رياح 1 m/s. ولذلك تجد في الداتا شيت قدرة أقل عند NOCT، وهي أقرب لما ستراه فعليًا.

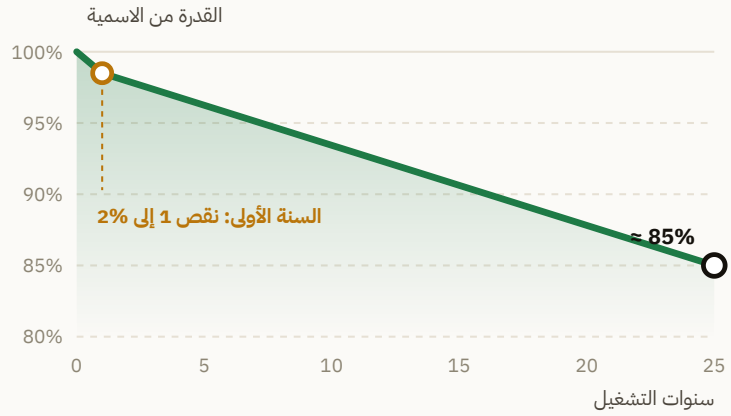
14 معدل التدهور (Degradation Rate)

هو معدل انخفاض إنتاج اللوح مع تقدم عمره، ومنه تعرف ماذا سيبقى من قدرة نظامك بعد عشر سنوات أو عشرين. ويفقد اللوح عادة في السنة الأولى ما بين 1 و2%، ثم نحو 0.4 إلى 0.5% سنويًا، فيحتفظ بعد 25 سنة بنحو 85% من قدرته الاسمية.

وهذه الأرقام متسقة مع ما تقيسه الدراسات: مراجعة لمختبر الطاقة المتجددة الأمريكي (NREL) جمعت نحو 2000 معدل تدهور تم قياسه على أرض الواقع ووجدت أن المتوسط 0.5% في السنة.[4] أما الرقم الذي يُعتمد عليه للوح بعينه، فهو المكتوب في ضمان الأداء من الشركة.

معدل التدهور (Degradation Rate)

ماذا يبقى من قدرة اللوح الاسمية مع مرور السنوات؟



85 %

متبقية بعد 25 سنة

- السنة الأولى: 1 إلى 2%
- بعدها: نحو 0.4 إلى 0.5% سنويًا
- رقمك الدقيق في ضمان الأداء

ملاحظة: الرسم توضيحي بأرقام تقريبية. الرقم الدقيق للوح بعينه هو المكتوب في ضمان الأداء من الشركة.

15 التدهور الناتج عن الضوء (LID)

Light Induced Degradation: انخفاض بسيط في الإنتاج يحدث عندما يتعرض اللوح للضوء أول مرة، في بداية عمره. وهو جزء من نقص السنة الأولى الذي ذكرناه.

16 النقاط الساخنة (Hot Spots)

تحدث في موضع من اللوح فيه تشقق داخلي أو ظل أو اتساخ. في هذا الموضع تضعف المقاومة الموازية، فيمر التيار في مسار غير مرغوب ويتحول إلى حرارة. فترتفع حرارة الموضع وتضعف الكفاءة، وقد يتلف اللوح مع الوقت. وتزداد احتمالاتها إذا أُهمل تنظيف الألواح أو تعرضت لكسور ميكانيكية.

النقاط الساخنة (Hot Spots)

خلية واحدة بها عيب قد ترتفع حرارتها أكثر من جاراتها



1. تشقق داخلي أو ظل أو اتساخ في الخلية
2. تضعف المقاومة الموازية في هذا الموضع
3. يمر التيار في مسار غير مرغوب
4. يتحول إلى حرارة فترتفع حرارة الموضع

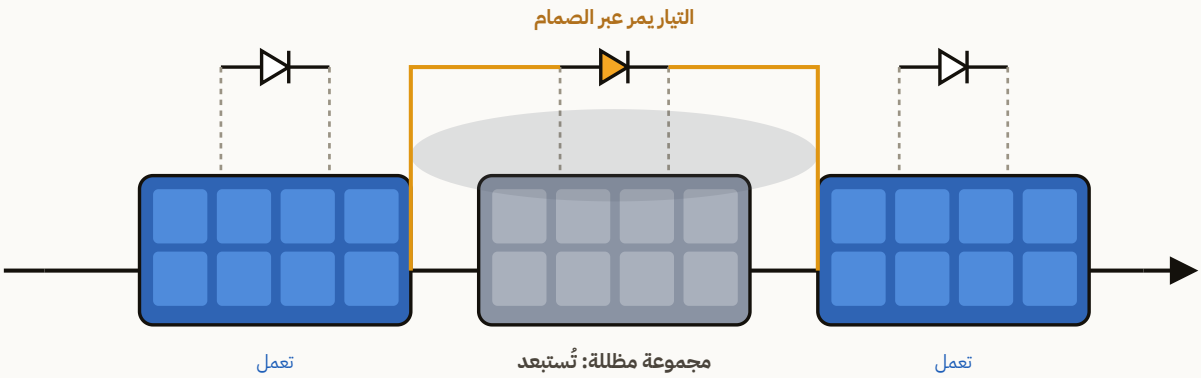
ملاحظة: الرسم توضيحي. وتخفّف احتمالات النقاط الساخنة بتنظيف الألواح وتجنب الظلال.

17 صمام التجاوز (Bypass Diode)

صمام يوضع داخل صندوق التوصيل في اللوح لتقليل أثر الظل. تُقسم خلايا اللوح إلى مجموعات موصلة على التوالي، ولكل مجموعة صمام، وعادة يكون في اللوح ثلاثة صمامات. فإذا ظُللت مجموعة أو كان فيها عيب، «تجاوزها» الصمام ومرّ التيار في بقية الخلايا. فتخسر جزءًا من إنتاج اللوح بدل أن تخسره كله. والصمام يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط.

كيف يعمل صمام التجاوز؟

لوح من ثلاث مجموعات خلايا، والمجموعة الوسطى مظللة



تخسر إنتاج المجموعة المظللة فقط، ويستمر اللوح في إنتاج ثلثي قدرته تقريبًا

الشكل 5: عندما تُظلل مجموعة خلايا، يمر التيار عبر صمامها بدل أن يمر فيها، فتستمر المجموعتان الأخريان في الإنتاج.

المجموعة الثالثة: مصطلحات التصميم

18 جهد النظام الأقصى (Maximum System Voltage)

هو أعلى جهد يتحمله اللوح وعزله في النظام، وهو سقف لا يجوز تجاوزه. عند التوصيل على التوالي يجتمع الجهد، فيجب ألا يتجاوز مجموعه هذا السقف، مع حساب ارتفاع Voc في البرد.

ولا يقتصر الأمر على الألواح، فكل مكوّن في الدائرة يجب أن يتحمل جهد النظام: الكابلات والقواطع والفيوزات ومانع الصواعق (Surge Arrester). فلو وضعت في الدائرة قاطعًا مصممًا لـ 600 فولت ثم شغّلته على جهد أعلى، فقد ينهار عزله. وفي المشاريع الكبيرة يُعتمد جهد نظام 1500 فولت لتوصيل أكبر عدد من الألواح في السلسلة، بشرط أن تتحمل بقية المكونات هذا الجهد.

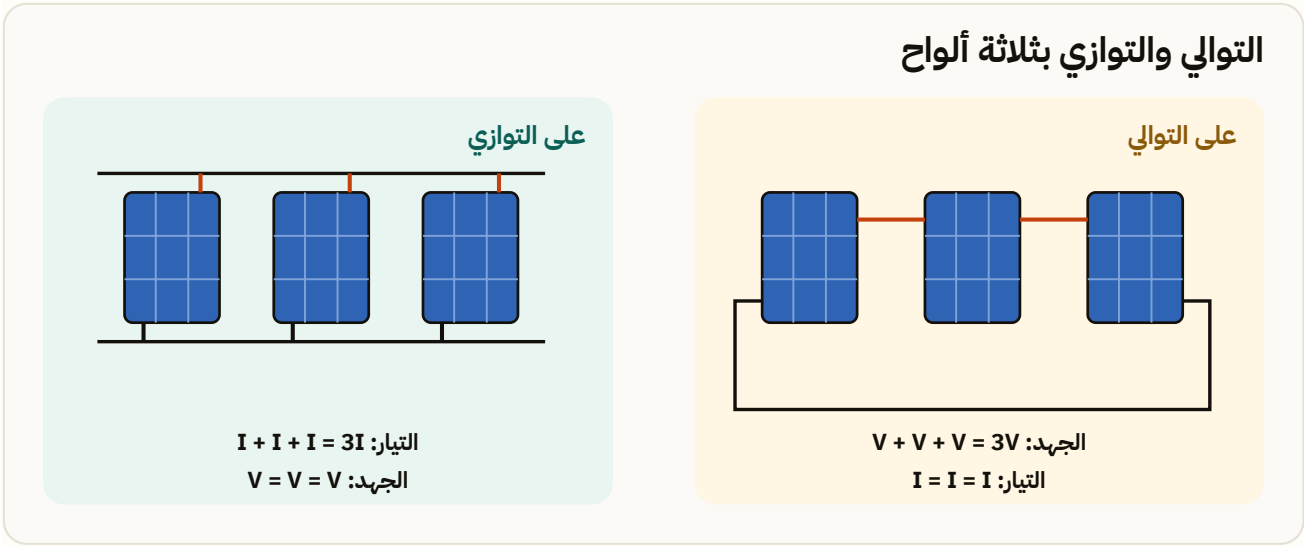
19 نوع الخلية (Cell Type)

أشهر ثلاثة أنواع: **أحادية البلورة** (Monocrystalline) وهي السائدة اليوم، و**متعددة البلورات** (Polycrystalline) وقد تراجعت كثيرًا في السوق. أما **الأفلام الرقيقة** (Thin Film) فتناسب حالات خاصة. وللمقارنة بينها اقرأ أنواع الألواح الشمسية.

20 عدد الخلايا (Number of Cells)

كان اللوح سابقًا 60 خلية ثم 72، وصار كثير من الألواح اليوم 144 خلية بتقنية **القص إلى نصفين** (Half-Cut): تُقطع كل خلية من الـ 72 إلى نصفين. والغاية تحسين الكفاءة وتقليل أثر الظل. فعدد 144 لا يعني لوحًا أكبر بالضرورة، بل خلايا أصغر.

21 التوصيل على التوالي والتوازي



الشكل 6: على التوالي يجتمع الجهد ويبقى التيار كما هو، وعلى التوازي يجتمع التيار ويبقى الجهد كما هو.

جدول 2. التوالي والتوازي: مثال لـ 10 ألواح متماثلة

العنصر	على التوالي (Series)	على التوازي (Parallel)
طريقة الربط	موجب اللوح بسالب اللوح الذي يليه	الموجب مع الموجب، والسالب مع السالب

العنصر	على التوالي (Series)	على التوازي (Parallel)
الجهد	جهد لوح × 10 (يجتمع)	يبقى جهد لوح واحد
التيار	يبقى تيار لوح واحد	تيار لوح × 10 (يجتمع)
يحدّه	جهد النظام وجهد الانفرتر	قيمة تيار مدخل الانفيرتر وسعة الكيبلات

وعادة نوصل الألواح على التوالي في سلسلة (String) بحيث لا يتجاوز جهدها حد الانفرتر، وأحيانًا نوصل عدة سلاسل على التوازي. والطريقة الكاملة في **حساب عدد الألواح في السلسلة**.

مثال محلول: نحسب من الداتا شيت

لنطبّق ما سبق على لوح نموذجي بقدرة 550 واط. الأرقام في الجدول توضيحية وقريبة من ألواح هذه الفئة، فاستبدلها بأرقام لوحك من الداتا شيت.

خريطة الرموز: Eff. الكفاءة، FF عامل التعبئة، ΔP نقص القدرة بسبب الحرارة، Pcell قدرة اللوح عند حرارة الخلية المرتفعة، Remain النسبة المتبقية من القدرة بعد 25 سنة، P25 قدرة اللوح بعد 25 سنة، N عدد الألواح التقريبي في السلسلة.

جدول 3. معطيات المثال

المعطى	القيمة
القدرة القصوى (Pmax)	550 W
جهد الدائرة المفتوحة (Voc)	49.8 V
جهد وتيار القدرة القصوى (Vmp / Imp)	41.9 V / 13.13 A
تيار القصر (Isc)	13.9 A
مساحة اللوح	2.58 m²
معامل حرارة القدرة (Temperature Coefficient of Pmax)	−0.35 %/°C

حساب الكفاءة

نقسم القدرة على المساحة مضروبة في الإشعاع القياسي:

Eff. = 550 ÷ (2.58 × 1000) ≈ 21.3 %

حساب عامل التعبئة

نتحقق أولًا من أن Pmax = 41.9 × 13.13 ≈ 550 W، ثم:

FF = 550 ÷ (49.8 × 13.9) = 550 ÷ 692 ≈ 79.5 %

وهو داخل النطاق المعتاد للألواح الجيدة (70 إلى 85%).

أثر الحرارة في يوم صيفي

افترض أن حرارة الخلية وصلت إلى 65 درجة، أي أعلى من حرارة الاختبار بـ 40 درجة:

ΔP = 40 × 0.35 = 14 % ← Pcell = 550 × 0.86 ≈ 473 W

أي أن لوح «550 واط» يعطي في هذه الحالة نحو 473 واط، حتى قبل حساب الغبار والكابلات وبقية الخسائر. ولو كان المعامل (−0.30%/°C) بدل (−0.35%/°C)، لكان الناتج نحو 484 واط. وهكذا يظهر أثر فرق صغير في هذا المعامل.

ماذا يبقى بعد 25 سنة؟

بمعدلات التدهور السابقة: 2% في السنة الأولى، ثم 0.5% سنويًا لمدة 24 سنة:

Remain = 100 − 2 − (24 × 0.5) = 86 % ← P25 = 550 × 0.86 ≈ 473 W

أي نحو 85% من القدرة الاسمية بعد 25 سنة.

تقدير أولي لطول السلسلة

في نظام جهده الأقصى 1000 فولت، قد تقسم فتحصل على 20 لوحًا تقريبًا:

N = 1000 ÷ 49.8 ≈ 20

لكن هذا خطأ شائع: Voc يرتفع في البرد، فالعدد الصحيح أقل من 20. فاستخدم هذه القسمة سقفًا تقريبيًا فقط، والحساب الصحيح بمعامل حرارة الجهد في **حساب عدد الألواح في السلسلة**.

الخلاصة العملية: الرقم المكتوب على اللوح هو نقطة البداية فقط. أما الإنتاج الفعلي على سطحك فيقل عن هذا الرقم بتأثير الحرارة ومرور السنين، ولذلك لا تكفي القدرة الاسمية وحدها للمقارنة بين لوحين.

كيف تقرأ الداتا شيت بالترتيب؟

1. **القدرة والهامش:** Pmax عند STC، وهل الهامش موجب فقط؟
2. **الكفاءة والأبعاد:** كم واطًا تحصل عليه لكل متر مربع من مساحتك المتاحة؟

3. **الأرقام الكهربائية:** Voc وIsc وVmp وImp. احسب منها عامل التعبئة.
4. **معاملات الحرارة وقيم NOCT:** هذه تخبرك بالإنتاج الحقيقي في الصيف.
5. **جهد النظام الأقصى:** 1000 أم 1500 فولت؟ وهل تتحمله بقية المكونات؟
6. **الضمان ومعدل التدهور:** كم تضمن الشركة من القدرة بعد 25 سنة؟
7. **الشهادات:** من جهات مستقلة. اطلب نسخة الشهادة من المورّد، وراجع رقمها في موقع الجهة التي أصدرتها.

ملخص المصطلحات

جدول 4. المصطلحات الـ 21: ماذا تعني وماذا نبحث عنه

المجموعة الأولى: مصطلحات الأداء

المصطلح	معناه	ما نبحث عنه
01 القدرة القصوى (Pmax)	أقصى قدرة يعطيها اللوح عند ظروف الاختبار القياسية	ما يناسب مشروعك ومساحتك
02 جهد وتيار القدرة القصوى (Vmp / Imp)	الجهد والتيار عند أقصى قدرة	حاصل ضربهما يساوي Pmax
03 جهد الدائرة المفتوحة (Voc)	الجهد بين القطبين دون حمل	مجموعه في أبرد صباح دون حد النظام والانفرتر
04 تيار القصر (Isc)	أعلى تيار يعطيه اللوح عند وصل قطبيه	أساس اختيار الفيوز والقاطع
05 الكفاءة (Efficiency)	نسبة الطاقة الساقطة التي يحوّلها اللوح إلى كهرباء	أعلى عند ضيق المساحة
06 هامش القدرة (Power Tolerance)	الزيادة أو النقص المسموح حول Pmax	هامش موجب فقط (+)
07 منحنى التيار والجهد (IV Curve)	العلاقة بين تيار اللوح وجهده	منحنى أقرب إلى الشكل المربع
08 عامل التعبئة (Fill Factor)	مدى امتلاء المنحنى	أعلى (70 إلى 85% للجيدة)
09 نقطة القدرة القصوى وتتبعها (MPP / MPPT)	قمة منحنى القدرة، والمتتبع يبقي التشغيل عندها	انفرتر يتتبعها باستمرار

المجموعة الثانية: مصطلحات الخسائر والتدهور

المصطلح	معناه	ما نبحث عنه
10 المقاومة الموازية (Shunt Resistance)	تمنع تسرب التيار داخل الخلية	أعلى ما يمكن
11 المقاومة الداخلية (Series Resistance)	تعيق سريان التيار وتولّد حرارة	أقل ما يمكن

المصطلح	معناه	ما نبحث عنه
12 معامل درجة الحرارة (Temperature Coefficient)	تغير الإنتاج مع كل درجة فوق 25°C	أقرب إلى الصفر
13 درجة حرارة تشغيل الخلية الاسمية (NOCT)	حرارة الخلية وقدرة اللوح في ظروف أقرب للواقع من STC	قدرة أقل عند NOCT هي الأقرب لما ستراه فعليًا
14 معدل التدهور (Degradation Rate)	نقص الإنتاج مع العمر	أقل ما يمكن، ومضمون في ضمان الأداء
15 التدهور الناتج عن الضوء (LID)	نقص بسيط يحدث عند أول تعرض للضوء	أن تحسبه ضمن نقص السنة الأولى
16 النقاط الساخنة (Hot Spots)	موضع ترتفع حرارته بسبب عيب أو ظل أو اتساخ	تنظيف الألواح وتجنب الظلال
17 صمام التجاوز (Bypass Diode)	يتجاوز مجموعة الخلايا المظللة	يقلل خسارة الظل

المجموعة الثالثة: مصطلحات التصميم

المصطلح	معناه	ما نبحث عنه
18 جهد النظام الأقصى (Maximum System Voltage)	أقصى جهد يتحمله اللوح في النظام	1000 أم 1500 فولت، وأن تتحمله بقية المكونات
19 نوع الخلية (Cell Type)	أحادية البلورة أو متعددة البلورات أو أفلام رقيقة	أحادية البلورة هي السائدة، والأفلام الرقيقة لحالات خاصة
20 عدد الخلايا (Number of Cells)	عدد الخلايا في اللوح، و144 تعني خلايا مقصوصة إلى نصفين (Half-Cut)	تحسين الكفاءة وتقليل أثر الظل، لا لوحًا أكبر
21 التوصيل على التوالي والتوازي	التوالي يجمع الجهد، والتوازي يجمع التيار	ما يناسب جهد الانفرتر وتياره

قائمة التحقق قبل شراء الألواح

- ✓ قارنتَ قدرة كل لوح عند STC وعند NOCT معًا، من الداتا شيت نفسه.
- ✓ تأكدتَ أن هامش القدرة موجب فقط، مثل 0 ~ +5 W.
- ✓ حسبتَ عامل التعبئة من (Voc × Isc) ÷ Pmax، فوجدته بين 70 و85%.
- ✓ قارنتَ معامل حرارة القدرة بين الألواح، وفضّلتَ الأقرب إلى الصفر إن كان موقعك حارًا.
- ✓ حسبتَ عدد الألواح في السلسلة بحيث يبقى مجموع Voc عند أبرد حرارة متوقعة دون حد جهد النظام وحد جهد الانفرتر.

- ✓ اخترتَ الفيوز والقاطع من Isc مضروبًا في معامل الأمان المعتمد في بلدك.
- ✓ تأكدتَ أن جهد النظام لا يتجاوز الجهد المقنّن للكابلات والقواطع ومانع الصواعق، من الداتا شيت الخاص بكل منها.
- ✓ طلبتَ نص ضمان الأداء، وعرفتَ النسبة المضمونة من القدرة بعد 25 سنة.
- ✓ طلبتَ نسخة الشهادات من المورّد، وراجعتَ أرقامها في مواقع الجهات التي أصدرتها.

اقرأ أيضًا

لأنواع الخلايا، اقرأ **الفرق بين الألواح أحادية ومتعددة البلورات والأفلام الرقيقة**. ولاختيار لوح بعينه، راجع **أفضل الألواح الشمسية**. ولحساب السلسلة، **حساب عدد الألواح في السلسلة**. وللصورة الكاملة، **الدليل الشامل عن الطاقة الشمسية**.

أسئلة شائعة

ماذا تعني القدرة القصوى Pmax؟

هي أقصى قدرة كهربائية ينتجها اللوح عند ظروف الاختبار القياسية STC: إشعاع 1000 واط/م² ودرجة حرارة خلية 25 درجة وكتلة هواء 1.5. فلوح 550 واط قدرته القصوى 550 واط عند هذه الظروف.

ما الفرق بين Voc وIsc؟

Voc جهد الدائرة المفتوحة، وهو الجهد بين قطبي اللوح بلا حمل. وIsc تيار القصر، وهو أعلى تيار يمر في اللوح عند وصل قطبيه ببعضهما، ونعتمد عليه في اختيار الفيوز والقاطع.

ما هو عامل التعبئة (Fill Factor)؟

نسبة القدرة عند نقطة القدرة القصوى إلى حاصل ضرب Voc في Isc. وهو مؤشر على جودة اللوح، ويتراوح عادة بين 70% و85% للألواح الجيدة.

ما معدل تدهور الألواح الشمسية؟

هو انخفاض إنتاج اللوح مع عمره. يفقد اللوح عادة 1 إلى 2% في السنة الأولى ثم نحو 0.4 إلى 0.5% سنويًا، ووجدت مراجعة NREL أن المتوسط 0.5% في السنة.

لماذا ينتج اللوح أقل من قدرته المكتوبة؟

لأن القدرة المكتوبة مقاسة عند ظروف STC وحرارة خلية 25 درجة، والخلية فوق السطح تكون أسخن بكثير. ومعامل حرارة القدرة يحدد مقدار النقص: في مثال المقال، لوح 550 واط بمعامل (−0.35%) لكل درجة وحرارة خلية 65 درجة يعطي نحو 473 واط.

ما المقصود بجهد النظام الأقصى؟

هو أعلى جهد يُسمح به في النظام. يجب ألا يتجاوز مجموع جهود الألواح المتصلة على التوالي هذا الحد، وأن تتحمله كل مكونات الدائرة من كابلات وقواطع وفيوزات.

الشرح المرئي

الشرح بالفيديو على يوتيوب يقدمه المهندس ناصر صبر في فيديو من جزأين. امسح الرمز بكاميرا الجوال لفتح كل جزء:

الجزء الأول: بطاقة اللوح، والقدرة والجهد والتيار، والكفاءة وهامش القدرة وعامل التعبئة

youtu.be/ZZw-3_XDCW8

الجزء الثاني: المقاومتان، ودرجة الحرارة والتدهور، وصمام التجاوز، وجهد النظام، والتوصيل

youtu.be/IspvxQTvaSY

المراجع

1. **قناة سولانا** · ديسمبر 2025: كل ما تحتاج معرفته عن الألواح الشمسية (1) | دليل مبسط وشامل للمبتدئين (الجزء الأول)
www.youtube.com/watch?v=ZZw-3_XDCW8

2. **قناة سولانا** · ديسمبر 2025: كل ما تحتاج معرفته عن الألواح الشمسية (2) | دليل مبسط وشامل للمبتدئين (الجزء الثاني)
www.youtube.com/watch?v=IspvxQTvaSY

3. **PVEducation**: Fill Factor
www.pveducation.org/node/118

4. **Progress in Photovoltaics (NREL)**: Photovoltaic Degradation Rates: An Analytical Review (Jordan & Kurtz)
doi.org/10.1002/pip.1182

سولانا

هل تخطط لنظام طاقة شمسية؟

نصمم أنظمة الطاقة الشمسية وندرس جدواها، ونعلّم المهندسين والفنيين تصميمها خطوة بخطوة.

اطلب استشارة

تصميم النظام ودراسة الجدوى ومراجعة العروض

المقال على الموقع

النسخة الرقمية مع الرسوم المتحركة والفيديو

نشرة سولانا الأسبوعية

أحدث الشروحات والمقالات على بريدك



م. ناصر صبر

خبير تصميم أنظمة الطاقة الشمسية وتخزين الطاقة

شارك هذا الدليل مع من يحتاجه، ونسخه مسموح دون تعديل.