١٢

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

الطاقة المتجددة

(نظري وعملي)

المسار المهني - الفرع الصناعي

فريق التأليف

م. جاد حسين

م. هيثم القاضي

م. علي ريان

م. ماهر يعقوب (منسقاً)

قررت وزارة التربية والتعليم في دولة فلسطين
اعتماد هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠٢٢/ ٢٠٢٣ م

الإشراف العام:
رئيس لجنة المناهج أ. د. مروان عورتاني
نائب رئيس لجنة المناهج أ. ثروت زيد

الدائرة الفنية:
التصميم أ. كمال فحماوي، أسحار الحروب
التحرير اللغوي أ. رائد شريدة

الطبعة التجريبية
٢٠٢٢ م/ ١٤٤٤ هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد، ص. ب 719، رام الله، فلسطين
elearn.edu.ps/ | Palestinian.MOE/ | moe.pna.ps/
pcdc.edu.ps/ | pcdc.mohe@gmail.com
+970-2-2983250 | +970-2-2983280

تـقـديـم

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي النابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علماً له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولاً لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار واعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكريّة المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تآلفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيراً عن توليفة تحقق المطلوب معرفياً وتربوياً وفكرياً.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقررّة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس؛ لتوازن إبداعي خلّاق بين المطلوب معرفياً، وفكرياً، ووطنياً، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأول؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إزجاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، وللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

وزارة التربية والتعليم
مركز المناهج الفلسطينية
آب / ٢٠٢٢

تمهيد

يأتي هذا المقرر ضمن خطة وزارة التربية والتعليم لتحديث المناهج الفلسطينية وتطويرها في فروع التعليم المهني، بحيث يتضمن مصفوفة مهارات يجب توفيرها لخرّيج التعليم المهني، تكسبه مجموعة من الكفايات والمهارات التي يطلبها سوق العمل، وتواكب اخر التطورات الحديثة في علم الصناعة.

لقد أُلِّفَ هذا الكتاب ضمن منهجية الوحدات النمطية المبنية على المواقف والأنشطة التعليمية، حيث يكون الطالب منتجاً للمعرفة لا متلقياً لها، وتعطي له الفرصة للانخراط في التدريبات التي تُنفَّذ بروح الفريق والعمل الجماعي؛ لذا تضمنت وحدات هذا المقرر الحالات الدراسية التي تعمل على تقريب الطالب المتدرب من بيئة سوق العمل، والأنشطة التعليمية ذات الطابع التطبيقي، والمتضمنة خطة العمل الكامل للتمرين؛ لما يحتويه من وصف ومنهجية وموارد ومتطلبات تنفيذ التمرين، إضافة إلى صناديق المعرفة، وقضايا التفكير التي تزيد من ذاكرة الطالب.

لقد رُبِطَت أنشطة هذا الكتاب وتدريباته بقضايا عملية مرتبطة بالسياق الحياتي للطالب، بما يراعي قدرته على التنفيذ، كما تمّ التركيز على البيئة والسوق الفلسطينية وخصوصياتهما عند طرح الموضوعات، وربطها بواقع الحياة المعاصرة، تجلّى ذلك من خلال الأمثلة العملية، والمشاريع.

لقد رُبِطَ توزيع مادة الكتاب الذي بين أيدينا على خمس وحدات نمطية أساسية: الوحدة الأولى تتعلق بمقدمة في الطاقة، حيث تمّ التطرق إلى أربعة مواقف تعليمية تطبيقية تتعلق بأدوات الحماية والأمان في أنظمة الطاقة الشمسية، وتوضّح بالتفصيل ألواح الطاقة الشمسية، وتتناول بعدها تحديد كمية الطاقة التي يمكن لسطح من الألواح أن ينتجها، وتختم بالمفاضلة بين أنواع الأنظمة الشمسية. أمّا الوحدة الثانية التي تتعلق المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة، فتضمنت سبعة مواقف تعليمية عن حساب الأحمال الكهربائية، واختيار شهر التصميم الأسوأ، وتتّجه إلى تصميم البطاريات والألواح الشمسية، وحساب حجمهما، وتبحث في مواصفات الإنفيرتر، ومنظّم الشحن في المحطات الشمسية، وتأخذ بعين الاعتبار تصميم الإنفيرتر ومنظمات الشحن في النظام الشمسي المنفصل عن الشبكة، وتطرّق إلى تركيب محطة شمسية منفصلة عن الشبكة بجهد معياري ١٢ فولت، وتتناول أيضاً تركيب محطات ٢٤ فولت، وتفاضل بين شواحن الـ (PWM) و(MPPT)، وتختم بتركيب محطة شمسية بجهد معياري ٤٨ فولت. أمّا الوحدة الثالثة: تصميم الألواح الشمسية وهياكلها وتركيبها بمواقفها الثلاثة، فتتطرق المواصفات الفنية للهياكل المعدنية في الأنظمة الشمسية، وتصميم الهياكل المعدنية وتصنيعها، وتختتم بتأثير الظلّ على الألواح الشمسية، أمّا الوحدة الرابعة تصميم المحطات الشمسية المتصلة بشبكة الكهرباء المحلية بمواقفها الأربعة، فتتناول الأنظمة المتربطة بالشبكة، وتحدّد مكونات هذا النظام، وتحديد القدرة الاسمية لنظام مرتبط بالشبكة، وتختتم بأنواع الأنظمة الشمسية المتصلة بالشبكة، وآليات الاحتساب، أمّا الوحدة الخامسة والأخيرة تركيب المحطات الشمسية المرتبطة بالشبكة بمواقفها الخمسة فتبدأ بتركيب محطة شمسية أحادية الطور بنظام البيع المباشر، وتتناول أيضاً تركيب محطة شمسية بنظام صافي القياس، وتعرج إلى تركيب محطة شمسية ثلاثية الطور مرتبطة بالشبكة، وتطرق إلى تجهيز نظام تأريض المحطات الشمسية، وتُختتم بترشيد الاستهلاك في المنازل والمنشآت. ولمّا كانت هناك حاجة لصقل المعلومة النظرية بالخبرة العملية؛ فقد وُضِعَ مشروع في نهاية كلّ وحدة نمطية؛ لتطبيق ما تعلمه الطلبة، ونأمل تنفيذه بإشراف المعلم.

ونسأل الله أن نكون قد وُفِّقنا في عرض موضوعات هذا الكتاب، بما يراعي قدرات الطلبة ومستواهم الفكري، وحاجاتهم وميولهم النفسية والوجدانية والاجتماعية، وكلّنا أمل بتزويدنا بملحوظاتكم البنّاءة، لإدخال التعديلات والإضافات الضرورية في الطبعات اللاحقة؛ ليصبح هذا الجهد تاماً ومتكاملاً وخالياً من أيّ عيب أو نقص قدر الإمكان. والله ولي التوفيق

فريق التأليف

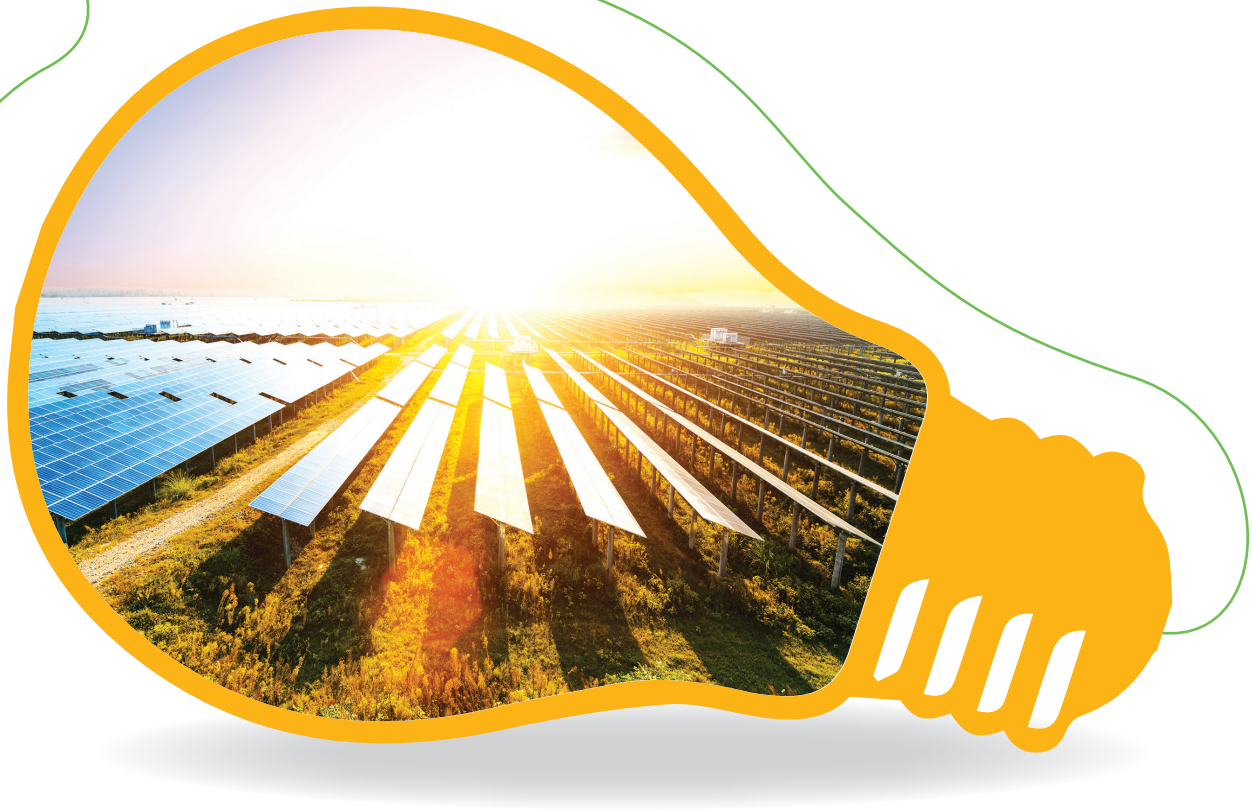
المحتويات

الوَحدة النمطية الأولى: مقدمة في الطاقة الشمسية		٢
الموقف التعليمي التعلّمي الأول:	أدوات الحماية والأمان في أنظمة الطاقة الشمسية	٥
الموقف التعّليمي التعلّمي الثاني:	ألواح الطاقة الشمسية (PV Panels)	١١
الموقف التعّليمي التعلّمي الثالث:	تحديد كمية الطاقة التي يمكن لسطح إنتاجها من الألواح الشمسية	٢٥
الموقف التعّليمي التعلّمي الرابع:	المفاضلة بين أنواع الأنظمة الشمسية	٣٣
الوَحدة النمطية الثانية: المحطات الشمسية المنفصلة عن شبكة الكهرباء المحلية		٤٠
الموقف التعليمي التعلّمي الأول:	حساب الأحمال الكهربائية، واختيار شهر التصميم	٤٣
الموقف التعليمي التعلّمي الثاني:	تصميم البطاريات والألواح الشمسية، وحساب حجميهما	٥١
الموقف التعليمي التعلّمي الثالث:	مواصفات الإنفيرتر ومنظّم الشحن في المحطات المنفصلة عن الشبكة	٦١
الموقف التعليمي التعلّمي الرابع:	اعتبارات تصميم الإنفيرترات ومنظّمات الشحن في النظام الشمسي المنفصل عن الشبكة	٧١
الموقف التعليمي التعلّمي الخامس:	تركيب محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة بجهد معياري ١٢ فولت	٨٥
الموقف التعليمي التعلّمي السادس:	تركيب محطّة منفصلة عن الشبكة بجهد معياري ٢٤ فولت، والمفاضلة بين منظّمات الشحن (MPPT) و(PWM)	٩٥
الموقف التعليمي التعلّمي السابع:	تركيب محطّة منفصلة عن الشبكة بجهد معياري ٤٨ فولت	١٠٤
الوَحدة النمطية الثالثة: تصميم الألواح الشمسية وهياكلها وتركيبها		١١٠
الموقف التعليمي التعلّمي الأول:	المواصفات الفنية للهياكل المعدنية في الأنظمة الشمسية	١١٣
الموقف التعليمي التعلّمي الثاني:	تصميم الهياكل المعدنية وتصنيعها	١٢١
الموقف التعليمي التعلّمي الثالث:	تأثير الظلّ على الألواح الشمسية	١٣٥
الوَحدة النمطية الرابعة: تصميم المحطات الشمسية المتصلة بشبكة الكهرباء المحلية		١٤٨
الموقف التعليمي التعلّمي الأول:	الأنظمة المرتبطة بالشبكة	١٥١
الموقف التعليمي التعلّمي الثاني:	تحديد القدرة الاسمية لنظام شمسي مرتبط بالشبكة الكهربائية	١٦١
الموقف التعليمي التعلّمي الثالث:	تحديد مكونات النظام الشمسي المتصل بالشبكة	١٧١
الموقف التعليمي التعلّمي الرابع:	أنواع الأنظمة الشمسية المتصلة بالشبكة وآليات الاحتساب	١٨١
الوَحدة النمطية الخامسة: تركيب المحطات الشمسية المتصلة بشبكة الكهرباء المحلية		١٩٤
الموقف التعليمي التعلّمي الأول:	تركيب محطّة شمسية أحادية الطور مرتبطة بالشبكة بنظام البيع المباشر	١٩٧
الموقف التعليمي التعلّمي الثاني:	تركيب محطّة شمسية أحادية الطور مرتبطة بالشبكة من خلال نظام احتساب صافي القياس	٢٠٩
الموقف التعليمي التعلّمي الثالث:	تركيب محطّة شمسية ثلاثية الطور مرتبطة بالشبكة	٢١٥
الموقف التعليمي التعلّمي الرابع:	تجهيز نظام تأريض المحطات الشمسية	٢٢٣
الموقف التعليمي التعلّمي الخامس:	ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية في المنازل والمنشآت	٢٣٢

1

الوَحدة النمطية الأولى

مقدمة في الطاقة الشمسية



الطاقة المتجددة هدية من الطبيعة، وفرصة لحياة أفضل.

بعد دراسة هذه الوَحدة، والتفاعل مع أنشطتها، يُتوقّع من الطلبة أن يكونوا قادرين على التّعرّف إلى الأنظمة الشمسية من خلال الآتي:

1. التّعرّف إلى أدوات السلامة العامة الخاصة بأعمال الأنظمة الشمسية.
2. دراسة خصائص الألواح الشمسية وتكنولوجياتها.
3. تجميع الألواح الشمسية في المحطات الشمسية.
4. دراسة كفاءة الألواح الشمسية.
5. حساب الأحمال الكهربائية.
6. المقارنة بين زوايا ميل الألواح الشمسية.
7. دراسة أثر ميل الألواح الشمسية على إنتاجها.
8. المفاضلة بين أنظمة الطاقة الشمسية المختلفة مرتبطة بالشبكة، ومنفصلة عنها.

الكفايات المُتوقّع أن يمتلكها الطلبة بعد الانتهاء من دراسة هذه الوَحدة هي:

أولاً- الكفايات الاحترافية:

1. استخدام أدوات السلامة العامة الخاصة بأعمال الأنظمة الشمسية.
2. ملاحظة خصائص الألواح الشمسية وتكنولوجياتها.
3. تجميع الألواح الشمسية في المحطات الشمسية.
4. توصيل الألواح الشمسية توالياً وتوازياً.
5. حساب الألواح الشمسية، وقياس كفاءتها.
6. حساب الأحمال الكهربائية.
7. المقارنة بين زوايا ميل الألواح الشمسية.
8. دراسة أثر ميل الألواح الشمسية على إنتاجها.
9. المفاضلة بين أنظمة الطاقة الشمسية المختلفة مرتبطة بالشبكة، ومنفصلة عنها.

ثانياً- الكفايات الاجتماعية والشخصية:

1. المصداقية.
2. تلبية حاجات الزبون، والحفاظ على خصوصيته.
3. المبادرة في الاتصال بالأشخاص ذوي الخبرة.
4. التأمّل الذاتي.
5. احترام الرأي والرأي الآخر.
6. تحمّل النقد.
7. الثقة بالنفس.

ثالثاً- الكفايات المنهجية:

1. تحفيز الرغبة الاستكشافية.
2. المقدرة على البحث.
3. التعلم التعاوني.
4. بناء خطة العمل.
5. معرفة المصطلحات الإنجليزية الخاصّة بالمهنة.

قواعد الأمن والسلامة المهنية:

1. الالتزام بالملابس الخاصة بالتدريب العملي.
2. عدم لمس الأجهزة الموجودة في المشغل إلّا بتوجيهات من مشرف المشغل.
3. عدم تشغيل أيّ من التجارب العملية التي أُنجِزت إلّا تحت إشراف مشرف المشغل.
4. التأكّد من إطفاء جميع الأجهزة بعد الانتهاء من أداء التجارب، والحصول على النتائج.
5. الحفاظ على المشغل نظيفاً طوال الوقت، وبعد الانتهاء من التجارب العملية.
6. الانتباه من خطر الصعق الكهربائي في أثناء التعامل مصادر التغذية عالية القدرة.

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون من فنّي الطاقة المتجددة مرافقة مقاول في أثناء أعمال الصيانة والتركيب لأنظمة الطاقة الشمسية التابعة لشركته التي تنتشر في مختلف محافظات الوطن.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	أجمع بيانات من المقاول، ومن الدفاع المدني: • احتياطات الأمن والسلامة التي تلزم للتعامل مع أنظمة الطاقة الشمسية. • خوذ الحماية، وأنواعها المختلفة. • نظارات الحماية. • أحزمة السلامة. • اللباس الواقي، وأنواعه.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني	• طلب صاحب الورشة الكتابي (وصف المهمة، وكتاب رسمي). • متطلبات الدفاع المدني. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد مواد السلامة والأمان المناسبة لتنفيذ العمل، وأدواتها. • رصد المتطلبات؛ لاعتمادها في المشاريع المستقبلية.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• جداول مناسبة. • إجراءات الشركة. • إجراءات الدفاع المدني.
أُنفّذ	• تحليل المتطلبات الخاصة، واستخراج تجهيزات الأمان الخاصة في التعامل مع المحطات الشمسية. • التعرف إلى اللباس الواقي، وأجزائه. • التدرب على استخدام حزام الأمان بالطريقة المناسبة. • توثيق إجراءات السلامة المختلفة.	• مجموعات عمل.	• تجهيزات أمان ووقاية (خوذة، ونظارات حذاء أمان، ...). • قرطاسية؛ للتسجيل.
أتحقَّق	• ملاءمة تجهيزات الأمان لطبيعة المشاريع. • الاستخدام الصحيح لأجهزة الحماية والأمان، ومعداتها.	• مجموعات عمل.	• جدولة المتطلبات، وتعليمات السلامة.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِز على الجميع	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم	• المقارنة بين الأجهزة والمعدات المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تقديم الخبراء التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- أناقش أهمية أدوات السلامة المهنية.
- أناقش الهدف من التعرف الى السلامة الوقائية.

أتعلّم:

نشاط: يتعرّض العاملون في بيئة العمل إلى مخاطر عديدة ناتجة عن العوامل المحيطة، ما هي؟

السلامة المهنية وأدوات الحماية والأمان:

تنقسم السلامة المهنية إلى قسمين، هما: سلامة وقائية، وسلامة علاجيّة.

1 - السّلامة الوقائيّة:

هناك إجراءات كثيرة يجب اتّباعها للوقاية من الأخطار في أثناء تحضير التمارين، منها:

أ - الملابس: يجب أن تكون الملابس ملاءمة لظروف العمل، ويُفضَّل ارتداء (الأفرهول)، الشكل (1)، داخل المشغل؛ إذ يعطي وقاية كاملة للطالب.

الشكل (1): الأفرهول

ب- يجب أن يراعي الطالب مخاطر التعرض المباشر لأشعة الشمس، فالتعرض الطويل قد يؤدي إلى جفاف أو حتى ضربات شمس، الشكل (2)، لذلك يجب شرب سوائل كثيرة، ولبس غطاء مناسب للرأس عند العمل تحت أشعة الشمس.

ت- يجب أن يتأكّد الطالب من إطفاء أيّ مصدر كهربائيّ قبل التعامل معه، فالكهرباء قد تكون خطراً مميتاً إذا ما تعرّض إليها الشخص مباشرة.

الشكل (2): أعراض ضربة الشمس

ث- هناك عدد آخر من المخاطر التي يمكن الوقاية منها بإجراءات بسيطة، مثل المحافظة على الترتيب العامّ لمكان العمل، والتعامل الحذر مع الأدوات الحادّة، والالتزام الصارم بإرشادات السلامة.

2 - السلامة العلاجيّة:

أ - عند حدوث أيّ طارئ، لا سمح الله، أعطِ الأولية لسلامتك، وعندما تتأكد من سلامتك، ساعد زملاءك وَفق قوانين السلامة.

ب- عند حدوث أيّ صدمة كهربائية، كما في الشكل (3)، لا تلمس المصاب، وأبعده باستخدام مادة غير موصلة كالخشب.

الشكل (3): لوحة خطر الصعقة

ت- التصرف السليم بعد وقوع حادث ما هو إبلاغ مهندس المشغل، والالتزام الكامل بتعاليمه بعد ذلك.

الصدمة الكهربائية وعلاجها:

قد يتسبّب مرور التيار الكهربائي عبر جسم الإنسان في كثير من الإصابات البالغة، وأحياناً المميتة، حيث تُحدِث الكهرباء ارتجاجات في عضلة القلب، ربما توقفه عن العمل، وينتج عنه توقّف في التنفس، كما يسبب مرور التيار في الجسم حروقاً شديدة على المنطقة التي سَرى فيها إلى الجسم، وعلى المنطقة التي خرج منها، محدثاً أذًى داخلياً واسعاً بين هاتين النقطتين، وكلّما كان التيار الكهربائي الذي يسري في الجسم أعلى كانت الحروق والأضرار أوسع وأشدّ.

وقد يكون التيار الكهربائي ذا ضغط عالٍ أو منخفض، أو من البرق، أو من الأدوات الكهربائية التي تُستخدَم في البيوت، والمكاتب، والمتاجر، والمعامل.

أهمّ قاعدة في إسعاف المُصاب هي التعامل بحذر شديد لإنقاذه، بعد التأكد من الاحتياطات اللازمة لحماية المُسعف، فلا يجوز لمس المصاب، أو محاولة فصله عن التيار بأدوات موصلة للكهرباء، أو مبتلّة بالماء، ويُفصَل المصاب عن التيار الكهربائي من أقرب نقطة، وإذا لم تتمكّن من ذلك قِف فوق مادة عازلة جافة كصندوق خشبي، وقطعة من المطاط، وباستخدام موادّ غير موصلة، أبعد المُصاب عن نقطة التّماس الكهربائية.

الشكل (4): رمز خطر الكهرباء

أدوات الحماية

لضمان السلامة في أثناء العمل في المشاغل، يجب ارتداء أدوات الحماية الموضّحة في الشكل (5) الآتي:

1. **الخوذة:** هي من أهمّ أدوات الحماية؛ حيث تحمي الرأس من التعرّض إلى سقوط أجسام عليها، أو تعرّضها لشظايا متطايرة، وكذلك تحمي الرأس من التّعرض المباشر لأشعة الشمس.
2. **حذاء السّلامة:** يضمن حماية القدمين من الجروح؛ نتيجة الدعس على شظايا حادّة في موقع العمل، وتقي القدم من سقوط أجسام ثقيلة عليها.
3. **الكمامات:** تمنع استنشاق الأبخرة المضرة الناتجة عن عملية اللّحام.
4. **النظارات الواقية:** تحمي العينين من خطر التعرض للشظايا في أثناء القصّ أو اللحام، وتضمن أيضاً عدم تعرّض العينين إلى سوائل خطرة، أو أبخرة متطايرة.
5. **القفازات (الكفوف):** تحمي الكفين في أثناء العمل، فمنها ما يحمي الكفين من الحروق والجروح المحتملة، ومنها ما يحمي من خطر التعرض للصّدمة الكهربائية.
6. **اللّباس الكامل (الأفرهول):** يضمن عدم تعرّض أجزاء الجسم إلى إصابات، أو وقوع مواد مضرّة، وملامستها للجلد.

الشكل (5): الحمايات المهنية المختلفة

الحماية من خطر السقوط:

يُعَدّ السقوط من أكثر المخاطر التي تسبّب إصابات بليغة للعاملين في أعمال الطاقة الشمسية، وبالتالي يجب اعتماد المواصفات الخاصة بالحماية من خطره، وتوفّر السبل الكفيلة بحماية العاملين في هذه المواقع من مخاطره، ومخاطر المواد المتساقطة، وتنصّ المواصفات على اعتبار العمل على ارتفاع (2) متر أو أكثر بأنّه الارتفاع الواجب توفير وسائل الحماية من خطر السقوط للعاملين الذين يعملون على هذا الارتفاع أو أكثر، الشكل (6): لوحة تحذير.

الشكل (6): لوحة تحذيرية

المتطلبات العامة:

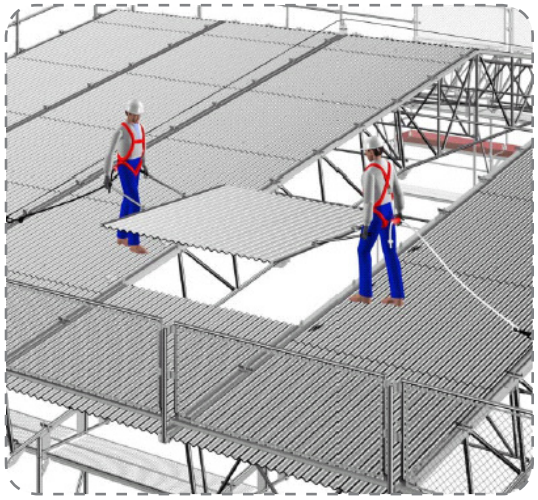
1. التأكّد من أن أسطح العمل والمنصات التي سوف يعمل العاملون عليها ذات متانة كافية.
2. تحديد المناطق الأكثر عرضة لخطر السقوط.
3. وجود خطة إسعاف في حال حدوث طارئ.
4. توفير وسائل الحماية من خطر السقوط، التي تشمل ما يأتي:

أحزمة الأمان لمنع السقوط:

وهذه الأحزمة مهمة للعمل في الأماكن المرتفعة؛ لمنع السقوط، ومنها نوعان، هما:

- حزام محدود المسافة يمنع العامل من الابتعاد عن المسافة المحددة، كما في الشكل (7).
- حزام يسمح للعامل بإطالة المسافة المسموحة، والتنقل بحرية، وفي حال السقوط أو الانزلاق تتفعّل آلية الإيقاف التلقائية، بالإضافة إلى وجود خاصية لامتصاص أثر الصدمة، كما في الشكل (8).

الشكل (7): نظام الإيقاف المحدّد

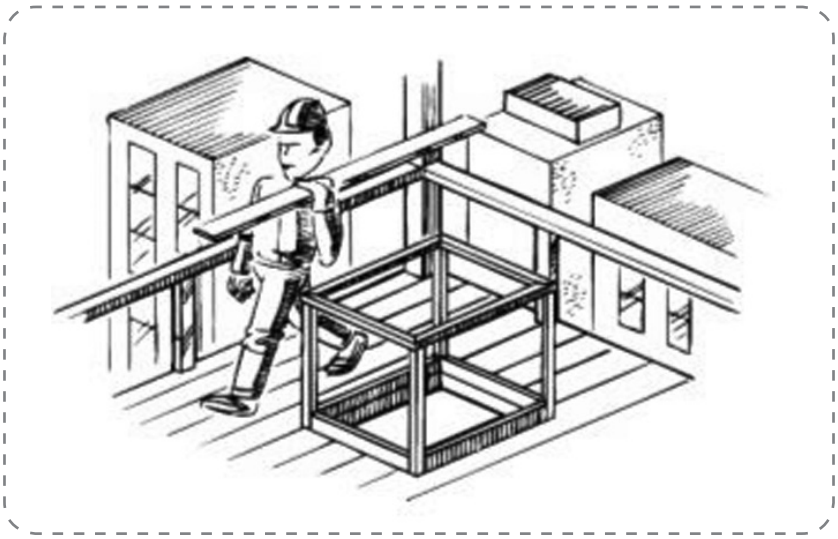


الشكل (8): نظام منع السقوط

حماية الفتحات الموجودة في الأسطح، كما في الشكل (9):

يجب تغطية الفتحات الموجودة في الأسطح كافة بوساطة أغطية حماية مناسبة، وأن تكون مثبتة بطريقة آمنة، وذات متانة ملائمة، وأن يُكتَب عليها بوضوح ما يفيد بوجود فتحة أسفلها، كما يجب تغطية الفتحات الموجودة بين الأعمدة كافة التي من خلالها قد يسقط الأشخاص لارتفاع يزيد عن (2) متر بوساطة ألواح مناسبة، وتأمينها.

وفي حالة ضرورة ترك هذه الفتحات مفتوحة، يجب تسويرها، ووضع حواجز الوقاية من خطر السقوط حولها.



الشكل (9): حماية الفتحات

أسئلة الدرس:

1. لماذا نستخدم معدات الحماية والأمان؟
2. ما الحوادث التي يمكن أن تحصل لو لم تُستخدَم معدات الحماية والأمان؟
3. أعدّد ثلاث من أدوات الحماية الشخصية للعامل.
4. أذكر أنواع أحزمة الأمان المستخدمة في أعمال الأنظمة الشمسية.

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون من فني الطاقة المتجددة اختيار لوحات شمسية مناسبة لمشروع نظام طاقة شمسية لمزرعة دواجن.

العمل الكامل:

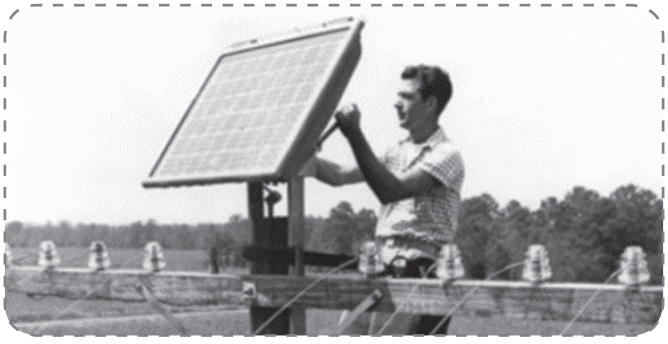
خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	أجمع بيانات عن: • أنواع الخلايا الشمسية المتوفرة في السوق. • تركيب الألواح الشمسية المختلفة. • الخصائص الميكانيكية والكهربائية للألواح الشمسية. • المواد المستخدمة في صناعة الألواح الشمسية.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب الورشة الكتابي (وصف المهمة، وكتاب رسمي). • متطلبات شركات الكهرباء. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد مواد السلامة والأمان المناسبة لتنفيذ العمل، وأدواتها. • رصد المتطلبات؛ لاعتمادها في المشاريع المستقبلية.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• جداول مناسبة. • إجراءات الشركة. • إجراءات الدفاع المدني.
أُنفّذ	• تحليل المعلومات التي جُمِعَت. • عمل مجموعات مقارنة للألواح الشمسية. • قياس القيم الكهربائية الخاصة بالألواح الشمسية. • رصد الاختلافات بين الألواح الشمسية. • توثيق إجراءات السلامة المختلفة.	• مجموعات عمل.	• لوحات شمسية مختلفة. • قرطاسية؛ للتسجيل.
أتحقَّق	• ملاءمة تجهيزات الأمان لطبيعة المشاريع. • الاستخدام الصحيح لأجهزة الحماية والأمان، ومعداتها.	• مجموعات عمل.	• جدولة المتطلبات، وتعليمات السلامة.

أُوثِّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِز على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم	• المقارنة بين الأجهزة والمعدات المختلفة بين جميع مجموعات العمل • تقديم الخبراء التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

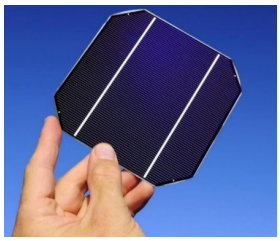
الأسئلة:

- أناقش: تُستخدَم الطاقات المتجددة منذ القدم.
- أناقش: هل يُعَدّ خشب الموقد من الطاقات المتجددة؟

نشاط: أجمع معلومات عن أول خلية شمسية صُنّعت.



أتعلّم:

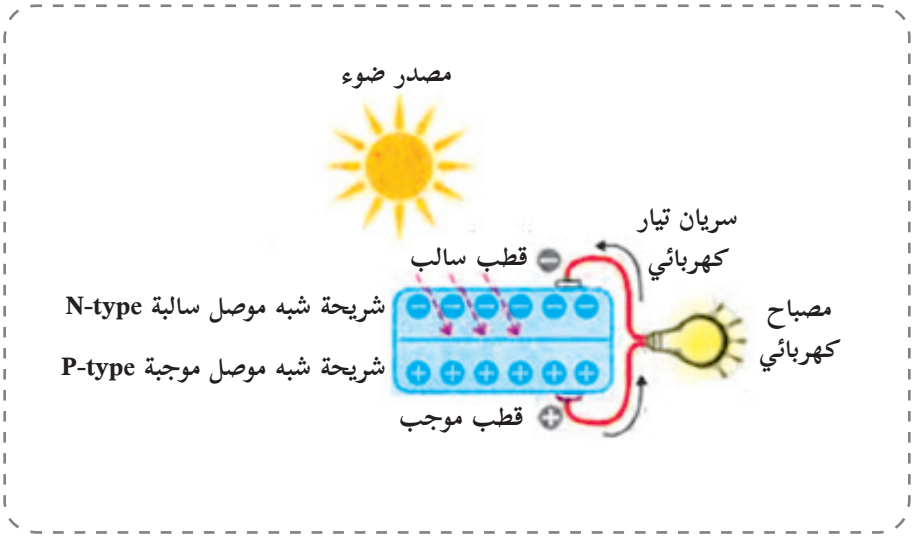


الشكل (1): خلية شمسية

الخلية الشمسية أو الكهروضوئية، كما في الشكل (1): هي عنصر يحوّل الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية، مستغلاً ظاهرة التأثير الكهروضوئي، حيث تتكون الخلية الشمسية من طبقة سيليكون، يضاف إليها بعض الشوائب؛ لتعطيها بعض الخواصّ الكهربائية، وتكون على النحو الآتي:

1. الطبقة السالبة (N): هي الطبقة العلوية القابلة للشمس من الخلية الشمسية، وتكون مشوبة بعنصر خماسي مثل الفسفور، لتعطيه خاصية ضخّ إلكترونات عند اصطدام الفوتونات بها، حيث إنّ الفوتونات هي الجسيمات متناهية الصغر حاملة للطاقة، وتنقل الطاقة الضوئية من الشمس إلى سطح الخلية.
2. الطبقة الموجبة (P): هي الطبقة السفلى من الخلية الشمسية، وتكون مشوبة بعنصر ثلاثي مثل البورون، ليعطيه خاصية امتصاص الإلكترونات.

فعند اصطدام فوتونات الإشعاع الشمسي بالطبقة العلوية، تمنح الإلكترونات طاقة تعتمد على شدّة الإشعاع الشمسي، وعند وجود موصل كهربائي بين الطبقتين تنتقل الإلكترونات من الطبقة العليا إلى الطبقة السفلى، وهكذا يتكون تيار وجهد كهربائيان، وهذا ما يوضّح **مبدأ عمل الخلية الشمسية** الموضحة في الشكل (2).

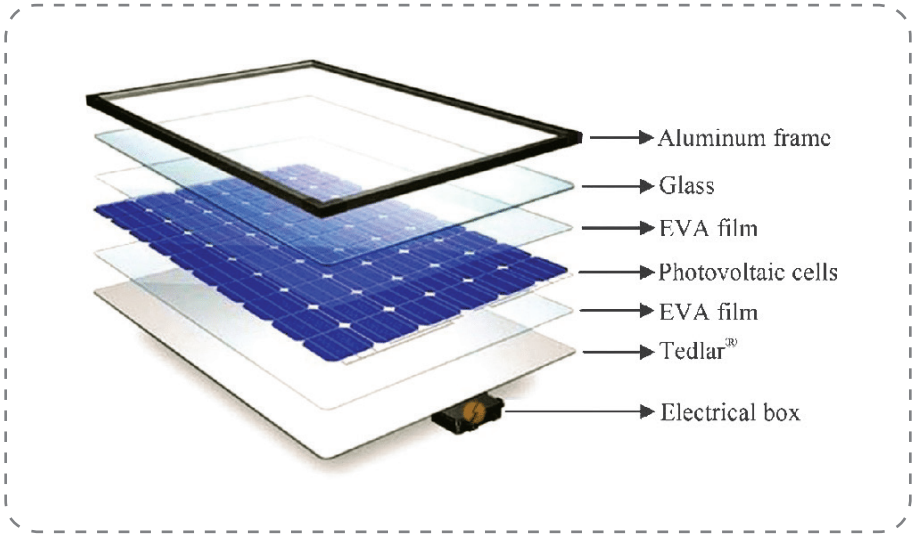


الشكل (2): مبدأ عمل الخلية الشمسية

مكونات اللّوح الشمسي:

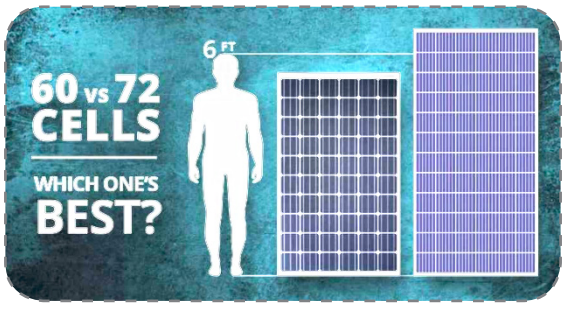
تعلمنا سابقاً أنّ جهد الخلية الشمسية يتراوح بين (0.5 - 0.6 فولت)، ولذلك جُمِّعت الخلايا الشمسية معاً في لوح واحد، فتكونت الألواح الشمسية، وهي المكون الأهمّ في الأنظمة الشمسية، وتتكون من عدّة طبقات، كما في الشكل (3)، وأهمها:

1. الخلايا الشمسية.
2. الإطار المعدني.
3. الزجاج الأمامي.
4. مادة الظهر الداعمة.



الشكل (3): الطبقات المكونة للّوح الشمسي

تُميَّز الألواح الشمسية وَفق عدد الخلايا، وطريقة ربطها، والتكنولوجيا المستخدمة في تصنيع الخلايا. إنّ الألواح التجارية المنشرة في فلسطين هي ألواح مكوّنة من 60 أو 72 خلية شمسية، وبالمنطق فإنّ مِساحة الألواح تزداد كلّما زاد عدد الخلايا الشمسية، كما في الشكل (4) الآتي؛ لتصوّر حجم الألواح الشمسية:



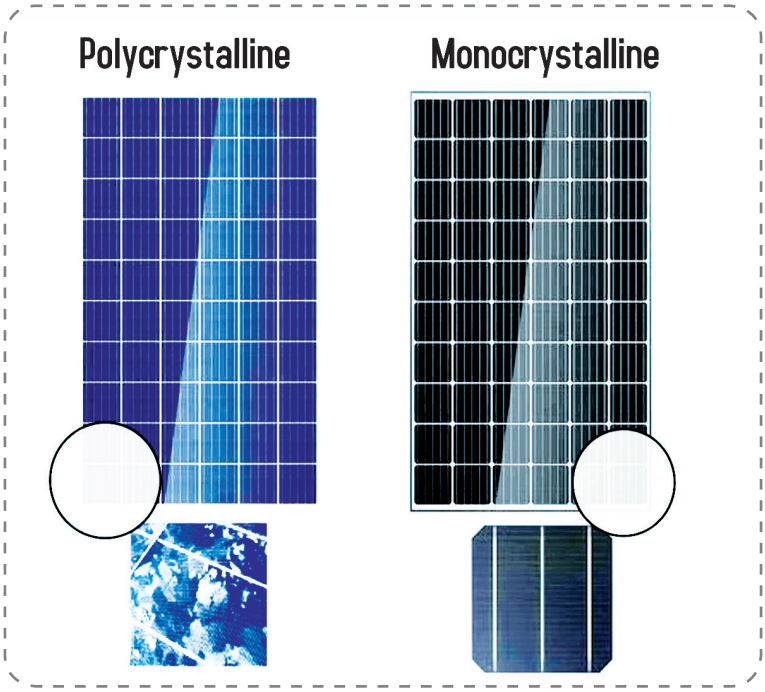
الشكل (4): مقارنة حجم اللّوح الشمسي

تكنولوجيا الخلايا الشمسية:

يوجَد عدّة تكنولوجيات مستخدمة لتصنيع الخلايا الشمسية، منها:

1. الخلايا متعددة التبلور (PolyCrystaline).
2. خلايا أحادية التبلور (MonoCrystalline).
3. خلايا عديمة التبلور (Amorphorous)، وهي غير دارجة في فلسطين.

والفرق بين الخلايا عديدة وأحادية التبلور هو في طريقة التصنيع، والشكل (5) يوضّح مقارنة في الشكل بينهما.



الشكل (5): خلايا أحادية ومتعددة البلورة

مؤخراً طُوّرت سلسلة من التكنولوجيات الجديدة للألواح الشمسية أدّت إلى زيادة كفاءتها زيادة ملحوظة، منها: **(خلايا MONO-PERC، وخلايا POLY PERC، وخلايا TOPCon)**، وجميع هذه التكنولوجيات إمّا أن تكون (خلية كاملة full cell) أو (نصف خلية half Cut Cell)، وقد يعتمدون قياسات مختلفة لمِساحة الخلايا، وهناك مصنّعون يصنعون الألواح مزدوجة الزجاج؛ ما يعني أنّ هناك تشكيلة واسعة جداً من التكنولوجيات المتوفرة في الأسواق؛ ما يعكس المنافسة الحادّة، والبحث المستمر عن طرق لتحسين كفاءة الألواح الشمسية، والشكل (6) الآتي يوضّح أهمّ التكنولوجيات المنتشرة عالمياً للألواح الشمسية:

Most Powerful Solar Panels

March 2022 V3.1 CLEAN ENERGY REVIEWS

Manufacturer	Model	Power (W)	Cell Size	Cell Type	Efficiency %	Avail
risen	NewT@N	700 W	210mm	N-Type HC TOPCon	22.5%	Q1 2022
Trinasolar	Vertex	670 W	210mm	P-Type 1/3-cut Mono-PERC MBB	21.6%	Q2 2021
ASTRONERGY	Astro 6	670 W	210mm	P-Type HC Mono PERC+	21.6%	Q1 2022**
AE SOLAR alternative energy	AURORA	665 W	210mm	P-Type HC Mono PERC	21.4%	Q2 2022
CanadianSolar	HiKu7	665 W	210mm	P-Type HC Mono PERC	21.4%	Q3 2021
JinKO Solar	Tiger Pro NEO	620 W	182mm	N-Type HC TOPCon	22.3%	Q3 2021
SUNTECH	Ultra V series	620 W	182mm	N-Type HC TOPCon	21.3%	Q1 2022**
Q CELLS	Q.Peak DUO XL-G11.2	590 W	182mm	P-Type HC Mono PERC	21.5%	Q2 2022
CanadianSolar	HiKu6	590 W	182mm	P-Type HC Mono PERC	21.3%	Q1 2021
中来股份 JOLYWOOD	Niwa Super	570 W	182mm	N-Type HC TOPCon	22.0%	Q4 2020
Phono Solar	Draco PS560-M7G	560 W	182mm	N-Type HC TOPCon	21.7%	Q2 2022
JA SOLAR	DeepBlue 3.0	550 W	180mm	P-Type HC Mono PERC	21.3%	Q4 2020
LONGi Solar	Hi-Mo 5m	550 W	182mm	P-Type HC Mono PERC	21.5%	Q3 2021
maxeon	Performance 5 series	545 W	182mm	P-Type Shingled Mono PERC	21.1%	Q3 2020

**Official release date yet to be determined - High volume production estimated to begin early-mid 2022

الشكل (٦): مقارنة تكنولوجيات مختلفة وشركات مختلفة

للاطلاع فقط

تقنية نصف الخلية الشمسية (Half Cut Solar Cell):

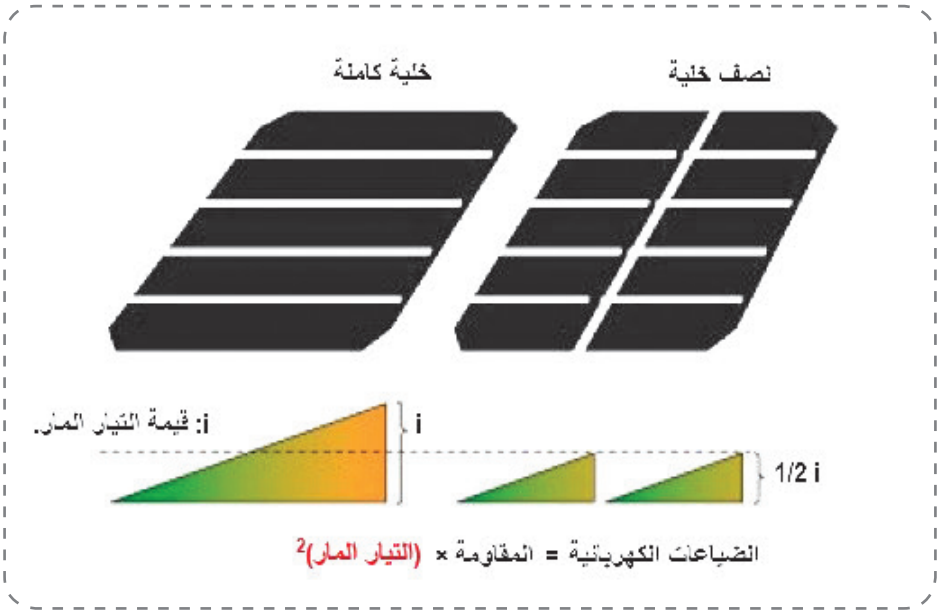
يتمّ الحصول على أنصاف الخلايا الشمسية من خلال قطع خلايا السيليكون الكهروضوئية من المنتصف. وتقدّم تقنية نصف الخلية الشمسية فوائد عدة بالمقارنة مع الخلايا الشمسية العادية الكاملة، وأهمها الزيادة في **الأداء والتّحمل**، بالإضافة الى أنّ تقنية أنصاف الخلايا تؤدي إلى زيادة في كفاءة الألواح الشمسية من خلال تقليل الخسائر، وبالتالي تحسّن قيمة الإنتاج.

ميزات تقنية النصف خلية شمسية لأداء الألواح الشمسية:

- تقليل الخسائر الناتجة عن المقاومة:

تُعطى الخسائر الكهربائية بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{خسائر القدرة الكهربائية} = (\text{التيار المار})^2 \times \text{المقاومة}$$



الشكل (7): مقارنة الضياعات في الخلايا الشمسية الكاملة والنصف خلية

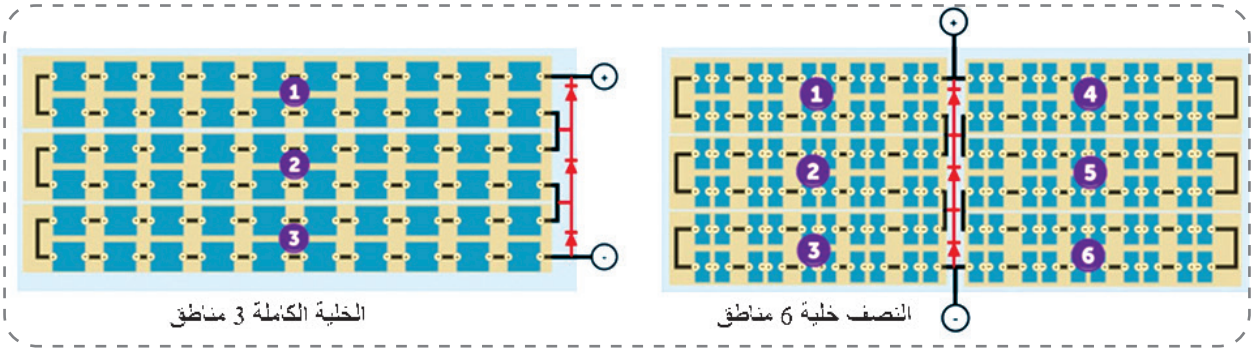
ونتيجة لقطع الخلايا إلى أنصاف؛ فإنّ التيار الكهربائي ينخفض إلى النصف، فيما يحافظ على فرق الجهد على القيمة نفسها؛ ما يعني أنّ التيار الذي يسري في أيّ نصف خلية هو نصف التيار الذي يمرّ في الخلية الكاملة، ووفقاً للمعادلة السابقة، فهذا يتسبب بتقليل الخسائر إلى الربع، وما يتبع ذلك من تقليل مِساحات مقطع الأسلاك اللازمة للتوصيلات الداخلية، وعليه يتحسّن إنتاج المحطة، وتزداد كفاءتها، الشكل (7).

- قدرة محسّنة على تحمّل الظلّ:

تتميّز الألواح الشمسية ذات أنصاف الخلايا بقدرة عالية على مقاومة تأثير الظلّ؛ وذلك ليس فقط بسبب كون الخلية مقطوعة في المنتصف، إنّما بسبب طريقة التوصيل الداخلي للخلايا.

في الألواح ذات الخلايا الكاملة تكون جميع الخلايا موصولة على التوالي، وإذا تعرّضت خلية واحدة من الصف للتظليل الكامل (أي لا تنتج طاقة) فيتوقف إنتاج اللّوح توقّفاً كاملاً، لذلك يضع المصنّعون ديودات حرف مسار (Bypass diodes)؛ ما يتسبّب بتقسيم اللّوح الشمسي إلى ثلاث مناطق مستقلة من ناحية تأثير الظلّ، بحيث يتسبّب وقوع الظلّ على خلية واحدة لتوقف ثلث اللّوحة عن الإنتاج.

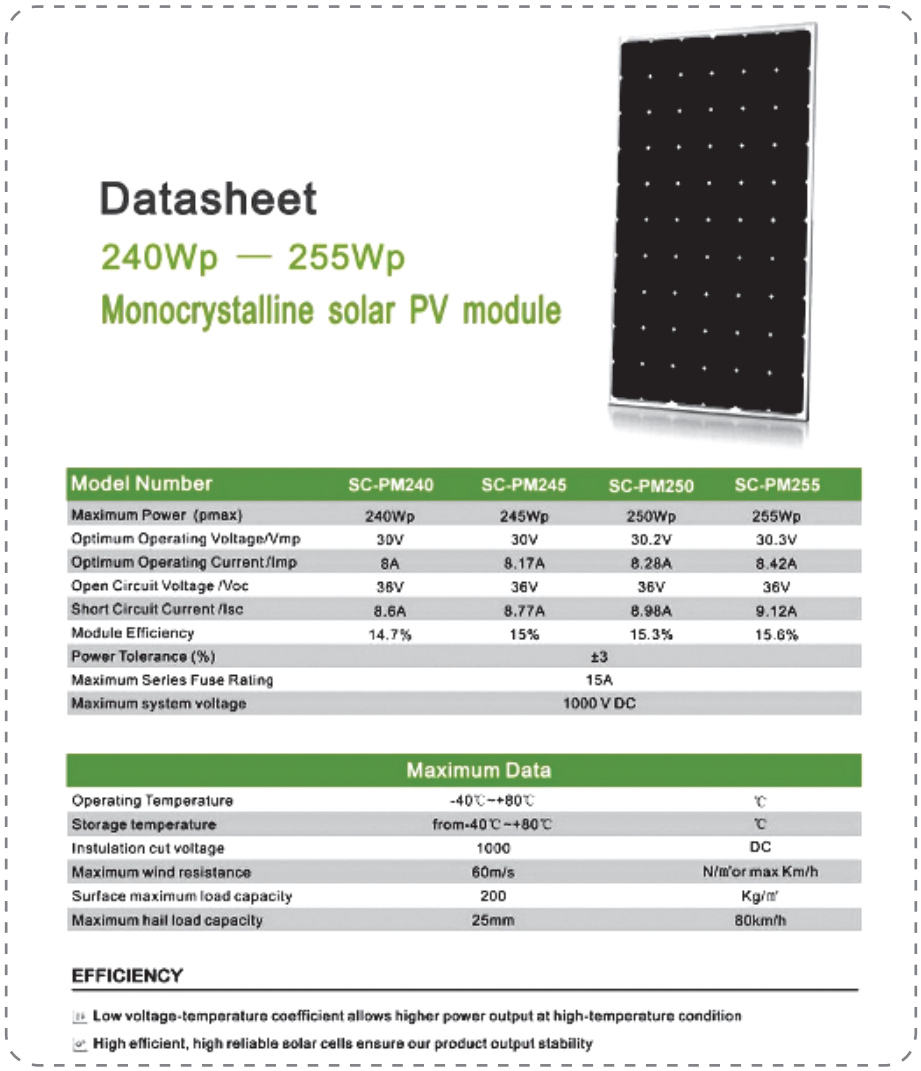
أمّا في الألواح ذات أنصاف الخلايا، فإنّ العملية السابقة نفسها تحصل مع فارق أنّ اللّوح الشمسي مقسّم إلى قسمين، كلّ منهما يحتوي على العدد نفسه من أنصاف الخلايا بدلاً من الخلايا، وهي بعد ذلك موصولة على التوازي؛ ما يضاعف قدرة اللّوح الشمسي على مقاومة تأثير الظلّ؛ لأنّ أيّ تظليل سيؤثّر على نصف اللّوحة؛ ما يعني أنّ اللّوح الشمسي المحميّ بديودات حرف المسار ستتمكّن من تقسيم اللّوحة إلى (6) مناطق مستقلة بدل (3)؛ ما يضاعف مقاومة اللّوح للظلّ، الشكل (8).



الشكل (8): كيفية توصيل لوحين شمسيين أحدهما خلية كاملة، والآخر أنصاف خلايا.

مواصفات اللّوح الشمسي:

يوجد لكلّ لوح شمسي مجموعة من القيم التي تصف الخصائص الكهربائية والميكانيكية للّوح الشمسي، والتي عادة ما تُدرجها الشركات الصانعة للألواح الشمسية مع اللّوح، فيما يعرف **بنشرة بيانات Data sheet** اللّوح الشمسي، كما في الشكل (9)، وتوفّر نشرة البيانات كافة المعلومات اللازمة؛ لتمكّن المختص من الاستفادة من اللّوح الشمسي استفادة فعالة وسليمة، ويبيّن الشكل المجاور نشرة بيانات خاصة بلوح شمسي:



Datasheet

240Wp — 255Wp

Monocrystalline solar PV module

Model Number	SC-PM240	SC-PM245	SC-PM250	SC-PM255
Maximum Power (pmax)	240Wp	245Wp	250Wp	255Wp
Optimum Operating Voltage/Vmp	30V	30V	30.2V	30.3V
Optimum Operating Current/Imp	8A	8.17A	8.28A	8.42A
Open Circuit Voltage /Voc	36V	36V	36V	36V
Short Circuit Current /Isc	8.6A	8.77A	8.98A	9.12A
Module Efficiency	14.7%	15%	15.3%	15.6%
Power Tolerance (%)	±3			
Maximum Series Fuse Rating	15A			
Maximum system voltage	1000 V DC			

Maximum Data		
Operating Temperature	-40℃~+80℃	℃
Storage temperature	from-40℃~+80℃	℃
Instulation cut voltage	1000	DC
Maximum wind resistance	60m/s	N/m²or max Km/h
Surface maximum load capacity	200	Kg/m²
Maximum hail load capacity	25mm	80km/h

EFFICIENCY

- Low voltage-temperature coefficient allows higher power output at high-temperature condition
- High efficient, high reliable solar cells ensure our product output stability

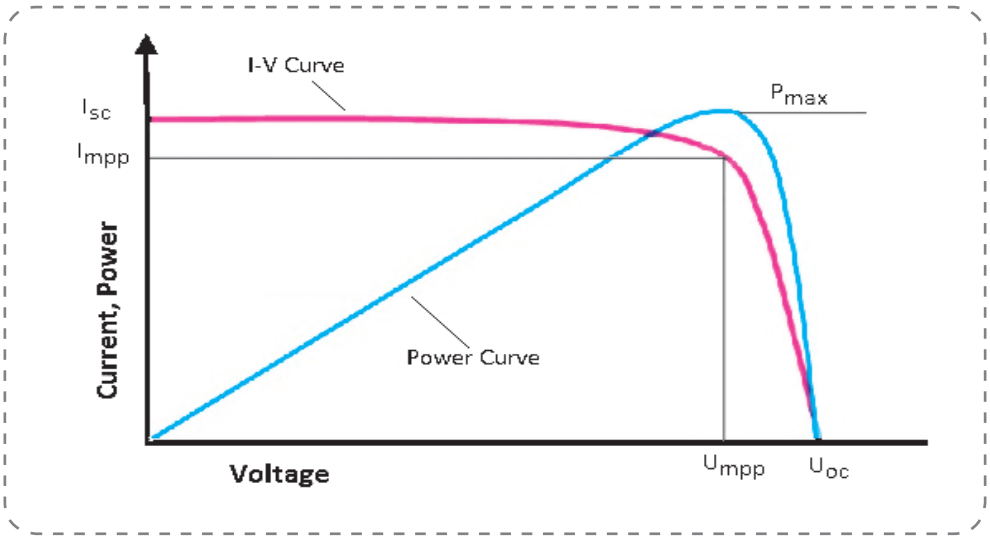
الشكل (9): نشرة بيانات للوح شمسي

إنّ فهم الخصائص الكهربائية والميكانيكية الواردة في نشرة بيانات الألواح الشمسية أمر بالغ الأهمية؛ ليتمكّن المختصّ من التعامل من اللّوح الشمسي بالشكل السليم والفعال، وفيما يأتي شرح لأهمّ خصائص الألواح الشمسية:

- **تيار دائرة القصر (Short Circuit Current) (I_{SC})**: هو التيار الناتج من وصل طرفَي اللّوح الشمسي دون وجود مقاومة؛ ما يتسبّب في تدفّق أعلى تيار كهربائي يمكن للّوح الشمسي توليده، إلّا أنّ هذا التيار يحدث في حالة من انعدام فرق الجهد؛ ما يعني أنّ القدرة الناتجة تكون صفراً، وهذه القيمة مهمة لضرورة التحوّط منها عند التصميم، والتوصيل، وهو تيار مستمر (DC)، ويُقاس بوحدة (A).
- **جهد الدارة المفتوحة (Open Circuit Voltage) (VOC)**: هو الجهد الذي ينتجه اللّوح الشمسي بين طرفيه في حال عدم وجود اتصال بينهما، وبسبب عدم وجود اتصال فإنّ التيار يكون صفراً، وبالتالي القدرة المنتجة تكون صفراً، وهو جهد مستمر (DC)، ويقاس بوحدة (V).

- **قدرة اللّوح الشمسي القصوى (Maximum Power Point (MPP)** (P_{max}): تُقاس بوحدة الـ (W_p)، وهي أعلى قدرة يمكن للّوح الشمسي إنتاجها في ظروف الفحص المعياري (STC)، ويتمّ الحصول على هذه القيمة من القدرة عند تزامن فرق جهد وتيار معينين يُسمّيان بتيار القدرة القصوى (I_{mpp})، وفرق جهد القدرة القصوى (V_{mpp})، وضمن الظروف نفسها لا يمكن لأيّ توليفة أخرى من فرق جهد وتيار من إنتاج قدرة مساوية أو أكبر من (P_{max}).

وفي الشكل (10) يمكن مشاهدة العلاقة بين التيار وفرق الجهد من جهة (IV Curve) والعلاقة فرق الجهد والقدرة من ناحية أخرى (PV Curve):



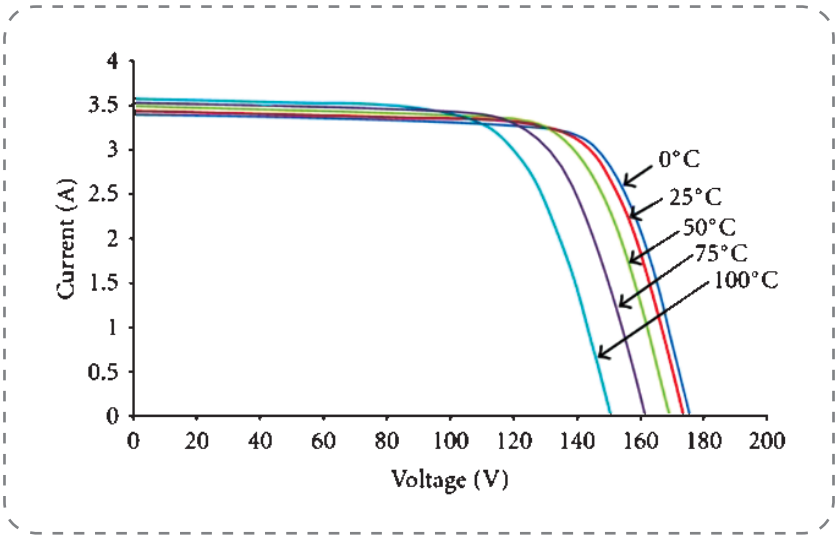
الشكل (10): منحى التيار والجهد (I-V) باللّون الأحمر ومنحنى القدرة والجهد (P-V) باللّون الأزرق.

العوامل المؤثرة على القيم الاسمية للّوح الشمسي:

بعد أن تعرفنا إلى منحنى الخصائص الكهربائية للّوح الشمسي؛ أي العلاقة بين التيار والجهد، وبالتالي تغيّر الخصائص الكهربائية من تيار اللّوح الشمسي وجهده مع اختلاف الحمل، فإنّ هناك عدّة عوامل تؤثّر على هذه العلاقة، من هذه العوامل:

1 - درجة الحرارة:

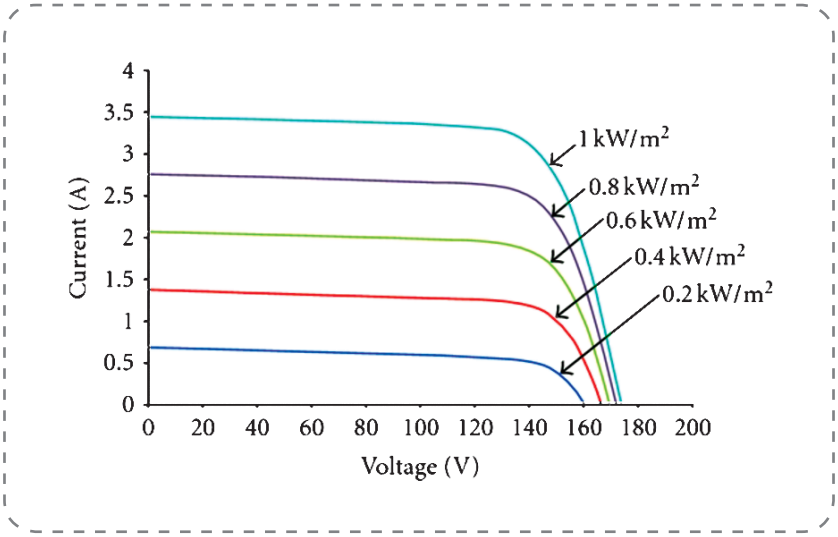
درجة الحرارة لا تتسبّب بإنتاج الألواح الشمسية، إنّما تؤثّر **عكسياً** على قيمة فرق الجهد الذي ينتجه اللّوح الشمسي؛ أي كلّما زادت درجة الحرارة يقلّ فرق جهد اللّوح الشمسي بوضوح، فيما تزداد قيمة التيار ازدياداً طفيفاً لا يعوّض عن خسائر الجهد؛ ما يؤدّي في النتيجة إلى تقليل القدرة الناتجة من اللّوح الشمسي، والشكل (11) الآتي يوضّح أثر درجة الحرارة على اللّوح الشمسي:



الشكل (11): تأثير درجات الحرارة المختلفة على قيم الجهد والتيار في لوح شمسي

2 - كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح اللّوح الشمسي:

يتسبّب الإشعاع الشمسي في إنتاج القدرة في الألواح الشمسية من خلال تأثيرها الطردي والمباشر، بحيث إنّه كلّما زاد الإشعاع الشمسي الواصل يزداد التيار بالنسبة نفسها، والشكل (12) الآتي يوضّح تأثير كمية الإشعاع الشمسي على منحنى الجهد والتيار للّوح الشمسي:



الشكل (12): تأثير شدة الاشعاع الشمسي على قيم الجهد والتيار في لوح شمسي

والجدول الآتي يوضّح بعض دلالات هذه البيانات الموجودة على الملصق الخاصّ باللّوح الشمسي:

جدول (1): تفسير بعض بيانات لوحة لوح شمسي

الرقم	المصطلح بالإنجليزية	الرمز	المصطلح بالعربية	التوضيح
-1	Peak Power	P_{max}	القدرة الكهربائية القصوى للّوح	تعطى (Wp)، وهي أعلى قدرة للوح شمسي.
-2	Panel Efficiency	η	كفاءة اللّوح الشمسي	هي نسبة مئوية، وهي العلاقة بين القدرة الناتجة من اللّوح الشمسي بالنسبة للمِساحة المحجوزة.
-3	Max Power PointVoltage	V_{mpp}	فرق الجهد عند القدرة القصوى	وحدتها فولت.
-4	Max Power Point Current	I_{mpp}	التيار عند القدرة القصوى	وحدتها أمبير
-5	Open Circuit Voltage	V_{OC}	جهد الدارة المفتوحة للّوح	الجهد الخارج من اللّوح من دون توصيله، وهو أعلى جهد ممكن الحصول عليه من اللّوح. ويساوي التيار صفراً.
-6	Short- Circuit Current	I_{SC}	تيار دارة القصر للّوح	التيار الخارج من اللّوح عند عمل قصر على طرفيه، وهو أعلى تيار ممكن الحصول عليه من اللّوح، ويساوي فرق الجهد صفراً.
-7	Maximum System Voltage	V_L	أقصى جهد مستمر للنظام	أقصى جهد مستمر يستطيع أن تعمل عنده اللّوحات من دون مشاكل، وتحدّد قيمة عزل الكوابل، والقواطع.
-8	Nominal Operating Cell Temperature	$NOCT$	هي درجة حرارة العمل للخلية الشمسية عند الظروف الاعتيادية	درجة حرارة الخلية عند سرعة رياح 1 متر/ ثانية، وإشعاع شمسي 800 وات/ متر مربّع، ودرجة حرارة الجوّ 20، وهذه الظروف تؤخذ كظروف عمل اعتيادية.

مع ملاحظة أنّ كلّ القيم الواردة في الجدول السابق، التي تكون موضّحة في نشرة البيانات، هي الناتجة في (ظروف الفحص المعيارية STC) التي تتضمّن ما يأتي:

- إشعاع شمسي بقدرة (1000 وات للمتر المربّع).
- وزن الهواء (Air Mass-AM)، ويساوي (1.5).
- درجة حرارة الخلايا (25) درجة مئوية.

وتجدر الإشارة إلى أنّ هذه الظروف يصعب الوصول إليها في الحياة العملية؛ لأنّ حدوث إشعاع شمسي قدره 1000W/m2يترافق مع درجة حرارة خلايا تتجاوز الـ (60) درجة مئوية.

كفاءة اللّوح الشمسي (η) ((Panel Efficiency):

هو العلاقة بين القدرة الواردة على اللّوح إلى الناتجة منه:

$$\mu = \frac{Pout}{Pin} \times 100\%$$

وعند الظروف المعيارية تصبح المعادلة كالآتي فيما يتعلق بالخلايا:

$$\mu = \frac{Pmax\ solar\ panel\ (W)}{1000\ (\frac{W}{m^2}) \times Area\ of\ panel\ (m^2)} \times 100\%$$

أمّا في الظروف الأخرى، فإنّ قيمتَي قدرة اللّوح والإشعاع الشمسي الواردتين تتغيّران؛ ما قد يغيّر من كفاءة اللّوح:

$$\mu = \frac{\text{قدرة اللّوح المقيسة}}{\text{شدة الإشعاع } (\frac{W}{m^2}) \times \text{مِساحة اللّوح } (m^2)} \times 100\%$$

نشاط عملي (1): أحضرُ لوحاً شمسياً مع نشرة البيانات الخاصة به، وأفرّغ القيم الموجودة كافة على ملصق البيانات ونشرة البيانات في جداول خاصة، وأناقشها مع زملائي.

نشاط عملي (2): أحضرُ مجموعة لوحات شمسية متشابهة القدرة، وأوصلُها توالياً ثمّ توازياً ثمّ مركباً، وأُعِدّ جدولاً لمقارنة القيم المقيسة، وأناقش النتائج مع زملائي، ثمّ أحلّلها.

أسئلة الدرس:

1. أعدّد أنواع الخلايا الشمسية وَفق طرقة تصنيعها.
2. أكمل الفراغ بما يناسب: تتناسب قيمة الإشعاع الشمسي تناسباً _____ مع قيمة التيار الذي نحصل عليه من اللّوح الشمسي.
3. أوضّح تأثير درجة الحرارة على القيم الخارجة من اللّوح الشمسي.
4. أوضّح ميزتين من ميزات الألواح المصنّعة من أنصاف الخلايا.
5. لوح شمسي قدرته الاسمية (320Wp)، إذا علمت أنّ أبعاد اللّوح الشمسي هي (طول = 2م، عرض = 1م)، وكمية الإشعاع الشمسي الذي قيسَ على سطح اللّوح الشمسي هو ($1000W/m^2$)، أحسب كفاءة اللّوح الشمسي.

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون من فني الطاقة الشمسية تقدير كمية الطاقة التي يمكن لسطح مصنعه إنتاجها باستخدام الألواح الشمسية.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	أجمع بيانات عن: • الإشعاع الشمسي. • التوجيه المناسب، وتبعاته على المخرجات. • تأثّر الميل على الإشعاع الشمسي. • الأحمال المرتبطة، وكيفية حسابها.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب الورشة الكتابي (وصف المهمة، وكتاب رسمي). • متطلبات شركات الكهرباء. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد مواد السلامة والأمان المناسبة لتنفيذ العمل، وأدواتها. • رصد المتطلبات؛ لاعتمادها في المشاريع المستقبلية.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• جداول مناسبة. • إجراءات الشركة. • إجراءات الدفاع المدني.
أُنفّذ	• تحليل المعلومات التي جُمِعَت. • عمل مجموعات مقارنة للألواح الشمسية. • قياس القيم الكهربائية الخاصة بالألواح الشمسية. • رصد الاختلافات بين الألواح الشمسية. • توثيق إجراءات السلامة المختلفة.	• مجموعات عمل.	• لوحات شمسية مختلفة. • قرطاسية؛ للتسجيل.
أتحقَّق	• ملاءمة تجهيزات الأمان لطبيعة المشاريع. • الاستخدام الصحيح لأجهزة الحماية والأمان، ومعداتها.	• مجموعات عمل.	• جدولة المتطلبات، وتعليمات السلامة.

أُوثِّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِز على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم	• المقارنة بين الأجهزة والمعدات المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تقديم الخبراء التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

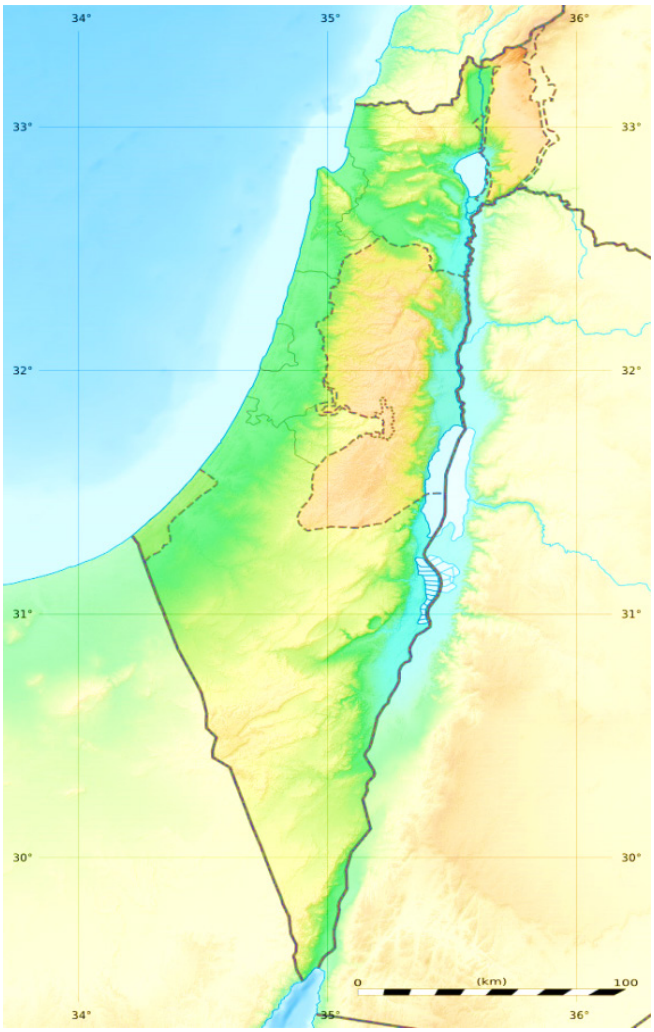
- أناقش: تثبت الألواح الشمسية تثبيتاً مائلاً.
- هل يمكن للخلايا الشمسية العمل في الظلّ؟

نشاط: أجمع صوراً مختلفة لأنظمة طاقة مختلفة في فلسطين.

تقييم المصدر الشمسي:

تختلف كمية الطاقة الشمسية الواصلة للأرض تبعاً لاختلاف المكان على سطح الكرة الأرضية وَفق دوائر العرض والغيوم، لذلك نلاحظ أنّ بعض المناطق تكون حارّة ومشمسة، وبعضها الآخر تكون باردة وغائمة؛ لذلك يختلف إنتاج الخلية الشمسية من مكان لآخر، فاللّوح الشمسي الذي يُنتج (2kWh) يومياً في فلسطين قد لا يُنتج أكثر من (1kWh) في بلاد أوروبا الشمالية، الشكل (1): خريطة توضيحية.

ولمعرفة كمية الطاقة التي يمكن للألواح الشمسية إنتاجها؛ نحن بحاجة لمعرفة كمية الطاقة الواردة من الشمس في المكان موضع الدراسة، كما علينا معرفة ميل الألواح واتجاهها. وفي الجدول (1) الآتي يمكن أن نجد **متوسط** كمية الطاقة الواردة على الأرض بالكيلوواط. ساعة في **اليوم الواحد**، ولكلّ شهر، على المتر المربّع الأفقي، ويرمز لهذه القيمة بالرمز (H).



الشكل (1): صورة توضيحية لخريطة فلسطين ودوائر العرض

الجدول (1): كمية الوارد الشمسي بالكيلوواط. ساعة للمتر المربّع في اليوم في مدن فلسطينية

المصدر	Meteonorm 97	NASSA	NASSA	NASSA	جامعة النجاح	NASSA	NASSA
المدينة	القدس(31.7°)	رام الله(31.9°)	الخليل(31.5°)	غزة(31.5°)	نابلس(32.2°)	الخالصة (33.2°)	إم الرشراش(29.5°)
وحدة القياس	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day
كانون الثاني	3.1	2.96	3.08	3.08	2.73	2.55	3.97
شباط	3.61	4.5	3.9	4.04	3.64	3.61	4.96
أذار	4.94	4.95	5.29	5.29	5.12	5.1	6.32
نيسان	6.23	6.69	6.58	6.58	6.25	6.37	7.33
آيار	7.45	7.27	7.5	7.5	7.56	7.48	7.87
حزيران	8.57	8.45	8.07	8.07	8.23	8.43	8.33
تموز	8.48	7.8	7.9	7.9	8.18	8	8.23
آب	7.61	6.9	7.23	7.23	7.55	7.42	7.58
أيلول	6.73	6.27	6.22	6.22	6.57	6.63	6.73
تشرين الأول	5.39	4.35	4.67	4.67	4.73	4.81	5.48
تشرين الثاني	3.9	3.5	3.5	3.5	3.27	3.63	4.3
كانون الأول	2.94	2.75	2.87	2.87	3.01	2.35	3.77
المتوسط	**5.75**	**5.53**	**5.57**	**5.58**	**5.57**	**5.44**	**6.24**

من الجدول السابق، نستنتج أنّ:

1. هناك مصادر مختلفة لمعرفة كمية الطاقة الواردة على الأرض.
2. هناك تباين قليل جداً لكمية الطاقة الواردة بين المدن الفلسطينية المختلفة.
3. بيان كمية الطاقة الواردة على 1 متر مربّع أفقي من الأرض.
4. شهر كانون الثاني يُعَدّ أقلّ الأشهر استقبالاً للطاقة الشمسية، وشهر حَزيران أكثرها.

تجدر ملاحظة بأنّ الجدول السابق يزوّدنا بالطاقة الواقعة على السطح الأفقي، إلّا أنّنا لا نركّب الألواح الشمسية أفقياً؛ من أجل تحسين الإنتاج، ولمنع تراكم الأوساخ على الألواح، وتسهيل تنظيفها، لكن بتغيير ميل الألواح الشمسية فإنّ كمية الطاقة الملتقطة لكلّ متر مربّع ستختلف زيادة أو نقصاناً؛ لذلك نلجأ إلى جداول معاملات التصحيح وَفق موقع المحطة الشمسية، ودائرة العرض.

في الجدولين (2) و(3) الآتيين يمكن التعرف إلى معاملات ميل الألواح الشمسية، التي يُرمز لها بالرمز (k)، وكما هو مبيّن فإنّ لكلّ خطّ عرض جدولاً مختلفاً؛ ما يعني أنّ تأثير درجة الميل تختلف من بلد لآخر، كما أنّها تختلف باختلاف الأشهر. وفي حالة فلسطين، فإنّ صغر المِساحة الجغرافية تجعل التباين في خطوط العرض طفيفاً للغاية، وأهمّ خطَّي عرض هما (Latitude) 31° و 32°، على الرغم من أنّ فلسطين تمتدّ من خطّ عرض (Latitude) 29° و 33°:

الجدول (2): معاملات تصحيح الإشعاع عند دائرة عرض 31º

الميل	كانون ثاني	شباط	أذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.06	1.05	1.03	1.02	1.01	1	1.01	1.02	1.04	1.06	1.07	1.07
10	1.11	1.09	1.06	1.03	1.01	1	1.01	1.03	1.07	1.11	1.13	1.13
15	1.15	1.12	1.08	1.03	1	0.99	1	1.04	1.09	1.15	1.19	1.18
20	1.19	1.15	1.09	1.03	0.99	0.97	0.99	1.04	1.11	1.19	1.24	1.23
25	1.22	1.17	1.1	1.02	0.97	0.94	0.97	1.03	1.12	1.21	1.28	1.27
30	1.25	1.18	1.09	1.01	0.94	0.91	0.94	1.01	1.12	1.23	1.31	1.3
35	1.26	1.18	1.09	0.98	0.9	0.88	0.9	0.99	1.11	1.24	1.33	1.33
40	1.27	1.18	1.07	0.95	0.86	0.83	0.86	0.96	1.1	1.25	1.35	1.34
45	1.27	1.17	1.05	0.92	0.82	0.78	0.82	0.92	1.07	1.24	1.35	1.35
50	1.26	1.15	1.02	0.87	0.77	0.73	0.77	0.88	1.04	1.23	1.35	1.35
55	1.25	1.13	0.98	0.83	0.71	0.67	0.71	0.83	1.01	1.2	1.34	1.34
60	1.22	1.1	0.94	0.77	0.65	0.6	0.65	0.77	0.96	1.17	1.32	1.32
65	1.19	1.06	0.89	0.71	0.58	0.54	0.59	0.71	0.91	1.13	1.29	1.29
70	1.16	1.01	0.83	0.65	0.51	0.46	0.52	0.65	0.86	1.09	1.25	1.26
75	1.11	0.96	0.77	0.58	0.44	0.39	0.44	0.58	0.79	1.04	1.2	1.21
80	1.06	0.91	0.71	0.51	0.36	0.31	0.37	0.51	0.73	0.98	1.15	1.17
85	1	0.84	0.64	0.44	0.28	0.23	0.29	0.43	0.66	0.91	1.09	1.11
90	0.94	0.78	0.57	0.36	0.2	0.16	0.21	0.35	0.58	0.84	1.02	1.05

الجدول (3): معاملات تصحيح الإشعاع عند دائرة عرض 32º

الميل	كانون ثاني	شباط	أذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.06	1.05	1.03	1.02	1.01	1	1.01	1.02	1.04	1.06	1.07	1.07
10	1.11	1.09	1.06	1.03	1.01	1	1.01	1.04	1.07	1.11	1.14	1.13
15	1.16	1.12	1.08	1.04	1	0.99	1	1.04	1.1	1.16	1.19	1.19
20	1.2	1.15	1.1	1.04	0.99	0.97	0.99	1.04	1.11	1.19	1.24	1.24
25	1.23	1.17	1.1	1.03	0.97	0.95	0.97	1.03	1.12	1.22	1.29	1.28
30	1.26	1.19	1.1	1.01	0.95	0.92	0.95	1.02	1.13	1.24	1.32	1.31
35	1.27	1.19	1.09	0.99	0.91	0.88	0.91	1	1.12	1.26	1.34	1.34
40	1.28	1.19	1.08	0.96	0.87	0.84	0.87	0.97	1.11	1.26	1.36	1.35
45	1.28	1.18	1.06	0.93	0.83	0.79	0.83	0.93	1.09	1.26	1.37	1.36
50	1.28	1.17	1.03	0.88	0.78	0.74	0.78	0.89	1.06	1.24	1.37	1.36
55	1.26	1.14	0.99	0.84	0.72	0.68	0.72	0.84	1.02	1.22	1.36	1.35
60	1.24	1.11	0.95	0.78	0.66	0.62	0.66	0.79	0.98	1.19	1.34	1.34
65	1.21	1.07	0.9	0.73	0.6	0.55	0.59	0.73	0.93	1.15	1.31	1.31
70	1.17	1.03	0.85	0.66	0.53	0.48	0.53	0.66	0.87	1.11	1.27	1.28
75	1.13	0.98	0.79	0.6	0.45	0.4	0.46	0.6	0.81	1.06	1.23	1.24
80	1.08	0.92	0.73	0.53	0.38	0.33	0.38	0.52	0.75	1	1.18	1.19
85	1.02	0.86	0.66	0.45	0.3	0.25	0.31	0.45	0.67	0.93	1.12	1.13
90	0.96	0.79	0.59	0.38	0.23	0.17	0.22	0.37	0.6	0.86	1.05	1.07

والمعادلة الآتية توضّح كمية الطاقة الواردة على السطح المائل وَفق درجة الميل:

$$P.S.H = H \times K$$

مثال: أجد كمية الطاقة الواردة على لوح شمسي، مِساحتها 2م^2 في مدينة القدس خلال شهر حَزيران، إذا كان ميل اللّوح الشمسي 30 درجة، ثمّ أجد كمية الطاقة التي ينتجها اللّوح الشمسي لو كانت كفاءته 16.5%.

الحلّ: في مدينة القدس، ووَفق معلومات الجدول (1) السابق، فإنّ متوسط الوارد اليومي على المتر المربّع الواحد في شهر حَزيران = 8.57 كيلوواط. ساعة/م^2، ولأن مِساحة اللّوح 2 متر^2 = 8.57 × 2 = 17.14 كيلواط. ساعة، هذه كمية الطاقة الواردة على اللّوح الشمسي عند تركيبها أفقياً، لكنّ اللّوح الشمسي مثبت على درجة ميل 30°، وبالرجوع إلى الجدول (2): جدول خط عرض (latitude) 31°، نجد أنّ (k = 0.91)؛ ما يعني أنّ ميل اللّوح الشمسي سيقلّل إنتاجها بواقع 9% في هذا الشهر.

- كمية الطاقة الواردة على اللّوح في اليوم الواحد:

$$P.S.H = H \times K$$

$$P.S.H = 17.14 \times 0.91 = 15.6\ kWh/m^2.day$$

- كمية الطاقة الواردة في شهر حَزيران 30 يوماً = 15.6 × 30 = 468 كيلوواط. ساعة

وهذه كمية كهرباء كبيرة جداً، وهي كمية واصلة إلى اللّوح الشمسي، وليست الكمية الناتجة. ولتحديد كمية الطاقة الناتجة؛ يجب تحديد كفاءة اللّوح الشمسي.

$$\text{إذا كانت كفاءة اللّوح الشمسي} = 16.5\% \times \frac{16.5}{100} = 0.165$$

- كمية إنتاج اللّوح الشمسي = كمية الطاقة الواردة × كفاءة اللّوح

إنتاج اللّوح الشمسي = 468 × 0.165 = 77.22 كيلوواط. ساعة خلال شهر حَزيران.

في ضوء المثال السابق، أجيب عن الآتي:

1. أحسب كمية الطاقة الواردة في شهر تمّوز على ألواح محطة شمسية مِساحتها 32 متراً مربّعاً في مدينة الخليل إذا كان ميل الألواح الشمسية 25 درجة.
2. ما كمية الطاقة المُنتَجة من الألواح إذا كانت كفاءتها 18%؟

نشاط عملي (1): أحضر لوحاً شمسياً، وباستخدام أجهزة قياس مناسبة (بوصلة، ومقياس ميلان، ...) أُجري القياسات المناسبة، وأملأ الجداول الآتية؛ لدراسة تأثير زاوية ميل اللّوح الشمسي على كمية الإنتاج، وأناقشها مع زملائي:

الزاوية (درجة)	الجهد (VOC) (V)	التيار ((ISC) (A)	القدرة النظرية "W" (التيار × الجهد)
0			
10			
20			
30			
40			
50			
75			
90			

نشاط عملي (2): أحضر لوحاً شمسياً، وباستخدام أجهزة قياس مناسبة (بوصلة، ...) أُجري القياسات المناسبة، وأملأ الجدول الآتي؛ لدراسة تأثير زاوية التوجيه مع الجنوب شرقاً ثمّ غرباً على كمية الإنتاج للّوح الشمسي عند درجة ميل ثابتة 25 درجة له، وأناقش النتائج مع زملائي:

* ملاحظة: الجهود المقيسة هنا يكون التيار عندها مساوياً للصفر، والتيارات المقيسة يكون الجهد عندها صفراً؛ لأنّه لا يمكن قياس جهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة المغلقة في اللّحظة نفسها، علماً أنّ القدرة التي نحصل عليها هي القدرة النظرية، وليس القدرة التي يعمل عندها اللّوح الشمسي.

الزاوية (درجة)	الجهد (VOC) (V)	التيار ((ISC (A)	القدرة النظرية "W" (التيار × الجهد)
+90			
+70			
+50			
+25			
0 (الجنوب)			
-20			
-50			
-70			
-90			

أرسم كلّاً من المنحنيات الآتية:

1. زاوية الميل مع التيار.
2. زاوية الميل مع الفولتية.
3. زاوية الميل مع القدرة.

أسئلة الدرس:

1. لماذا نوجّه الألواح الشمسية في فلسطين نحو الجنوب؟
2. هل تعديل زاوية ميل اللّوح يزيد من كمية الطاقة الساقطة على اللّوح الشمسي دائماً؟
3. أوضّح كيفية إيجاد أفضل توجيه للوح شمسي في يوم ما من أيام السنة.
4. إذا وضعنا مقاومة على طرفي اللوح الشمسي، فما معنى قيم الجهد والتيار والقدرة الناتجة؟

الموقف التعّليمي التعلّمي الرابع: المفاضلة بين أنواع الأنظمة الشمسية

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون بنى بيتاً على الطرف الخارجي للشبكة الكهربائية من فني الطاقة الشمسية تقييم أيّ المحطات الشمسية تناسبه بشكل أفضل.

العمل الكامل:

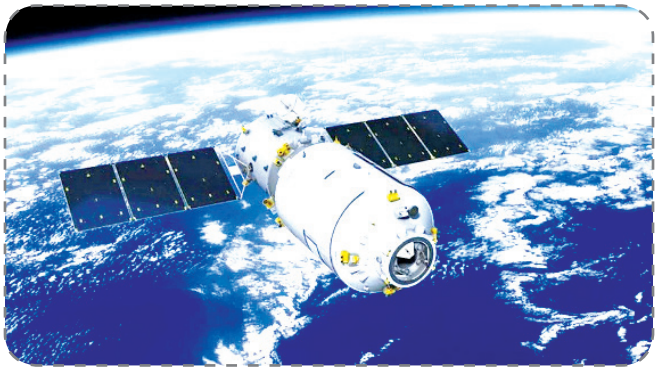
خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	أجمع بيانات عن: • أنظمة الطاقة المرتبطة بالشبكة. • أنظمة الطاقة المنفصلة عن الشبكة. • مولّدات الطاقة التقليدية التي تعمل بالديزل. • الأحمال المرتبطة، وكيفية حسابها.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• الكتابي (وصف المهمة، وكتاب رسمي). • متطلبات شركات الكهرباء. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد مواد السلامة والأمان المناسبة لتنفيذ العمل، وأدواتها. • رصد المتطلبات؛ لاعتمادها في المشاريع المستقبلية.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• جداول مناسبة • إجراءات الشركة • إجراءات الدفاع المدني
أُنفّذ	• تحليل المعلومات التي جُمِعَت. • عمل مجموعات مقارنة للألواح الشمسية. • قياس القيم الكهربائية الخاصة بالألواح الشمسية. • رصد الاختلافات بين الألواح الشمسية. • توثيق إجراءات السلامة المختلفة.	• مجموعات عمل.	• لوحات شمسية مختلفة. • قرطاسية؛ للتسجيل.
أتحقَّق	• ملاءمة تجهيزات الأمان لطبيعة المشاريع. • الاستخدام الصحيح لأجهزة الحماية والأمان، ومعداتها.	• مجموعات عمل.	• جدولة المتطلبات، وتعليمات السلامة.

أُوثِّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِز على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض LCD • دفتر التدريب العملي.
أُقوم	• المقارنة بين الأجهزة والمعدات المختلفة بين جميع مجموعات العمل • تقديم الخبراء التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

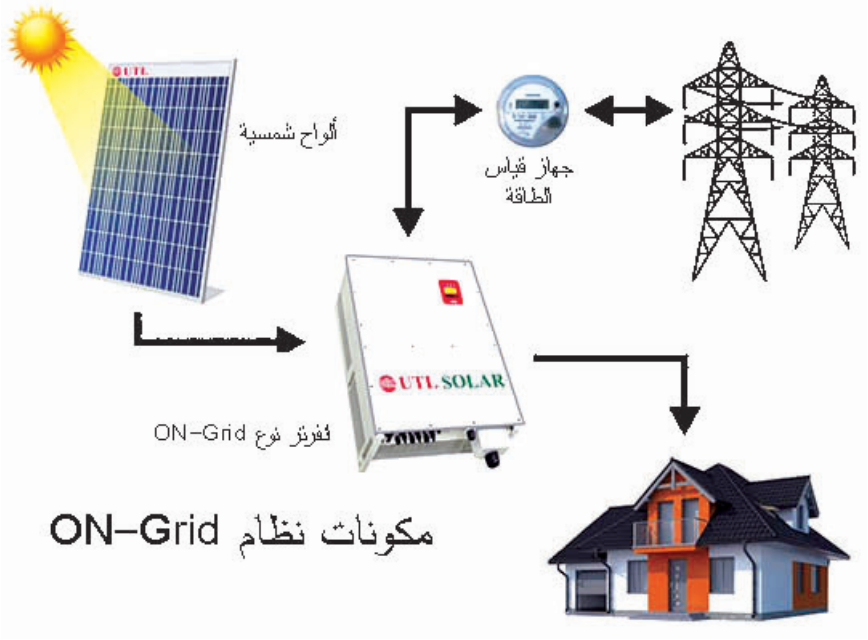
- أناقش: كيف يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية لتزويد المناطق النائية بالكهرباء؟
- أناقش: هل السيارات الكهربائية يمكن أن تعمل على الطاقة الشمسية؟

نشاط: أبحث عن استخدام الألواح الشمسية في المركبات الفضائية.



الأنظمة المرتبطة مع الشبكة (ON Grid PV Systems):

هي عبارة عن الأنظمة الشمسية التي تُربَط مع شبكة الكهرباء العامّة؛ إذ إنّها لا تحتاج إلى وسيلة تخزين للطاقة الكهربائية (بطاريات)؛ أي عند زيادة كمية إنتاج الطاقة الكهربائية من النظام الشمسي عن الكمية المطلوبة للأحمال، كما في فصل الصيف، إذ تُضَخّ الطاقة الفائضة في شبكة الكهرباء المحلية، الشكل (1). وفي حالة عجز النظام الشمسي عن تغطية كامل الحمل المطلوب كما هو في فصل الشتاء، تُستهلَك الكمية المطلوبة من الشبكة المحلية والنظام الشمسي.



الشكل (1): مخطط لنظام متصل بالشبكة

وتُعَدّ الأنظمة الشمسية المرتبطة مع شبكة التوزيع الكهربائية هي الأنظمة الأكثر استخداماً والأوسع انتشاراً في المناطق القريبة على شبكة الكهرباء، كما أنّها تتميّز عن الأنظمة المعزولة في سهولة إنشائها، وقلّة مكونات النظام، بالإضافة إلى انخفاض تكلفة إنشائها مقارنة بالأنظمة المنفصلة عن الشبكة، ويبيّن الشكل الآتي المكونات الأساسية لنظام توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية المرتبط بالشبكة، وهي:

مكونات النظام المرتبط بالشبكة:

يتكوّن النظام المرتبط بالشبكة من العناصر الآتية:

1. الألواح الشمسية: تعمل على توليد الطاقة اللازمة وَفق إجمالي قدرة الألواح الشمسية.
2. الإنفيرتر الكهربائي: يُستخدَم لتحويل الجهد المستمر (DC) الخارج من الألواح الشمسية إلى جهد متناوب .(AC)
3. عدّاد طاقة الكهربائية يُركّب وَفق نظام الاحتساب مع شبكة الكهرباء.
4. الحامل المعدني، والتوصيلات، والحمايات، وكوابل التوصيل، ونظام التأريض.

ميزات النظام المتصل بشبكة الكهرباء:

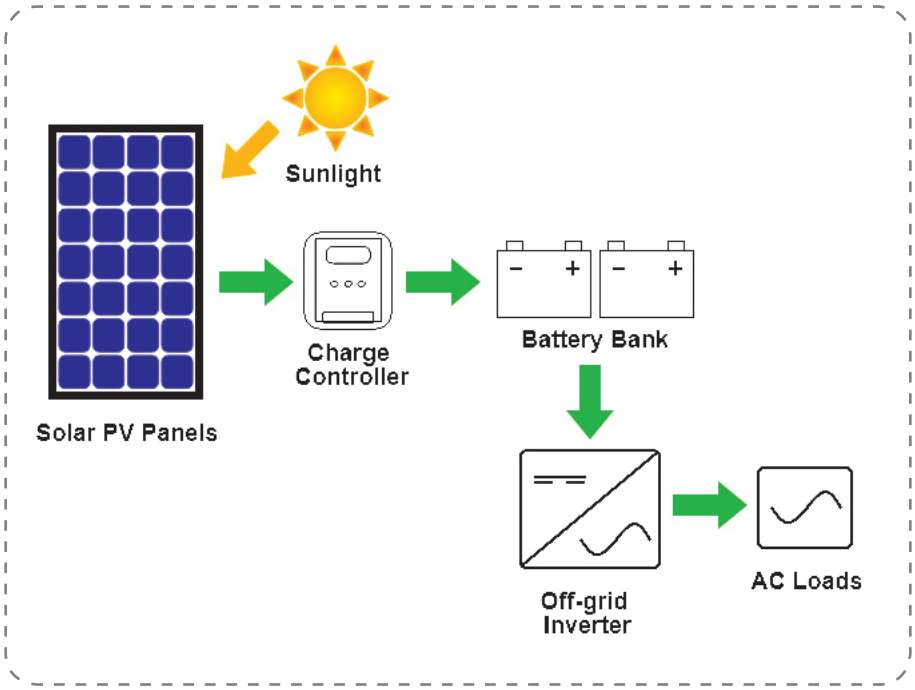
- لها عائد جيّد على الاستثمار، حيث يتمّ التعاقد مع صاحب المحطة على شراء الطاقة التي تولّدها الألواح لمدد طويلة تصل إلى 20 عاماً، ذلك على عكس أيّ مشروع استثماري آخر يخضع تسويقه لتقلّبات السوق.
- لا يوجد بطاريات ذات العمر الافتراضي القليل نسبياً، وهذا يقلّل من تكاليف المحطّة والمصاريف التشغيلية بالمقارنة مع المحطات المنفصلة عن الشبكة أو الهجينة.

عيوب الاستثمار في المحطات المتصلة:

- يُفصَل الإنفيرتر المربوط بالشبكة تلقائياً عند انقطاع التيار، ويولّد هذا النظام الطاقة فقط عند توفّر تيار الشبكة، وفي حالة انقطاعه يصبح النظام متوقفاً ولا يوفّر أيّ مصدر احتياطي للطاقة.
- تقلّ إنتاجية الألواح مع مرور الوقت بنسبة محدّدة في العام تقدر بِـ 0.8%، وهذا يقلّل عوائد المحطة مع مرور الوقت.
- التطوّر السريع في تكنولوجيا الخلايا تضع المستثمر الحالي في وضع منافسة ضعيف مع المستثمر المستقبلي بعد سنوات معدودة، إلا إذا تغيرت القوانين المعمول بها.

الأنظمة المنفصلة عن الشبكة (OFF Grid PV Systems):

هي محطات شمسية منفصلة عن شبكة الكهرباء، وهي محطات مستقلة ومكتفية ذاتياً اكتفاء كاملاً، وتغطّي 100% من احتياجات الطاقة طوال اليوم، ويُستخدَم هذا النوع من محطات الطاقة الشمسية في المناطق البعيدة عن شبكة الكهرباء الحكومية، وفي التطبيقات التي تعتمد على المولدات الكهربية التي تعمل بالديزل، وكنتيجة لارتفاع سعر الديزل وعملية نقله لمكان المولد، بالإضافة إلى سعر المولد نفسه، والصيانات المستمرة، والأعطال التي تتعرّض لها المولدات، فإنّ المحطات المنفصلة عن الشبكة تُعَدّ حلّاً اقتصادياً للتغلب على مشاكل مولدات الكهرباء التي تعمل بالديزل، والشكل (2) الآتي يوضّح مخطط مكونات النظام المنفصل عن الشبكة:



الشكل (2): مخطط لمحطة شمسية منفصلة عن الشبكة

مكونات المحطة المنفصلة عن الشبكة:

1. الألواح الشمسية.
2. منظّم الشحن.
3. البطاريات.
4. الإنفيرتر.
5. القواطع الكهربائية، والهيكل المعدني، وكوابل التيار المستمر والمتردد، والتأريض (Grounding).

ميزات النظام الشمسي المنفصل عن شبكة الكهرباء:

- يقدم الحل للمناطق التي لا تصلها خدمات الشبكة الكهربائية.
- أقل تكلفة مادية بالمقارنة مع تشغيل مولدات الديزل أو البنزين.
- يحقق الاكتفاء الذاتي والاستقلالية في مجال الطاقة.

عيوب المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة:

- التكلفة العالية مقارنة مع النظام الشمسي المتصل بالشبكة، حيث يحتاج لبطاريات.
- يحتوي على مكونات أكثر مثل منظّم الشحن.
- يحتاج لمهارة عالية في التصميم، والتنفيذ، والصيانة.

نشاط عملي: تنتشر في فلسطين كشّافات تعمل بالطاقة الشمسية مثل الشكل الآتي، أحضر أحدها، وأفكّكه، وأعرف مدى تشابهه بأنظمة الطاقة الشمسية المنفصلة عن الشبكة.

أسئلة الدرس:

1. ما الأنظمة الشمسية المرتبطة بالشبكة؟
2. أوضّح من خلال الرسم أجزاء النظام الشمسي المنفصل عن الشبكة.
3. متى نلجأ إلى استخدام الأنظمة الشمسية المنفصلة عن الشبكة؟
4. أوضّح ميزات الأنظمة الشمسية المتصلة بالشبكة.

أسئلة الوحدة:

■ **السؤال الأول: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:**

1. أيّ المكونات الآتية لنظام شمسي غير مرتبط مع شبكة الكهرباء المحلية؟
   أ- الألواح الشمسية. ب- الإنفيرتر. ج- منظّم الشحن. د- الأسلاك.
2. في المدن التي تقع في النصف الشمالي من الكرة الأرضية مثل فلسطين، إلى أيّ جهة توجّه الألواح؟
   أ- الشمال. ب- الجنوب. ج- الشرق. د- الغرب.
3. ما العلاقة بين التيار الناتج من اللّوح الشمسي وشدة الإشعاع الواصل إلى سطح الخلية؟
   أ- عكسية. ب- غير خطية. ج- طردية. د- لوغريتمية.

■ **السؤال الثاني: أذكر أهمّ أربع طبقات مستخدمة في تغليف مكونات اللّوح الشمسي.**

■ **السؤال الثالث: أذكر ثلاث تكنولوجيات مستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية.**

■ **السؤال الرابع: لوح شمسي قدرته الاسمية (575wp)، إذا علمت أنّ أبعاده هي (طول = 2.41م عرض = 1.13م)، وكمية الإشعاع الشمسي الذي قيسَ على سطحه هي (1000 واط / متر مربّع)، أحسب كفاءته (η).**

■ **السؤال الخامس: أقارن -على شكل جدول- ميزة ومأخذاً واحداً بين الأنظمة الشمسية المتصلة والمنفصلة عن الشبكة:**

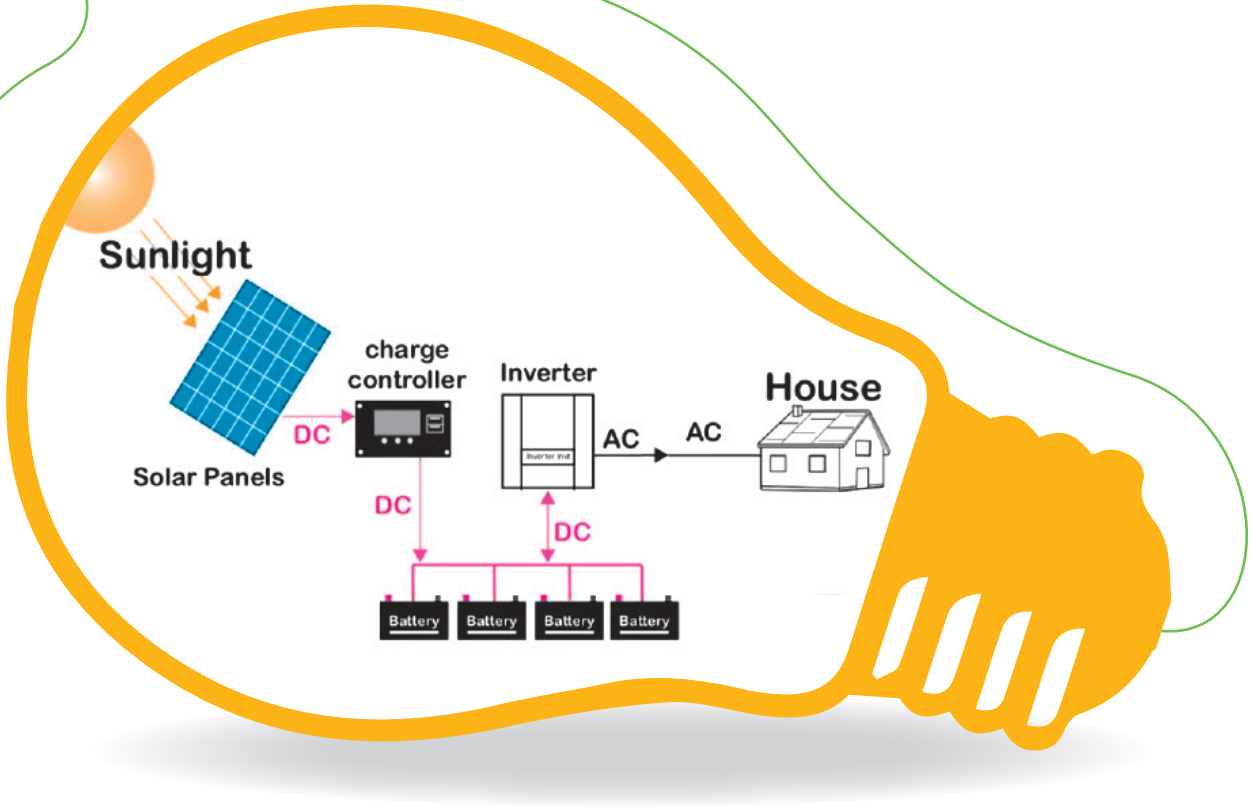
نوع النظام	ميزة	مأخذ
النظام المتصل بالشبكة		
النظام المنفصل عن الشبكة		

2

الوَحدة النمطية الثانية

المحطات الشمسية المنفصلة عن شبكة الكهرباء المحلية

(Off Grid Photovoltaic Systems)



«يزداد انتشار المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة في المناطق النائية بعيداً عن شبكة الكهرباء».

بعد دراسة هذه الوَحدة، والتفاعل مع أنشطتها، يُتوقّع من الطلبة أن يكونوا قادرين على التّعرّف إلى الأنظمة الشمسية المنفصلة عن الشبكة من خلال الآتي:

1. التّعرّف إلى آليات حساب الأحمال؛ لتصميم الأنظمة المنفصلة عن الشبكة.
2. التعرف إلى آلية تحديد شهر التصميم المناسب.
3. تصميم بنك البطاريات وَفق كمية الأحمال.
4. دراسة التأثير على حالات شحن البطارية.
5. تصميم الألواح الشمسية، وتحديد قدرة المحطّة.
6. التعرف إلى آلية اختيار الإنفيرتر، والحمايات، ومنظّم الشحن.
7. تركيب محطّة طاقة منفصلة عن الشبكة بجهد 12 فولت.
8. تركيب محطّة طاقة منفصلة عن الشبكة بجهد 24 فولت.
9. تركيب محطّة طاقة منفصلة عن الشبكة بجهد 48 فولت.

الكفايات المُتوقّع أن يمتلكها الطلبة بعد الانتهاء من دراسة هذه الوَحدة هي:

أولاً- الكفايات الاحترافية:

1. حساب الأحمال؛ لتصميم الأنظمة المنفصلة عن الشبكة.
2. تحديد شهر التصميم المناسب.
3. تصميم بنك البطاريات وَفق كمية الأحمال.
4. دراسة التأثير على حالات شحن البطارية.
5. تصميم الألواح الشمسية، وتحديد قدرة المحطّة.
6. اختيار الإنفيرتر، والحمايات، ومنظّم الشحن.
7. تركيب محطّة طاقة منفصلة عن الشبكة بجهد 12 فولت.
8. تركيب محطّة طاقة منفصلة عن الشبكة بجهد 24 فولت.
9. تركيب محطّة طاقة منفصلة عن الشبكة بجهد 48 فولت.

ثانياً- الكفايات الاجتماعية والشخصية:

1. المصداقية.
2. تلبية حاجات الزبون والحفاظ على خصوصيته.
3. المبادرة في الاتصال بالأشخاص ذوي الخبرة.
4. التأمل الذاتي.
5. احترام الرأي والرأي الآخر.
6. تحمّل النقد.
7. الثقة بالنفس.

ثالثاً- الكفايات المنهجية:

1. تحفيز الرغبة الاستكشافية.
2. المقدرة على البحث
3. التعلم التعاوني.
4. بناء خطّة العمل.
5. معرفة المصطلحات الإنجليزية الخاصة بالمهنة.

قواعد الأمن والسلامة المهنية:

1. الالتزام بالملابس الخاصة بالتدريب العملي.
2. عدم لمس الأجهزة الموجودة في المشغل إلّا بتوجيهات من مشرف المشغل.
3. عدم تشغيل أيّ من التجارب العملية التي أُنجِزت إلّا تحت إشراف مشرف المشغل.
4. التأكّد من إطفاء جميع الأجهزة بعد الانتهاء من أداء التجارب، والحصول على النتائج.
5. الحفاظ على المشغل نظيفاً طوال الوقت، وبعد الانتهاء من التجارب العملية.
6. الانتباه من خطر الصعق الكهربائي في أثناء التعامل مصادر التغذية عالية القدرة.

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون (صاحب متنزّه) من فني الطاقة الشمسية تحديد أيّ الأسطح على المتنزّه أنسب لتركيب الألواح الشمسية؛ لإنارة المتنزّه.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	أجمع بيانات عن: • مواعيد الفصول في فِلَسطين. • الأحمال الكهربائية المرتبطة بالنظام المنفصل عن الشبكة. • تأثّر الميل على قيم الإشعاع الشمسي. • ساعات الذروة الشمسية.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب الورشة الكتابي (وصف المهمة، وكتاب رسمي). • متطلبات شركات الكهرباء. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد مواد السلامة والأمان المناسبة وأدواتها؛ لتنفيذ العمل. • رصد المتطلبات؛ لاعتمادها في المشاريع المستقبلية.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• جداول مناسبة. • إجراءات الشركة. • إجراءات الدفاع المدني.
أُنفّذ	• تحليل المعلومات التي جُمِعَت. • عمل مجموعات مقارنة للألواح الشمسية. • قياس القيم الكهربائية الخاصة بالألواح الشمسية. • رصد الاختلافات بين الألواح الشمسية. • توثيق إجراءات السلامة المختلفة.	• مجموعات عمل.	• ألواح شمسية مختلفة. • قرطاسية؛ للتسجيل.
أتحقَّق من	• ملاءمة تجهيزات الأمان لطبيعة المشاريع. • الاستخدام الصحيح لأجهزة الحماية والأمان، ومعداتها.	• مجموعات عمل.	• جدولة المتطلبات، وتعليمات السلامة.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِز على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الأجهزة والمعدات المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تقديم الخبراء التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- أناقش: ما أكثر الأجهزة الكهربائية المنزلية استهلاكاً للطاقة؟
- أناقش: هل تعمل أنظمة الطاقة الشمسية في الشتاء؟

نشاط: أجمع معلومات عن استهلاك الطاقة للأجهزة المنزلية في بيتك.

الأحمال الكهربائية:

تقسم عملية التصميم للأنظمة الشمسية إلى ثلاث مراحل أساسية (مدخلات ← عمليات ← مخرجات)، وتشكّل الأحمال الكهربائية أهمّ مدخلات عملية تصميم المحطات الشمسية المفصولة عن الشبكة؛ حيث إنّ المحطّة تُبنى لتغذية هذا الحمل في الظروف كافة، وتُحسَب الأحمال من خلال معرفة قدرة الأجهزة، ومدة تشغيلها بما يتوافق مع حاجة المستهلك.

ونظراً لتفاوت قيم قدرة الأجهزة ومدة تشغيلها من مستهلك لآخر، لذلك تصمَّم المحطّة، بحيث تكون مخرجاتها من الطاقة كافية، وللحصول على كمية استهلاك المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة، يمكن اعتماد أحد تقنيات تقدير الأحمال الآتية:

1. **متوسط الاستهلاك في السنين أو الشهور السابقة:** ويمكن معرفة هذه القيم بناءً على قراءة العدّادات، أو الفواتير، أو الفواتير العائدة لمنشآت مماثلة.
2. **مواصفة القدرة المكتوبة على كلّ جهاز:** بحيث تُحدَّد قدرة كلّ جهاز، وعدد الساعات الاستعمال المتوقّعة.
3. **اتّباع قيم الاستهلاك النمطية:** وذلك في حالة التصميم لأحمال غير قائمة، أو غير محدّدة؛ إذ يجب تزويد المصمّم بالأجهزة التي يجب توفّرها بالعادة في المنازل أو المنشآت التي تطلب المحطات الشمسية بكثرة، وفترة تشغيلها، فيكون قادراً على توقّع حجم الأحمال توقّعاً قريباً جداً للواقع.

مثال (1): منزل يقع في منطقة نائية بعيد عن شبكة الكهرباء المحلية، يحتوي على الأجهزة المذكورة في الجدول (1) أدناه مع أوقات تشغيل كلّ جهاز، أحسب كمية الطاقة التي يجب توفيرها للمنزل يومياً؛ بفرض انتظام الاستهلاك:

الجدول (1): جدول أحمال الأجهزة وفترة تشغيلها لأحد المنازل

#	الجهاز	القدرة (W)	عدد الأجهزة	ساعات التشغيل اليومية	الطاقة المستهلكة
-1	وحدة إنارة غرف	20	10	1	200
-2	وحدة إنارة صالة	40	2	2	160
-3	تلفاز	60	1	5	300
-4	غسّالة	275	1	1.2	330
-5	ثلّاجة	60	1	10	600
-6	ماكينة حلاقة	50	1	0.2	10
-7	شاحن محمول	6	1	1	6
	الطاقة المستهلكة يومياً (واط. ساعة)				1606
	الطاقة المستهلكة يومياً (كيلوواط. ساعة) (E)				1.606

اختيار شهر التصميم (أسوأ شهر):

أول خطوة لعملية تصميم المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة هي تحديد ما يأتي:

1. معدل الاستهلاك اليومي لكلّ شهر وَفق الأحمال، ويُرمَز له بالرمز (E).
2. معدل الإشعاع الشمسي اليومي لكلّ شهر، ويُرمَز له بالرمز (H).

يكون اعتماد شهر التصميم في المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة عند أسوأ ظروف تشغيلية للمحطّة؛ أي وَفق (الشهر الأسوأ)، بحيث نضمن في التصميم القدرة على تلبية الاحتياجات الكهربائية في أسوأ الظروف الممكنة، فإذا تمّت تلبية الأحمال في ذلك الشهر، فتلبيتها بالأشهر الأخرى ستكون مضمونة.

مفهوم الشهر الأسوأ: هو الشهر الذي تكون فيه نتيجة قسمة الوارد الشمسي الأفقي اليومي على كمية الاستهلاك اليومي $(\frac{H}{E})$ أقلّ ما يمكن، حيث إذا تمّ تلبية الاحتياجات في هذا الشهر فسيتمّ بالتأكيد تلبيتها في بقية الأشهر.

في حال كانت الأحمال منتظمة على مدار أشهر العام، فإنّ الشهر الأسوأ هو الذي تكون فيه قيم الإشعاع الشمسي في حدّها الأدنى، وذلك يتوافق مع شهر ديسمبر في فِلَسطين.

مثال (2): معمل طوب يتواجد في مكان معزول عن الشبكة في محافظة الخليل، واستهلاكه من الطاقة كان وَفق ما هو مبيّن في الجدول (2) أدناه، أحدّد ما أسوأ شهر لغاية تصميم محطّة شمسية مفصولة عن الشبكة:

الجدول (2): الاستهلاك الشهري للمعمل

الشهر	الاستهلاك (kWh)	الشهر	الاستهلاك (kWh)
كانون الثاني	430	تمّوز	2200
شباط	450	آب	1800
آذار	650	أيلول	2000
نيسان	2000	تشرين الأول	1350
أيار	2200	تشرين الثاني	650
حَزيران	2100	كانون الأول	470

الحلّ: أُعيد بناء الجدول أعلاه، وأحدّد معدل الاستهلاك اليومي لكلّ شهر (E)، ثمّ أقسّمه على معدل الإنتاج اليومي لكلّ شهر (H)، ومن الجدول أعلاه أجد أنّ أقلّ قيمة تحصل في شهر أيلول عند قيمة 0.0933 هو أسوأ شهر لغايات التصميم:

الشهر	الاستهلاك الشهري (kWh)	الاستهلاك اليومي(E) (kWh)	الطاقة الواردة (H) kWh/m².Day	$(\frac{H}{E})$
كانون الثاني	430	13.9	3.08	0.2220
شباط	450	16.1	3.9	0.2427
آذار	650	21.0	5.29	0.2523
نيسان	2000	66.7	6.58	0.0987
أيار	2200	71.0	7.5	0.1057
حَزيران	2100	70.0	8.07	0.1153
تمّوز	2200	71.0	7.9	0.1113
آب	1800	58.1	7.23	0.1245
أيلول	2000	66.7	6.22	0.0933

تشرين الأول	1350	43.5	4.67	0.1072
تشرين الثاني	650	21.7	3.5	0.1615
كانون الأول	470	15.2	2.87	0.1893

إذن فإنّ شهر التصميم المناسب لتصميم محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة لهذا المعمل هو شهر أيلول، وعليه في التصميم يُعتمَد حمل شهر أيلول (E=66.7 kWh).

تأثير الميل والتوجيه على (PSH):

قبل دراسة تأثير الميل على إنتاج الألواح الشمسية، لا بدّ من معرفة مصطلح ساعات الذروة الشمسية (PSH) (Peak Sun Hours)، هي عدد الساعات التي لو كانت فيها شدّة الإشعاع الشمسي تساوي ($1000w/m^2$)، فإنّ اللّوح الشمسي تستقبل خلالها كمية من الطاقة مساوية لعدد هذه الساعات خلال النهار؛ أي إذا كانت كمية الطاقة الواردة في يوم من شهر شباط 3.5 كيلوواط. ساعة في مدينة الخليل، فإنّ عدد ساعات الذروة في ذلك اليوم هو 3.5 ساعات، والعكس صحيح.

وتجدر الإشارة إلى أنّ الألواح الشمسية لا تُركَّب أفقياً لعدّة أسباب، كما في الشكل (1) أدناه:

1. إنتاج اللّوحات الأفقية في الغالب يكون أقلّ من إنتاجها فيما لو كانت مائلة.
2. اللّوحات الأفقية تتعرض لتراكم كبير للأوساخ، والمياه.
3. تنظيف الألواح الشمسية الأفقية أمر أصعب؛ بسبب عدم انزلاق الماء عن اللّوحات تلقائياً.

الشكل (1): توضيح لمبدأ ميل الألواح الشمسية

لذلك فإنّ المصمّم سيسعى ضمن الممكن لأن يركّب اللّوحات بميلان مناسب، بحيث تكون كمية الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الألواح أعلى ما يمكن في فترة التصميم (الشهر الأسوأ)، عموماً، فإنّ الجدول (3) الآتي يبيّن درجات الميل التي تؤدي لأفضل إنتاج وَفق الحالة:

الجدول (3): اختيار ميل اللّوحات وَفق فترة التصميم

فترة التصميم	ميل اللّوحات β
كانون الأول (شتاءً)	φ + (10 - 15)
حَزيران (صيفاً)	φ - (20)
على مدار السنة	φ - (5 - 10)
حيث إنّ: φ هي درجة خط العرض للمكان	

تكون أغلب المنشآت التي تعمل باستقلالية عن الشبكة من القطاع المنزلي، حيث إنّ أسوأ شهر للتصميم في فِلَسطين هو شهر ديسمبر. وتبعاً للجدول أعلاه، علينا أن نثبّت الألواح الشمسية على درجة ميل أعلى من درجة خطّ العرض بـ (10-15) درجة، الشكل (2)، فمثلاً: جنين تقع قرب خطّ العرض 32، فالميل المثالي لمحطّة شمسية معزولة عن الشبكة هو ما بين (42-47) درجة.

فيما لو كان الغرض هو إنتاج أكبر كمية من الكهرباء على مدار العام بغض النظر عن توزيعه، كما في حالة المحطات المتصلة بالشبكة، ووَفق الجدول السابق فإنّنا سنثبّت اللّوحات على 10-5 درجات أقلّ من درجة خطّ العرض، وفي فِلَسطين يصبح الميل المثالي هو 27-22 درجة، علماً أنّ هناك عوامل أخرى تؤثّر على تحديد أفضل درجة لميل الألواح الشمسية، وهي:

- الموقع وَفق خطّ العرض.
- الحالات الجوية.
- درجة الانحراف عن الجنوب.

ونستنتج من كلّ ما سبق أنّ الألواح الشمسية ستكون على ميل β بالنسبة للسطح الأفقي، وعليه فإنّ قيمة الطاقة المكافئة الواردة على اللّوحات لا بدّ من تعديلها باستخدام المعامل (K) الموجود في الجداول، وعادة ما يتسبّب هذا المعامل في تحسين الإنتاج:

$$P.S.H = H \times K$$

أسئلة الدرس:

1. ما المقصود بكلّ من الآتي:
   - شهر التصميم الأسوأ؟
   - ساعات الذروة الشمسية؟
2. لماذا لا نثبّت الألواح الشمسية أفقياً؟
3. أوضّح كيفية حساب أفضل زاوية للألواح الشمسية في الأنظمة المنفصلة عن الشبكة؟
4. أجدُ الشهر الأسوأ لغايات التصميم لمعمل طوب في الخليل، إذا علمتُ أنّ متوسط استهلاكه الشهري هو (1000kWh)، وأنّ استهلاكه من الطاقة منتظم جداً على مدار العام.

الموقف التعليمي التعلّمي الثاني: تصميم البطاريات والألواح الشمسية، وحساب حجميهما

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون من فني الطاقة الشمسية تحديد كمية اللّوحات والبطاريات التي يحتاجها لتلبية أحماله في محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	• أجمع بيانات عن: • مواصفات الألواح الشمسية. • أنواع البطاريات في السوق المحلية. • تأثّر الميل على قيم الإشعاع الشمسي. • ساعات الذروة الشمسية. • طرق شحن البطاريات. • أيام الشتاء العميق في فِلَسطين. • الأحمال الكهربائية في المنازل الفِلَسطينية.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب الورشة الكتابي (وصف المهمة، وكتاب رسمي). • متطلبات شركات الكهرباء. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد مواد السلامة والأمان المناسبة وأدواتها؛ لتنفيذ العمل. • رصد المتطلبات؛ لاعتمادها في المشاريع المستقبلية.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• جداول مناسبة. • إجراءات الشركة. • إجراءات الدفاع المدني.
أُنفّذ	• تحليل المعلومات التي جُمِعَت. • عمل مجموعات مقارنة للألواح الشمسية. • قياس القيم الكهربائية الخاصة بالألواح الشمسية. • رصد الاختلافات بين الألواح الشمسية. • توثيق إجراءات السلامة المختلفة.	• مجموعات عمل.	• ألواح شمسية مختلفة. • قرطاسية؛ للتسجيل.
أتحقَّق من	• ملاءمة تجهيزات الأمان لطبيعة المشاريع. • الاستخدام الصحيح لأجهزة الحماية والأمان، ومعداتها.	• مجموعات عمل.	• جدولة المتطلبات، وتعليمات السلامة.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِز على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الأجهزة والمعدات المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تقديم الخبراء التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- هل تُعَدّ البطاريات مكوّناً مهمّاً في أنظمة الطاقة الشمسية؟
- أناقش: عملية تخزيّن كامل إنتاج مصادر الطاقة المتجددة عملية مكلفة جداً.

نشاط: أجمع معلومات عن بطارية هاتفي الخلوي، وأناقشها.

تصميم نظام التخزين (البطاريات)

تُعَدّ البطاريات الفاصل الرئيس بين المحطات الشمسية المستقلة وتلك التي تعتمد على شبكات الكهرباء؛ إذ لا معنى للحديث عن الأنظمة الشمسية المفصولة عن الشبكة دون الحديث عن مصدر التخزين الذي يقع عليه كامل الاعتماد في أوقات اللّيل، والمنخفضات الجوية.

ومع أهميتها الجوهرية إلّا أنّها تُعَدّ المكوّن الأكثر حساسية، فسعرها المرتفع، وحياتها القصيرة تجعلها سبب عزوف كثيرين عن تركيب هذا النوع من المحطات الشمسية، لدرجة أنّه لا يُستساغ استعمالها إلّا في الحالات الاضطرارية، أو شديدة الحساسية. وإنّ سوء اختيار البطارية أو حجمها أو طريقة استخدامها يؤدّي إلى عطلها بشكل أسرع من المتوقع، وبذلك يفشل النظام. من هنا تظهر الحاجة الماسّة إلى تصميم البطاريات تصميماً صحيحاً؛ لتلافي الحاجة لتغييرها قبل أوانها، أو حتى لتلافي التخلي عن النظام كله، كما في الشكل (1): بنك بطاريات لأحد المحطات الشمسية الآتي:

الشكل (1): بنك بطاريات لأحد المحطات الشمسية

لتصميم بنك البطاريات المناسب في النظام الشمسي، تُتَّبَع الخطوات الآتية:

- **الخطوة الأولى: تحديد كمية الطاقة التي نحتاجها (مجموع الأحمال):** حيث وُضِّح في الموقف السابق، وحُدِّدت هذه الكمية من الطاقة، ورمزها (E).
- **الخطوة الثانية: تحديد عدد أيام الاستقلالية (Autonomy Days):** تلبّي البطاريات الأحمال في ظروف الإشعاع الشمسي الضعيف أو المنعدم، لكن لا يمكنها فعل ذلك لأجل غير محدود، فبعد مرور مدّة من الزمن، لا بدّ للبطارية أن تنفذ إن لم يُعوَّض الفاقد منها، وهذه المدة تعتمد أساساً على حجم البطارية؛ أي سَعَتها. ومع

ازدياد حجم البطارية يزداد عمرها الافتراضي عند ثبات الحمل، وتزداد قدرتها على تلبية الأحمال لمدة زمنية أطول، لكنّ كلفتها ترتفع في الوقت نفسه.

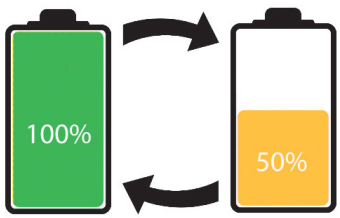
يُعرَّف عدد أيام الاستقلالية (N) بأنّه: عدد الأيام المتوالية التي نودّ للمحطّة الشمسية أن تلبّي فيها احتياجاتنا ضمن أسوأ الظروف الجوية، والتي من خلالها ينعدم الإنتاج الكهربائي، أو يكون قليلاً لدرجة يمكن إهمالها.

وفي الجدول (1) الآتي توجَد القيم المعتمدة عالمياً لعدد أيام الاستقلالية، والدارجة فِلَسطينياً كنتيجة للحاجة لخفض التكاليف، مع الأخذ بالاعتبار قلّة حدوث المنخفضات الجوية، ونشير إلى إمكانية تغيير هذه الأرقام:

الجدول (1): عدد أيام الاستقلالية

نوع المحطّة	الحدّ الأدنى لعدد أيام الاستقلالية (N)	الحدّ الأعلى لعدد أيام الاستقلالية (N)	عدد أيام الاستقلالية المعمول به فِلَسطينياً (N)
منزلي دائم	5	10	2
الاتصالات	10	حسب المصمّم	حسب المصمّم
إنارة الشوارع	5	10	2 أو 3
إشارات الطرق	10	حسب المصمّم	حسب المصمّم

- **الخطوة الثالثة: تحديد عمق تفريغ البطارية (Depth of Discharge):** يعتمد عمق التفريغ على نوع البطارية ومواصفاتها الواردة من المصنع، والتي لا يجب تجاوزها؛ حفاظاً على سلامة البطارية وعمرها التشغيلي، حيث يمثّل عمق التفريغ كمية الطاقة المسموح تفريغها من البطارية بالنسبة لسَعَة الطاقة الإجمالية من البطارية، حيث يُرمَز لعمق التفريغ بـ (DoD)، الذي تتراوح قيمته بالعادة بين 40 - 80%، بينما يعتمد غالبية المصمّمين العالميين نسبة 50%، إلّا أنّ المصمّمين في فِلَسطين يعتمدون عمق التفريغ 80%؛ لأسباب اقتصادية.



الشكل (2): صورة توضيحية لنسبة الشحن

- **الخطوة الرابعة: إيجاد معامل الكفاءة العامّ للمحطّة (R):** يُرمَز له بالرمز (R)، الذي يُحسَب وَفق المعادلة الآتية:

$$R = 1 - k_b - k_c - k_v$$

حيث إنّ:

(k_b): هو معامل الخسارة في البطارية؛ ويمثّل الجزء من الطاقة التي تخسر في عمليات الشحن والتفريغ، وفي حال عدم توفّر هذه القيمة يتمّ فرضها 0.05.

(k_c): هو معامل الخسارة في الإنفيرتر؛ ويمثّل نسبة الخسائر في الإنفيرتر، وتكتب الشركة كفاءة الإنفيرتر على النشرة الفنية، ويُحتسب هذا المعامل من خلال المعادلة الآتية: 1 - كفاءة الإنفيرتر.

(k_v): هو معامل الخسائر الأخرى الناتجة عن الأجهزة والكوابل والحمايات والوصلات، وعادةً ما يُعوَّض قيمتها بِـ 0.15، ويلاحظ أنّ هذه هي الخسائر الواقعة بين البطارية، والإنفيرتر.

- **الخطوة الخامسة: معرفة كمية الطاقة الواجب استهلاكها من البطارية:** تهدف هذه الخطوة إلى تلبية طاقة الاستهلاك (E)؛ لأنّ الطاقة المستخرجة من البطارية تتعرّض لخسائر وَفق المعامل (R)، وللتعويض عن هذه الخسائر؛ يتوجّب استخراج كمية طاقة إضافية من بنك البطاريات. ويُرمَز للطاقة الكلية (طاقة الحمل + طاقة الخسائر) بالرمز (E_b)، وتُحتسَب وَفق المعادلة الآتية:

$$E_b = \frac{E}{R}$$

- **الخطوة السادسة: تحديد حجم (سَعَة) البطارية:** يُرمَز لسَعَة البطارية بالرمز (C)، وتُحسَب بعد معرفة (E_b) عدد أيام الاستقلالية (N)، وعمق التفريغ المسموح به (DoD) وَفق المعادلة الآتية:

$$C \text{ (واط. ساعة)} = \frac{E_b \times N}{DoD}$$

مع ملاحظة أنّ النتيجة التي نحصل عليها تكون بوحدة (الواط. ساعة -Wh)، بينما المصنّعون يعرضون منتجاتهم محدّدة بوحدة (أمبير. ساعة -Ah)، ويمكن التحويل إلى وحدة الثانية بمجرد قسمة سَعَة البطارية الناتجة (Wh) على فرق جهد البطارية، فنحصل على (Ah).

* ملاحظة: المصنّعون يعرضون حجم بطارياتهم عند درجة حرارة ثابتة 20° أو 25°، أمّا في حالة اختلاف درجة الحرارة اختلافاً ملحوظاً، فيجب استخدام المنحنيات الخاصّة مرفقة مع البطارية.

مثال (1): أحسب حجم بنك البطاريات الذي أحتاجه لتغذية نظام بثّ راديو يعمل على التيار المستمر، وفرق جهده المعياري هو 12 فولت، ومتوسط الاستهلاك اليومي للجهاز هو 140 واط. ساعة، مع العلم أنّه علينا اختيار إحدى البطاريات الظاهرة في الجدول أدناه، مع مراعاة ألّا يتجاوز عمق التفريغ 60%، وعدد أيام الاستقلالية (5):

Stationary Batteries		
Type	Capacity Ah @ C100	Voltage
EAN 554	100	2
EAN 555	150	2
EAN 556	200	2
EAN 557	250	2

الحلّ:

- قيمة الحمل (E=140 Wh)
- بالفرض ($K_b = 0.05$)
- عدد أيام الاستقلالية (N=5)
- بالفرض ($K_v = 0.15$)
- عمق التفريغ (DoD=60%)
- بما أنّ الحمل (DC) فلا حاجة لوجود الإنفيرتر. (Kc = 0)

$$R = 1 - k_b - k_c - k_v$$

$$R = 1 - 0.05 - 0 - 0.15$$

$$R = 0.8$$

بعد حساب معامل الكفاءة العامّ، أجد كمية الطاقة المطلوب من البطارية تزويدها:

$$E_b = \frac{E}{R} = \frac{140}{0.8} = 175Wh$$

حالما وجدت الطاقة المطلوبة من البطارية، أجد سعة البطارية:

$$C = \frac{E_b \times N}{DoD} = \frac{175 \times 5}{0.5} = 1458.3Wh$$

وبما أنّ النظام يعمل على 12 فولت، والبطاريات مصنّفة وَفق الـ (Ah):

$$C = \frac{1458.3Wh}{12Volt} = 121.53Wh$$

تُختار أقرب بطارية من الجدول أعلاه؛ حيث أختار البطارية (EAN 555) التي سَعَتها (150Ah)، وبما أنّ كلّ بطارية تمتلك 2 فولت، ونظامي يحتاج إلى 12 فولت، فإنّني سأحتاج إلى 6 وحدات، ثمّ تُربَط على التوالي.

تصميم حقل التوليد (الألواح الشمسية):

في البند السابق تعرفتُ إلى كمية الطاقة المطلوبة من البطارية (Eb)، اللازمة لتزويد الأحمال بالطاقة (E). لكن لكي تصل كمية الطاقة (Eb) للبطاريات، عليّ أولاً أن أعوّض الفاقد الذي يحدث بين الألواح الشمسية والبطارية، مرورا بالشاحن والكوابل والحمايات والعوامل التي قد تحجب الطاقة الشمسية عن الألواح، حتى أجد كمية الطاقة المطلوب من الألواح الشمسية تزويدها (Ep).

- **أولاً- إيجاد كمية الطاقة الواردة في أسوأ شهر** وَفق ما شُرِحَ في الموقف السابق، وهي قيمة H في أسوأ شهر.
- **ثانياً- إيجاد عدد ساعات الذروة (Peak Sun Hours- PSH):** اللّوحات الكهروضوئية تتلقّى الإشعاع الشمسي من لحظة شروق الشمس إلى لحظة غروبها، وفي يوم مشمس، فإنّ شدّة الإشعاع الشمسي تتزايد من الصباح إلى فترة الظهيرة، حيث تبلغ أعلى قيم لها، ثمّ تأخذ بالتناقص حتى الغروب، فإذا جُمِعَت الطاقة التي تلقتها اللّوحة كافة خلال النهار، فإنّني أحصل على قيمة (H) بالكيلوواط. ساعة، التي تكافئ افتراض أنّ تلقّي اللّوح الشمسي للإشعاع الشمسي ثابت بقدرة ($1000W/m^2$)، لمدة تساوي عدد ساعات الذروة (P.S.H)؛ أي أنّ عدد ساعات الذروة (P.S.H) يساوي كمية الطاقة الواردة بالكيلوواط. ساعة.
- **ثالثاً- حساب خسائر الشاحن وحقل التوليد:** يمتلك منظّم شحن البطاريات (Charge Controller) كفاءة أداء، ويُعوَّض المفقود من الكفاءة من مصدر توليد الطاقة، وتكتب كفاءةَ المنظّم في نشرة البيانات الشركة الصانعة، إلّا أنّ هذه القيمة لا تتحقّق إلّا في ظروف معينة، أمّا في حال عدم وجود معلومات كافية عن الشاحن، فإنّ كفاءته تُقدَّر بـ (90%).

كما أنّ هناك خسائر أخرى تتعلّق بقدرة الألواح الشمسية التي لا يضمنها المصنعون بنسبة 100% وهامش الخطأ في التصنيف (Tolerance)، وظاهرة الـ (miss match) بين الألواح الشمسية، بالإضافة إلى الخسائر الناجمة عن الأوساخ المتراكمة على اللّوحات، وهبوط الجهد في الكوابل والحمايات بين الألواح الشمسية والبطارية التي تُقدَّر بمجملها بـ (10%)؛ أي أنّ كفاءة إنتاج الألواح الشمسية لا تتجاوز 90%.

من هنا فإنّ الطاقة التي يجب على الألواح الشمسية إنتاجها (E_p) يمكن حسابها باستخدام المعادلة الآتية:

$$E_p = \frac{E_b}{\mu_c \times \mu_s}$$

حيث إنّ:

(E_b): هي الطاقة الواجب توريدها للبطارية.

(μ_c): هي كفاءة الشاحن.

(μ_s): هي كفاءة معامل الخسائر في الألواح الشمسية وتوصيلاتها.

مثال: أحسب كمية الطاقة التي يجب على اللّوح الشمسي إنتاجها لتعويض طاقة مستهلكة من بطارية بمقدار 5 كيلوواط. ساعة، علماً أنّ كفاءة المنظّم 95%، ومجمل خسائر الطاقة الحاصلة في اللّوحات 12%.

الحلّ:

$$\mu_c = 0.95$$

$$\mu_s = 1 - 0.12 = 0.88$$

وبتطبيق العلاقة:

$$E_p = \frac{E_b}{\mu_c \times \mu_s} = \frac{5000}{0.95 \times 0.88} = 5.98\text{Wh}$$

- **رابعاً- تحديد عدد الخلايا الشمسية:** تتمّ هذه الخطوة من خلال تحديد قدرة اللّوح الشمسي (P) وَفق ظروف الـ (STC)، وتطبيق المعادلة الآتية:

$$\text{Number of panels} = \frac{E_p}{P \times (PSH)}$$

يُقرَّب الرقم الناتج إلى أكبر عدد صحيح ممكن من الألواح الشمسية، إلّا إذا كان الرقم الناتج أكبر بشكل طفيف عن الرقم الصحيح الأصغر.

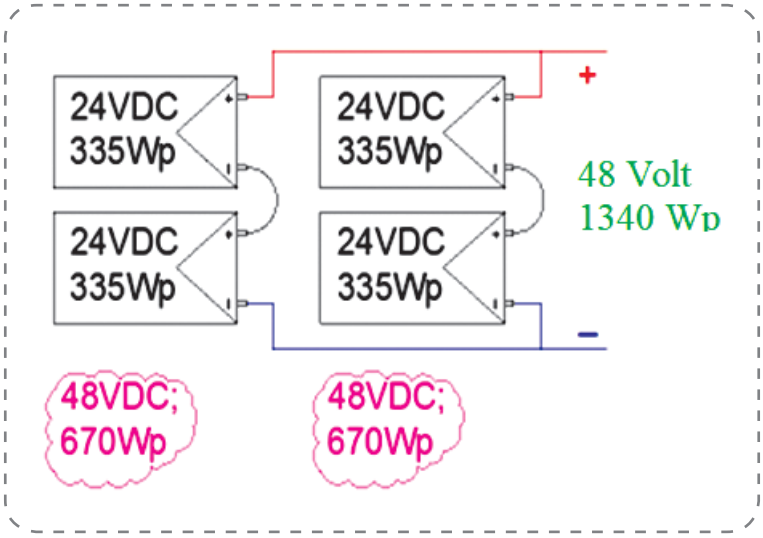
فمثلاً: إذا كنت أستعمل لوحات ذات جهد معياري 12 فولت، وكان الناتج 2.7 لوحة، فإنّني سأستخدم 3 لوحات على التوازي لنظام 12 فولت، أو 4 لوحات على شكل متواليتين بالتوازي إذا كان النظام من 24 فولت.

أمّا إذا كان ناتج المعادلة هو 2.1 لوحة، فأستكفي باستخدام لوحين فقط على التوازي في نظام 12 فولت، أو على التوالي إن كان نظام 24 فولت.

ELECTRICAL PARAMETERS

TYPE	JAM6(K)-72 -320/4BB	JAM6(K)-72 -325/4BB	JAM6(K)-72 -330/4BB	JAM6(K)-72 -335/4BB	JAM6(K)-72 -340/4BB
Rated Maximum Power at STC (W)	320	325	330	335	340
Open Circuit Voltage (Voc/V)	46.78	46.95	47.13	47.28	47.45
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	38.46	38.55	38.51	38.68	38.86
Short Circuit Current (Isc/A)	8.98	9.07	9.14	9.23	9.31
Maximum Power Current (Imp/A)	8.32	8.43	8.57	8.66	8.75
Module Efficiency [%]	16.51	16.77	17.02	17.28	17.54
Power Tolerance (W)	-0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc (αIsc)	+0.059%/℃				
Temperature Coefficient of Voc (βVoc)	-0.330%/℃				
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)	-0.410%/℃				
STC	Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25℃, Air Mass 1.5				

مثال: صُمِّمَ حقل التوليد لمحطّة شمسية منفصلة عن الشبكة لمنزل يقع في ضواحي القدس، إذا علمت أنّ شهر التصميم هو شهر كانون الأول (H=2.94 kWh)، واللّوحات مثبّتة على درجة ميل 40، وتجدر الإشارة إلى أنّ كمية طاقة بنك البطاريات (Eb=4518 wh)، وكفاءة المنظم 95%، ومجمل الخسائر للطاقة الحاصلة في اللّوحات 10%، أحسب عدد الألواح الشمسية المطلوبة، مستعيناً بنشرة البيانات الآتية في الشكل (3) الآتي:



الشكل (3): نشرة بيانات ألواح شمسية

الحلّ:

- حساب عدد ساعات الذروة:

$$H = 2.94$$

$$K = 1.35$$

$$PSH = H \times K = 2.94 \times 1.34 = 3.94$$

- حساب كمية الطاقة المطلوب من الألواح الشمسية إنتاجها:

$$E_p = \frac{E_b}{\mu_c \times \mu_s} = \frac{4518}{0.95 \times 0.9} = 5.28Wh$$

- حساب عدد اللّوحات بعد اختيار قدرة اللّوحة، ورسم مخطط التوصيل:

$$\text{Number of panels} = \frac{E_p}{P \times (PSH)} = \frac{5280}{335 \times 3.94} = 4 \text{ panel}$$

أسئلة الدرس:

1. ما المقصود بكلّ من الآتي:
   - أيام الاستقلالية.
   - عمق التفريغ (DoD)؟
2. تُقدَّر الخسائر في الخلايا الشمسية بـ (10%) لغايات التصميم، فما المبرّر لهذا التقدير؟

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب محلّ أدوات كهربائية من فنّي تركيب أنظمة طاقة متجددة تحديد قيمة أجهزة طاقة شمسية، ومواصفاتها تحصَل عليها بمزاد علني.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	• **جمع بيانات من صاحب المحل عن:** • صور الأجهزة الكهربائية. • صور ملصقات البيانات. • **جمع بيانات عن:** • أنواع الإنفيرترات والشواحن المتوفّرة في السوق الفِلَسطينية. • نشرات بيانات ودلائل التركيب، للإنفيرترات والشواحن المتوفّرة في السوق وأسعارها. • مواصفات الأجهزة الشمسية، وميزاتها، وطريقة وصلها.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب المحل الكتابي • الإنفيرترات والشواحن • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المَهمّة. • تحديد جدول تكلفة للمَهمّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أُنفّذ	• أخذ صور للأجهزة، وملصقات البيانات. • سجل كلّ المعلومات الكهربائية والميكانيكية المكتوبة على شصي الأجهزة. • البحث في الشبكة العنكبوتية عن الأجهزة باستخدام أسمائها، وموديلاتها. • دراسة مواصفات الأجهزة. • التواصل مع موردي الطاقة الشمسية؛ لمعرفة الأجهزة المتوفّرة في السوق، ومعرفة ثمنها مع الحصول عليها، ودراسة مواصفاتها. • تقدير قيمة الأجهزة المتوفّرة. • تحديد مواصفاتها، وأين يمكن استخدامها.	• مجموعات عمل.	• الشبكة العنكبوتية. • إنفيرترات شمسية مفصولة عن الشبكة. • منظّمات شحن شمسية. • أوراق مواصفات الأجهزة.

أتحقَّق من	• مواصفات الأجهزة المتوفّرة في المشغل. • مواصفات الأجهزة المتوفّرة في السوق. • أيّ الأجهزة أكثر ملاءمة لتلبية احتياجات النظام (خلايا، وبطاريات).	• مجموعات عمل.	• نتائج التجارب السابقة المدونة في جداول.
أُوثِّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تكليف الخبراء بتقديم التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

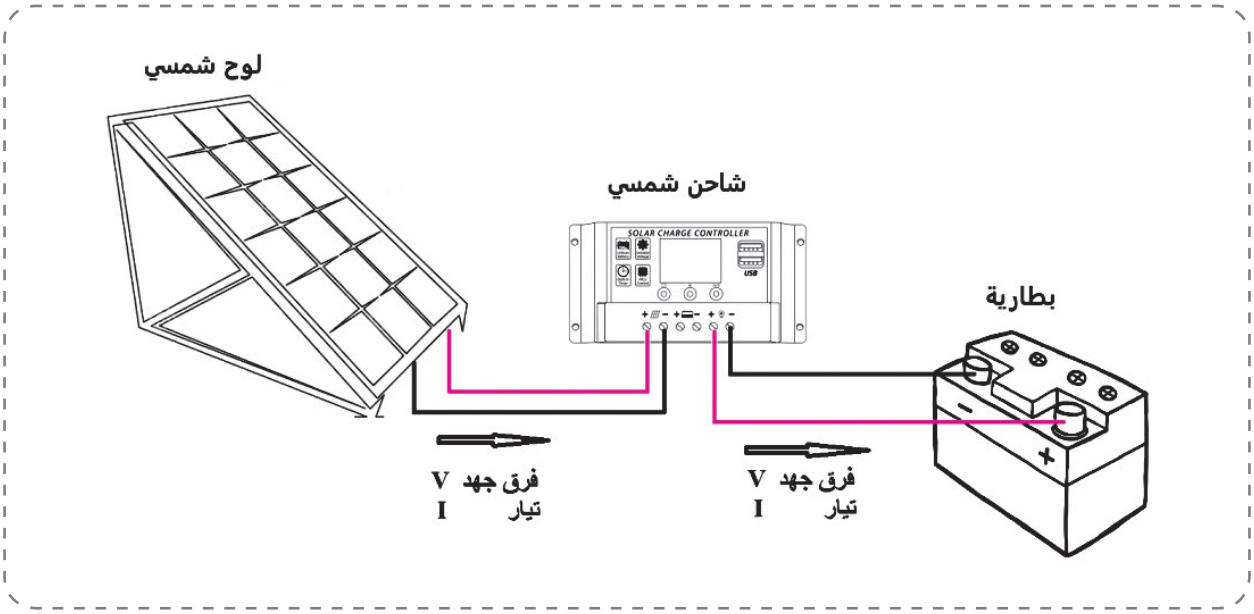
- أناقش: تحتوي بعض السيارات الحديثة على مخرج كهرباء (AC)؟
- هل يمكن شحن بطارية مباشرة بشبكها على اللّوح الشمسي؟

نشاط: أجمع معلومات عن مشروع إنارة طريق وادي النار باستخدام الخلايا الشمسية.

منظّم شحن البطاريات (Charge Controller)

في المواقف السابقة تعرفتُ إلى مواصفات الألواح الشمسية والبطاريات، وتعلمت كيفية حساب قدرة الألواح الشمسية، وسَعَة البطاريات. إلّا أنّه بقي توصيلها ببعضها بعضاً؛ للتمكّن من استخراج الطاقة استخراجاً ملائماً. وعند السعي لتوصيل اللّوحات بالبطاريات، فهناك اعتبارات تلزم لاختيارها، وترتيبها بشكل أو بآخر.

إنّ مَهمة منظّم الشحن الرئيسة هي نقل القدرة الكهربائية من الألواح الشمسية إلى البطاريات. والقدرة الكهربائية تتمثّل بتيار وفرق جهد. وعليه فقيم التيار وفرق الجهد الناتجة من اللّوح الشمسي يجب أن تتلاءم مع بنك البطاريات، كما أنّها يجب أن تتلاءم مع منظّم الشحن نفسه، كما في الشكل (1) الآتي:



الشكل (1): وصل اللّوح الشمسي إلى البطارية

وتجدر الإشارة إلى وجود عدّة مهامّ لمنظّم الشحن الشمسي، ويمكن توضيحها كما يأتي:

1. توصيل القدرة المحصّلة من الألواح الشمسية إلى البطارية ضمن مراحل الشحن المناسبة.
2. منع التيار العكسي (عودة القدرة من البطارية نحو الألواح الشمسية).

إضافة إلى بعض المواصفات التي قد تتواجد في المنظّم، مثل:

1. تنظيم عملية تزويد القدرة الثابتة للأحمال.
2. توفير حمايات إضافية ضدّ فروق الجهد والتيارات المرتفعة، وضدّ عملية قلب أقطاب فرق الجهد.

أنواع منظّمات الشحن:

يعمل منظّم الشحن على جمع الطاقة الكهربائية المنتجة من الألواح الشمسية وَفق إحدى تكنولوجيتين، وهما:

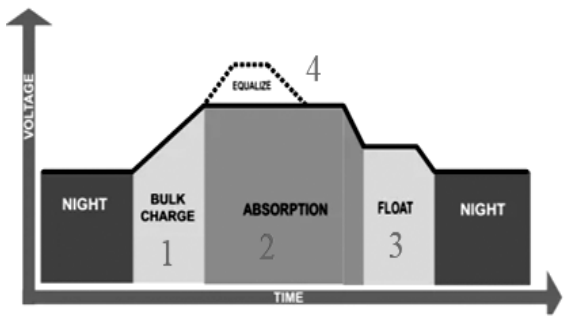
1. منظّم الشحن من نوع (Pulse-Width Modulation) (PWM).
2. منظّم الشحن من نوع (Maximum Power Point Tracking) (MPPT)

هناك أنواع أخرى من منظّمات الشحن كانت مستخدمة قديماً وهي غير مستعملة حالياً. إلّا أنّ الطريقتين السابقتين هما الأكثر توفّراً حالياً، وهما ما يحكم مبدأ عمل منظّم الشحن من جهة الألواح الشمسية؛ بهدف جمع قدرتها. وسوف تُدرَس تفاصيل عمل كلّ منها في المواقف اللاحقة. والشكل (2) يوضّح منظّم شحن من نوع PWM:

الشكل (2): منظم شحن

مراحل شحن البطاريات:

يعمل منظّم الشحن بتنظيم عملية الشحن من جهة البطاريات بما يحقّق أفضل عملية شحن لشحن البطارية، والحفاظ عليها من الشحن الزائد، وللقيام بعمليات شحن الصيانة، بصرف النظر عن نوع تكنولوجيا منظّم الشحن (MPPT, PWM)، حيث إنّ هناك أربعة مراحل للشحن تقوم بها جميع منظّمات الشحن، وستُشرَح هذه العمليات باعتماد فرق الجهد 12 فولت، ولبقية الجهود المعيارية تَضاعَف الأرقام فحسب، وهي على النحو الآتي، كما في الشكل (3) الذي يوضّح مراحل شحن البطارية:



Settings Switches 4 - 5 - 6	Battery Type	Absorp. Stage (Volts)	Float Stage (Volts)	Equalize Stage (Volts)	Absorp. Time (Minutes)	Equalize Time (Minutes)	Equalize Interval (Days)
off-off-off	1 - Gel	14.00	13.70		150		
off-off-on	2 - Sealed*	14.15	13.70	14.40	150	60	28
off-on-off	3 - Sealed*	14.30	13.70	14.60	150	60	28
off-on-on	4 - AGM/Flooded	14.40	13.70	15.10	180	120	28
on-off-off	5 - Flooded	14.60	13.50	15.30	180	120	28
on-off-on	6 - Flooded	14.70	13.50	15.40	180	180	28
on-on-off	7 - L-16	15.40	13.40	16.00	180	180	14
on-on-on	8 - Custom	Custom	Custom	Custom	Custom	Custom	Custom

* "Sealed" battery type includes gel and AGM batteries

للاطلاع فقط

الشكل (3): مراحل شحن البطارية

1 - الشحن السريع (Bulk Charge):

وفي هذه المرحلة يُضَخّ كامل القدرة الممكنة من الألواح الشمسية إلى البطاريات؛ ما يتسبّب في ارتفاع فرق جهد على أقطاب البطارية باستمرار، حتى يصل إلى قيمة محدّدة تختلف وَفق برنامج الشحن وَفق نوع البطارية (14 فولت عادة).

2 - شحن الامتصاص (Absorption Charge):

تعلمتُ سابقاً أنّ البطارية تكون ممتلئة عند فرق جهد تقريبي (13V)، وفي مرحلة الشحن السريع تُشحَن البطارية حتى مستوى (14V)، لكن هذا لا يعني أنّ البطارية قد امتلأت. وعليه، وبعد توقّف عملية شحن البطارية، فإنّ فرق جهدها سينخفض تدريجياً (خلال 15 دقيقة من راحة البطارية)، وسيستقرّ فرق الجهد عند قيم عادة ما تكون أقلّ من (13V)، ولكي نتمكن من شحن البطارية شحناً كاملاً؛ يجب تثبيت فرق جهد الـ (14V) لمدة طويلة تختلف من برنامج لآخر وفي العادة تكون 3 ساعات، وخلال هذه الساعات تكون البطارية قد شُحِنَت. وعند تركها بعد عملية الشحن، فإنّ فرق جهدها سيستقرّ عند قيمة الجهد المرجوّة، وهي في المثال (13V).

3 - شحن التعويم (Floating Charge):

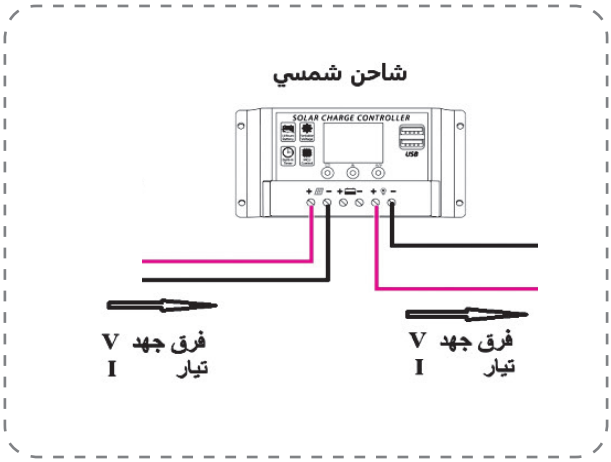
تبدأ مرحلة التعويم فور انتهاء مرحلة الامتصاص، حيث إنّ تثبيت فرق جهد عالٍ على البطارية باستمرار، سيتسبّب في التقليل من عمرها؛ بسبب استمرار التفاعلات الكيمائية والحرارة المرتفعة المصاحبة لها، لذلك يخفّف منظّم الشحن فرق الجهد عن البطارية إلى مستوى تقريبي (13.5V)؛ لتعويض الخسائر، والحفاظ على مستوى الشحن الكامل، فتصل البطارية إلى حالة شحن كامل دون الحاجة إلى تعريضها لضغط مستمرّ، وفي حال حدوث استهلاك كبير للبطارية، فإنّها ستعاود الانتقال للشحن السريع.

4 - شحن التسوية (Equalization Charge):

تبدأ هذه المرحلة فور الانتهاء من مرحلة شحن الامتصاص، وتدخل بدل شحن التعويم أو الامتصاص وَفق المنظّم المستخدم، لكنّها تحصل مرّة واحدة في الشهر؛ ما يعني أنّ هناك 27 يوم تعويم، ويوماً واحداً للتسوية، وهدف هذه المرحلة هي تسوية خلايا البطارية (Vn=2V/Cell) عند قيمة فرق الجهد نفسها من خلال تطبيق فرق جهد مرتفع جداً، لكن لمدة قصيرة؛ ساعة واحدة أو ساعتين مرّة في الشهر وَفق برنامج الشحن، وخلالها تتوحّد فروق جهد خلايا البطارية الأساسية، فتُحلَّل المترسّبات من السائل الكهروليكي في قاع البطارية، وعلى صفائح الرصاص الداخلية. وتجدر الإشارة إلى أنّ مرحلة التسوية لا تناسب بعض البطاريات مطلقاً؛ لأنّها تعطبها، كبطاريات (Gel/AGM)، وقد يُستعاض عن هذه المرحلة بمرحلة وهمية، فرق جهدها أعلى بشكل طفيف عن الامتصاص.

الخصائص الكهربائية لمنظّمات الشحن الشمسي:

يربط منظّم الشحن الألواح الشمسية ببنك البطاريات، وعليه يجب مراعاة مستويات الجهد والتيار عند مدخل منظّم الشحن، ومخرجه، والشكل (4) الآتي يوضّح مدخلات منظّم الشحن، ومخرجاته:



الشكل (4): جهود مدخل منظّم الشحن ومخرجه، وتياراته

- تيار مدخل منظّم الشحن: يجب على منظّم الشحن أن يحتمل أعلى تيار صادر من الألواح الشمسية، وهو تيار دارة القصر (Isc)، مضافاً إليه معامل أمان بنسبة 25%؛ لأنّ قيمة التيار المكتوبة في نشرة بيانات اللّوح تكون عند الظروف المعيارية، لكن في بعض الظروف قد يتجاوز الإشعاع الشمسي ($1000W/m^2$)؛ ما يتسبّب طردياً بزيادة في قيمة التيار الكهربائي الناتج.
- فرق جهد مدخل منظّم الشحن: يجب على منظّم الشحن أن يحتمل فرق جهد الألواح الشمسية الأقصى، وهو الجهد في حالة الدارة المفتوحة (Voc)، مع مراعاة تأثُّر فرق الجهد بدرجة حرارة الجوّ، فكلّما قلّت درجة الحرارة زاد فرق الجهد.
- فرق جهد مخرج منظّم الشحن: يجب على منظّم الشحن أن يكون جهد مخرجه ملائماً للجهد المعياري لبنك البطاريات (12/24/48 فولت) في جميع الحالات، بغض النظر عن نوع منظّم الشحن. وتجدر الإشارة إلى أنّ هناك شواحن بإمكانها العمل على عدّة فروق جهد معيارية، كأن يكون الشاحن قادراً على التعامل مع بطاريات (12Vn/24Vn)، أو (12Vn/24Vn/48Vn)، ويُعَرَّف الشاحن بفرق الجهد المعياري للبطاريات، أو يمكنه التعرف عليها أوتوماتيكياً.
- تيار مخرج منظّم الشحن: يجب على منظّم الشحن أن يكون قادراً على تمرير التيار الوارد من الألواح الشمسية لبنك البطاريات دون أي تلف، أو عطب لجميع المكونات.

يكون المسار الطبيعي للتيار في منظّم الشحن من اللّوحات متجهاً إلى بنك البطاريات، علماً أنّ هناك ديودات منع مسار التيار العكسي من البطاريات إلى الشاحن واللّوحات؛ لتجنّب الأعطال في النظام. وتجدر الإشارة إلى أنّ البطاريات

يمكنها تزويد تيارات عالية جداً، بغضّ النظر عن سَعَتها؛ لأنّ حدوث دارة قصر مثلاً على أقطاب بطارية يولّد تياراً مرتفعاً جداً؛ لذلك تُستخدَم حمايات إضافية للشاحن (قواطع، أو فيوزات)؛ لتجنّب التيارات المفرطة.

وللمقارنة البسيطة بين منظّمات الشحن من نوع (MPPT، PWM)، تكون المقارنة مبنيّة على قيم الجهود والتيارات على أطراف المنظّم، حيث تكون الجهود المعيارية بين اللّوحات والبطاريات متطابقة فقط في حال كون الشاحن من نوع (PWM)؛ لتجنّب الخسائر في المحطّة الشمسية، وكذلك فإنّ قيمة التيار الداخلة هي نفسها الخارجة تقريباً. أمّا في حال استخدام منظّم الشحن من نوع (MPPT)، فإنّ التيار الخارج من الشاحن قد يكون أضعاف التيار الوارد من الألواح الشمسية؛ لأنّ الشاحن قد يكون قلّل بالمقابل من قيمة فرق الجهد لعدّة مراحل، مع الحفاظ على القدرة نفسها.

نشاط عملي (1): أحضر منظّمَي شحن طاقة شمسية بتكنولوجيات مختلفة (MPPT, PWM) مع نشرة بياناتها، وأدرس القيم الموجودة في نشرة البيانات كافّة، ثمّ أفسّرها، وأناقشها مع زملائي.

الإنفيرترات المنفصلة عن الشبكة (Off-Grid Inverters)

يُعَدّ الإنفيرتر قلب النظام الشمسي المنفصل عن الشبكة، وهو الجهاز المسؤول عن تحويل قدرة البطارية الثابتة (DC) إلى قدرة متناوبة (AC) يمكنها تشغيل الأحمال المنزلية، كالتي تُزوَّد بها شركات التوزيع، علماً أنّه هناك فرق في مهامّ إنفيرترات المحطات الشمسية المتصلة والمنفصلة عن الشبكة، على الرغم من أنّه في الظاهر يقوم الجهازان بالوظيفة الأساسية نفسها، وهي التحويل من تيار ثابت إلى متناوب، حيث إنّ لكلٍّ منهما مَهامّ وطرق توصيل ومدخلات مختلفة تماماً. فالإنفيرتر المفصول عن الشبكة لا علاقة له بالألواح الشمسية أبداً، ويمكنه التواجد والعمل في أنظمة لا وجود للألواح الشمسية فيها مطلقاً، كأنظمة الـ (UPS)، بينما الإنفيرتر المتّصل بالشبكة يتّصل مباشرة بالألواح الشمسية، كما في الشكل (5) الآتي:

الشكل (5): إنفيرتر منفصل عن الشبكة

مَهمّات الإنفيرترات المنفصلة عن الشبكة:

1. تحويل القدرة الثابتة إلى متناوبة.
2. منع تفريغ البطاريات لمستويات أدنى من المسموحة.
3. تزويد المستخدم بمعلومات حول حالة شحن البطارية، وحجم الأحمال الكهربائية.

الخصائص الكهربائية للإنفيرترات المنفصلة عن الشبكة:

يوجد عديد من خصائص إنفيرترات منفصلة عن الشبكة تكون مسجّلة في لوحة البيانات الخاصّة، وسنتناول منها الآتي:

- **نوع الإشارة الكهربائية وجودتها** من حيث من الإشارة الكهربائية، فتُصنَّف الإنفيرترات المنفصلة عن الشبكة وَفق الموجة المتولّدة على المخرج إلى ثلاثة أنواع؛ وهذا يؤثّر على ثمن الإنفيرتر في بعض الأحيان، وتُصنَّف على النحو الآتي: (إنفيرترات الموجة المربّعة، وإنفيرترات الموجة شبه الجيبية، وإنفيرترات الموجة الجيبية النقية)، إلّا أنّ إنفيرترات الموجة الجيبية النقية تكون هي الأفضل؛ لقلّة التشويشات على الإشارة التي تُقاس من المؤشر (THD) الذي يجب ألّا يتجاوز الـ (5%).
- **القدرة الاسمية للإنفيرتر (Nominal Power):** حيث إنّ قدرة الإنفيرتر غالباً ما توصَف بوحدة (KVA)، وهي متعلقة بمعامل القدرة (PF)، الذي غالباً ما يكون (PF=0.8)؛ ما يعني أنّ إنفيرتر قدرته (5KVA) يمكنه تزويد بـ (4KW) فقط، إلّا أنّ هذه القدرة الظاهرية لا يمكن الاستغناء عنها؛ ليتمكّن الإنفيرتر من تشغيل الأحمال الحثية، كالمحركات.

  للإنفيرتر قدرة معيارية؛ إذ يمكنه تزويد الأحمال بها باستمرار، إلّا أنّ للإنفيرتر القدرة على تزويد الأحمال بقدرات أعلى، قد تكون أضعاف القدرة المعيارية، لكن لفترة زمنية قصيرة، وتُسمّى هذه القدرة القدرة الاندفاعية (Surge power)، وهذه الخاصية مهمّة؛ ليتمكن الإنفيرتر من التعامل مع التيارات الابتدائية للأحمال دون الحاجة للاستثمار في إنفيرترات كبيرة جداً، ومكلفة.
- **فرق الجهد المعياري على المدخل والمخرج:** ينتج الإنفيرتر فرق جهد متناوب معياري إمّا أن يكون (230V/50Hz)، كما في أغلب دول العالم، أو أن يكون (110V/60Hz)، كما في عدد محدود من الدول. إلّا أنّ فرق جهد الإنفيرتر من جهة البطاريات يجب أن يتطابق معيارياً مع فرق جهد البطاريات المعياري؛ إذ لا يمكن لإنفيرتر فرق جهده (Vn=48V) أن يتعامل مع بطاريات فرق جهدها المعياري (Vn=12V)، وهكذا.
- **كفاءة الإنفيرتر:** وهي النسبة التي تعبّر عن مقدار القدرة الناتجة من الإنفيرتر إلى القدرة المسحوبة من البطارية (الداخلة له). وتُظهر الإنفيرترات هذه القيمة عند ظروف معينة أو مثالية، وفي بالغالب أكثر من 90%، إلّا أنّ الإنفيرتر غالباً لا يعمل عند الظروف المثالية؛ ما يعني أنّ كفاءته قد تكون أقلّ بكثير بالواقع عند ظروف العمل المختلفة.
- **الحمايات المتوفّرة في الإنفيرتر، وخصائصه الميكانيكية:** تشكّل هذه الحمايات إضافات مهمّة، كوجود قواطع، وفيوزات، وحارفات جهداً مرتفعاً ضمن الجهاز، أو كوجود حماية ضدّ انقلاب قطبية فرق جهد البطارية،

أو اللّوح الشمسي، ووجود حماية ضدّ الأحمال الزائدة، أو تيارات دارة القصر، إضافة إلى المعطيات الميكانيكية، مثل حجمه، ووزنه، وأبعاده، أو حتى درجة حمايته من الماء (IP rating)، وهذه تحدّد إمكانية وضع الجهاز في الخارج، أو لزوم تركيبه في مكان محمي من الأمطار.

نشاط عملي (2): في ضوء نشرة البيانات المرفقة أدناه، أحضر إنفيرتر طاقة شمسية منفصل عن الشبكة مع نشرة البيانات، وأدرس القيم الموجودة في نشرة البيانات كافة، ثمّ أفسّرها، وأناقشها مع زملائي:

MODEL	Axpert MKS 1K-12	Axpert MKS 2K-24	Axpert MKS 3K-24	Axpert MKS 3KP-24	Axpert MKS 4K	Axpert MKS 5K	Axpert MKS II 5K	Axpert MKS 5KP
Rated Power	1000VA/ 1000W	2000VA/ 2000W	3000VA/ 3000W	3000VA/ 2400W	4000VA/ 4000W	5000VA/ 5000W	5000VA/ 5000W	5000VA/ 4000W
Parallel Capability	No	No	No	Yes, 9 units	Yes, 9 units	Yes, 9 units	Yes, 9 units	Yes, 9 units
OUTPUT								
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC ± 5%							
Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA		8000VA	10000VA		
Efficiency (Peak)	90% - 93%	93%		90%	93%	93%	90%	90%
Transfer Time	10 ms (For Personal Computers) ; 20 ms (For Home Appliances)							
Waveform	Pure sine wave							
BATTERY								
Battery Voltage	12 VDC (24VDC and 48VDC versions are also available)	24 VDC	24 VDC (48VDC version is also available)	24 VDC	48 VDC			24 VDC
Floating Charge Voltage	13.5 VDC	27 VDC	27 VDC	27 VDC	54 VDC	54 VDC Max: 58VDC (optional 64VDC, please check with sales)	54 VDC	27 VDC
Overcharge Protection	15.5 VDC	31 VDC	31 VDC	30 VDC	60 VDC	60 VDC (optional 66VDC, please check with sales)	66 VDC	30 VDC

الإنفيرترات المدمجة:

في كثير من الأحيان يضع المصنّعون منظّم الشحن والإنفيرتر في جهاز واحد (Inverter/Charger)، كما في الشكل (6) الآتي، لكن هذا لا يُلغي حقيقة أنّهما جهازان منفصلان، وإن تشاركا الإطار المعدني نفسه، لذلك يورِد المصنّعون مواصفات كلّ من الجهازين بالتفصيل، وعادة ما يُضاف لهما شاحن بطاريات من التيار المتناوب، يستطيع أخذ القدرة المتناوبة من الشبكة الكهربائية، أو مولد كهربائي، وشحن البطارية عند الحاجة:

الشكل (6): منظّم شحن وإنفيرتر في جهاز مدمج

أسئلة الدرس:

1. ما المقصود بالأجهزة المدمجة؟
2. ما وظائف الشاحن الأساسية والإختيارية؟
3. ما مهامّ إنفيرتر الطاقة الشمسية المنفصل عن الشبكة؟
4. لماذا يجب على الشاحن تحمل قيمة تيار اللوحات الشمسية منضاف إليها 25%؟
5. هل يستحسن تركيب بنك بطاريات (500Ah/48V) لحمل يستهلك (500A) من البطاريات؟ ولماذا؟
6. لماذا لا يمكن إجراء عملية شحن تسوية لبطاريات ال (Gel)؟
7. إذا كان لدينا شاحن (MPPT) ودخله تيار بقيمة 10 أمبير وفرق جهد 120 فولت، فكم قيمة التيار الذي يخرج من الشاحن إذا كان موصولا ببطارية فرق جهدها 12 فولت؟ ملاحظة إعتبر كفاءة الشاحن 100%.

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب منزل من فنّي تركيب أنظمة طاقة متجددة اختيار شاحن، وإنفيرتر ذي مواصفات عالية ومناسبة للنظام الشمسي الذي يحتاجه.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	جمع بيانات من صاحب الورشة عن: • قدرة الألواح الشمسية التي يحتاجها، وسَعَة بنك البطاريات الذي يحتاجه. • جمع بيانات عن: • أنواع الإنفيرترات والشواحن المتوفّرة في السوق الفِلَسطينية. • نشرات بيانات ودلائل التركيب، والإنفيرترات والشواحن المتوفّرة في السوق. • مواصفات الأجهزة الشمسية، وميزاتها، وطريقة وصلها.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب الورشة الكتابي (حسابات حجم النظام المطلوب، وقدرة خلايا، وسَعَة البطاريات). • دليل إرشادي بمورّدي معدات الطاقة الشمسية في فِلَسطين. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المَهمّة. • تحديد جدول تكلفة للمَهمّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أُنفّذ	• مراجعة وثائق حساب نظام شمسي يحدّد الخلايا والبطاريات. • البحث بالشبكة العنكبوتية عن ثلاث أنواع من الإنفيرترات، وثلاث أنواع من الشواحن الشمسية. • دراسة مواصفات الإنفيرتر والشاحن من نشرات البيانات. • الحصول على شواحن وإنفيرترات، ومن اسمها يُحصَل على وثائقها من الشبكة العنكبوتية. • معاينة المواصفات، ومقارنتها مع الأجهزة. • التعرّف إلى مداخل الأجهزة، وعياراتها الكهربائية، ومخارجها.	• مجموعات عمل.	• الشبكة العنكبوتية. • إنفيرترات شمسية مفصولة عن الشبكة. • منظّمات شحن شمسية. • أوراق مواصفات الأجهزة.

أتحقَّق من	• مواصفات الأجهزة المتوفّرة في المشغل. • مواصفات الأجهزة المتوفّرة في السوق. • أيّ الأجهزة أكثر ملاءمة لتلبية احتياجات النظام (خلايا، وبطاريات).	• مجموعات عمل.	• نتائج التجارب السابقة المدونة في جداول.
أُوثِّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تكليف الخبراء بتقديم التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- هل يمكن تركيب أيّ منظّم شحن لأيّ نظام طاقة شمسية ؟ ولماذا ؟
- لماذا تتعرض بعض أنظمة الطاقة الشمسية المنفصلة عن الشبكة للتلف بعد فترة من تركيبها؟

نشاط: أبحث عن بعض الأعطال في أنظمة الطاقة الشمسية المنفصلة عن الشبكة، وأُعد عرض شرائح عنها.

أتعلّم:

تعرّفتُ في المواقف السابقة إلى كيفية حساب حجم بنك البطاريات، وحجم حقل توليد الطاقة الشمسية، وفي هذه المرحلة سأتطرّق إلى اختيار البطاريات واللّوحات التي تحقّق هذه القيم، ثمّ العمل على توصيلها معاً بطريقة ملائمة باستخدام منظّمات الشحن والإنفيرترات المناسبة؛ لتكوين محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة، ومتكاملة. وتجدر الإشارة إلى أنّ عملية اختيار البطاريات وتوصيلها تحتمل أكثر من سيناريو؛ نظراً لتعدّد البطاريات المتوفّرة في السوق، لذلك يمكن التصميم، ثمّ إعادة فحص النتائج.

تصميم المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة:

تصميم بنك البطاريات:

- تحديد حجم بنك البطاريات (W_h) بناءً على الحمل.
- اختيار فرق الجهد المعياري (V_n)؛ لتحديد سَعَة بنك البطاريات (A_h).
- اختيار البطاريات التي تحقّق السَّعَة، وتحافظ على فرق الجهد المعياري.
- تعديل فرق الجهد المعياري إن لزم الأمر، أو تعديل نوع البطارية عند الحاجة.

ويوضّح الجدول (1) الآتي مفهوم فرق الجهد المعياري لبنك البطاريات:

الجدول (1): تقديم مقاربة لمعنى فرق الجهد المعياري في البطاريات

فرق الجهد المعياري	فرق جهد البطارية فارغة	فرق جهد البطارية ممتلئة	فرق جهد البطارية شحن امتصاص	فرق جهد البطارية شحن تسوية
12V	8-10V	12.7-13V	14-14.5V	15-16V
24V	16-20V	25.4-26V	28-29V	30-32V
48V	32-40V	50.8-52V	56-58V	60-64V

للاطلاع فقط

تصميم حقل التوليد (الألواح الشمسية):

- تحديد حجم الألواح الشمسية (W_p) بناءً على حجم بنك البطاريات.
- اختيار فرق الجهد المعياري (V_n) إن كان الشاحن (PWM).
- اختيار ألواح شمسية تحقّق القدرة المطلوبة للمحطّة الشمسية.
- تعديل فرق الجهد المعياري، أو تعديل اللّوح الشمسي المختار إن لزم الأمران.

تُصنَّف الألواح الشمسية بناءً على الجهد المعياري إلى (12 / 24 / 48)، علماً أنّ هذا التصنيف يكون مبنياً على عدد الخلايا المكوِّنة للّوحة الشمسية، حيث إنّ الألواح شمسية المكوّنة 36 خلية، فرق جهدها المعياري 12 فولت، والألواح الشمسية المكوّنة 72 خلية، فرق جهدها المعياري 24 فولت، حيث إنّ هذه اللّوحات هي الأكثر شيوعاً واستخداماً في المحطات الاستثمارية، علماً أنّ هناك ألواح شمسية فروق جهدها لا تناسب أيّ فرق جهد معياري؛ فإمّا أنّ فرق جهدها أقلّ من المطلوب، أو أكثر بكثير من المطلوب، كما في الجدول (2) الآتي؛ للتوضيح:

الجدول (2): تصنيف الجهود المعيارية ومواءمتها مع فروق جهد اللّوحات

فرق الجهد المعياري	فرق جهد البطارية	فرق جهد اللّوحة (Vmp)	فرق جهد اللّوحة (Voc)
12V	10-16V	17-19V	21-24V
24V	20-32V	34-38V	42-48V
48V	40-64V	68-76V	84-96V

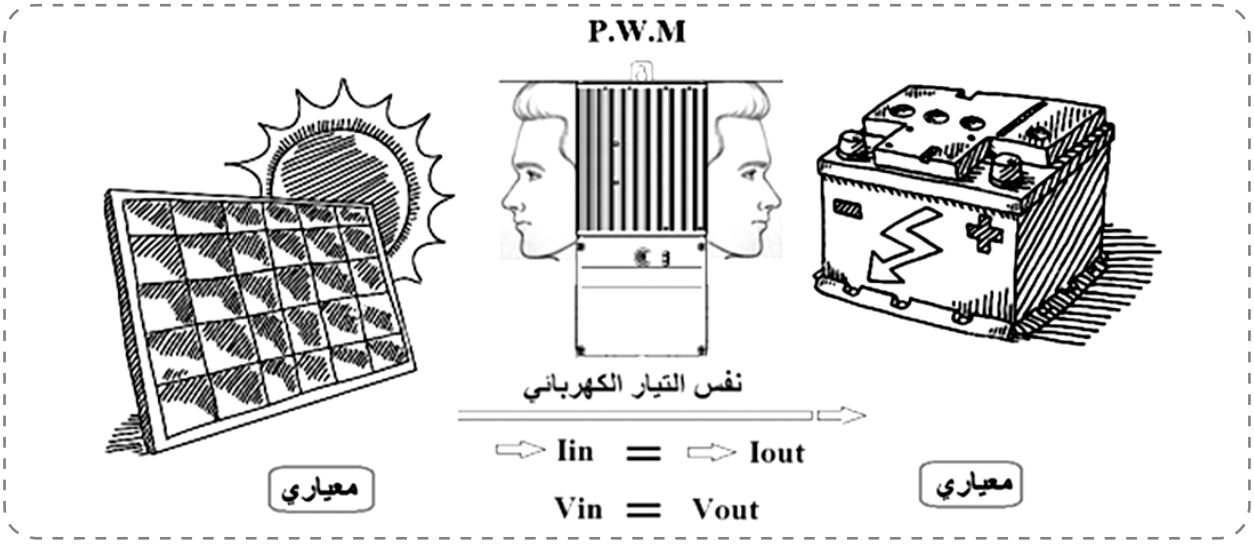
للاطلاع فقط

تصميم منظّم الشحن:

بعد تحديد عدد الألواح الشمسية وفرق جهدها المعياري، وحجم بنك البطاريات وفرق جهده المعياري، إذا كان فرق الجهد المعياري للّوحات والبطاريات متساوياً، فيمكن وضع منظّم شحن (MPPT أو PWM)، أمّا إذا كان فرق الجهد المعياري مختلفاً، فيجب استخدام منظّم شحن من نوع (MPPT)، وكما ذكرنا سابقاً، فإنّ مواصفات منظّم الشحن متعلقة بقيم التيار وفرق الجهد من جهة الألواح الشمسية، ومن جهة البطاريات.

تصميم منظّم الشحن من نوع (PWM):

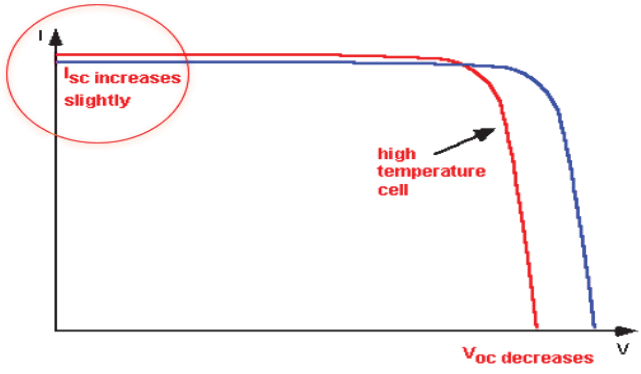
يكون التصميم بالنسبة لمنظّم الشحن باختيار منظّم شحن يتحمّل التيارات عبر المدخل والمخرج عند الظروف كافة، إضافة إلى معامل أمان، وكذلك فرق الجهد بالنسبة للمنظّم من مدخله؛ أي طرف الألواح الشمسية، ومخرجه طرف البطاريات، والشكل (1) الآتي يوضّح اعتبارات تصميم منظّم الشحن من نوع (PWM):



الشكل (1): منظّم الشحن (PWM)

1. **حساب التيار عند مدخل المنظّم (بين اللّوحات والمنظّم):** يتمّ في هذه المرحلة احتساب قيمة تيار دارة القصر لكل إسترينج (أو لوحة)، مع إضافة معامل أمان بنسبة 25%، وبعدها جمع تيار كلّ الإسترنجات:

* ملاحظة: يرتفع تيار اللّوحات مع درجة الحرارة ارتفاعاً طفيفاً، لكن تُهمَل هذه الزيادة؛ بسبب هوامش الأمان، كما في الشكل (2) الآتي:



الشكل (2): تأثير الحرارة على الألواح الشمسية

مثال: أحسب قيمة التيار عند مدخل منظّم الشحن، إذا علمتُ أنّه يتغذّى من 9 ألواح شمسية مجموعة في 3 إسترنجات، وكان (I_{sc} = 13.2A/325Wp) لكلّ لوحة.

الحلّ: كلّ ثلاثة لوحات مجموعة على التوالي؛ ما يعني أنّ تيار اللّوحات الثلاث في كل إسترينج هو تيار أيّ لوحة منفردة نفسه (I_{sc} = 13.2A)، ونطبّق القانون:

$$I_{in} = I_{sc} \times 1.25 \times \text{number of strings}$$

$$I_{in} = 13.2 \times 1.25 \times 3 = 49.5A$$

ما يعني أنّ على الشاحن والقواطع والحمايات تحمّل 50A.

2. **حساب الجهد عند مدخل المنظّم (بين اللّوحات والمنظّم):** يجب أن يكون فرق جهد الشاحن واللّوحات معيارياً وبالقيمة المعيارية نفسها؛ وهذا لا يعني أنّ فرق الجهد سيكون متطابقاً، لكن يجب أن يكون في المجال المعياري نفسه؛ لأنّ أيّة زيادة في فرق جهد الألواح الشمسية سيتسبّب بخسائر إضافية في النظام، وبالتالي فعلى الشاحن ذي فرق جهد معياري محدّد تحمّل أعلى فرق جهد يمكن للّوحة الشمسية إنتاجه (في أقلّ درجة حرارة ممكنة):

$$V_{max(Input)} \geq Voc_{(Lowest\ temp)}$$

3. **حساب التيار عند مخرج المنظّم (بين المنظّم والبطاريات):** يكون التيار الداخل للشاحن هو ذاته الخارج منه في منظّمات الشحن من نوع (PWM):

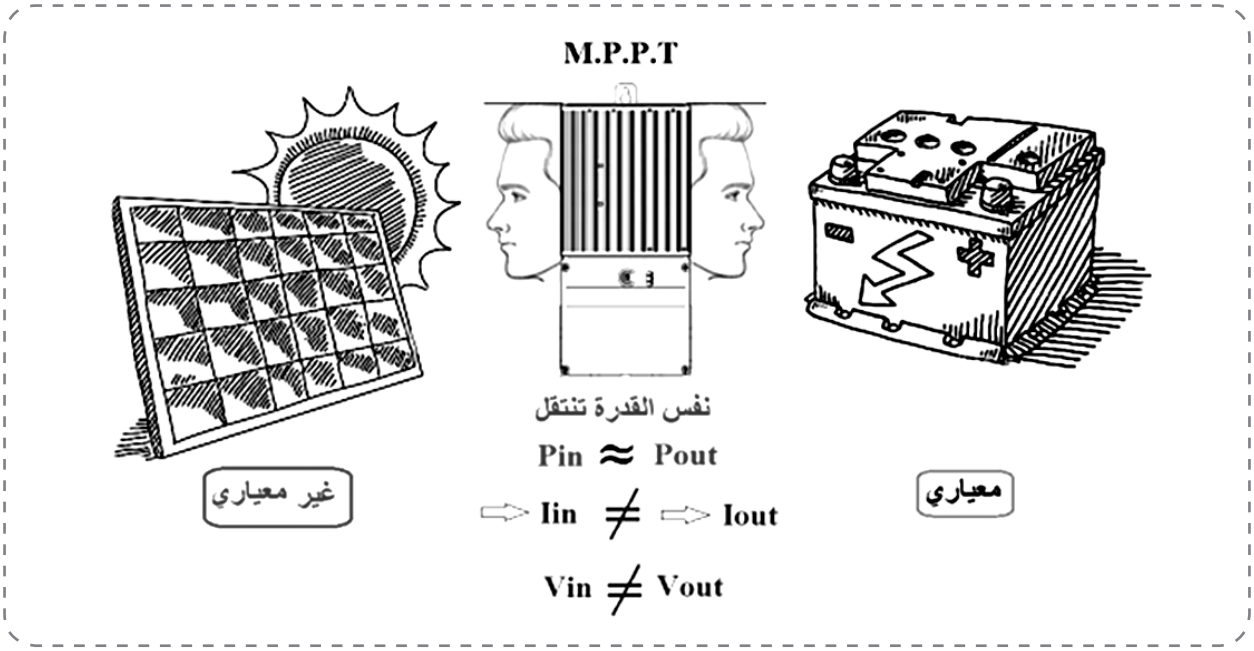
$$I_{out} = I_{in}$$

4. **حساب الجهد عند مخرج المنظّم (بين المنظّم والبطاريات):** يكون الجهد المعياري لمدخل الشاحن هو ذاته للمخرج في منظّمات الشحن من نوع (PWM).

$$V_{out} \approx V_{in}$$

تصميم منظّم الشحن من نوع (MPPT):

يكون التصميم بالنسبة لمنظّم الشحن باختيار منظّم شحن يتحمّل التيارات عبر المدخل والمخرج عند الظروف كافة، إضافة إلى معامل أمان، وكذلك فرق الجهد بالنسبة للمنظّم من مدخله؛ أي طرف الألواح الشمسية، ومخرجه طرف البطاريات، والشكل (3) الآتي يوضّح اعتبارات تصميم منظّم الشحن من نوع (MPPT):



الشكل (3): منظّم الشحن من نوع (MPPT)

1. **حساب التيار عند مدخل المنظّم (بين اللّوحات والمنظّم):** يتمّ في هذه المرحلة احتساب قيمة تيار دارة القصر لكلّ إسترينج (أو لوحة)، مع إضافة معامل أمان بنسبة 25%، وبعدها جمع تيار كلّ الإسترنجات:

$$I_{in}\ (\text{تيارمدخل}) = I_{sc} \times 1.25 \times \text{number of strings}$$

2. **حساب الجهد عند مدخل المنظّم (بين اللّوحات والمنظّم):** عند استخدام منظّم شحن من نوع (MPPT)، فإنّ فرق جهد الشاحن واللّوحات لا يُشترَط أن يكون معيارياً وبالقيمة المعيارية نفسها، وأيّ فرق في الجهد بين اللّوحات والبطاريات سيُعوَّض من خلال زيادة التيار الكهربائي الصادر من الشاحن، لكن يجب مراعاة الأمور الآتية:
   - فرق جهد اللّوحات (Voc) يجب ألّا يتجاوز فرق جهد الشاحن الأقصى عند أبرد درجات حرارة.
   - على فرق جهد اللّوحات أن يكون دائماً أعلى من فرق جهد البطاريات، وإلّا لن يسير التيار:

$$V_{max(Input)} \geq Voc_{(Lowest\ temp)}$$

3. **حساب التيار عند مخرج المنظّم (بين المنظّم والبطاريات):** في منظّمات الشحن من نوع (MPPT)، يكون التيار الداخل للشاحن ليس الخارج نفسه، حيث ينقل المنظّم القدرة على فروق جهد مختلفة؛ ما ينتج عنه تيارات مختلفة، علماً أنّ القدرة الخارجة ليست مساوية تماماً للقدرة الداخلة؛ بسبب الخسائر في القدرة؛ نتيجة كفاءة الشاحن، والمعادلة الآتية تمثّل قيمة التيار الخارج من منظّم الشحن، علماً أنّه لا داعي لتطبيق معامل أمان 25% على المخرج؛ لأنّه عند اشتداد أشعة الشمس يرتفع التيار، لكنّ القدرة لا ترتفع بالقدر ذاته؛ لأنّ فرق الجهد في الوضع الطبيعي سينخفض؛ نتيجة الحرارة:

$$I_{out} = \frac{Ppanels \times \eta\ charger}{V_{n(Batterty)}}$$

مثال: أحسب قيمة التيار الصادر من منظّم شحن شمسي، إذا علمتُ أنّه يتغذى من 9 ألواح شمسية مجموعة في 3 إسترنجات، وكان (I_{sc} = 13.2A/325Wp) لكلّ لوحة، وكان الشاحن من نوع (MPPT)، وكفاءته (η = 98%)، إذا كان فرق الجهد المعياري المختار على النحو الآتي:

1. فرق جهد البطارية المعياري ($12V_n$).
2. فرق جهد البطارية المعياري ($24V_n$).
3. فرق جهد البطارية المعياري ($48V_n$).

الحلّ:

قدرة اللّوحات الكلية تساوي مجموع قدرات جميع اللّوحات؛ أي أنّ:

$$P_{panels} = 9 \times P_{panel}$$

$$P_{panels} = 9 \times 325 = 2925W_p$$

أ - عند الجهد المعياري (12V):

$$I_{out} = \frac{Ppanels \times \eta\ charger}{V_{n(Batterty)}}$$

$$I_{out} = \frac{2925 \times 0.98}{12} = 238.9\ A$$

وهذه قيمة تيار مرتفعة جداً، وتكون مُكلفة فنياً واقتصادياً في محطّة شمسية بهذا الحجم.

ب - عند الجهد المعياري (24V):

$$I_{out} = \frac{2925 \times 0.98}{24} = 119.4\ A$$

وهذه قيمة تيار مرتفعة نسبياً، ويجب تبريرها لمحطّة شمسية بهذا الحجم.

ج - عند الجهد المعياري (48V):

$$I_{out} = \frac{2925 \times 0.98}{48} = 59.4\ A$$

وهذه قيمة تيار معتدلة معقولة التنفيذ على الصعيدين الفني، والمالي، وهذا هو التصميم السليم لمحطّة بهذا الحجم.

مثال: شاحن (MPPT) موصول بين لوح شمسي قدرته (550Wp)، وبطارية فرق جهدها المعياري ($12V_n$)، أحسب قيمة التيار الداخل والخارج للمنظّم، إذا علمتُ أنّ تيار دارة القصر للّوحة هو ($I^{sc} = 13.5A$)؟ ملاحظة: إذا لم تُزوَّد كفاءة الشاحن فأهملُها من الحسابات.

الحلّ:

- تيار مدخل المنظّم:

$$I_{in} = Isc \times 1.25$$

$$I_{in} = 13.5 \times 1.25 = 16.875A$$

- التيار الخارج من الشاحن:

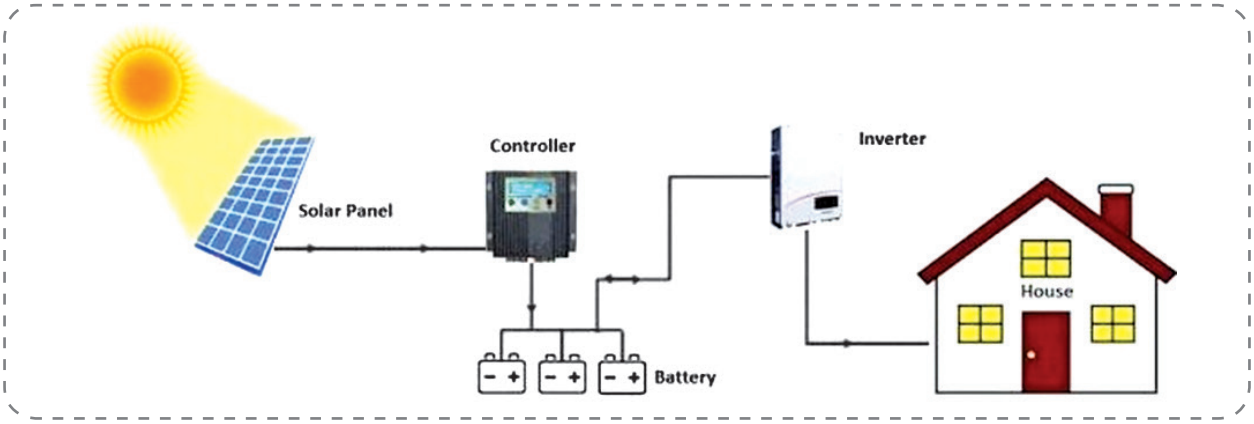
$$I_{out} = \frac{Ppanels \times \eta\ charger}{V_{n(Batterty)}} = \frac{550 \times 1}{12} = 45.8\ A$$

ألاحظ كيف ارتفعت قيمة التيار الخارج من الشاحن؛ لأنّه من نوع (MPPT).

4. **حساب الجهد عند مخرج المنظّم (بين المنظّم والبطاريات):** يكون الجهد المعياري لمدخل الشاحن ملائماً لجهد بنك البطاريات في منظّمات الشحن، سواء أكانت من نوع (PWM) أو (MPPT)، فإذا كان فرق الجهد المعياري للبطارية ($48V_n$)، فعلى الشاحن أن يكون مخرجه من ناحية البطارية ذا فرق جهد معياري ($48V_n$)، حيث إنّه إذا كان لديّ شاحن ($MPPT/24V_n$)، فلا يمكنني وصله ببنك بطاريات ($48V_n$)، على الرغم من أنّني أستطيع وصله بألواح شمسية ($48V_n$) إذا سمح فرق جهده الأقصى بذلك.

تصميم إنفيرتر المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة:

ترتبط الإنفيرترات المنفصلة عن الشبكة بمدخلها بالبطاريات كمدخل جهد ثابت (DC)، والتيار الخارج منها يكون متناوباً (AC) يعمل على تغذية الأحمال، ولمواءمة البطاريات مع الإنفيرتر يجب تحديد فرق الجهد المعياري للمحطّة الشمسية، كما في الشكل (4) الآتي:



الشكل (4): محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة

اعتبارات تصميم الإنفيرتر المنفصل عن الشبكة:

الجهد المعياري لمدخل الإنفيرتر:

وعند تحديد قيمة فرق الجهد المعياري، يجب اتّباع الإرشادات الآتية في حجم النظام، وفرق الجهد المعياري:

- ($V_n = 12V$) للأنظمة الصغيرة التي تقلّ فيها قدرة الإنفيرتر عن ($P_n = 2000W$).
- ($V_n = 24V$) للأنظمة المتوسطة التي تقارب فيها قدرة الإنفيرتر الـ ($P_n = 3000W$).
- ($V_n = 48V$) للأنظمة الكبيرة التي تزيد فيها قدرة الإنفيرتر عن ($P_n = 5000W$).

علاقة الحمل بالإنفيرتر:

على الإنفيرتر أن يتمكّن من تشغيل جميع الأحمال المرغوبة بالتوازي، وهذا يحدّد القدرة المعيارية له؛ أي القدرة التي يمكن له تزويدها باستمرار، وهذا بدوره لا يشير إلى كمية الطاقة المستهلكة. وفي بعض الحالات يتعذّر إيجاد إنفيرتر بقدرة الأحمال، فيتمّ تركيب إنفيرتر أكبر، ولهذا أثر على حجم القواطع والكوابل التي يتمّ تركيب الحمايات فيها بناءً على الإنفيرتر، وليس على الأحمال.

الكوابل والقواطع والحمايات:

تُختار الكوابل والقواطع والحمايات بناءً على قيمة فرق الجهد وقيمة التيار في كامل أجزاء المحطّة الشمسية:

فرق الجهد:

يشير فرق الجهد المقرر عند كلّ نقطة في النظام إلى عازلية الكوابل والحمايات المطلوبة في تلك النقطة؛ حيث إنّ على الكوابل والحمايات تحمّل أعلى فرق جهد ممكن للنظام توليده، وعليها أن تتحمّل فرق الجهد الثابت في الأجزاء التي تتعرّض لفرق الجهد الثابت، وفقط بُعد الإنفيرتر على الكوابل والقواطع أن تكون بمواصفات فرق جهد متناوب، ويؤدي عدم التطابق بين الجهود والتيارات في النظام إلى حدوث حروق، وتلف، كما في الشكل (5) الآتي:

الشكل (6): تلف موصلة MC4 للألواح الشمسية

وتكون كوابل الطاقة الشمسية عازلة لفرق الجهد لدرجة (عزل جهد 1000 فولت ثابت، أو 1500 فولت ثابت). والأنظمة المفصولة عن الشبكة هي فروق الجهد المنخفضة ذاتها التي لا تصل هذه القيم. أمّا كوابل التمديدات الكهربائية المتناوبة الاعتيادية فتعزل لحدّ 600 فولت متناوب.

أمّا بالنسبة للقواطع في طرف التيار الثابت، فعليها تحمّل فروق جهد مرتفعة وأكثر قيم فروق الجهد المنتشرة هي: (600-800-1000-1200-1500 فولت ثابت)، وهذه القواطع مرتفعة الثمن بالمقارنة مع القواطع المتناوبة التي تكون مصمّمة بجهد مقرر (400VAC).

التيار الكهربائي:

يحدّد التيار الكهربائي المارّ في الكوابل مِساحة المقطع المناسبة، والسَّعَة الأمبيرية للقواطع، حيث إنّ الكابل يجب أن يتحمّل مرور التيار الثابت باستمرار، ومن دون تلف، إضافة إلى تجنّب حدوث هبوط بالجهد أعلى من نسبة محدّدة؛ حيث إنّه كلّما زاد طول الكابل وقيمة التيار المارّ فيه تزداد قيمة الخسائر في الكابل، التي قد تتمثّل في شكل حرارة زائدة على الكابل.

وتتغيّر السَّعَة الأمبيرية للكابل وَفق نوع الموصل، ونوع العازل ومكان تمديد الكابل، وحرارة المحيط، والجدول (3) الآتي يمثّل السَّعَة الأمبيرية للكوابل، وبالتالي يمكن استخدامه للمحطات الشمسية المفصولة عن الشبكة:

الجدول (3): السَّعَة الأمبيرية للكوابل

مِساحة مقطع الكابل	السَّعَة الأمبيرية المثالية (A)	السَّعَة المعتمدة (A)
0,75 mm^2	15	5A
1,00 mm^2	19	8A
1,50 mm^2	24	10A
2,50 mm^2	32	16A
4,00 mm^2	42	20A
6,00 mm^2	54	25A
10,00 mm^2	73	32A
16,00 mm^2	98	50A
25,00 mm^2	129	80A
35,00 mm^2	158	100A
50,00 mm^2	198	120A
70,00 mm^2	245	150A

للاطلاع فقط

تعمل الكوابل على وصل جميع مكونات النظام الشمسي؛ لذلك فهي عصب المحطّة الشمسية، ويمكن أن أجدها في خمسة مواقع ربط رئيسة، هي:

1. بين الألواح الشمسية والشاحن.
2. بين الشاحن والبطارية.
3. بين البطارية والإنفيرتر.
4. بين الإنفيرتر وأحمال التيار المتناوب.
5. بين الشاحن وأحمال التيار المستمر.

وتكون نسبة الفاقد في التيار الكهربائي في الكوابل الكهربائية؛ نتيجة هبوط فرق الجهد، لذلك يجب اختيار مقاطع الكوابل، بحيث لا أتجاوز المعايير المبينة في الجدول الآتي:

الجدول (4): جدول الحدّ الأقصى المسموح لهبوط الجهد

مسار الكابل بين	الحد الأقصى لهبوط الجهد
الألواح الشمسية والشاحن	%3
الشاحن والبطارية	%1
البطارية والإنفيرتر	%1
الإنفيرتر وأحمال التيار المتناوب	%3
الشاحن وأحمال التيار المستمر	%3

لأنّ المحطات الشمسية المفصولة عن الشبكة تعمل على فرق جهد منخفض وتيارات كهربائية عالية؛ فإنّني بحاجة إلى حساب مقاطع الكوابل القادرة على تحمّل هذه التيارات العالية، مع الحفاظ على مستويات هبوط فرق الجهد المشار إليها في الجدول السابق، وَفق العلاقة الآتية:

$$S = \frac{2 \times L \times i}{56 \times \Delta V}$$

حيث إنّ:

(S): مِساحة مقطع الكابل.

(L): طول الكابل.

(i): التيار المارّ في الكابل.

(ΔV): هبوط الجهد المسموح.

مثال: أحسب مِساحة مقطع كابل محطّة شمسية إذا كان طوله 15 متراً يصل اللّوحات الشمسية بمنظّم الشحن ويمر فيه تيار 36 أمبير بنظام جهد 48 فولت.

الحلّ: نسبة الهبوط المسموحة في الكابل بين اللّوحات والمنظّم 3%.

- نسبة الهبوط المسموحة في الجهد:

$$\Delta V = \frac{3}{100} = \times\ 48 = 1.44mm^2$$

- حساب مِساحة مقطع الكابل:

$$S = \frac{2 \times L \times i}{56 \times \Delta V} = \frac{2 \times 15 \times 36}{56 \times 1.44} = 13.4mm^2$$

أسئلة الدرس:

1. لماذا ألجأ إلى تحويل الأنظمة الشمسية المنفصلة عن الشبكة ذات القدرة العالية إلى أنظمة تعمل بجهد معياري 48 فولت؟
2. ما أقصى نسبة هبوط في الجهد بين الشاحن والبطارية؟
3. أحسب مِساحة مقطع كابل محطّة شمسية إذا كان طوله 10 أمتار يصل البطاريات بالإنفيرتر، ويمرّ فيه تيار 45 أمبير بنظام جهد 24 فولت.

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب مزرعة من فني تركيب الطاقة المتجددة تركيب محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة المحلية؛ لتغذية وحدات الإنارة الليلية حول المزرعة، علماً أنّ المزرعة تقع في منطقة تبعد عن الشبكة المحلية، وعليه اختيرت محطّة بجهد معياري 12 فولت.

العمل الكامل:

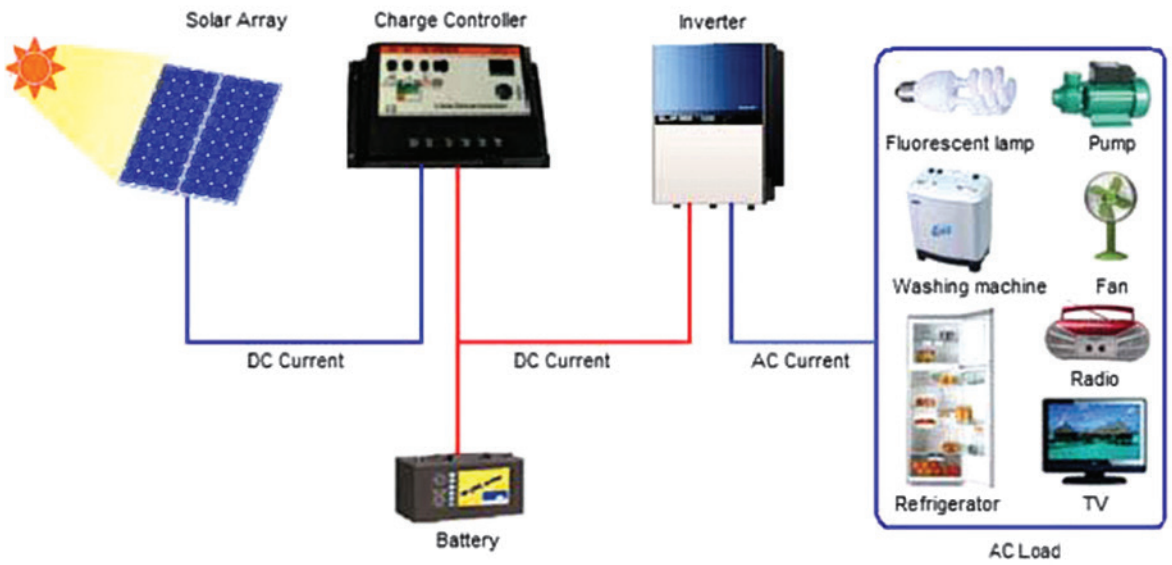
خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأحلّلها	أجمع البيانات من صاحب المزرعة عن: • كمية الاستهلاك اليومية للمزرعة. • طبيعة وحدات الإنارة الموجودة في المزرعة، ومواصفاتها الفنية. • المِساحة المتوفّرة للنظام الشمسي. أجمع بيانات عن: • الألواح الشمسية المتوفّرة في السوق المحلية، وأهمّ مواصفتها الفنية. • أنواع الإنفيرترات الشمسية المستخدمة والمتوفّرة. • أنواع بطاريات التخزين المناسبة للنظام.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب الزبون الكتابي. • الشبكة العنكبوتية، وفيديوهات تعليمية. • الاستعانة بالخبراء. • كتيّبات مواصفات فنية لأحمال منزلية مختلفة.
أخطّط، وأقرّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المهمة. • تحديد جدول تكلفة للمهمة. • تحديد العدد المناسبة؛ لتنفيذ العمل.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• العِدَد اليدوية التي تلزم. • نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.

أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنية، تبعاً للمعايير الفنية ذات الصلة. • تحديد القدرة الكهربائية المطلوبة للمحطّة الشمسية. • تصميم المحطّة الشمسية، وتحديد عدد اللّوحات، والبطاريات، والإنفيرتر، ومنظّم الشحن. • رسم المخططات الكهربائية للنظام. • تحديد عدد أجهزة الحماية، وسَعَة لوحاتها الثابتة (DC)، والمتناوبة (AC). • تركيب الألواح الشمسية وتسحيب الأسلاك إلى لوحة التيار الثابت وتوصيلها توصيلاً صحيحاً، ثمّ ربطها بمنظّم الشحن. • الربط بين بنك البطاريات والإنفيرتر مع استخدام الحمايات المناسبة. • وصل الإنفيرتر من النقاط المخصصة فيه للتيار المتناوب بلوحة حماية التيار المتناوب (AC)، وتوصيل الحمايات توصيلاً صحيحاً، ثمّ الوصول إلى لوحة الأحمال الرئيسة. • أخذ القياسات اللازمة؛ لتحديد مدى تأثير الشحن والتفريغ على بنك البطاريات.	• مجموعات عمل.	• ألواح شمسية. • إنفيرتر وحماياته. • أسلاك DC وAC. • كتيّبات المواصفات الفنية لجميع المكونات. • مخططات توصيل الإنفيرتر.
أتحقّق من	• الفحص بالنظر لمكان تركيب القطع والوحدات والتوصيلات. • فحص الإنفيرتر والمحطّة الشمسية والبطاريات من خلال تشغيل المحطّة، واستخدام جهاز الأفوميتر والكلامبميتر؛ للتأكد من توصيل النقاط توصيلاً جيداً.	• مجموعات عمل.	• جهاز فحص أوفوميتر رقمي. • جهاز كلامبميتر.
أوثّق، وأقدّم	• توثيق نتائج العمل. • تلخيص الخطوات، والإجراءات، والنتائج كافّة على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن التكلفة. • تعرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي. • العمل الفردي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • مقارنة مع وصف الزبون.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

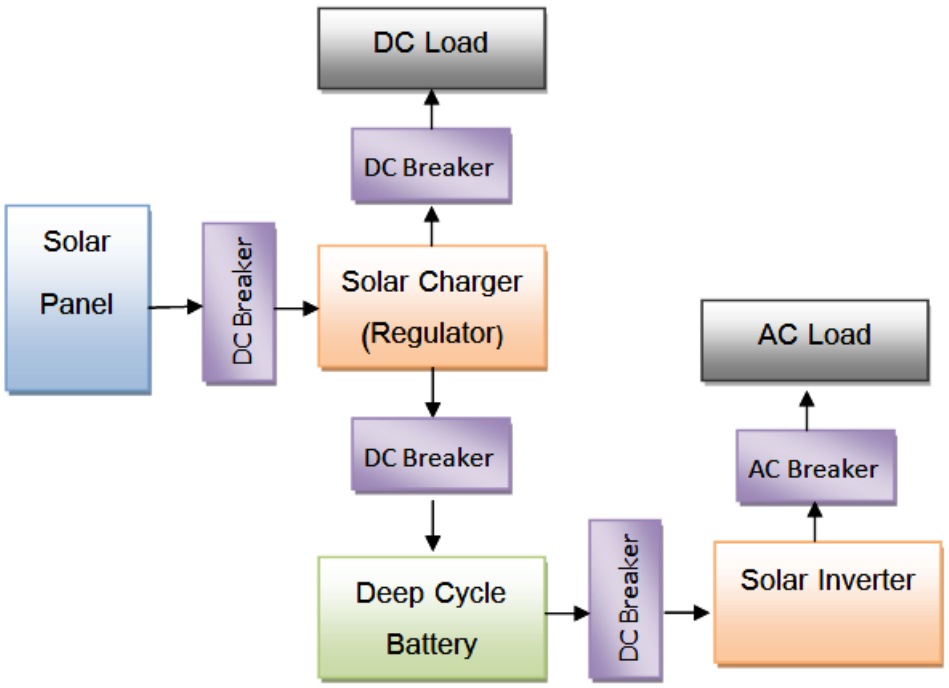
- أناقش ميزة المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة للأحمال في المناطق النائية.
- أناقش: هل المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت تكون الخيار الأفضل للأنظمة الشمسية بقدرات اسمية عالية جداً؟

نشاط: أبحث عن أجهزة الحماية المستخدمة في المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة.



تركيب محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت:

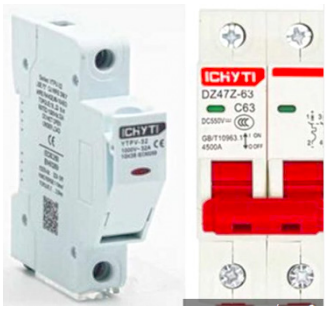
أصبح تركيب المحطات الشّمسيّة المفصولة عن الشّبكة أمراً دارجاً في فِلَسطين؛ نتيجةً لانخفاض أسعار مكوّنات الأنظمة الشّمسيّة، إضافة إلى الظروف الجغرافية، والانقطاعات المستمرة في الشّبكات الكهربائيّة، لذلك يجب التطرق إلى تركيب المحطات الشمسية المنفصلة عن الشبكة ابتداءً من أبسطها، التي تُعَدّ إحدى تطبيقات الطّاقة الشّمسيّة لتغذية الأحمال البسيطة كالإنارة، أو لتشغيل الأجهزة البسيطة كوحدات بثّ (الإنترنت)، أو بعض الإشارات المرورية والتحذيرية، وصولاً إلى تشغيل أحمال منزل أو منشأة تشغيلاً كاملاً. والشكل (1) الآتي يوضّح المخطط الصندوقي لنظام شمسي منفصل عن الشبكة بكامل مكوناته:



الشكل (1): مخطط صندوقي لنظام شمسي منفصل عن الشبكة

ولبناء محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة، أحتاج إلى المكونات الأساسية، كما في الجدول (1) الآتي:

الجدول (1): مكونات المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة

الألواح الشمسية (PV Panels)	البطاريات (Deep-cycle Battery)
إنفيرتر (Off Grid Inverter)	منظّم الشحن (Charge Controller)
أسلاك التوصيل (Cables)	حمايات (Protections)
	

وتجدر الإشارة إلى أنّه، وبعد تكامل جميع المكونات السابقة، أحصل على محطّة شمسية متكاملة منفصلة عن الشبكة تغذّي الأحمال بالتيار المتناوب بمعزل عن شبكة الكهرباء المحلية، كما في الشكل (2) الآتي:

الشكل (2): محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت

بعد تركيب المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة، وبدء تدفّق الطاقة الكهربائية إلى بنك البطاريات من الألواح الشمسية في ساعات الذروة، وتدفّق الطاقة من البطاريات إلى الأحمال، لا بدّ من متابعة حالة شحن البطارية؛ حيث تُعَدّ حالة شحنها في الأنظمة الشمسية المنفصلة عن الشبكة مسألة مهمة، وعلى أساسها قد يقرّر المستخدم زيادة مستوى استهلاكه للطاقة، أو تقليل مستواه، خصوصاً في حالات الإشعاع الشمسي المنعدمة أو الضعيفة، ويُعرَف مستوى شحن البطارية بعدّة طرق، منها: قياس فرق الجهد بين طرفيها، إلّا أنّ العلاقة بين فرق الجهد وحالة الشحن تتغيّر في حال وجود أحمال، أو مصادر شحن. وفي الأنظمة الشمسية المنفصلة عن الشبكة يقدّر الإنفيرتر حالة الشحن لبنك البطاريات باستخدام حسابات خاصة تعتمد على حجم الحمل، ووجود مصادر شحن.

خطوات تجميع محطّة شمسية بجهد معياري 12 فولت:

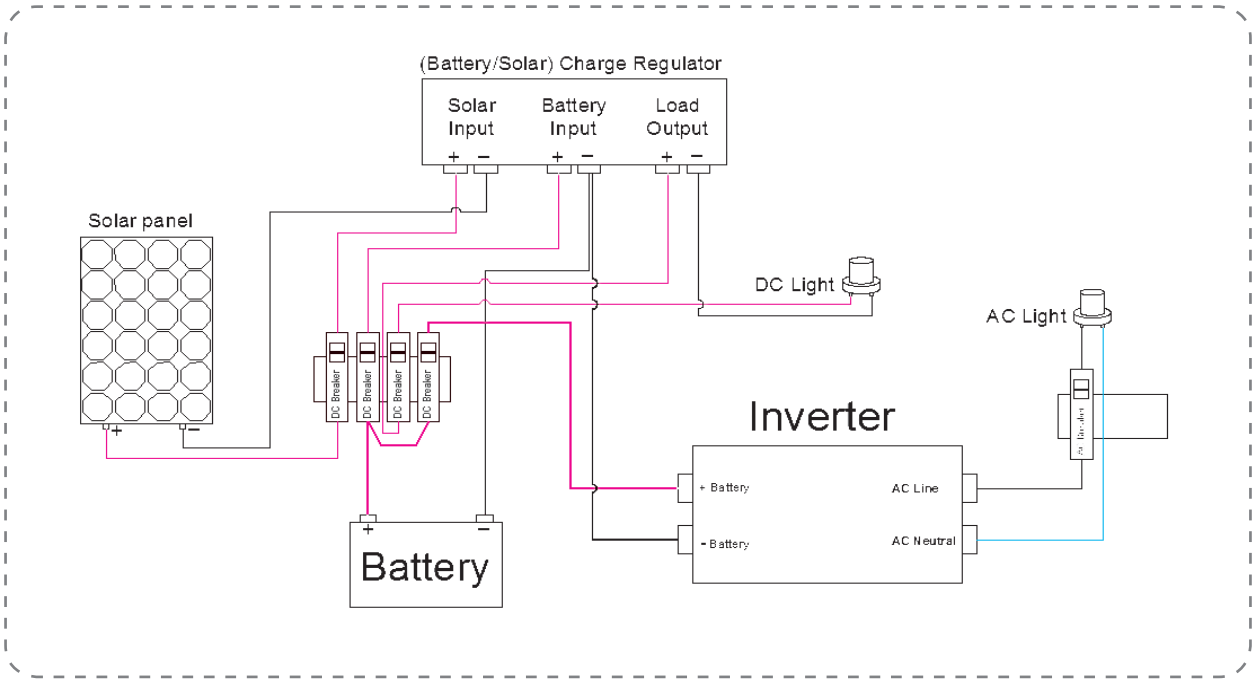
1 - اختيار المكونات الأساسية للمحطّة الشمسية، وتحديد مواصفات كلّ جهاز وفرق جهده المعياريّ، من خلال معرفة فروق الجهد التي يعمل عليها، من خلال الاطّلاع على المواصفات المكتوبة على كلّ جهاز، كما هو مبيّن في الجدول (2) أدناه:

الجدول (2): قدرات مكونات المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة المستخدمة

المكونات	نوع التّيار الكهربائي	فرق الجهد المقيس	فرق الجهد المعياري	التّيار	القدرة
اللّوح الشمسي					
البطارية					
مدخل منظّم الشحن					
مخرج منظّم الشحن					
مدخل الإنفيرتر					
مخرج الإنفيرتر					

2 - التأكد من مواءمة جميع المكونات المختارة وجاهزيتها في المحطّة، وإمكانية أن تعمل ضمن مجال فرق الجهد والتّيار نفسه؛ أي بالقيم المعياريّة نفسها. على منظّم الشحن أن يتحمّل جهد الدّارة المفتوحة للّوح الشّمسيّ، وتيار دائرة القصر على المدخل، مع إضافة معامل أمان إضافي قيمته 25%.

3 - رسم مخطط تفصيليّ وضّح الكيفية التي يجب أن يوصَل فيها كلّ جهاز مع الآخر، كما في الشكل (3) الآتي:



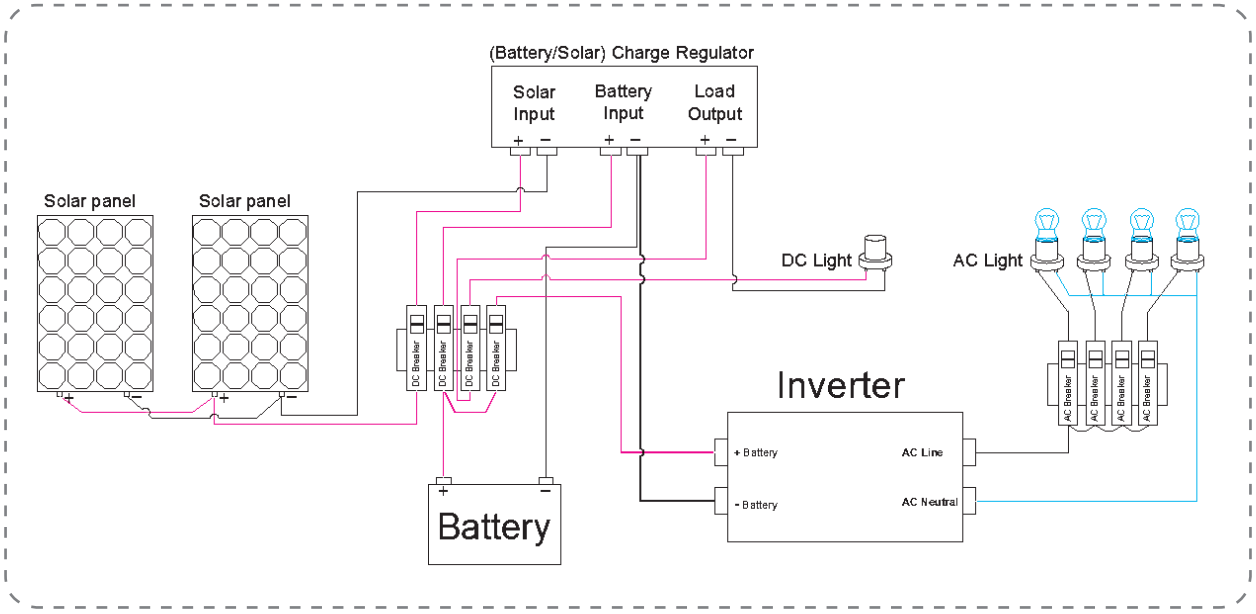
الشكل (3): مخطط توصيل محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة

نشاط عملي (1): أبني نظاماً شمسياً منفصلاً عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت، باستخدام منظّم شحن من نوع (PWM)، ثمّ أرسم مخطّط الدارة، وأدرس القيم المقيسة كافة في النظام، وأفسّرها، وأناقشها مع زملائي.

دراسة تأثير شحن الأحمال على جهد بنك البطاريات:

لدراسة تأثير الشحن المتمثّل بتدفق التيار الكهربائي إلى البطاريات، وتأثير التفريغ المتمثّل بخروج التيار الكهربائي من البطاريات إلى الأحمال؛ أركّب المحطّة الشمسية، كما في الشكل (4) الآتي، الذي يمثّل توصيل محطّة منفصلة عن الشبكة بقدرة كامل على الإنفيرتر، ولوحين شمسيين، بحيث تُشغَّل الأحمال بالتدريج، وهذه الأحمال تساوي في مجموعها قدرة الإنفيرتر الاسمية، وتكون (25%) من قدرة الإنفيرتر، ثمّ (50%)، ثمّ (75%)، ثمّ (100%).

نشاط عملي (2): أبني نظاماً شمسياً منفصلاً عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت، باستخدام منظّم شحن من نوع (PWM)، ثمّ أدرس تأثير الأحمال والشحن على البطاريات من خلال زيادة الحمل تدريجياً، كما في الشكل الآتي، وأناقش القراءات مع زملائي:



الشكل (4): محطّة شمسية بقدرة كلية وجهد معياري 12 فولت

أزيد الحمل تدريجياً، ثمّ أملأ الجدول (3) الآتي، مع أخذ الملاحظات عند كلّ مرحلة؛ لتحديد التأثير على فرق جهد البطارية، إضافة إلى قيمة تيار البطارية واتجاهه، وتجدر الإشارة إلى أنّه يجب أخذ القياسات بأقصى سرعة ممكنة؛ حتى لا تتأثّر القراءات بحالة شحن البطارية التي قد تتناقص تناقصاً سريعاً.

الجدول (3): دراسة تأثير الشحن والتفريغ على جهد البطارية

نسبة الحمل	مع عدم توصيل اللّوحات		ملاحظات
	جهد البطارية	تيار البطارية	
% 0			
% 25			
% 50			
% 75			
% 100			
% 125			
% 150			
نسبة الحمل	مع توصيل اللّوحات		ملاحظات
% 0			
% 100			
% 125			
% 150			

أسئلة الدرس:

1. أذكر مكونات المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت.
2. أملأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

أ. فرق جهد مدخل الإنفيرتر في المحطّة المنفصلة عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت هو: _____.

ب. فرق جهد مخرج الإنفيرتر في المحطّة المنفصلة عن الشبكة بجهد معياري 12 فولت هو: _____.

ج. في المحطّة الشمسية المنفصلة عن الشبكة، المكوّن الذي يربط الألواح الشمسية بالبطاريات يُسمّى: _____.

3. في ضوء استنتاجي للجانب العملي في هذا الموقف، أجيب عن الآتي بما يناسبه:

أ. ما تأثير وصل الألواح الشمسية على فرق جهد البطاريات؟

ب. هل يمكنني معرفة حالة شحن البطارية عندما تكون متصلة بالألواح الشمسية أو مرتبطة بحمل؟

4. ماذا يحدث لفرق جهد اللّوحات عند وصلها بالبطارية؟
5. ما تأثير زيادة الحمل على فرق جهد البطارية في حال غياب الألواح الشمسية، وفي حال عملها؟
6. لماذا يجب إجراء هذه التجربة بسرعة كبيرة؟
7. في حال أُعيدت التجربة باستخدام بطارية سَعَتها الأمبيرية عالية، هل ستختلف النتائج؟ أو ما مدى تأثير الأحمال على فرق جهد البطارية في هذه الحالة؟

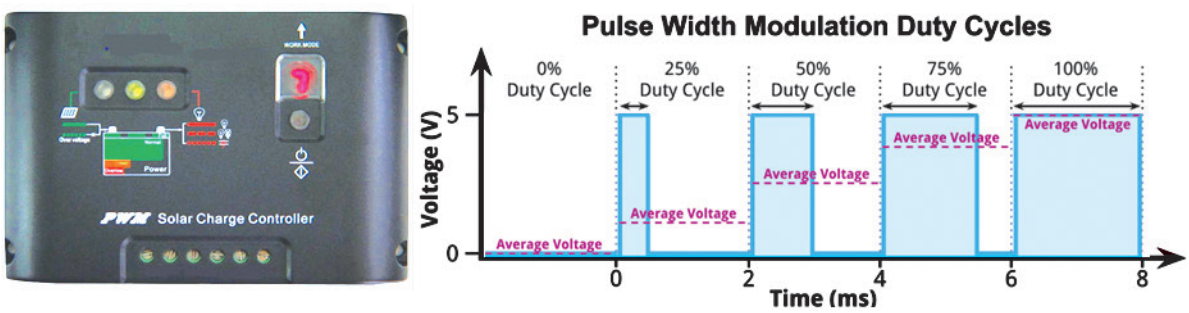
ذكرتُ سابقاً أنّ هناك نوعين من منظّمات الشحن الشمسية، هما (MPPT)، أو (PWM). وفي بعض الحالات، يُلجَأ إلى تركيب أحد الأنواع دون الآخر، لكن في أحيان كثيرة يكون الخيار للمصمّم، فعلى أيّ أساس يمكن المفاضلة؟ وهل دائماً النتيجة واحدة؟

منظّمات الشحن من نوع (PWM):

تتصف هذه المنظّمات بأنّها رخيصة الثمن، وتتمتلك كفاءة منخفضة في جمع القدرة الكهربائية من الألواح الشمسية، وهذا ما يجعلها مناسبة فقط للأنظمة البدائية والرخيصة والصغيرة، والتي لا تتأثّر من انخفاض الكفاءة.

مبدأ العمل:

توصَل هذه الشواحن بالألواح الشمسية مع البطارية على شكل نبضات، وكلّما كانت هناك حاجة أكبر لنقل القدرة من الألواح الشمسية إلى البطارية (بطارية فارغة) كانت النبضات أطول؛ أي توصَل اللّوحات بالبطارية مباشرة لمدة أطول، وعندما لا تعود هناك حاجة للشحن (بطارية ممتلئة) تصبح النبضات قصيرة، والبطارية مفصولة على اللّوحة لمدة أطول، كما في الشكل (1) الآتي: شاحن (PWM)، ولتوضيح تأثير تعديل النبضة على الجهد الخارج:



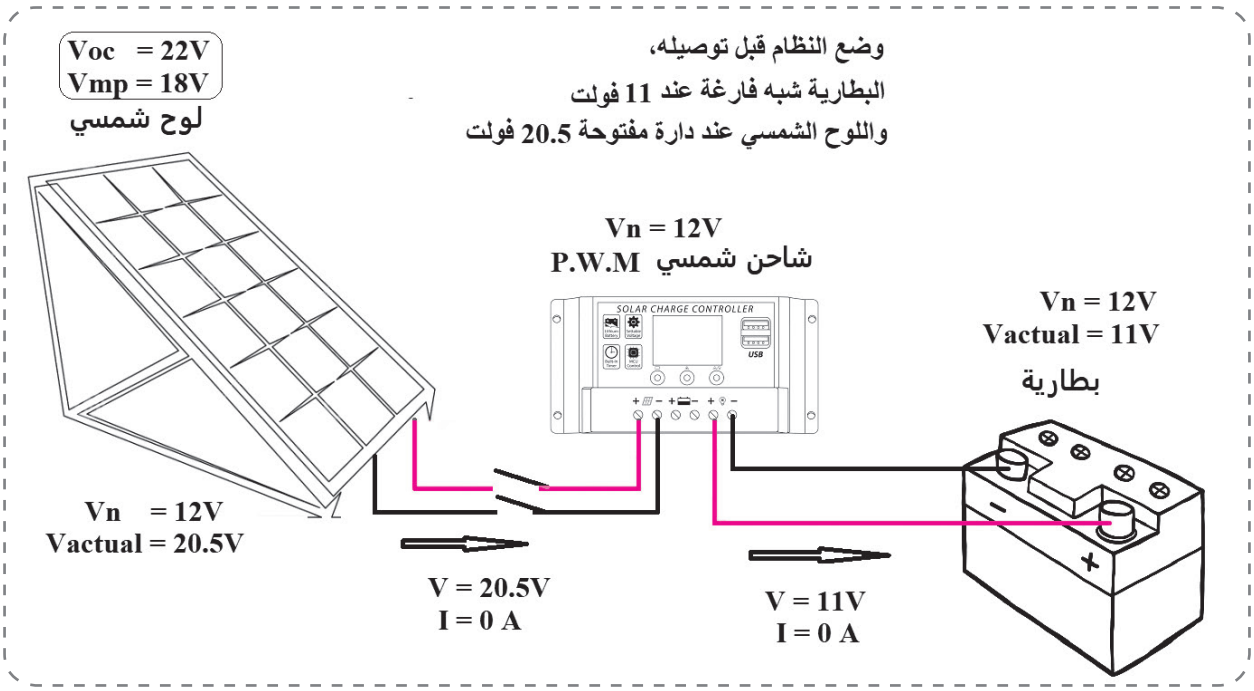
الشكل (1): منظّم شحن من نوع (PWM)

واللّوح الشمسي لا يمكنه تثبيت فرق جهده، إلّا فرق جهد الدارة المفتوحة، وعند وصله بالبطارية، فإنّ فرق الجهد سينخفض إلى مستوى فرق جهد البطارية، وهي قيمة أقلّ من قيمة فرق جهد (Vmpp) التي عندها يُنتج اللّوح أكبر قدرة ممكنة؛ ما يعني أنّه سيعمل على فرق جهد لا يحقّق شروط أفضل إنتاج.

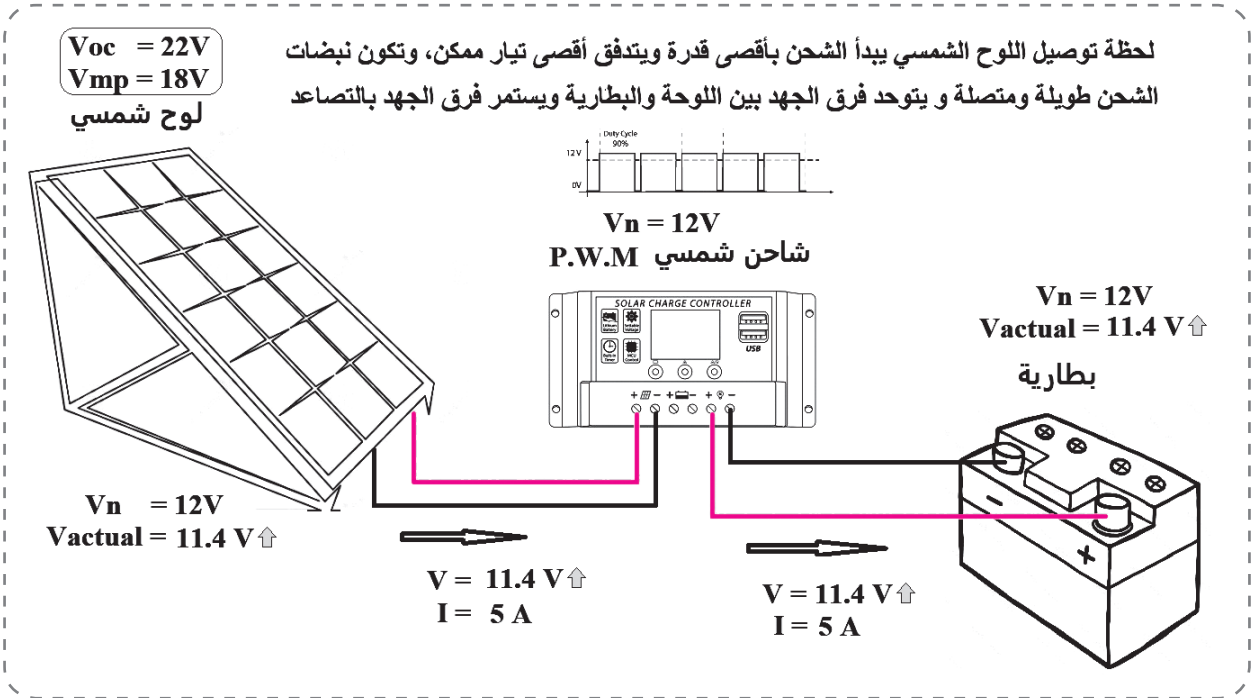
وسيعمل اللّوح الشمسي باستمرار على رفع قيمة فرق جهد البطارية إلى أعلى مستوى ممكن، وهذا قد يُضِرّ بالبطارية؛ لذلك يعمل الشاحن على الحدّ من قيمة فرق جهد البطارية، وبالتالي يثبت اللّوح الشمسي عند فرق جهد لا يحقّق أفضل قدرة إنتاجية لديه، وهذا من مآخذ منظّم الشحن (PWM).

وتجدر الإشارة إلى أنّه خلال جميع مراحل الشحن هذه يبقى التيار الكهربائي المنتج من اللّوح الشمسي هو أقصى ما يمكن، إلّا أنّ اللّوح الشمسي لا يمكنه تعويض الخسارة بفرق الجهد من خلال رفع التيار إلّا بشكل طفيف جداً، والتيار الذي ينتج من اللّوحة هو التيار الذي يصل البطارية نفسه.

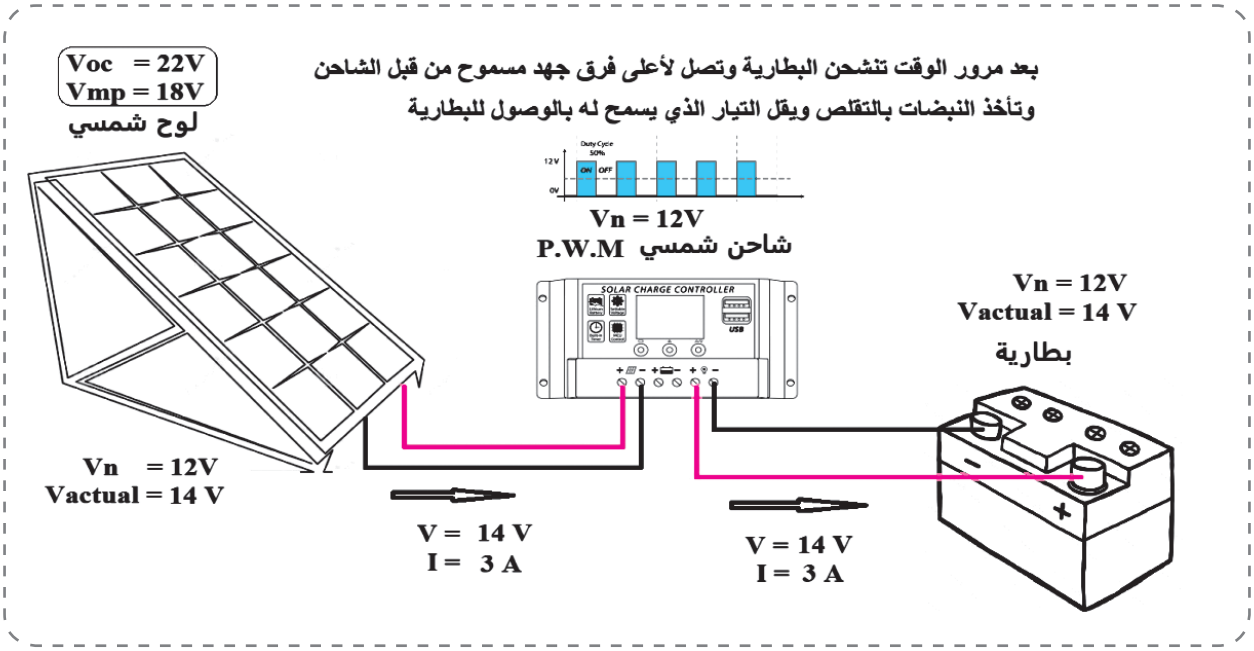
مثال: الأشكال الآتية ستوضّح آلية شحن بطارية من اللّوح الشمسي باستخدام منظّم شحن (PWM):



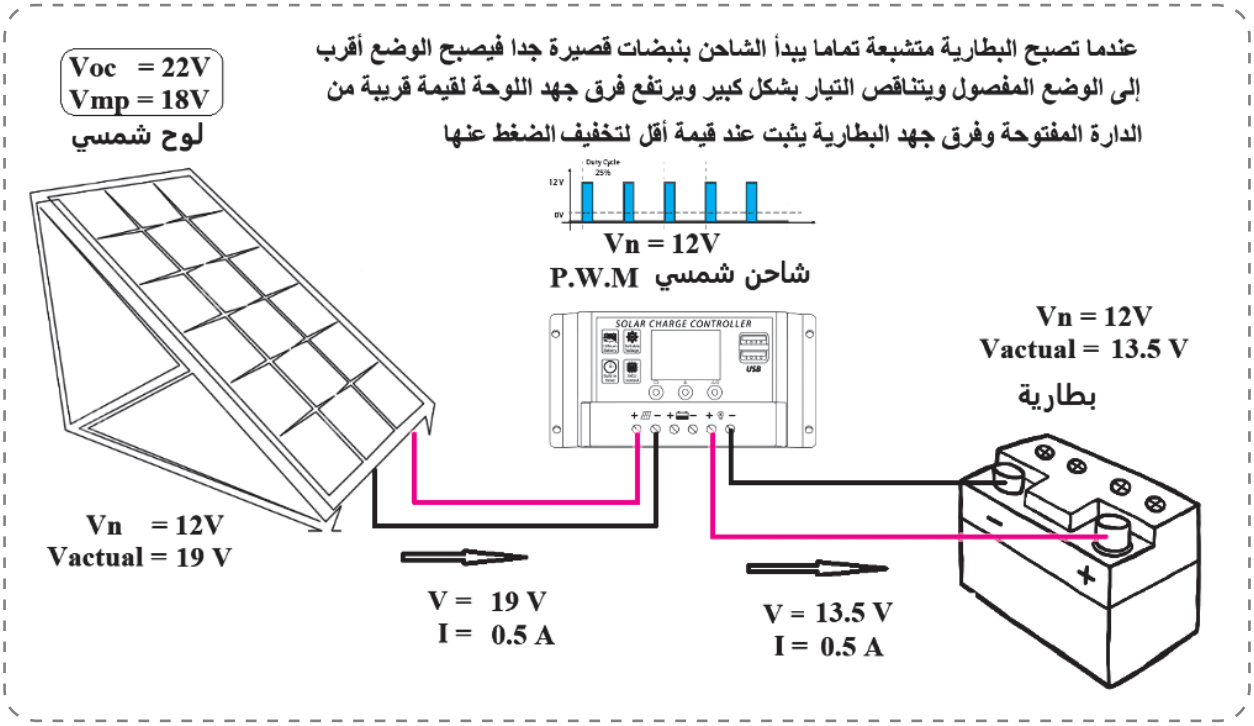
الشكل (2): النظام والبطارية فارغة



الشكل (3): النظام لحظة وصل اللّوح بالبطارية



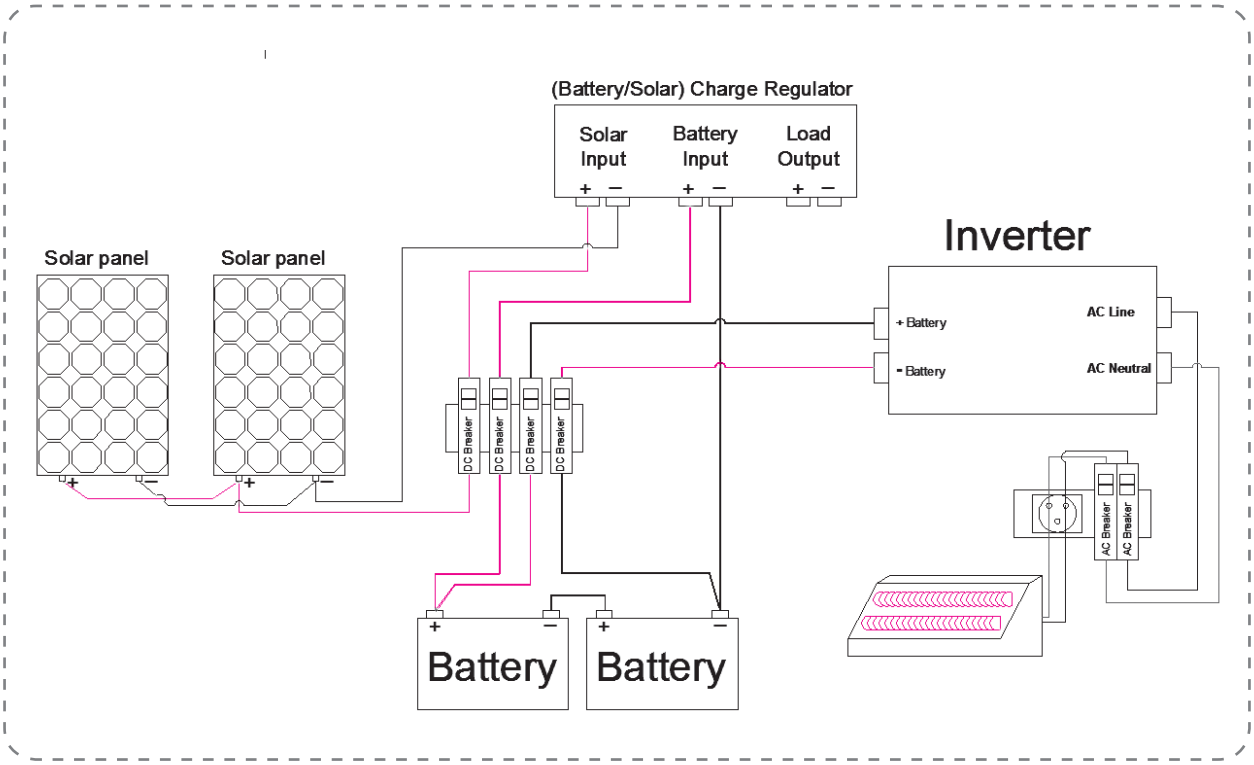
الشكل (4): النظام بعد مرور وقت على وصل اللّوح بالبطارية



الشكل (5): النظام بعد وصول البطارية لمرحلة قريبة من الشحن الكامل

نشاط عملي (1):

أبني نظاماً شمسياً منفصلاً عن الشبكة بجهد معياري 24 فولت، وباستخدام منظّم شحن من نوع (PWM)، ثمّ أرسم مخطط الدارة، كما هو موضّح أدناه، وأدرس القيم المقيسة كافة في النظام، وأفسّرها، وأناقشها مع زملائي.

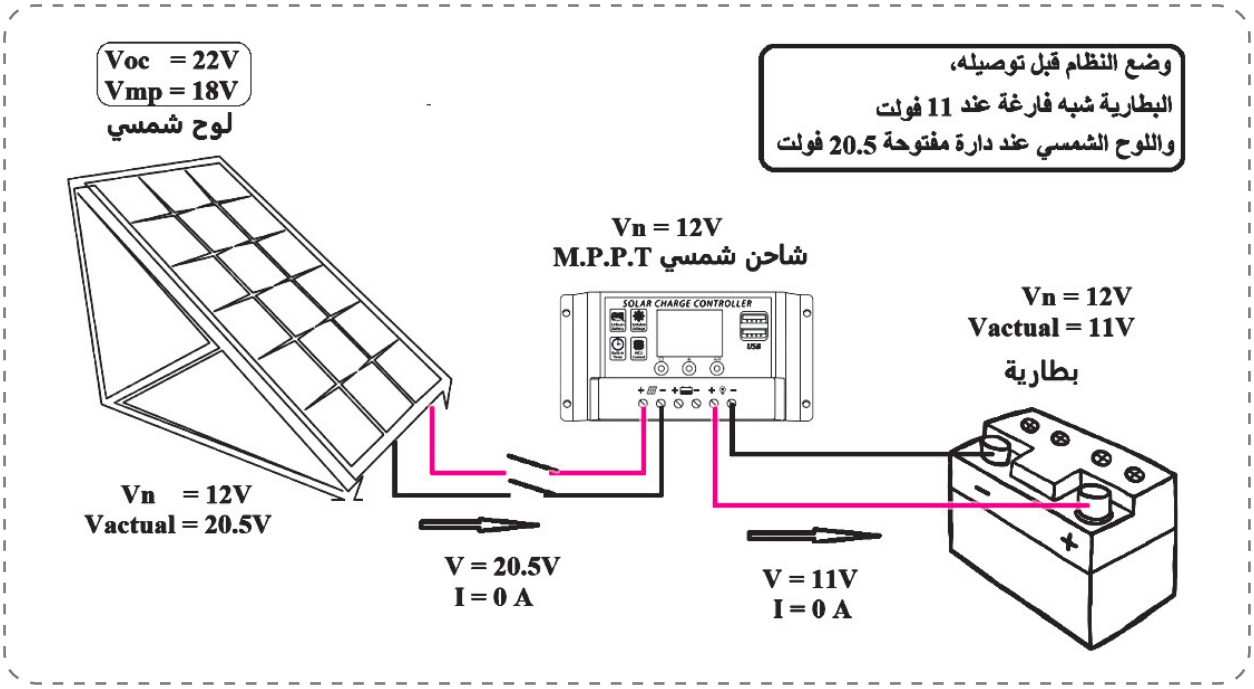


منظّمات الشحن من نوع (MPPT):

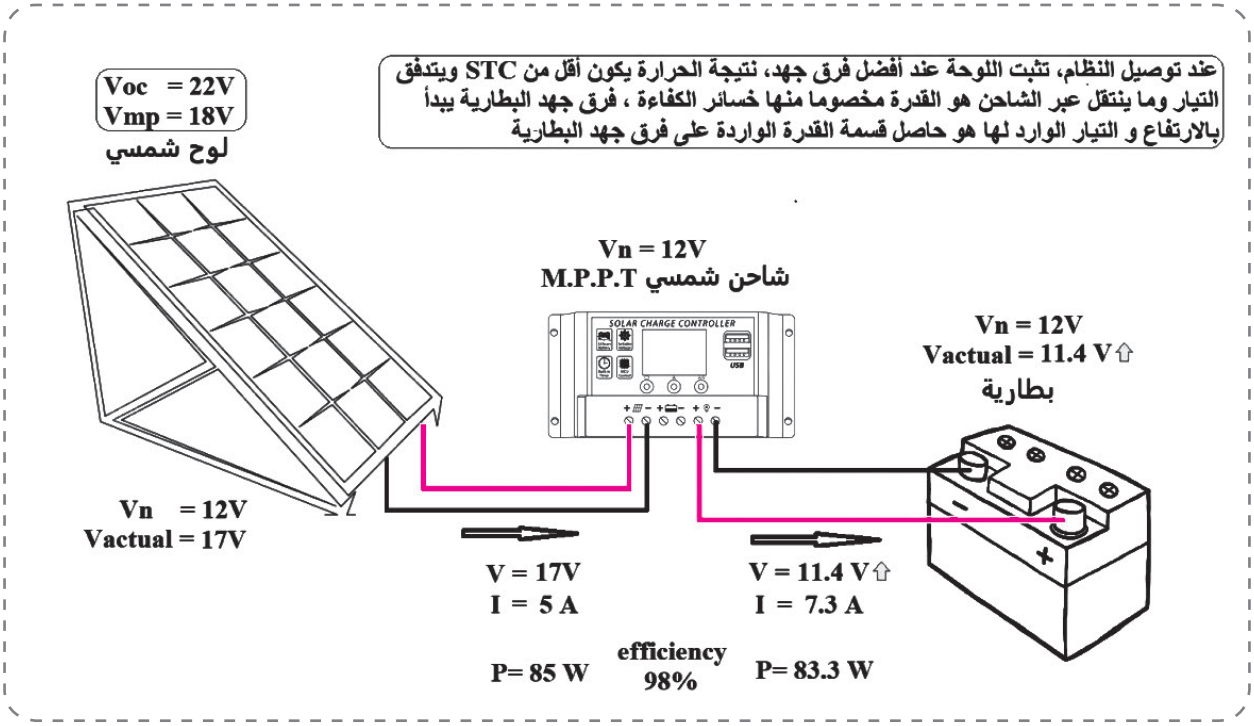
هي منظّمات شحن تعمل على الحصول على أفضل قدرة من الألواح الشمسية وبأعلى كفاءة، إضافة إلى أنّها لا تتقيّد بفرق الجهد المعياري لبنك البطاريات، حيث تعتمد على فصل فرق جهد البطاريات ومراحلها عن فرق جهد الألواح الشمسية، وتعمل اللّوحات عند أفضل فرق جهد يحقّق أعلى إنتاج للّوح الشمسي، وعند ظروف الـ (STC) تكون هذه القيمة هي (Vmp) المشار إليها في نشرة بيانات اللّوح الشمسي.

وتجدر الإشارة إلى أنّ منظّمات الشحن من نوع (MPPT) لا تنقل فرق جهد البطاريات إلى اللّوحات، ولا يمرّ تيار اللّوحات إلى البطاريات بالقيمة نفسها، إنّما تُنقَل قدرة اللّوحات إلى البطاريات، مع اختلاف قيمة فرق الجهد والتيار من قيمها عند اللّوحات إلى قيم مختلفة عند البطاريات، علماً أنّه هناك خسائر في التوصيلات، وكفاءة التحويل، وهذا اختلافها الجوهري عن المنظّمات من نوع (PWM).

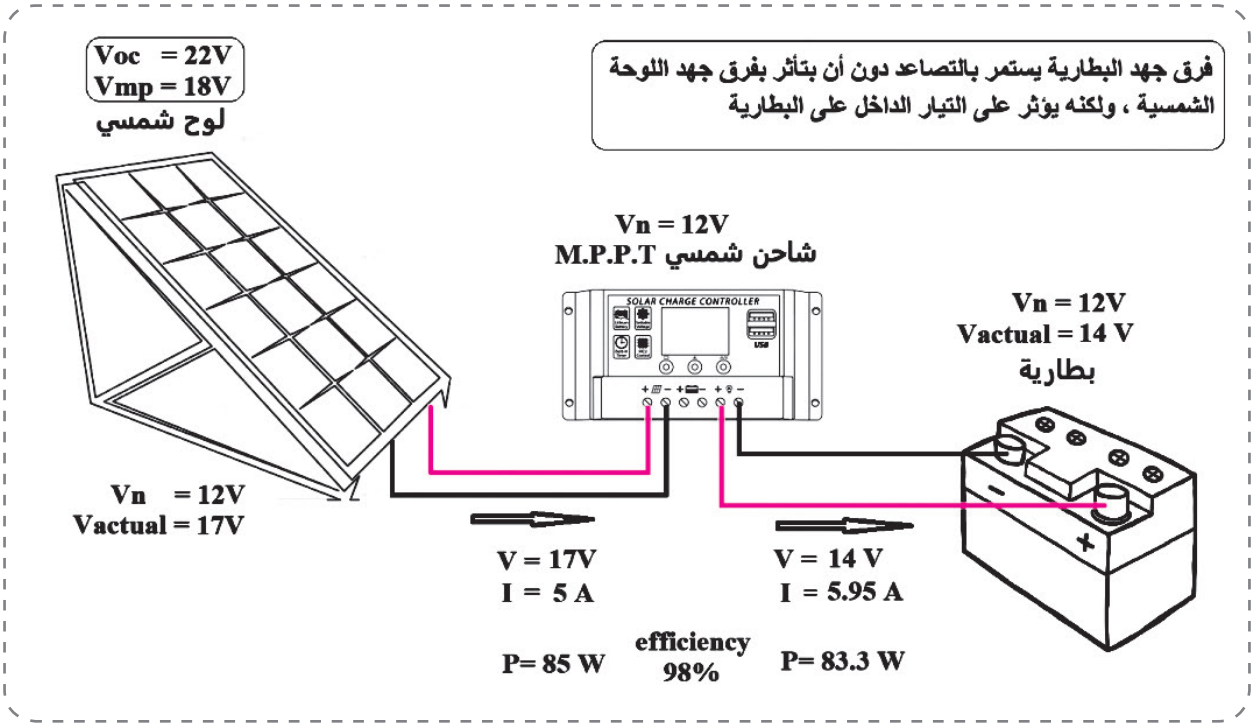
مثال: الأشكال الآتية ستوضّح آلية شحن بطارية من اللّوح الشمسي باستخدام منظّم شحن (PWM):



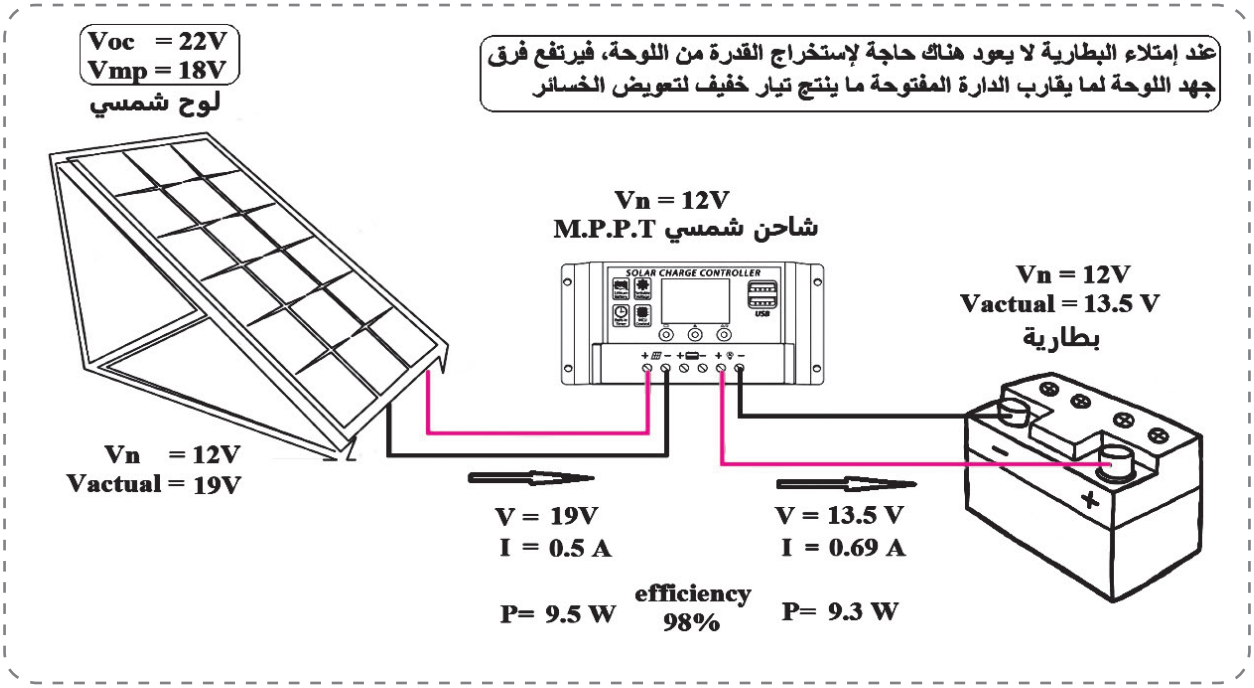
الشكل (6): النظام والبطارية فارغة



الشكل (7): النظام لحظة وصل اللّوح بالبطارية



الشكل (8): النظام بعد مرور وقت على وصل اللّوح بالبطارية



الشكل (9): النظام بعد وصول البطارية لمرحلة قريبة من الشحن الكامل

احتساب كفاءة منظّمات الشحن لأغراض المقارنة:

كفاءة الشاحن هي العلاقة بين القدرة الخارجية منه إلى الداخلية وَفق المعادلة الآتية:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- وفي حال شواحن الـ (MPPT)، فإنّ المعادلة تكون كالآتي:

$$\eta_{mppt} = \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{in} \times I_{in}} \times 100\%$$

- وفي شواحن الـ (PWM)، فإنّ التيار الداخل والخارج هو نفسه؛ لذلك يمكن اختصار المعادلة الآتية بالتخلّص من قيمة التيار:

$$\eta_{pwm} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times 100\%$$

وعند حساب كفاءة الشاحن، يجب أخذ ما يأتي بعين الاعتبار:

- قراءات فرق الجهد الداخل والخارج من الشاحن من أقرب نقطة للشاحن؛ لتجنّب شمل خسائر التوصيل.
- يتوقّف الشاحن عن الشحن عندما تمتلئ البطارية، وينتقل لمرحلة التعويم والقياس، وفي أثناء هذه المرحلة لن يعطي نتائج صحيحة؛ لذلك يُفضَّل دائماً قياس كفاءة الشاحن عندما يكون في مرحلة الشحن السريع.

إذا قورنَ بين شاحنين من نوعين مختلفين، فيجب أن تتمّ عملية القياس بسرعة ضمن الشروط الجوية نفسها للمنظّم، واللّوحات، والإشعاع، والميل.

نشاط عملي (2):

أبني نظاماً شمسياً منفصلاً عن الشبكة بجهد معياري 24 فولت، وباستخدام منظّم شحن من نوع (MPPT)، وأرسم مخطط الدارة، ثمّ أدرس القيم المقيسة في النظام، وأفسّرها، وأناقشها مع زملائي، ثمّ أحسب كفاءة منظّم الشحن.

أسئلة الدرس:

1. لماذا لا يتأثّر نظام طاقة شمسية منفصل عن الشبكة يستخدم تكنولوجيا شحن (MPPT) كثيراً بارتفاع درجة حرارة الألواح؟
2. ما ميزات شاحن (PWM)، ومساوئه؟
3. ما ميزات شاحن (MPPT)، ومساوئه؟

السؤال الأول:

1. مرحلة الشحن التي تُعوَّض فيها الخسائر من مراحل شحن البطارية هي مرحلة _____:
أ- الشحن السريع. ب- التعويم. ج- التسوية. د- الشحن البطيء.
2. إنفيرتر شمسي، قدرته الاسمية 3.6 KW، وكفاءته تساوي 92%، فإن قيمة الفاقد داخل الإنفيرتر هي: _____ واط:
أ- 3312. ب- 8. ج- 288. د- 250.
3. مفهوم الشهر الأسوأ هو ذلك الشهر الذي تكون فيه (H/E):
أ- أكبر ما يمكن. ب- أقلّ ما يمكن. ج- تساوي واحداً. د- قيمة الخلايا نفسها.
4. كمية الطاقة الكهربائية الواصلة إلى الحمل تكون _____ من كمية الطاقة المسحوبة من البطارية.
أ- أكبر، أو تساوي. ب- أكبر. ج- أقلّ، أو تساوي. د- أقلّ.
5. كمية الطاقة المُولَّدة من الألواح الشمسية تكون _____ من كمية الطاقة الداخلة إلى بنك البطاريات.
أ- أكبر، أو تساوي. ب- أكبر. ج- أقلّ، أو تساوي. د- أقلّ.
6. ميل الألواح الشمسية المثالي للمحطّة المنفصلة عن الشبكة المحلية في فِلَسطين _____ درجة:
أ- (0-90). ب- (5-15). ج- (42-47). د- (22-27).
7. منظّم الشحن القادر على التوفيق بين الألواح الشمسية والبطاريات التي تمتلك جهوداً معيارية مختلفة هو _____:
أ- PWM. ب- MPPT. ج- Inverter. د- Series.
8. على منظّم الشحن أن يكون قادراً على تحمّل تيار مصدر التوليد، مضافاً إليه _____:
أ- 35%. ب- 25%. ج- 15%. د- 10%.

السؤال الثاني:

1. أقارن بين منظّمات الشحن من نوع (PWM) ومنظّمات من نوع (MPPT).
2. أوضّح الفرق بين القدرة الاسمية والقدرة الاندفاعية للإنفيرتر.
3. أوضّح لماذا لا تُركَّب الألواح الشمسية أفقياً.

السؤال الثالث: أحسب حجم بنك البطاريات الذي أحتاجه لتغذية منزل من خلال محطّة شمسية منفصلة عن الشبكة، علماً أنّ متوسط الاستهلاك اليومي للمنزل هو 160 واط. ساعة؛ إذا علمت أنّ الإنفيرتر المراد استخدامه، كفاءته 97%، والجهد المعياري لمدخله 12 فولت، مع مراعاة ألّا يتجاوز عمق التفريغ 60%، وعدد أيام الاستقلالية هو (3).

الموقف التعليمي التعلّمي الثالث: تأثير الظلّ على الألواح الشمسية

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب منزل من فنّي تركيب أنظمة طاقة متجددة تقييم مدى تأثير الأشجار أمام منزله على المحطّة الشمسية التي يريد تركيبها.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	جمع بيانات من صاحب المنزل عن: • موقع المنزل، ومواصفات السطح. • صور لسطح المنزل إن وُجِدَت. • جمع بيانات عن: • مصادر الظلّ المحتملة حول المنزل، وعلى السطح. • أبعاد الألواح الشمسية في السوق المحلية. • انحراف المنزل عن جهة الجنوب.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب المنزل الكتابي. • بينات السوق المحلية. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية. •
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المَهمّة. • تحديد جدول تكلفة للمَهمّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أُنفّذ	• تحديد خطوط الطول، ودوائر العرض للمنزل. • تحديد مصادر الظلّ على السطح. • تحديد مصادر الظلّ القريبة من المنزل. • وضع تصوّر هندسي مبدئي لمكان وضع الألواح. • تطبيق المعادلات؛ لمعرفة امتداد مصادر الظلّ. • وضع مخطط يدوي أو حاسوبي؛ لتوزيع الألواح.	• مجموعات عمل.	• الشبكة العنكبوتية. • خرائط جوجل. • البيانات المتوفّرة من معاينة سطح المنزل.
أتحقّق من	• عدم توفّر أيّ معيقات لتنفيذ المخطط. • أمان السطح. • متطلبات الدفاع المدني، والهيئات المحلية.	• مجموعات عمل.	• نتائج التجارب السابقة المدونة في جداول.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تكليف الخبراء بتقديم التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- ما الأضرار المحتملة عند وقوع ظلّ على اللّوح الشمسي؟
- هل للظلّ علاقة بالموسم الذي نحن فيه من السنة؟ كيف ذلك؟

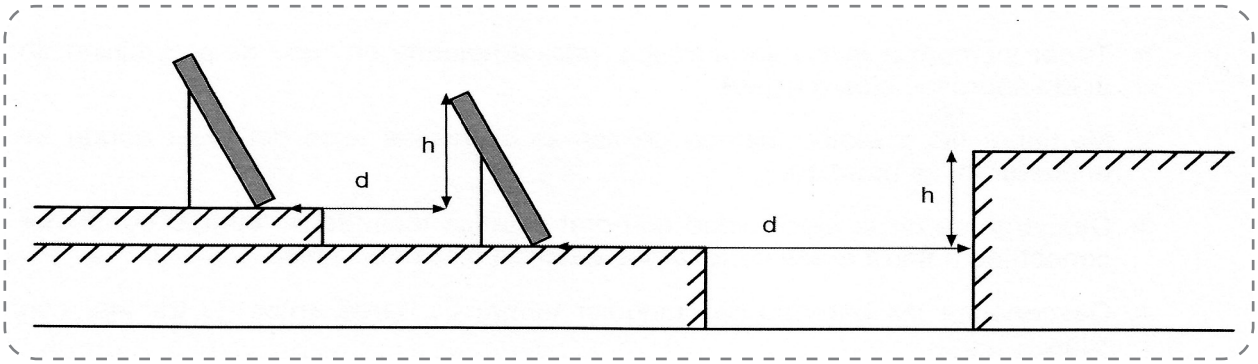
نشاط: أين تقع هذه الصورة؟ وما عمل الأداة الظاهرة فيها؟

الألواح الشمسية شديدة الحساسية للعوامل الجوية والمحيطة المؤثرة في شدّة الإشعاع الشمسي، وأحد أهمّ مصادر التأثير على إنتاج الألواح الشمسية هي الظلال. التي لها مصدران، هما:

1. **الظلال البعيدة:** التي مصدرها الغيوم والضباب والجزيئات العالقة بالهواء، وهذه لا يمكن تجنّبها، لذلك يُكتَفى بحساب تأثيرها على الإنتاج، وتقبّله.
2. **الظلال القريبة (Near Shadings)** الناجمة من الأجسام الثابتة المختلفة.
3. **ظل المتواليات (Shed Shading):** وهو الظل الناتج عن سطور الألواح الشمسية المتعاقبة التي ترمي ظلّ بعضها على بعض.

حساب مدى تأثير الظلّ:

أيّ جسم يقع تحت الضوء معرض لإنتاج الظلّ، وهذا الظلّ يزداد امتداده ويقلّ وَفق زاوية سقوط الضوء، وأبعاد الجسم. ويمكن اعتماد القانون الآتي لحساب المدى الذي سيمتدّ إليه الظلّ، كما في الشكل (1) الآتي، وفيه مشهد توضيحي لكيفية قياس مدى الظلّ:



الشكل (1): مجال الظلّ وطريقة حسابه

لمعرفة مدى امتداد الظلال، يمكن اعتماد المعادلة الآتية:

$$d = \frac{h}{\tan(61° - Latitud)}$$

حيث إنّ:

(d): هي مسافة امتداد الظلّ بوحدة (م/سم).

(h): هو فرق الارتفاع بين أعلى نقطة في مصدر الظلّ وأخفض نقطة للألواح الشمسية.

($Latitud$): هي درجة خطّ العرض التي يتمّ فيها التركيب.

وعليه يمكن تجنّب تأثير الظلّ إمّا من خلال الابتعاد عنه بزيادة المسافة d، أو من خلال زيادة ارتفاع الألواح الشمسية، بالاستعانة بالهيكل؛ لتقليل فرق الارتفاع عن مصدر الظلّ h.

مثال:

ارتفاع تصوينة سطح أحد المنازل هي 110 سم، وأرغب بتركيب لوحات شمسية ترتفع عن الأرض 40 سم في أخفض نقطة. أجد المسافة التي يجب تركها بين الألواح الشمسية والتصوينة؛ لكيلا يقع ظلّ على الألواح.

الحلّ: فرق الارتفاع بين التصوينة والألواح الشمسية (h=70cm)، وفي فِلَسطين يمكن اعتبار دائرة العرض (Latitude = 32)، وبالتعويض في المعادلة:

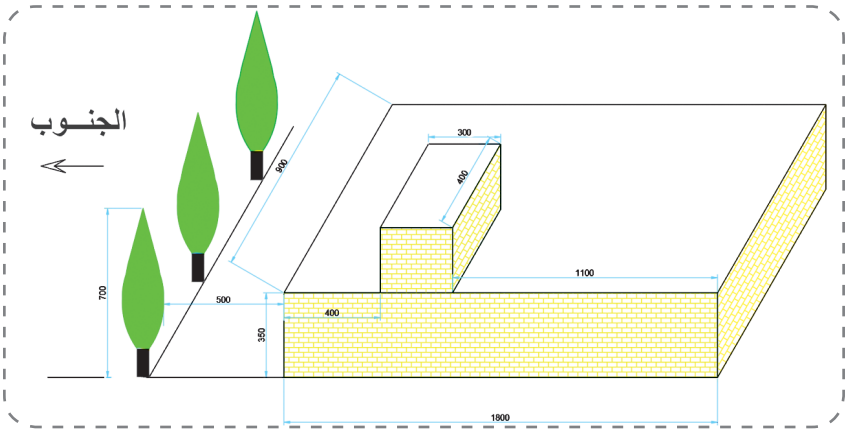
$$d = \frac{h}{tan\,(61° - Latitud)} = \frac{70}{tan\,(61° - 32)} = \frac{70}{0.5543} = 126cm$$

نجد أنّ عليّ أن أرتدّ 126 سم عن الصور بالحدّ الأدنى عن تصوينة المبنى.

- **سؤال (1):** في حال قررت جعل المسافة بين الألواح الشمسية والصور فقط 50 سم، كم سيكون عليّ رفع الألواح الشمسية عن الأرض؟
- **سؤال (2):** لوحات شمسية طولها 195.6 سم، مثبته على درجة ميل 40°، ومثبتة على شكل صفوف بعضها خلف بعض. أحسب المسافة التي يجب أن أحافظ عليها بين الصفوف في رام الله؟

مثال:

سطح منزل كالظاهر في الشكل (2)، يريد صاحبه تركيب محطّة شمسية مرتبطة بالشبكة، مكوّنة من عشر لوحات شمسية، مواصفاتها الميكانيكية ظاهرة في الشكل (3). أصمّم موقع الألواح الشمسية، وارتفاعها.



الشكل (2)

السؤال الأول: أختار رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تبلغ كلفة حامل الألواح الشمسية المصنوعة من الألمنيوم مقارنة بالحديد المجلفن:

أ- مرة ونصف.
ب- مرتين
ج- ثلاث مرات.
د- أربع مرات.

2. من ميزات تصنيع حامل للألواح الشمسية من الألمنيوم:

أ- طول عمره الافتراضي.
ب- سهولة التصنيع.
ج- خفّة الوزن.
د- جميع ما ذُكِرَ.

3. باستخدام ماذا تُنظَّف الثقوب المحدثة على سطح التثبيت؟

أ- هواء مضغوط.
ب- المياه.
ج- مادة الصودا الكاوية.
د- سائل تنظيف حمضي.

4. تُستخدَم أحياناً براغي التثبيت من نوع الستانلس ستيل؛ لأنّها تمتاز:

أ- بخفّة الوزن.
ب- بطول العمر الافتراضي.
ج- برخص الثمن.
د- بأنّها أقصر من غيرها من البراغي.

5. ما مصدر الظلال البعيدة؟

أ- بيت الدرج.
ب- تصوينة السطح.
ج- الألواح الشمسية.
د- الغيوم، والضباب، والأتربة العالقة.

6. بمَ يتأثّر طول الظلّ لجسم ما؟

أ- بدرجة عرض المنطقة.
ب- بشدّة الإشعاع الشمسي.
ج- بحالة الطقس.
د- بنوع مادة الجسم.

7. عند تركيب الألواح عرضياً على الحامل المعدني يقلّ تأثّر ظلّ الألواح على بعضها بعضاً، ما السبب في ذلك؟

أ- طول اللّوح.
ب- متانة الحامل، وتوجيهه.
ج- درجة حرارة اللّوح.
د- طبيعة ديودات الحماية.

8. كم يتراوح تحمّل سرعات الرياح التي على الهياكل؟

أ- 100 - 110 كلم/ ساعة.
ب- 100 - 140 كلم/ ساعة.
ج- 50 - 70 كلم/ ساعة.
د- 200 - 240 كلم/ ساعة.

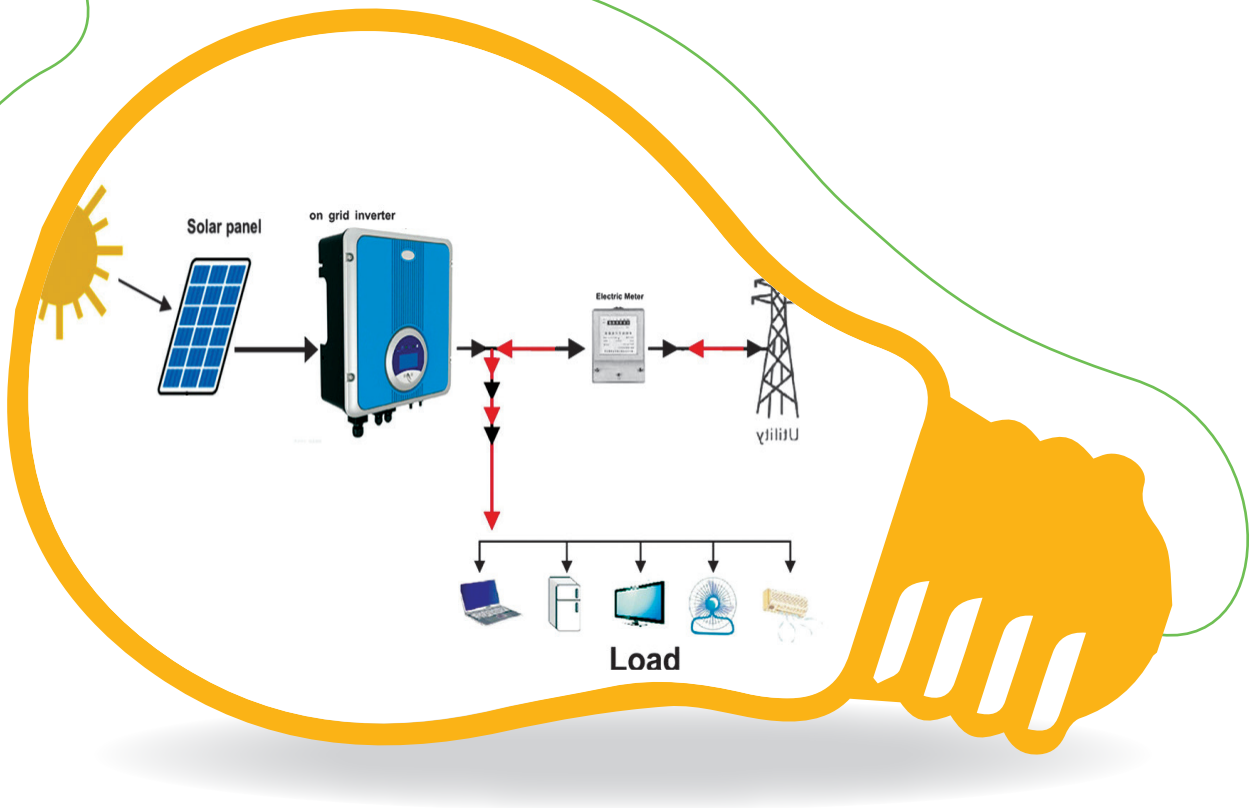
- السؤال الثاني: من طرق التثبيت على السطح طريقة التثبيت على قواعد إسمنتية مضافة. أشرح هذه الطريقة شرحاً مفصلاً.
- السؤال الثالث: لماذا يجب استخدام برغي بقياس مناسب لشدّ اللّوح باستخدام المرابط؟
- السؤال الرابع: ما المقصود بالظلال القريبة؟
- السؤال الخامس: كيف يمكن الحدّ من تأثير الظلال القريبة؟
- السؤال السادس: ارتفاع تصوينة سطح أحد المنازل هي 90 سم، وأرغب بتركيب لوحات شمسية ترتفع عن الأرض 10 سم فقط في أخفض نقطة. أجد المسافة التي يجب تركها بين الألواح الشمسية والتصوينة؛ لكيلا يقع ظلّ على الألواح.
- السؤال السابع: ما الأسباب التي تدفع لرفع الألواح الشمسية عن زاوية ميل تساوي الصفر؟

4

الوَحدة النمطية الرابعة

تصميم المحطات الشمسية المتصلة بشبكة الكهرباء المحلية

(On-Grid Photovoltaic Systems)



«لم تنجح الأنظمة الشمسية في بعض المناطق من العالم، لكنّها تألّقت في ربوع فِلَسطين، وتميّزت».

بعد دراسة هذه الوَحدة، والتفاعل مع أنشطتها، يُتوقّع من الطلبة أن يكونوا قادرين على التّعرّف إلى تصميم المحطات الشمسية أحادية الطور وثلاثية الطور من خلال الآتي:

1. حساب الأحمال.
2. تطبيق قواعد مصادر الطاقة (H/K/PSH).
3. تقدير معامل الأداء (PR).
4. التعرف إلى مواصفات الإنفيرترات المتصلة بالشبكة، وآلية عملها.
5. التعرف إلى طرق الاحتساب المالي.
6. تحديد أنواع المحطات المتصلة: استثمارية، أو صافي قياس.
7. إجراء حسابات التوافق بين الألواح الشمسية والإنفيرتر.

الكفايات المُتوقّع أن يمتلكها الطلبة بعد الانتهاء من دراسة هذه الوَحدة هي:

أولاً- الكفايات الاحترافية:

1. معرفة مكونات أنظمة الطاقة الشمسية المتصلة بالشبكة.
2. حساب كمية الطاقة الشمسية السنوية الساقطة عند مكان التصميم.
3. حسابات استهلاك الطاقة السنوية.
4. تحديد شهر التصميم الأسوأ.
5. حساب معامل الكفاءة العام للمحطّة.
6. التفريق بين أنظمة التوليد المختلفة المرتبطة بالشبكة.
7. إجراء الحسابات الخاصّة بأنظمة القياس والمقاصة لأنظمة الطاقة الشمسية.
8. مناقشة القوانين السارية والسابقة الخاصّة بالاحتساب في مشاريع الطاقة الشمسية.

ثانياً- الكفايات الاجتماعية والشخصية:

1. المصداقية.
2. تلبية حاجات الزبون والحفاظ على خصوصيته.
3. المبادرة في الاتصال بالأشخاص ذوي الخبرة.
4. التأمل الذاتي.
5. احترام الرأي والرأي الآخر.
6. تحمّل النقد.
7. الثقة بالنفس.

ثالثاً- الكفايات المنهجية:

1. تحفيز الرغبة الاستكشافية.
2. المقدرة على البحث
3. التعلّم التعاوني.
4. بناء خطّة العمل.
5. معرفة المصطلحات الإنجليزية الخاصّة بالمهنة.

رابعاً قواعد الأمن والسلامة المهنية:

1. الالتزام بالملابس الخاصّة بالتدريب العملي.
2. عدم لمس الأجهزة الموجودة في المشغل إلّا بتوجيهات من مشرف المشغل.
3. عدم تشغيل أيّ من التجارب العملية التي أُنجِزت إلّا تحت إشراف مشرف المشغل.
4. التأكّد من إطفاء جميع الأجهزة بعد الانتهاء من أداء التجارب، والحصول على النتائج.
5. الحفاظ على المشغل نظيفاً طوال الوقت، وبعد الانتهاء من التجارب العملية.
6. الانتباه من خطر الصعق الكهربائي في أثناء التعامل مع مصادر التغذية عالية القدرة.

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب منزل من فنّي تركيب أنظمة طاقة متجددة توضيح خصائص إنفيرتر مرتبط بالشبكة اشتراه من مورّد محلي.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	جمع بيانات من صاحب المحل عن: • الإنفيرتر المرتبط بالشبكة. • تكنولوجيات الإنفيرتر المرتبط بالشبكة. • مواصفات للإنفيرتر المرتبط بالشبكة، وخصائصه، وقيمه. • أنواع الإنفيرترات المتوفّرة في السوق المحلية.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب المنزل الكتابي. • بيانات السوق المحلية. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المَهمّة. • تحديد جدول تكلفة للمَهمّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أُنفّذ	• جمع معلومات وبيانات عن الإنفيرترات المتصلة بالشبكة في السوق المحلية. • تحليل المعلومات التي جُمِعَت. • مقارنة خصائص الإنفيرترات المتوفّرة في السوق المحلية. • بحث عميق عن معنى كلّ خاصية موجودة في نشرة البيانات.	• مجموعات عمل.	• الشبكة العنكبوتية • إنفيرترات شمسية متصلة بالشبكة • ملحقات الإنفيرترات المرتبطة بالشبكة. • أوراق مواصفات الأجهزة.
أتحقّق من	• مواصفات الأجهزة المتوفّرة في المشغل • مواصفات الأجهزة المتوفّرة في السوق. • أي الإنفيرترات أكثر ملاءمة لتلبية احتياجات النظام.	• مجموعات عمل.	• نتائج التجارب السابقة المدونة في جداول.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تكليف الخبراء بتقديم التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

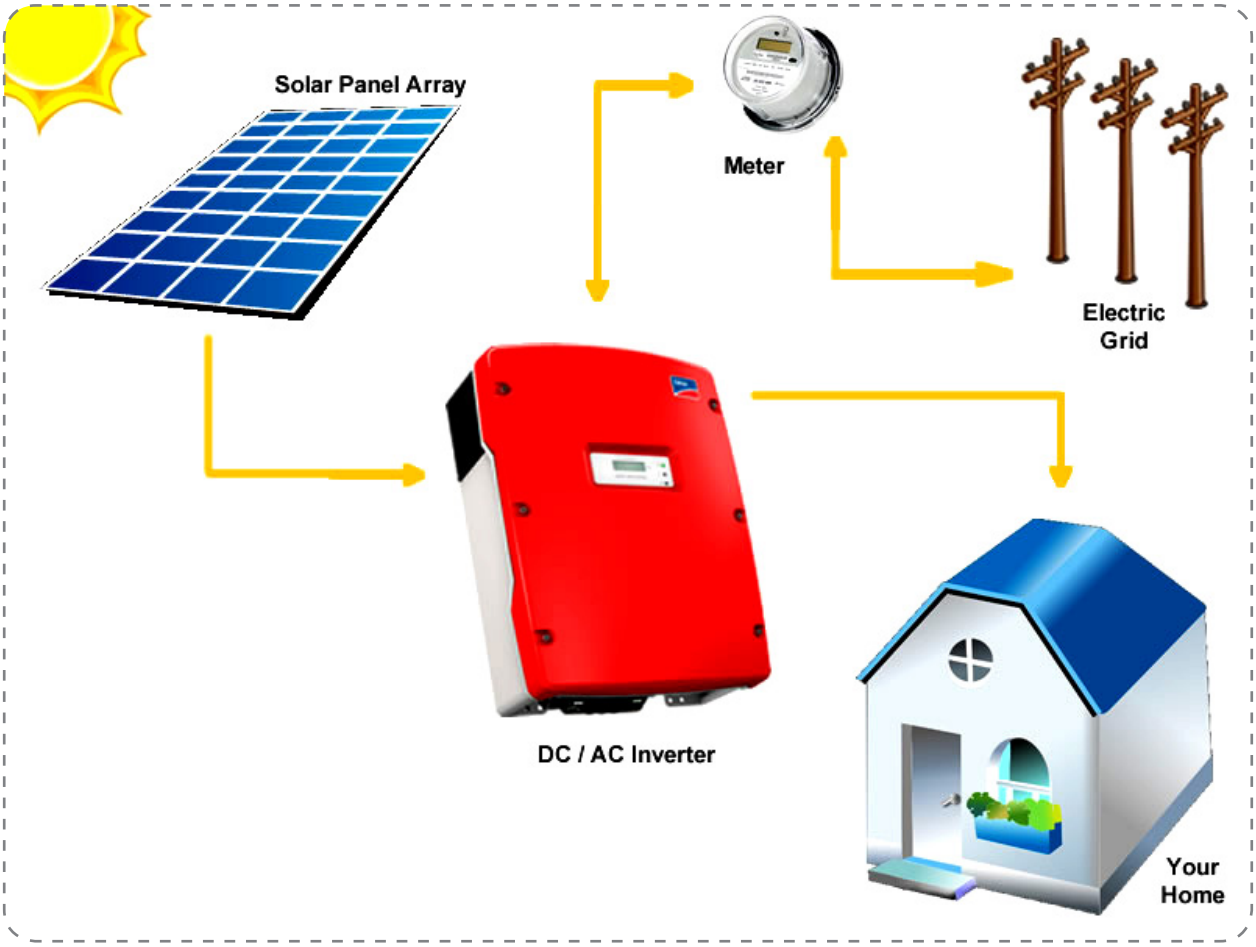
الأسئلة:

- ما سمات الإنفيرترات المرتبطة بالشبكة؟
- هل يمكن استخدام الإنفيرترات المرتبطة بالشبكة مكان الإنفيرترات المنفصلة عنها؟

نشاط: هل يمكن أن يعمل إنفيرتر المرتبط بالشبكة عند انقطاع التيار الكهربائي المغذّي من شبكة الكهرباء الرئيسة؟

الأنظمة المرتبطة مع شبكة الكهرباء العامّة (ON-Grid System)

هي عبارة عن الأنظمة الشمسية التي تُربَط مع شبكة الكهرباء العامّة؛ إذ إنّها لا تحتاج إلى وسيلة تخزين للطاقة الكهربائية (بطاريات)؛ أي عند زيادة كمية إنتاج الطاقة الكهربائية من النظام الشمسي عن الكمية المطلوبة للأحمال، كما في فصل الصيف، وتُضَخّ الطاقة الفائضة في شبكة الكهرباء المحلية، وفي حال عجز النظام الشمسي عن تغطية كامل الحمل المطلوب، كما هي الحال في فصل الشتاء، تُستهلَك الكمية المطلوبة من الشبكة المحلية والنظام الشمسي، وعليه فإنّ النظام يصبح جزءاً لا يتجزّأ من شبكة الكهرباء المحلية، كما في الشكل (1) الآتي:



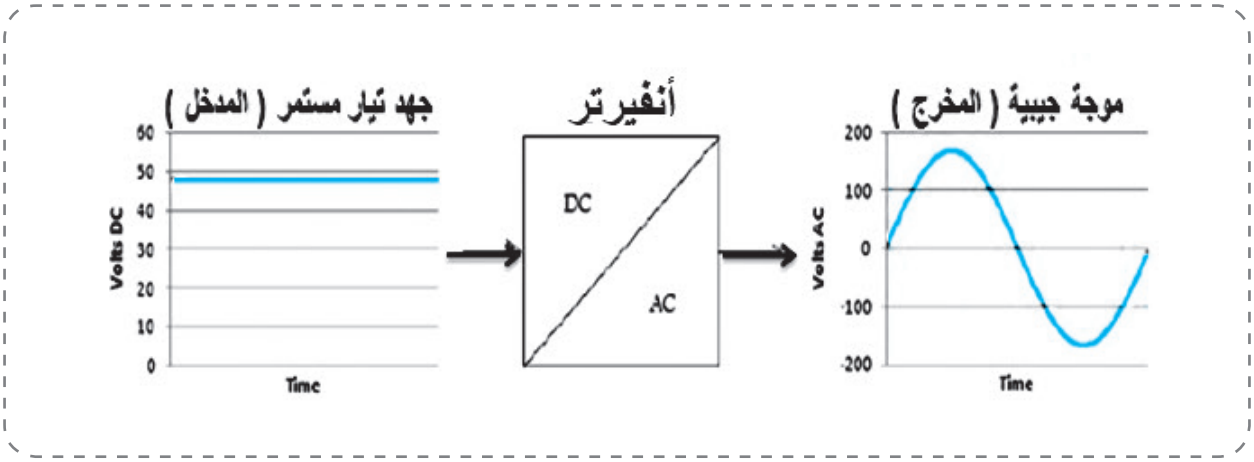
الشكل (1): مكونات النظام الشمسية المرتبط بالشبكة

وتُعَدّ أنظمة الإلواح الشمسية المرتبطة مع شبكة التوزيع الكهربائية الأنظمةَ الأكثرَ استخداماً، والأوسع انتشاراً في المناطق القريبة على شبكة الكهرباء، كما أنّها تتميّز عن الأنظمة المعزولة بسهولة إنشائها، وقلّة مكوّنات النظام فيها، إضافة إلى انخفاض تكلفة إنشائها مقارنة بالأنظمة المنفصلة عن الشبكة، ويبيّن الشكل (1) المكونات الرئيسة لنظام توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية المرتبط بالشبكة، وهي:

1. **الألواح الشمسية (Solar Modules).**
2. **إنفيرتر القدرة الكهربائي (Inverter):** يُستخدَم الإنفيرتر لتحويل الجهد المستمرّ (DC) الخارج من الألواح الشمسية إلى جهد متناوب (AC).
3. **نظام قياس الطاقة الكهربائية (Metering System):** بما أنّ النظام مرتبط بالشبكة المحلية والطاقة الكهربائية، سواء أكانت منتجة من النظام الشمسي أم مستهلكة من الشبكة المحلية، يكون لها تكلفة؛ لذلك يجب وجود نظام قياس لهذه الطاقة الكهربائية.

إنفيرتر القدرة الكهربائية (Inverter):

تُعَدّ الإنفيرترات الكهربائية قلب النظام الكهروضوئي؛ حيث تعمل على تحويل التيار المستمرّ (DC) الذي نحصل عليه من الألواح الشمسية أو البطاريات إلى تيار متناوب (AC)، كما في الشكل (2)، لكنّ السؤال: لماذا نحتاج إلى تحويل التيار الكهربائي من تيار مستمرّ إلى تيار متناوب؟

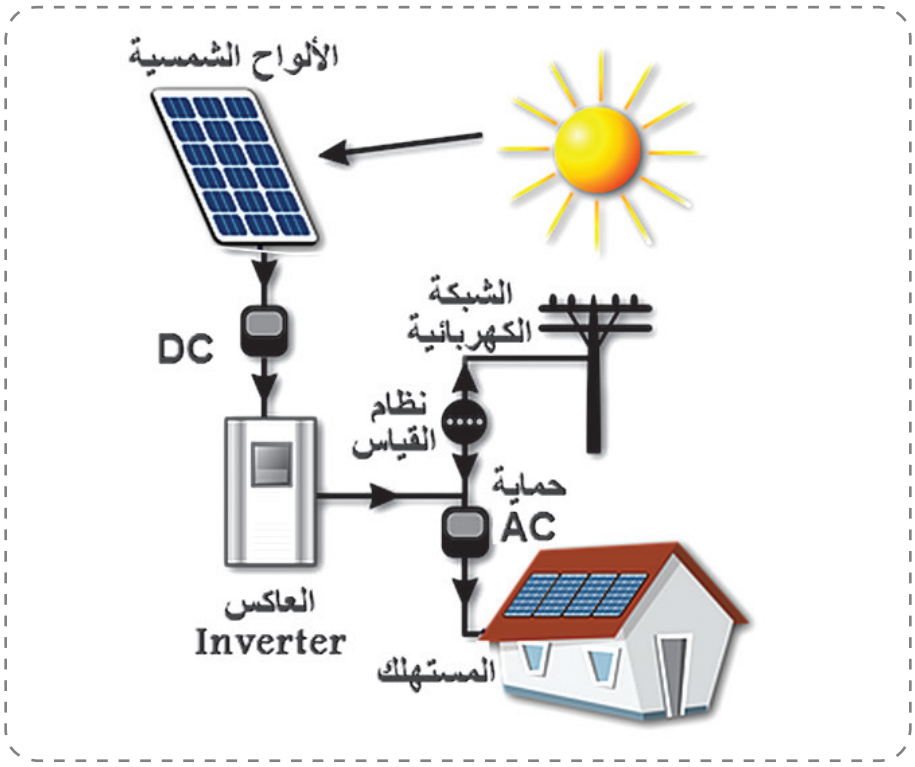


الشكل (2): موجة الدخل والخرج للإنفيرترات الشمسية

تُعَدّ إنفيرترات القدرة الكهربائية من المعدات الإلكترونية؛ حيث تحوِّل القدرة الكهربائية من (DC) إلى (/ 230V AC) – (50Hz)، كما يمكن تمثيل الإنفيرترات بدارة إلكترونية تتكوّن من مجموعة من المفاتيح الإلكترونية. وعند تحويل المفاتيح إلى وضعية التوصيل (ON)، أو الفصل (OFF) تبعاً لمقدار تردّد موجة التيار المتناوب (AC) المطلوبة. لكن من الجدير ذكره أنّ الإنفيرترات المستخدمة في الأنظمة الشمسية المرتبطة مع الشبكة المحلية تختلف عن الأنظمة الشمسية المستقلة عنها في المهام التي يقوم بها كلّ إنفيرتر، إضافة إلى البنية، والتركيب.

الإنفيرترات المرتبطة مع شبكة الكهرباء (ON-Grid Inverter):

هي إنفيرترات قدرة كهربائية تُستخدَم في الأنظمة الشمسية المرتبطة مع شبكة الكهرباء المحلية؛ حيث لا يعمل هذا الإنفيرتر إلّا عند وجود التيار الكهربائي من الشبكة المحلية، وبما أنّها مرتبطة مع الشبكة المحلية فهي تخضع لخصائصها الكهربائية؛ حيث تُنتَج موجة جيبية مطابقة للموجة الجيبية للشبكة الكهربائية التي يرتبط معها؛ أي تمتلك قيمة الجهد والتردد نفسها؛ حتى يتسنّى للإنفيرتر مواءمة موجته مع موجة الشبكة، وبالتالي يبدأ بضخّ التيار الكهربائي الناتج من النظام في الشبكة الكهربائية، كما في الشكل (3) الآتي:



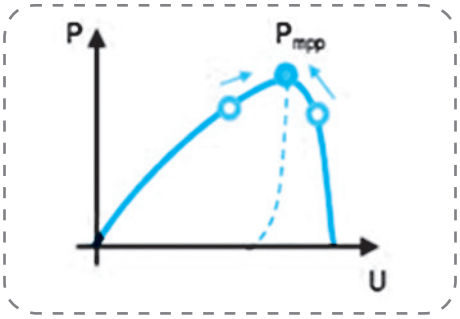
الشكل (3): مخطط سهمي للأنظمة المرتبطة بالشبكة

لا يقتصر عمل الإنفيرتر بمهمّة تحويل القدرة من (DC) إلى (AC)، بل إنّ هناك مجموعة من المهامّ الإضافية التي يقوم بها الإنفيرتر، التي لا تقلّ أهمية عن تحويل التيار، وهي تختلف وَفق نوع الإنفيرتر، فالإنفيرترات المستخدمة في الأنظمة الشمسية المرتبطة مع الشبكة تقوم بالمهامّ الآتية:

1. تتبعّ أقصى نقطة قدرة - Maximum Power Point Tracker (MPPT):

بعد دراسة منحنى الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية، وُجِدَ أنّ القدرة تتغيّر مع تغيّر الجهد والتيار، ثمّ وُجِدَ أنّ هناك قيمة للقدرة القصوى موجودة على المنحنى، ولتحقيق أكبر استفادة من اللّوح الشمسي؛ يجب العمل عند نقطة القدرة القصوى، وعند نتيجة تغيّر الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة خلال اليوم، فإنّ قيم الجهد والتيار الناتجين من

مصفوفة الألواح الشمسية لا تكون ثابتة، إنّما تكون في تغيّر مستمرّ، وأنّ منحنى الجهد والتيار أيضاً يكون في تغيّر مستمرّ؛ لذلك كانت هناك الحاجة لمثل هذه التقنيات، كما في الشكل (4) الآتي:



الشكل (4): مخطط سهمي للأنظمة المرتبطة بالشبكة

2. الحماية بتقنية الجزر (Islanding Protection):

هي تقنية حماية يُفصَل فيها الإنفيرتر عن الشبكة المحلية للكهرباء في حال انقطاع التغذية من تلك الشبكة نتيجة أيّ سبب كان؛ حيث يفصل الإنفيرتر نفسه عن الشبكة؛ لحماية نفسه، وحماية أفراد طواقم الصيانة لشركة الكهرباء. وتُعَدّ هذه التقنية متطلباً أساسياً لأيّ نظام توليد طاقة متصل مع الشبكة العامّة للكهرباء.

3. تزامن التردد والجهد (Voltage and Frequency Synchronization):

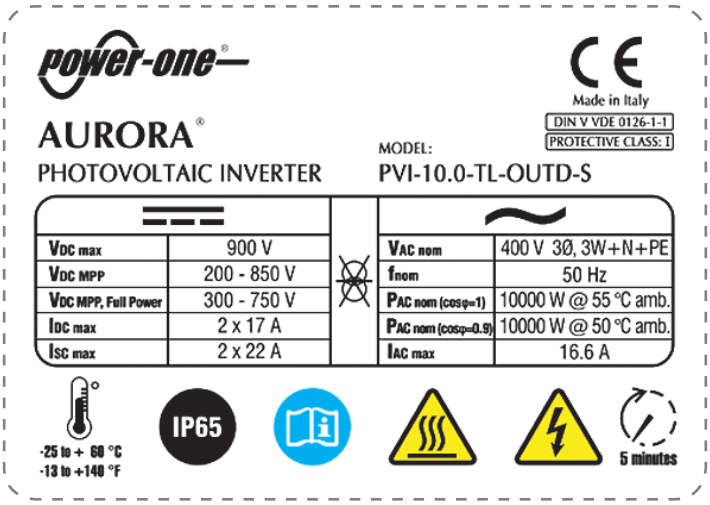
تُعَدّ هذه المَهمّة من أبرز مهامّ الإنفيرترات المرتبطة مع الشبكة، حيث يتوجّب على الإنفيرتر الكهربائي أن يُنتج جهداً بتردّد وقيمة تطابق جهد الشبكة وتردّدها، وهذا ما يُسمّى مرحلة تزامن الإنفيرتر مع الشبكة. إضافة إلى أنّ الإنفيرترات يجب أن تعمل دون مشاكل عند التعرّض للتقلبات الطفيفة في الجهد والتردد عند جانب الشبكة العامّة، علماً أنّ هناك متحكمات وأجهزة حماية تراقب بصفة مستمرّة جهد الشبكة العامّة وتردّدها. وعند خروج هذه القيم خارج الحدود المسموحة، فإنّ المتحكّمات الداخلية للإنفيرتر تفصل الإنفيرتر عن الشبكة؛ لحمايته.

إضافة إلى المهامّ الأساسية السابقة، فإنّ الإنفيرترات المرتبطة مع الشبكة عادةً ما تمتلك كفاءة عالية، إضافة إلى احتوائها على أجهزة حماية ضدّ الجهود العابرة، وتيارات القصر، وارتفاع حرارة العناصر الداخلية للإنفيرتر.

المواصفات الكهربائية لإنفيرتر القدرة الكهربائية:

يوجد لكلّ إنفيرتر كهربائي مُستخدَم في الأنظمة الشمسية مجموعة من القيم التي تصف الخصائص الكهربائية له، والتي عادة ما تدرجها الشركات الصانعة لها فيما تُسمّى نشرة بيانات (Data sheet) للإنفيرتر الكهربائي، كما في الشكل (5)، بحيث تعطي معلومات كافية عنه؛ بهدف مساعدة الشخص المختصّ في أثناء استخدام هذه الإنفيرترات لتوليد

الطاقة الكهربائية توليداً فعالاً، وتغذية الأحمال، علماً أنّ اختيار الإنفيرترات في تصميم الأنظمة الشمسية يُعَدّ أمراً مهماً؛ إذ إنّ الاختيار الخاطئ للإنفيرتر يمكن أن يؤدي إلى مفقودات طاقة واضحة، أو حدوث أعطال في الإنفيرتر نفسه؛ لذلك لا بدّ من معرفة أهمّ القيم التي يتمّ التعامل معها عند اختيار الإنفيرتر المناسب، وهي على النحو الآتي:



الشكل (5)

- **أقصى قدرة (DC) يعمل عندها الإنفيرتر (Input Power):**

هو أعلى قيمة قدرة (DC) يمكن أن يعمل عندها الإنفيرتر دون أيّ أعطال، وعادةً ما تكون أعلى بنسبة قليلة من القدرة المقننة (الاسمية) للإنفيرتر.

- **جهد بداية التشغيل وأقصى جهد تشغيل لنقطة الـ (MPP):**

غالباً ما نجد في نشرة بيانات الإنفيرتر فترة من قيم الجهد التي لا يعمل الإنفيرتر إلّا عند تحقيق هذه القيم؛ أي أنّ هناك قيمة ابتدائية (Start-Up Voltage)، وهي أقلّ قيمة جهد تنتجه الألواح الشمسية يكفي لبداية عمل الإنفيرتر. وعلى الجانب الآخر، فإنّ هناك أقصى قيمة جهد يمكن لمدخل الإنفيرتر تحمّلها، والعمل ضمن فترة عمل أقصى قدرة، حتى نحصل على أعلى كفاءة من الألواح.

- **أقصى تيار مستمرّ (DC) يمكن أن يعمل عنده الإنفيرتر:**

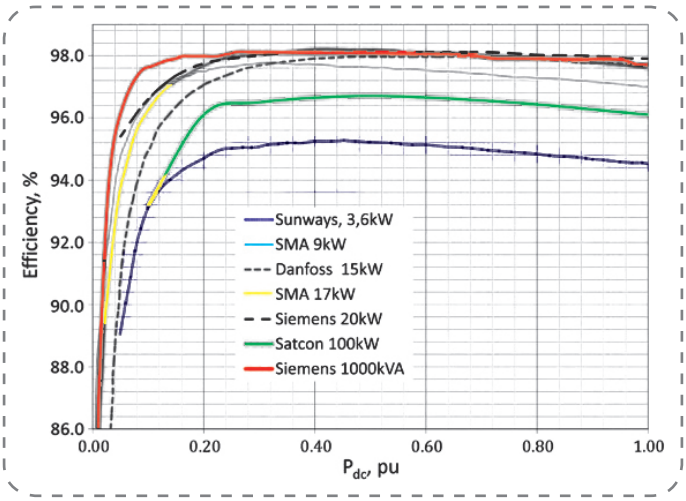
هو أقصى قيمة من التيار يمكن أن يعمل عنده الإنفيرتر دون تلف عناصره الإلكترونية الداخلية، وهذه القيمة غالباً ما تحدّد عدد الصفوف التي نستطيع ربطها مع الإنفيرتر حتى يعمل بكفاءة، ودون أعطال.

- **مخرج الإنفيرتر الاسمي جهد وتردّد وقدرة (AC):**

كما أصبح معروف لدينا أنّ القدرة الخارجة من الإنفيرتر هي قدرة متناوبة (AC)، وبجهد متناوب 230 فولت للإنفيرترات أحادية الطور، و400 فولت للإنفيرترات ثلاثية الطور، وبتردّد ثابت 50 هيرتز، علماً أنّ هذه القيم ثابتة لإنفيرترات القدرة المرتبطة أو المعزولة عن الشبكة؛ لأنّ الهدف من الإنفيرتر تغذية الأحمال التي تعمل على التيار المتناوب في الأنظمة المعزولة، أو أن تُربَط مع شبكة الكهرباء، كما في الأنظمة المرتبطة مع الشبكة.

- **كفاءة الإنفيرتر:**

هي عبارة عن النسبة بين القدرة الخارجة من الإنفيرتر إلى القدرة الداخلة إليه بالنسبة للقيم المعيارية، حيث تقيس الكفاءة مدى الاستفادة من الطاقة المحوّلة باستخدام الإنفيرتر، وغالباً ما تُمثَّل الكفاءة بنسبة مئوية (%)، وتصل كفاءة الإنفيرترات حالياً إلى أكثر من 90%، وتجدر الإشارة إلى أنّ كفاءة إنفيرترات الأنظمة المرتبطة مع الشبكة تتغيّر وَفق الشركات المصنّعة، وقدرة الإنفيرتر نفسه، ونسبة القدرة التي يعمل عندها من القدرة الكلية له، كما في الشكل (6) الآتي:



الشكل (6)

وبعبارة أخرى، فإنّ الكفاءة تعبّر عن المفاقيد داخل الإنفيرتر، والمفاقيد متغيّرة تتناسب مع مربّع تيار الحمل. ويمكن التعبير عن الكفاءة المتغيرة لكلّ إنفيرتر بناءً على منحنى خاصّ يكون موجوداً في نشرة بيانات الإنفيرتر، والشكل (6) السابق أحد هذه الأمثلة.

ويمثّل الشكل (7) الآتي نموذجاً لنشرة بيانات (Data sheet) لإنفيرتر مرتبط مع الشبكة المحلية أحادي الطور قدرته 5 كيلوواط، تحتوي على المتغيرات السابقة بالتفصيل:

Input (DC)	
Maximum recommended PV power	5,000W
Maximum input voltage	600V
Operating voltage range	100 ~ 550V
MPP voltage range - symmetrical	180 ~ 500V
Start-up voltage	100V
Nominal voltage	350V
MPP tracker	2
Maximum input current (DC1 / DC2)	12A / 12A
Maximum input current (total MPPT)	24A
Connection type	2 pairs MC4 (1 / 1)
Output (AC)	
Maximum apparent power	4,000VA
Maximum output current	18.2A
Rated voltage	230V
Operating voltage range	-20% / +22%
Operating frequency range	50 / 60Hz
Efficiency	
Peak efficiency	97.50%

الشكل (7)

تقنيات توصيل الألواح الشمسية مع الإنفيرترات الكهربائية المرتبطة مع الشبكة:

تُعَدّ الإنفيرترات الكهربائية المرتبطة مع الشبكة بأنّها حلقة الوصل بين الألواح الشمسية، وشبكة الكهرباء المحلية، أو الأحمال المنزلية، بما أنّ النظام الشمسي يتكوّن من مجموعة من الألواح الشمسية التي تُربَط مع إنفيرتر واحد أو أكثر وَفق آلية التصميم المتّبعة، ومن تلك الآليات ما يأتي:

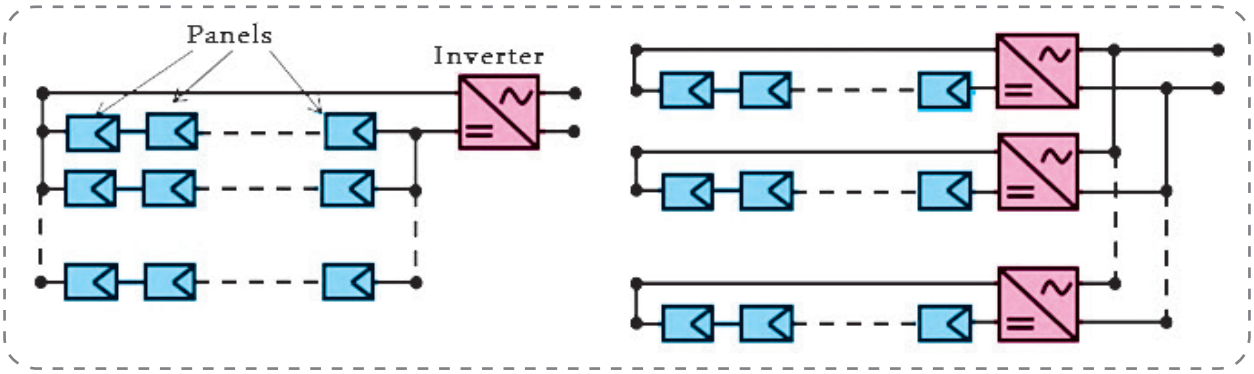
1- الإنفيرترات المركزية (Central Inverters):

هي عبارة عن الإنفيرتر الذي يُستخدَم في محطات الطاقة الضخمة، التي تُربَط فيها مجموعة كبيرة من الألواح مع إنفيرتر تيار كهربائي ذي قدرة عالية، علماً أنّ ما يميّز هذا النوع من الإنفيرترات الكفاءة العالية للنظام، حيث إنّ الخسائر تكون قليلة؛ لأنّ الخسائر تكون مقتصرة على إنفيرتر واحد. وتكلفة النظام تكون أقلّ، لكن من عيوب هذا الإنفيرتر أنّ معالجة قدرة النظام تكون مركّزة في نقطة، أو إنفيرتر واحد؛ أي أنّه في حال حدوث أيّ خلل في هذا الإنفيرتر، فإنّه يسبّب توقّف كامل للمحطّة الشمسية، كما في الشكل (8) المجاور:

الشكل (8)

2- إنفيرترات السلسلة (String Inverters):

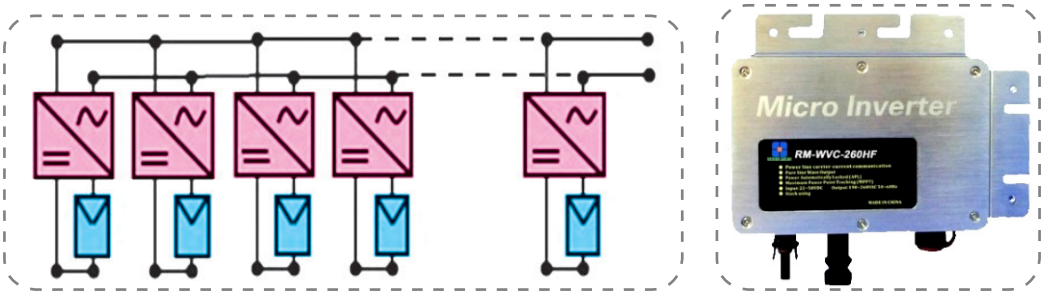
هي الإنفيرترات التي تُربَط مباشرة بمجموعة من الألواح الشمسية التي تكون مرتبطة معاً على التوالي (String)، وجاء هذا الإنفيرتر؛ للتغلّب على نقاط ضعف الإنفيرتر المركزي، حيث قسّم النظام الشمسي إلى مجموعة من السلاسل، وبالتالي تكون قوة النظام موزّعة؛ أي في حال عطل أحد الإنفيرترات تبقى الإنفيرترات الأخرى في العمل. وأهمّ ما يميّز هذا النظام أنّه في حال وقوع ظلّ على أحد السلاسل لا يؤثّر على السلاسل الأخرى، إضافة إلى أنّها عادةً ما تمتلك أكثر من مدخل نقطة (MPPT)، وبالتالي يزيد من موثوقية النظام الشمسي، كما في الشكل (9) الآتي؛ للمقارنة:



الشكل (9): إنفيرترات السلسلة يميناً والإنفيرترات المركزية يساراً

3- إنفيرترات اللّوح الواحد (Micro/Module-Inverters):

هي إنفيرترات تُربَط مع كلّ لوح شمسي، ثمّ تُجمَّع مخارج جميع الإنفيرترات، وتُربَط مع شبكة الكهرباء. ويُعَدّ هذا النظام مكلفاً وأقلّ كفاءة مقارنة بإنفيرترات السلسلة والإنفيرترات المركزية، علماً أنّ الميزة المهمة لهذا النظام هي عند تعرّض أحد الألواح أو جزء منه للظلّ، فإنّ الانخفاض في القدرة لا يتناسب مع كامل المصفوفة، إضافة إلى أنّ كلّ إنفيرتر يعمل عند القدرة القصوى لكلّ لوح. ويُعَدّ هذا النظام ملائماً للأنظمة ذات القدرات المنخفضة، وألواح القدرات المختلفة، كما في الشكل (10) الآتي:



الشكل (10)

أسئلة الدرس:

1. أقارن بين إنفيرترات السلسلة والإنفيرترات المركزية مقارنة كاملة.
2. ما المكونات الرئيسة لنظام توليد شمسي مرتبط بالشبكة؟
3. ما المقصود بالحماية بتقنية الجزر؟

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب منزل في مدينة الخليل من فني تركيب الطاقة المتجددة حساب قدرة محطّة شمسية مرتبطة بشبكة الكهرباء المحلية؛ لتقليل فاتورة الاستهلاك لمنزله.

العمل الكامل:

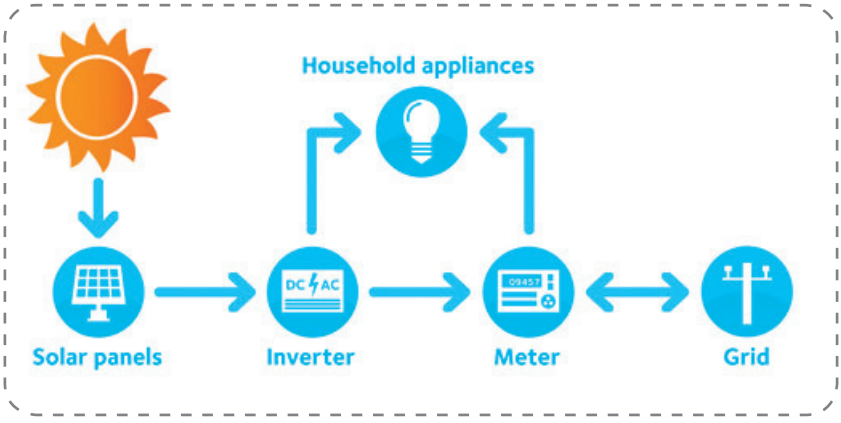
خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأحلّلها	**جمع البيانات من صاحب المنزل عن:** • كمية الاستهلاك الشهرية لمنزله. • طبيعة أحماله الموجودة في المنزل، ومواصفاتها الفنية. • نمط الاستهلاك الفصلي صيفاً، وشتاءً. • مِساحة السطح المسموح استغلالها للمشروع. **جمع بيانات عن:** • الألواح الشمسية المتوفّرة في السوق المحلية، وأهمّ مواصفتها الفنية. • أنواع الإنفيرترات الشمسية المستخدمة والمتوفّرة.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب الزبون الكتابي. • الشبكة العنكبوتية، وفيديوهات تعليمية. • الاستعانة بالخبراء. • كتيّبات مواصفات فنية لأحمال منزلية مختلفة.
أخطّط، وأقرّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المهمة. • تحديد جدول تكلفة للمهمة. • تحديد العِدد المناسبة؛ لتنفيذ العمل.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• أدوات قياس وتوثيق. • نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنية، تبعاً للمعايير الفنية ذات الصلة. • تحديد كمية الاستهلاك السنوي للمنشأة وَفق استهلاك الزبون. • تحديد كمية الوارد الشمسي في منطقة التركيب، مع الأخذ بعين الاعتبار معامل تصحيح الميل. • تصميم المحطّة الشمسية، وتحديد القدرة الاسمية للمحطّة. • تحديد عدد الألواح الكلّي المطلوب للنظام. • تحديد قدرة الإنفيرتر المطلوب، وعدد مداخل تتبّع القدرة القصوى المطلوبة.	• مجموعات عمل.	• لوحات شمسية. • إنفيرتر وحماياته. • أسلاك (DC)، و(AC). • كتيّبات المواصفات الفنية لجميع المكونات. • مخططات توصيل الإنفيرتر.

أتحقّق من	• مقارنة الحسابات التي خلصت إليها، وطابقتها مع نشرة بيانات الأجهزة. • فحص الإنفيرتر والمحطّة الشمسية، وتوافق الأجهزة قبل التصميم مع القيم المرجعية بعد التصميم في كتيبات المواصفات الفنية للأجهزة.	• مجموعات عمل.	• جهاز فحص ملتيميتر رقمي. • جهاز كلامبميتر.
أوثّق، وأقدّم	• توثيق نتائج العمل. • تلخيص الخطوات، والإجراءات، والنتائج كافّة على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن التكلفة. • تعرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي. • العمل الفردي.	• جهاز عرض LCD. • دفتر التدريب العملي.
أقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • مقارنة مع وصف الزبون.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- أناقش الفرق بين الأنظمة المرتبطة والمنفصلة عن الشبكة.
- أناقش: هل التكلفة الاقتصادية للأنظمة المتصلة في الشبكة تكون أكبر من المنفصلة عن الشبكة عند القدرة نفسها؟

نشاط: أبحث عن أنظمة احتساب الطاقة في مدينتي لأنظمة الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة، وأناقش تدفّق الطاقة في الرسم البياني السابق.



تحديد قدرة محطّة شمسية مرتبطة بالشبكة:

تُعدّ مرحلة التصميم من أهمّ المراحل في إنشاء الأنظمة الشمسيّة المرتبطة بالشبكة، حيث تُختار في هذه المرحلة مكوّنات النّظام وعناصره الأساسية؛ لضمان العمل بالشكل، وبالجوْدة المطلوبيْنِ، وفي هذه المرحلة، ستُحدَّد قدرة الألواح الشمسية، وقدرة الإنفيرتر، بحيث يتحقّق التوافق بين المحطّة الشمسيّة والشّبكة؛ لتأمين الاحتياجات الكهربائيّة الخاصّة بالأحمال من مصدرها المجّاني الشمسيّ، وتخفيض فاتورة الكهرباء.

إجراءات تصميم المحطات الشمسيّة:

أولاً- تحديد كميّة الاستهلاك السنوي للأحمال:

تستهلك المنازل والمنشآت كميّةً محدودةً من الطاقة الكهربائيّة، وتختلف كميّات الاستهلاك باختلاف المنشأة، وطبيعة استخدامها، فعلى سبيل المثال: لو كان هناك منزلان متشابهان، فإنّ استهلاك الطاقة يختلف من منزلٍ إلى آخر، ويعتمد هذا الاختلاف على عوامل عدّة، أهمها: عدد الأحمال وطبيعتها في كلّ منزل، وقدراتها الكهربائيّة، وأنماط الاستهلاك الخاصّة بساكنيه. وتجدر الإشارة إلى أنّ التصميم في الأنظمة المرتبطة مع الشبكة يكون تصميماً سنويّاً؛ لذا فإنّ كميّة الاستهلاك المطلوب اعتمادها في التصميم يجب أنْ تكون سنويّة، مع مراعاة التوسّعَة المستقبليّة للأحمال؛ إذ يُحتسَب متوسط الاستهلاك للمنشآت بطرقٍ عدّة، منها:

1. **تركيب عدّاد طاقة لمراقبة الاستهلاك:** يقيس هذا العدّاد كميّة الطاقة المستهلكة من المنشأة، وتمتاز هذه الطريقة بدقّة القياسات المعطاة، لكن من عيوبها أنّها تحتاج إلى مدّة طويلة لكي تعطيَ متوسطاً صحيحاً لاستهلاك الطاقة، فمثلاً: يجب أن يُركَّب العدّاد؛ لمراقبة أنماط الاستهلاك في الفصول المختلفة؛ ما يجعلها طريقةً غير فعّالة إذا احتجنا متوسط استهلاك بصورةٍ سريعة.
2. **إجراء الحسابات والتخمينات:** تفنّد هذه الطريقة الأجهزة الكهربائية، وعدد ساعات عملها، وعليه تفنّد حساب كمية الطاقة المستهلكة، ومن ميزات هذه الطريقة أنّها سريعة، ويمكن أن تُستخدَم لتغطية التوسع المستقبلي للأحمال، أو حتى تقديرها قبل بناء المنشأة، ومن عيوبها أنّها تفتقر إلى الدقة، وتعتمد على التخمين.
3. **حساب الأحمال من الفواتير الشهريّة:** تُعدُّ هذه الطريقة أكثر الطرق استخداماً؛ حيث يتمّ الرجوع إلى الفواتير الشهرية للمنشأة التي تحتوي على الطاقة المستهلكة بدقّة لمدّة سابقة تصل إلى سنة أو أكثر، ويتمّ إيجاد المتوسط الشهري؛ بجمع قيم الاستهلاك الكلي وقسمته على عدد الشهور. ومن ميزات هذه الطريقة أنّها سريعة، وتعطي نتيجة جيدة بدقّة، لكن من عيوبها أنّها تعطي متوسط الاستهلاك لكامل المنشأة، وليس لأجزاء منها.

ثانياً- إيجاد كميّة الطاقة الواردة سنوياً لكلّ متر مربّع:

تقع فِلَسطين بين دائرتَي عرض 29 و33 درجة شمال خطّ الاستواء، وكما تعلمتُ سابقاً، فإنّ كميّة الطاقة الشمسيّة الواردة إلى السطح الأفقي تتراوح بين (2.3 – 8.7) كيلوواط. ساعة لكلّ متر مربّع في اليوم الواحد. والجدول (1) الآتي يوضّح كميّة الطاقة الشمسيّة الواردة لكلّ شهر في بعض المدن الفِلَسطينيّة:

الجدول (1): كميّة الطاقة الواردة في المدن الفِلَسطينيّة

المصدر	Meteonorm 97	NASSA	NASSA	NASSA	جامعة النجاح	NASSA	NASSA
المدينة	القدس(31.7°)	رام الله(31.9°)	الخليل(31.5°)	غزة(31.5°)	نابلس(32.2°)	الخالصة (33.2°)	إم الرشراش(29.5°)
وحدة القياس	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day	kWh/m².Day
كانون الثاني	3.1	2.96	3.08	3.08	2.73	2.55	3.97
شباط	3.61	4.5	3.9	4.04	3.64	3.61	4.96
أذار	4.94	4.95	5.29	5.29	5.12	5.1	6.32
نيسان	6.23	6.69	6.58	6.58	6.25	6.37	7.33
آيار	7.45	7.27	7.5	7.5	7.56	7.48	7.87
حزيران	8.57	8.45	8.07	8.07	8.23	8.43	8.33
تموز	8.48	7.8	7.9	7.9	8.18	8	8.23
آب	7.61	6.9	7.23	7.23	7.55	7.42	7.58
أيلول	6.73	6.27	6.22	6.22	6.57	6.63	6.73
تشرين الأول	5.39	4.35	4.67	4.67	4.73	4.81	5.48
تشرين الثاني	3.9	3.5	3.5	3.5	3.27	3.63	4.3
كانون الأول	2.94	2.75	2.87	2.87	3.01	2.35	3.77
المتوسط	**5.75**	**5.53**	**5.57**	**5.58**	**5.57**	**5.44**	**6.24**

جميع القيم المدرجة في الجدول (1) أعلاه هي قيم الطاقة الشمسيّة الواردة على سطح أفقي، ولاعتماد تأثير الميل؛ يُطبَّق عليه معامل تصحيح الميل من جدول (2) الآتي قيم K؛ لينتج قيم (PSH) لكلّ شهر، وهي عدد الساعات في الشهر التي تكون فيها كمية الطاقة الواردة $1000W/m^2$.

وتجدر الإشارة إلى أنّ الأنظمة المرتبطة مع الشبكة لا يتمّ اعتبار شهر التصميم الأسوأ في حساباتها؛ لأنّ الناتج إمّا أنْ يُستهلَك لحظيّاً، أو يصدّر الفائض إلى الشبكة، وعليه، ومن أجل احتساب قيمة الطاقة الواردة؛ لا بدّ من اعتبار الطاقة الواردة في جميع الأشهر، كلّ شهر على حدة، بعد تطبيق معامل تصحيح الميل (K) لهذا الشّهر، وفي نهاية المطاف يُجمَع كامل الطاقة الواردة لكلّ الأشهر، واعتباره الوارد الشمسيّ السنويّ (PSH_y).

الجدول (2): معاملات التصحيح (K) الخاصّة بميْل الألواح الشمسية في أشهر العام في فِلَسطين عند دائرة عرض 32°

الميل	كانون ثاني	شباط	أذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.06	1.05	1.03	1.02	1.01	1	1.01	1.02	1.04	1.06	1.07	1.07
10	1.11	1.09	1.06	1.03	1.01	1	1.01	1.04	1.07	1.11	1.14	1.13
15	1.16	1.12	1.08	1.04	1	0.99	1	1.04	1.1	1.16	1.19	1.19
20	1.2	1.15	1.1	1.04	0.99	0.97	0.99	1.04	1.11	1.19	1.24	1.24
25	1.23	1.17	1.1	1.03	0.97	0.95	0.97	1.03	1.12	1.22	1.29	1.28
30	1.26	1.19	1.1	1.01	0.95	0.92	0.95	1.02	1.13	1.24	1.32	1.31
35	1.27	1.19	1.09	0.99	0.91	0.88	0.91	1	1.12	1.26	1.34	1.34
40	1.28	1.19	1.08	0.96	0.87	0.84	0.87	0.97	1.11	1.26	1.36	1.35
45	1.28	1.18	1.06	0.93	0.83	0.79	0.83	0.93	1.09	1.26	1.37	1.36
50	1.28	1.17	1.03	0.88	0.78	0.74	0.78	0.89	1.06	1.24	1.37	1.36
55	1.26	1.14	0.99	0.84	0.72	0.68	0.72	0.84	1.02	1.22	1.36	1.35
60	1.24	1.11	0.95	0.78	0.66	0.62	0.66	0.79	0.98	1.19	1.34	1.34
65	1.21	1.07	0.9	0.73	0.6	0.55	0.59	0.73	0.93	1.15	1.31	1.31
70	1.17	1.03	0.85	0.66	0.53	0.48	0.53	0.66	0.87	1.11	1.27	1.28
75	1.13	0.98	0.79	0.6	0.46	0.4	0.45	0.6	0.81	1.06	1.23	1.24
80	1.08	0.92	0.73	0.53	0.38	0.33	0.38	0.52	0.75	1	1.18	1.19
85	1.02	0.86	0.66	0.45	0.31	0.25	0.3	0.45	0.67	0.93	1.12	1.13
90	0.96	0.79	0.59	0.38	0.23	0.17	0.22	0.37	0.6	0.86	1.05	1.07

مثال (1): أحسب كميّة الطاقة الشمسيّة الواردة سنويّاً على خلايا شمسيّة، مِساحتها 32 متراً مربّعاً، مثبّتة بزاوية ميل 25 درجة في مدينة القدس.

الحلّ: أبني جدولاً خاصّاً، كما في الشكل الآتي؛ اعتماداً على جدول قيم H لمدينة القدس (32 درجة شمال خطّ الاستواء)، وجدول قيم معامل التصحيح K على زاوية 25 درجة:

الشهر	الطاقة الواردة (H)	معامل التصحيح (K)	PSH/day (K*H)	أيام الشهر	PSH/month
كانون ثانٍ	3.10	1.3	4.03	31	124.93
شباط	3.61	1.17	4.2237	28	118.26
آذار	4.94	1.1	5.434	31	168.45
نيسان	6.23	1.03	6.4169	30	192.51
أيار	7.45	0.97	7.2265	31	224.02
حَزيران	8.57	0.95	8.1415	30	244.25
تمّوز	8.48	0.97	8.2256	31	254.99
آب	7.61	1.03	7.8383	31	242.99
أيلول	6.73	1.12	7.5376	30	226.13
تشرين أول	5.39	1.22	6.5758	31	203.85
تشرين ثانٍ	3.90	1.29	5.031	30	150.93
كانون أول	2.94	1.28	3.7632	31	116.66
كميّة الطاقة السنويّة الواردة للمتر المربع الواحد (KWh/m^2. year)					2267.97

ثالثاً- معامل أداء المحطّة الشمسيّة (PR) (حساب خسائر الإنفيرتر وحقل التوليد):

يُعرّف معامل الأداء للمحطّة الشمسيّة (Performance Ratio) بأنّه: النسبة بين الإنتاج النظري والإنتاج الفعلي للمحطّة الشمسية، وتتراوح قيمة معامل الأداء السنوي للمحطات المتصلة بالشبكة بين 80%-70، ويُرمَز له بالرمز (PR)، ويعود سبب انخفاض هذه النسبة عن 100% إلى الوجود الحتمي للخسائر في المحطّة، مثل: خسائر الحرارة، والغبار، وعدم توافق الألواح، والإنفيرتر. وتُقسَم هذه الخسائر إلى ما يأتي:

1. خسائر حقل التوليد الناجمة عن درجة الحرارة، والغبار، والأتربة المتراكمة على الألواح، وظاهرة عدم توافق الألواح (Mismatch) (μs).
2. خسائر في النقل والحمايات (μ_C).
3. خسائر في الإنفيرتر: يمتلك الإنفيرتر كفاءة تكون مُدرجة في نشرة البيانات، وتوضّح نسبة الخسائر (μ_{Inv}).

مثال (2): في محطّة شمسيّةٍ مرتبطة بالشبكة، كانت خسائر النظام كما يأتي: خسائر حقل التوليد تبلغ 10%، وخسائر النقل والحمايات تبلغ 8%، وخسائر الإنفيرتر تبلغ 10%، أحسب معامل أداء المحطّة الشمسيّة.

الحلّ:

مجموع الخسائر = 10% + 8% + 10% = 28%.

معامل أداء المحطّة (PR) = (100% - 28%) = 72%.

رابعاً- إيجاد كميّة القدرة الثابتة المطلوبة من المحطّة الشمسيّة (DC Power):

لحساب مقدار القدرة الثابتة (DC) المطلوبة من حقل التوليد الشمسي؛ أستخدم المعادلة الآتية:

$$p_{DC} = \frac{EL}{PSH \times PR}$$

حيث إنّ:

P_{DC}: مقدار القدرة المستمرّة المطلوبة من حقل التوليد.

(EL): الطاقة اللازمة لتغذية الأحمال سنوياً.

(PSH): عدد ساعات الذروة الشمسيّة السنويّة.

(PR): معامل أداء المحطّة الشمسيّة.

خامساً- إيجاد عدد الألواح الشمسية:

لحساب عدد الألواح الشمسية؛ أقسّم كمية القدرة الثابتة المطلوبة من حقل التوليد على قدرة اللّوح الشمسيّ الذي تمّ اختياره، كما هو موضّح في المعادلة الآتية:

$$\#\ of\ panels = \frac{P_{DC}}{P_{panel}}$$

حيث إنّ:

(P_{DC}): مقدار القدرة المستمرّة المطلوبة من حقل التوليد.

(P_{panel}): قدرة اللّوح الشمسيّ الواحد.

مثال (3): مستعيناً بالمثال (1)، أحسب عدد الألواح الشمسية اللازمة لتغطية حمل مقداره 10000 كيلوواط. ساعة سنوياً، على فرض أنّ معامل أداء المحطّة في مدينة القدس (PR=78%)، ومقدار قدرة اللّوح الشمسي P_{MAX}= 325 W

الحلّ: بتطبيق المعادلة الآتية:

$$p_{DC} = \frac{EL}{PSH \times PR}$$

$$p_{DC} = \frac{10000}{2267.97 \times 0.78} = 5.653\ KWp$$

$$\#\ of\ panels = \frac{P_{DC}}{P_{panel}} = \frac{5.653 \times 10000}{325} = 17.4\ Panel$$

عدد الألواح الكلي = 17.4 ، وتُقرّب إلى 18 لوحاً.

مثال (4): منزل في مدينة نابلس يستهلك القدرات الشهريّة الموضّحة في الجدول الآتي:

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الاستهلاك (KWh)	550	542	530	523	515	490	486	475	479	472	512	528

إذا علمتُ أنّ كميّة الطاقة السنويّة الواردة للمتر المربع الواحد (2292 KWh) على الألواح المثبتة بزاوية 26 درجة، أحسب عدد الألواح الشمسيّة، وقدرة الإنفيرتر المطلوبة؛ لتصميم نظام شمسي مرتبط مع الشبكة المحلية لتغذية هذا المنزل، علماً أنّ كفاءة الإنفيرتر 96%، وخسائر حقل التوليد تُقدَّر بـ 14%، وخسائر النقل 3%. باستخدام لوح شمسي ذي قدرة اسمية P_{MAX}= 325 W.

الحلّ:

بما أنّني بحاجة إلى معرفة عدد الألواح الشمسية المطلوبة للنظام الشمسيّ، فإنّني بحاجة إلى تحديد كميّة الاستهلاك السنوي للمحطّة، ثمّ معامل أداء المحطّة الشمسيّة، كما هو موضّح:

مجموع الطاقة المستهلكة سنوياً هي:

$$E_L = 528 + 512 + 550 + 542 + 530 + 523 + 515 + 490 + 486 + 475 + 479 + 472$$

$$E_L = 6102 \text{ KWh}$$

ولحساب معامل أداء المحطّة الشمسيّة؛ فإنّني أقوم بما يأتي:

$$\mu_{Inv} = 1 - 0.96 = 0.04$$

$$\mu_S = 0.14$$

$$\mu_C = 0.03$$

$$PR = 100\% - (\mu_S + \mu_{Inv} + \mu_C)$$

$$PR = 100\% - (0.03 + 0.04 + 0.14) = 79\%$$

- عدد الألواح الشمسية المطلوبة:

$$p_{DC} = \frac{EL}{PSH \times PR}$$

$$p_{DC} = \frac{6102}{2292 \times 0.79} = 3.37 \text{ KWp}$$

$$\#\text{ of panels} = \frac{P_{DC}}{P_{panel}} = \frac{3.46 \times 1000}{325} = 10.37 \text{ Panel}$$

أسئلة الدرس:

1. أوضّح المقصود بمعامل أداء المحطّة الشمسيّة (PR).
2. ما الخسائر المحتملة في المحطّة الشمسيّة المتصلة بالشبكة؟
3. أذكر طرق احتساب متوسط الاستهلاك السنوي للمنشآت.
4. في محطّة شمسيّة مرتبطة بالشبكة، إذا علمتُ أنّ خسائر النظام هي: خسائر حقل التوليد التي تبلغ 12%، وخسائر النقل والحمايات التي تبلغ 8%، وكفاءة الإنفيرتر 96%، أحسب معامل أداء المحطّة الشمسية (PR).
5. نزل في مدينة سلفيت، استهلاكه السنوي (9120kWh)، يُراد تغذيته من محطّة شمسيّة متصلة بالشبكة، علماً أنّ كميّة الطاقة السنويّة الواردة للمتر المربّع الواحد ($2190KWh/m_2.Year$)، وكان معامل أداء المحطّة الشمسيّة (PR=78%)، أحسب القدرة الاسمية للمحطّة الشمسيّة، وعدد الألواح الشمسية المطلوبة؛ لتغذية النظام، إذا كانت قدرة اللّوح الواحد ($P=325KW_p$).

الموقف التعليمي التعلّمي الثالث: تحديد مكونات النظام الشمسي المتصل بالشبكة

وصف الموقف التعليمي:

طلب مقاول من فنّي تركيب أنظمة طاقة متجددة شراء المعدات اللازمة؛ لتركيب محطّة شمسية موصولة بالشبكة رست عليه.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	**جمع بيانات عن:** • الإنفيرترات المتصلة بالشبكة المحلية. • ملحقات الإنفيرترات المتصلة بالشبكة. • أنظمة التأريض. • كوابل التيار المستمرّ، وحماياته.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب المقاول الكتابي. • الإنفيرترات المتوفّرة في السوق المحلية. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية. •
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المَهمّة. • تحديد جدول تكلفة للمَهمّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أُنفّذ	• جمع بيانات عن الإنفيرترات المتصلة بالشبكة. • تحليل القيم الخاصّة بالإنفيرترات المتصلة بالشبكة. • توافق تصميم الإنفيرترات المتصلة بالشبكة مع الملحقات من كوابل وحمايات. • تطبيق حسابات التصميم على مواقع أونلاين؛ للسرعة، والدقة في الحسابات.	• مجموعات عمل.	• الشبكة العنكبوتية • إنفيرترات شمسية متصلة عن الشبكة • أوراق مواصفات الأجهزة.
أتحقّق من	• مواصفات الأجهزة المتوفّرة في المشغل. • مواصفات الأجهزة المتوفّرة في السوق.	• مجموعات عمل.	• نتائج التجارب السابقة المدونة في جداول.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تكليف الخبراء بتقديم التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- لماذا تنتشر الأنظمة المرتبطة بالشبكة في فِلَسطين أكثر من الأنظمة المنفصلة عن الشبكة؟
- هل تعمل الإنفيرترات المرتبطة بالشبكة بنظام واحد فاز أو ثلاثة فاز؟

أناقش:

يوصِل معظم أصحاب محطات التوليد الشمسية الإنفيرتر على شبكة الإنترنت.

أتعلّم:

تشكّل المحطات الشمسية المتصلة بالشبكة القسم الأكبر والسائد من المحطات الشمسية؛ بسبب كونها الشقّ المجدّ اقتصادياً للمحطات الشمسية. ومكوناتها في قسم كبير منها هي مكونات المحطات المفصولة عن الشبكة نفسها مع فروق بسيطة في كيفية التصميم والتركيب لهذه المكونات، إلّا أنّ هناك مكونات أخرى فريدة تمتاز بها فقط المحطات المرتبطة بالشبكة، وهذه ستكون موضع التركيز في هذا الموقف.

وتتكوّن المحطات المتصلة بالشبكة من الأجزاء الرئيسة التفصيلية الآتية:

1. الألواح الشمسية.
2. الإنفيرترات الموصولة بالشبكة.
3. الهياكل المعدنية.
4. العدّادات الكهربائية.
5. القواطع والحمايات.
6. الكوابل ومساراتها.
7. نظام التأريض.
8. نظام المراقبة.

الألواح الشمسية:

دُرِسَت سابقاً، إلّا أنّها في المحطات المتصلة بالشبكة تتحرّر تماماً من قواعد المعيارية التي ليس لها حتى ذكر في هذا النوع من المحطات الشمسية.

الهياكل المعدنية:

دُرِسَت سابقاً، وما يميّزها في المحطات المتصلة بالشبكة أنّها في معظم الأحيان تكون مصمّمة على درجات ميل منخفضة، على عكس المحطات المفصولة عن الشبكة التي غالباً ما تكون على درجات ميل مرتفعة.

القواطع والحمايات والكوابل:

دُرِسَت سابقاً، والفرق الجوهري هو أنّ المحطات المتصلة بالشبكة تعمل على فروق جهد مرتفعة من الجانب المستمرّ؛ ما يقلّل من التيار المارّ، وبالتالي تبسيط عدد القواطع، وتقليلها، وسَعتها، وسُمك الكوابل عند المقارنة بمحطات مفصولة عن الشبكة بحجم مماثل.

نظام التأريض:

دُرِسَ سابقاً. تولّد المحطات الشمسية تيارات كهربائية متناوبة تزوّد أحمالاً كهربائية على تماسّ مع البشر، تستدعي الاهتمام والإتقان؛ لتوفير الحماية للمستخدمين من الصدمات الكهربائية، مثل نظام تأريض جيد.

الشكل (1)

أنظمة المراقبة:

تكون أنظمة المراقبة اختيارية في أنظمة الطاقة الشمسية المتصلة والمنفصلة، إلّا أنّها أكثر انتشاراً في المحطات المتصلة بالشبكة لسببين، هما:

1. في حال حدوث عطل في المحطات المنفصلة عن الشبكة، فإنّ المستخدم سيعلم بهذا العطل؛ نتيجة انقطاع التيار الكهربائي، أمّا في حالة المحطات المتصلة بالشبكة، فالمستخدم لن يلاحظ أيّ تأثّر على خدمته الكهربائية؛ نتيجة لتوقّف المحطّة الشمسية عن العمل؛ بسبب استمرار التزوّد بالكهرباء من شركة الكهرباء؛ ما يجعل وجود نظام مراقبة مع آليه تحذير مهمة للغاية لاكتشاف الأعطال، قبل أن يمضي عليها وقت طويل؛ ما سيتسبّب بخسارات كثيرة في الطاقة.
2. الأنظمة المتصلة بالشبكة تكون غالباً محطات كبيرة ذات كلفة عالية وأهداف استثمارية، وأيّ توقّف أو تعطّل سيتسبّب بخسائر مادية كبيرة؛ ما يستوجب ضرورة اكتشاف الأعطال، والتعامل معها بسرعة.

العدّادات الكهربائية:

بينما يكون دور العدّادات في المحطات المنفصلة عن الشبكة هامشياً، إلّا أنّها في المحطات المتصلة بالشبكة تأخذ دوراً محورياً؛ حيث تُخزَّن قيم الاستهلاك والإنتاج داخل هذه العدّادات، أو باستخدامها. وسيتمّ تناول الموضوع بالتفصيل في المواقف اللّاحقة.

الإنفيرترات (المتصلة بالشبكة):

وقد دُرِسَت في موقف سابق بالتفصيل.

نشاط:

أقوم بالتصميم الكهربائي لتوصيل 10 كيلو من الألواح الشمسية على إنفيرتر مواصفات الألواح، والإنفيرتر كما في الشكل (2) الآتي، بحيث توضَّح عدد الإسترنجات الممكن ربطها، وأطوالها المحتملة، والاختيار النهائي، مع إهمال تأثير الحرارة:

Technical data and types

Type code	PVI-10.0-I-OUTD-400	PVI-12.0-I-OUTD-400
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	520 V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	200 V (adj. 120...350 V)	
Operating DC input voltage range (V_{dcmin}...V_{dcmax})	0.7 x V_{start}...520 V	
Rated DC input voltage (V_{dcr})	345 V	
Rated DC input power (P_{dcr})	10500 W	12300 W
Number of independent MPPT	2[6]	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPTmax}$)	6800 W	
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{acr}	220...470 V	250...470 V
Maximum input short circuit current for each MPPT	29.0 A	
Number of DC inputs pairs for each MPPT	2	
DC connection type	Tool Free PV connector WM / MC4	

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-P_{MAX} (Wp)*	430	435	440	445	450
Power Output Tolerance-P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage-V_{MPP} (V)	40.3	40.5	40.7	40.8	41.0
Maximum Power Current-I_{MPP} (A)	10.67	10.74	10.82	10.90	10.98
Open Circuit Voltage-V_{OC} (V)	48.7	49.0	49.2	49.4	49.6
Short Circuit Current-I_{SC} (A)	11.22	11.31	11.39	11.46	11.53
Module Efficiency η_m (%)	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

شكل (2)

الحلّ:

1. تحديد المكونات: أحتاج إلى (10000Wp) من الألواح، وأقرب طريقة هي استخدام 23 لوح (435Wp) لإجمالي قدرة:

$$P = 435 \times 23 = 10005\ Wp$$

وأستخدم الإنفيرتر PVI - 10.0 ، الذي يستوعب لحدّ 10500Wp من الألواح الشمسية، وينتج 10000W من القدرة المتناوبة.

2. أحسب الطول المسموح به للإسترنجات:

أ- فرق الجهد الأقصى (Maximum DC voltage = 520V)، وهذا يُقارَن مع فرق جهد الدارة المفتوحة للّوح الشمسي (Voc = 49)، والنتيجة ليست نهائية، لكنّ تجاوزها سيعطب الإنفيرتر:

$$String\ Max \leq \frac{Max\ DC}{Voc}$$

$$String\ Max \leq \frac{520}{49} = 10.6\ Solar\ Panel$$

ومن هنا أعلم أنّني لا أستطيع وصل أكثر من 10 ألواح على التوالي في كلّ إسترنج.

ب- مجال فرق الجهد المتتبّع (MPPT Range = 220.....470V)، وهذا يُقارَن مع فرق جهد العمل (Vmp = 40.5V)، ويُقارَن مع الحدّين الأعلى والأدنى:

$$String\ Max \leq \frac{Max\ MPPT\ Volt}{Vmp}\ ,\ String\ Min \geq \frac{Min\ MPPT\ Volt}{Vmp}$$

$$String\ Max \leq \frac{470}{40.5}\ ,\ String\ Min \geq \frac{220}{40.5}$$

$$String\ Max \leq 11.6\ ,\ String\ Min \geq 5.4$$

ممّا سبق أستنتج أنّ طول الإسترنج يجب أن يتراوح بين 6 ألواح و11 لوح، إلّا أنّني من النقطة (أ) أعلم أنّ الحدّ الأقصى لا يمكن أن يتجاوز الـ (10) ألواح. إذن لديّ 23 لوحاً؛ لتوزيعها على إسترنجات طولها (6 - 10) ألواح.

3. أحسب عدد الإسترنجات الممكن توصيلها على التوازي من خلال التيار الأقصى المسموح به لكلّ متتبّع، مع العلم بوجود متتبّعين (Maximum Short Circuit current = 29 A)، وهذا يُقارَن مع تيار قصر اللّوح (Isc= 11.31A)، مضافاً إليه معامل الأمان (25%):

$$\text{Strings per MPPT} \leq \frac{\text{Max Current}}{\text{Isc} \times 1.25}$$

$$\text{Strings per MPPT} \leq \frac{29}{11.31 \times 1.25} = 2.05 \text{ Strings}$$

إذن يمكن توصيل إسترنجين على كلّ متتبّع، ولديّ متتبّعين مستقلين.

4. توزيع الألواح على الإسترنجات:

لا يمكن توزيع 23 لوحاً على أقلّ من 3 إسترنجات، وهذه لا يمكن أن تتساوى بالطول. ولحسن الحظّ لديّ متتبّعين، لكنّ الإسترنجات في كلّ متتبّع يجب أن تتساوى في الطول، ولديّ محدّد آخر هو القدرة القصوى لكل متتبّع (max DC Input per MPPT = 6800W).

بالتالي أحد الخيارات هو:

المتتبّع الأول: 2 إسترنج 7 ألواح.

عدد الإسترنجات ≥ 2 (✓)

طول الإسترنجات (6 - 10) (✓)

القدرة القصوى على المتتبّع = 2 × 7 × 435 ≥ 3915 (✓) 6800W

النتيجة (✓) (✓) (✓)

المتتبّع الثاني: 1 إسترنج 9 ألواح.

عدد الإسترنجات ≥ 2 (✓)

طول الإسترنجات (6 - 10) (✓)

القدرة القصوى على المتتبّع = 1 × 9 × 435 ≥ 3915 (✓) 6800W

النتيجة (✓) (✓) (✓)

الموقف التعليمي التعلّمي الرابع: أنواع الأنظمة الشمسية المتصلة بالشبكة وآليات الاحتساب

وصف الموقف التعليمي:

طلب زبون من فنّي تركيب أنظمة طاقة متجددة تحديد نوع آلية الربط المناسبة لمحطته الشمسية المتصلة بالشبكة.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأُحلِّلها	**جمع بيانات من صاحب المنشأة عن:** • نوع النظام الشمسي الموجود في المنشأة، ومواصفاته الفنية. • القوانين والأنظمة المعمول بها. • نوع العدّادات الموجودة، وآلية الاحتساب المطبّقة. • مكان تركيب العدّاد الكهربائي. • توصيات الهيئات المحلية.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار، والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب صاحب المنشأة الكتابي • القوانين في الهيئات المحلية. • الشبكة العنكبوتية. • أقلام، وقرطاسية.
أُخطِّط، وأُقرِّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المَهمّة. • تحديد جدول تكلفة للمَهمّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أُنفّذ	• دراسة النظام الموجود من ناحية فنية. • مراجعة العقود الخاصّة بالنظام. • تحديد القوانين والأنظمة التي تحكم ربط النظام بشبكة الكهرباء في المنطقة الموجود فيها النظام. • تحديد كمية الطاقة التي أنتجها النظام. • تحديد نوع العدّاد المناسب، ومواصفاته.	• مجموعات عمل.	• الشبكة العنكبوتية. • عدّاد طاقة باتجاه واحد. • عدّاد طاقة ثنائي الاتجاه. • أوراق مواصفات الأجهزة. • ملخّصات للقرارات والأنظمة والقوانين في منطقة وجود النظام.
أتحقّق من	• مواصفات الأجهزة المتوفّرة في المشغل. • مواصفات الأجهزة المتوفّرة في السوق المحلية. • تطابق النظام ومواصفاته مع متطلبات الهيئات المحلية ذات العلاقة.	• مجموعات عمل.	• نتائج التجارب السابقة المدونة في جداول.

أُوثّق، وأعرض	• توثيق نتائج العمل. • تفريغ جميع النتائج على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن النتائج، مع استعراض المقارنة. • -عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أُقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • تكليف الخبراء بتقديم التغذية الراجعة. • المقارنة بين نتائج الحالة المثالية ونتائج الحالة قيد الدراسة.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

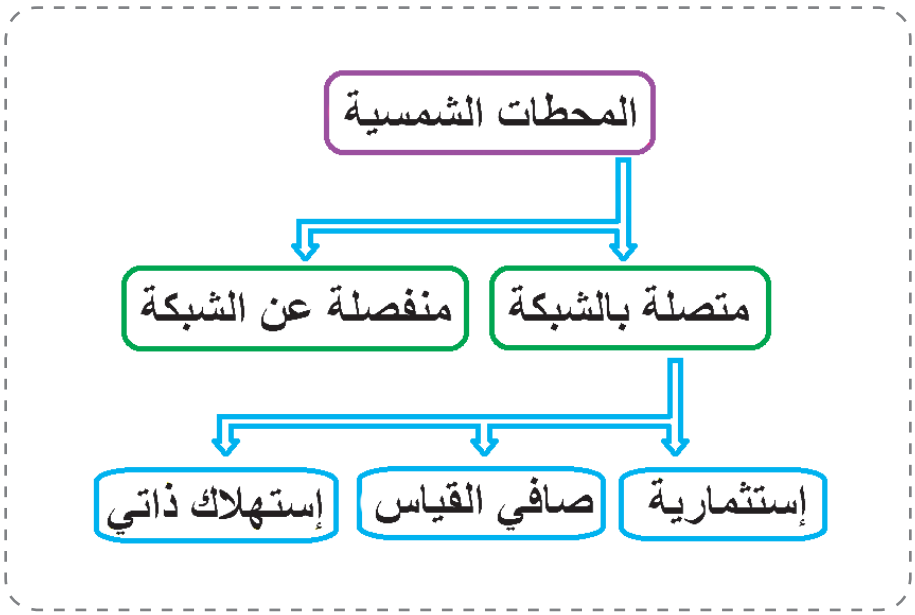
- كيف تعمل الشركات على تنظيم حسابات أنظمة التوليد الشمسية؟
- هل يلزم قياس الطاقة المنتجة من نظام التوليد الشمسي المنفصل عن الشبكة؟

أناقش: هل يجب على الدول تقديم خطط تحفيز للمواطنين من أجل تركيب أنظمة توليد طاقة شمسية؟

أتعلّم:

تُعدُّ الأنظمة الشمسيّة المتصلة بشبكة الكهرباء من الأنظمة الأوسع انتشاراً في فِلَسطين؛ إذ تتميّز بانخفاض تكلفتها، وسهولة تنفيذها، مقارنة بالأنظمة المنفصلة عن الشبكة. وبما أنّ النظام الشمسي يكون مرتبطاً مع الشبكة الكهربائيّة التابعة لشركات توزيع الكهرباء، فلا بدّ للنظام من اجتياز الاختبارات، وتحقيق متطلّبات هذه الشركات، وسنتعرّف في هذا الدرس إلى الأنظمة الشمسيّة المرتبطة بالشبكة الكهربائية، وطبيعة العلاقة بين المستهلك وشركة التوزيع بعد تركيب النظام الشمسي.

كما تعلّمتُ سابقاً، فإنّ الأنظمة الشمسية تنقسم إلى أنظمة منفصلة عن الشبكة، أو متصلة بالشبكة، وتنقسم الأنظمة الشمسية المتصلة بالشبكة إلى عدّة أقسام؛ بناءً على طبيعة العلاقة بين المنتج والمستهلك والشبكة، من حيث انسيابية الطاقة، واحتساب الطاقة والمال في الشكل (1) الآتي:



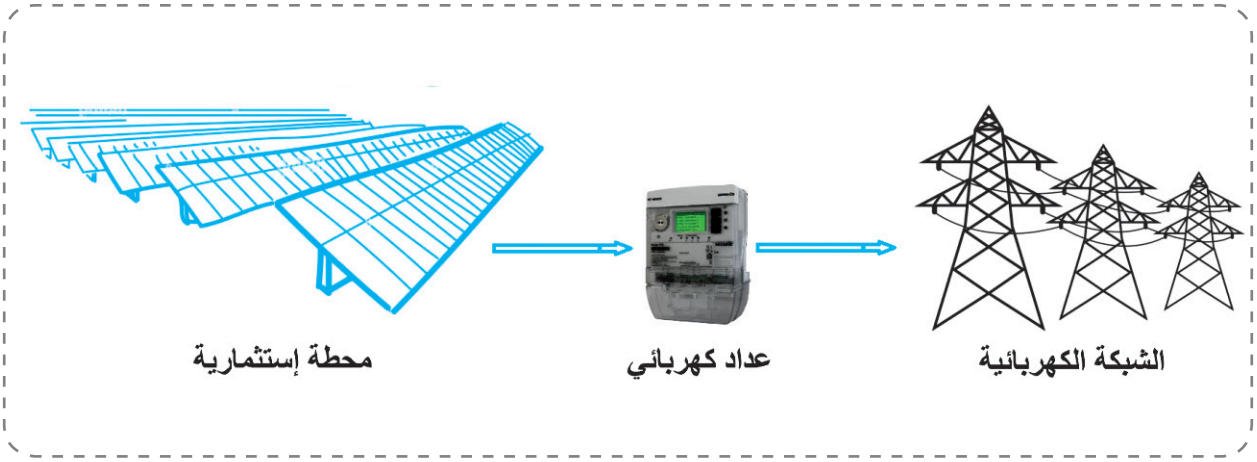
الشكل (1)

الأنظمة الاستثمارية (FIT or PPA):

هي أنظمة شمسية مرتبطة بالشبكة، هدفها الاستثمار؛ من أجل الحصول على المال، فصاحب المحطّة الشمسية لا يريد الاستفادة من إنتاجها الكهربائي، إنّما من العوائد المترتّبة من بيع الكهرباء المنتجة، لذلك يتّفق صاحب المحطّة الشمسية مع الجهات المختصة، كشركة الكهرباء، وسلطة الطاقة، على بيع كامل الإنتاج الكهربائي للمحطّة الشمسية مقابل تعرفة مالية متّفق عليها.

فإنتاج هذه المحطات الشمسية غير مرتبط باستهلاك الطاقة للمستثمر. فالمحطات الاستثمارية في كثير من الأحيان تكون بقدرة أعلى من الميجاوات بيك ($\leq 1MWp$)، إلّا أنّ هناك عدداً من المحطات الاستثمارية الأصغر؛ لأسباب

تتعلّق بصغر الاقتصاد الفِلَسطيني، أو بسبب قوانين تشجيعية، كالمبادرة الفِلَسطينية للطاقة الشمسية التي شجّعت على تركيب محطات شمسية منزلية بقدرة 5 كيلوواط. بيك؛ لغرض الاستثمار، بحيث تمّ شراء الكهرباء من هذه المحطات الشمسية بتعرفة كهربائية مُجزية:



الشكل (2)

طريقة الاحتساب:

في هذه المحطات يُضَخّ كامل إنتاج المحطّة الشمسية إلى الشبكة الكهربائية، والطاقة تسير باتجاه واحد فقط، لذلك فعدّاد أحادي الاتجاه يمكن أن يفيَ بالغرض، كما في الشكل (2) أعلاه، إلّا أنّه، ولتلافي أعمال السرقة الكهربائية من نقطة الربط بين العدّاد والإنفيرترات؛ ألزمت شركات الكهرباء بتركيب عدّادات ثنائية الاتجاه؛ لاكتشاف ما إذا تمّ سحب الكهرباء من الشبكة.
وعادة ما يُتَّفَق بين المستثمر ومالك الشبكة على شراء الطاقة مقابل مبلغ مالي ثابت لا يتغير مع مرور الزمن (غالبا 20 عاماً)، أو يمكن ربط سعر الطاقة المنتجة من المحطات الشمسية بنسبة من سعر مصادر الطاقة التقليدية الأخرى، فمثلاً: في فِلَسطين هناك كثير من الاتفاقيات التي من خلالها يتمّ شراء الطاقة المنتجة من المحطات الشمسية الفِلَسطينية بسعر 10% أقلّ من سعر الطاقة المشتراة من الكيانات غير الفِلَسطينية المسيطرة على قطاع الطاقة.

مثال (1):

محطّة طاقة شمسيّة خاصّة بمشترك منزلي رُبِطَت مع شبكة الكهرباء المحليّة بآليّة الربط المباشر (نظام التعرفة)، وقُرئ عدّاد الطاقة الشمسيّة في نهاية الشهر، فكانت قراءته (8750 kWh)، علماً أنّ هناك عقداً مُبرماً بين صاحب المشروع وشركة الكهرباء على أنّ تعرفة شراء الكهرباء هي 0.54 شيقل، وكانت قراءة عدّاد الاستهلاك (9500 KWh)، أحسب ما يأتي:

1. قيمة فاتورة الاستهلاك إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.65 شيقل.
2. قيمة فاتورة إنتاج المحطّة الشمسيّة.

الحلّ:

قيمة فاتورة الاستهلاك = 9500 كيلوواط. ساعة × 0.65 شيقل.

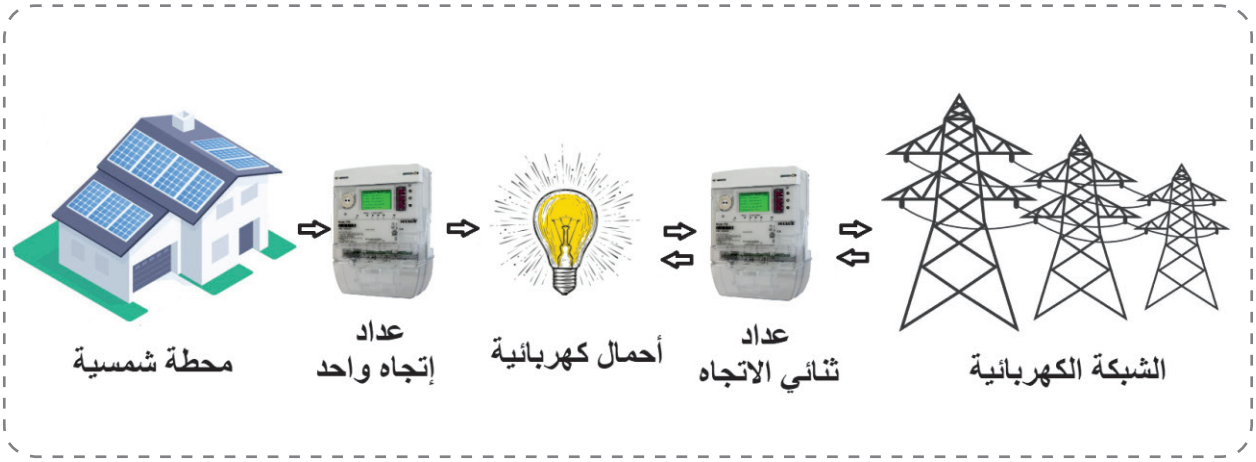
= 617.5 شيقلاً.

قيمة فاتورة إنتاج المحطّة الشمسية = 8750 كيلو واط. ساعة × 0.54 شيقل.

= 472.5 شيقلاً.

أنظمة صافي القياس (NET METERING):

هي أنظمة شمسية موصولة بالشبكة، الهدف منها هو توفير الطاقة للأحمال الكهربائية للمنشأة. وفي هذه الأنظمة هناك عدّة مكونات رئيسة، وهي: المحطّة الشمسية، والأحمال الكهربائية، والعدّادات الكهربائية، والشبكة الكهربائية، كما هي موضّحة في الشكل (3) الآتي:

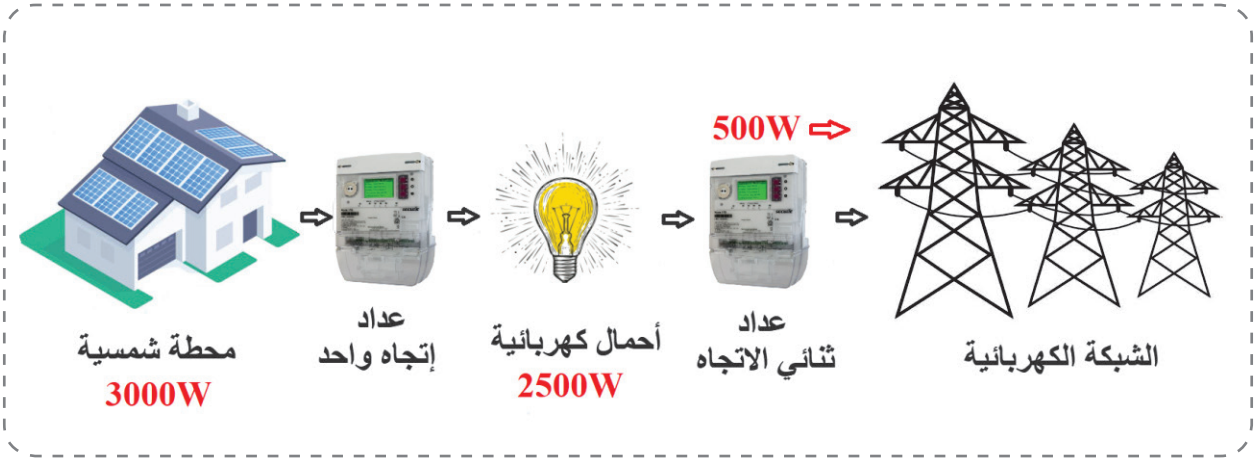


الشكل (3)

والعدّادات عنصر مهمّ جداً في المحطات الشمسية المرتبطة بالشبكة، فالقدرة التي تُنتَج في هذه المحطات الشمسية تُوَجَّه إلى عدّاد؛ لمعرفة كمية الطاقة المنتجة من المحطّة الشمسية، ومن هذا العدّاد (نقطة التفرع) يُضَخّ الكهرباء لأحمال المنشأة الكهربائية من خلال شبكة الكهرباء الداخلية للمنشأة، وهناك ثلاثة احتمالات: أولها- أن تكون كمية القدرة المنتجة من الألواح الشمسية مساوية لكمية القدرة المستهلكة من الأحمال؛ وبهذا تكون القدرة قد استُهلِكت بطريقة مثالية نادرة الحدوث.

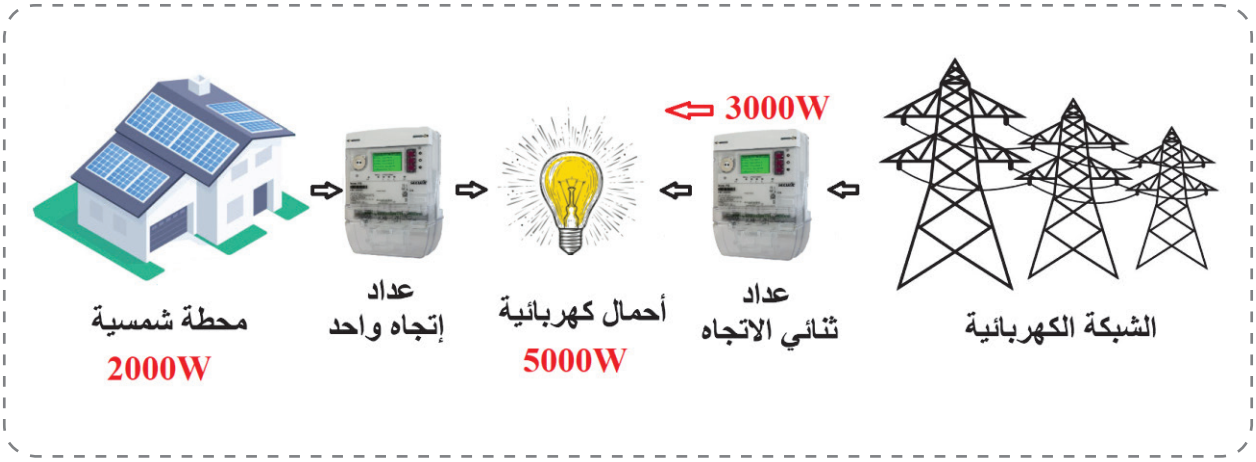
أمّا في حالة كون القدرة المنتجة من الألواح الشمسية أكبر من قدرة الأحمال؛ فهذا يعني أنّ الأحمال غُذِّيَت بالقدرة الشمسية، وهناك فائض يُخزَّن في الشبكة، لكن لا يُخَزَّن حقيقة، إنّما يُسجَّل الفائض منه في العدّاد، فالقدرة الفائضة تُدخل الشبكة الكهربائية المتصلة بأحمال كثيرة أخرى، وتستهلك هذه الأحمال فائض القدرة الشمسية، لكنّ العدّاد

يكون قد سجّل كمية هذه القدرة، ومَدّتها فيما يُعرَف بالطاقة. فكلّما تدفّقت كمية قدرة أكبر ولزمن أطول تُسجَّل كمية طاقة أكثر في العدّاد، ليؤخذ بدلاً منها وقت الحاجة، كما في الشكل (4) الآتي:



الشكل (4)

وأمّا في حال كون القدرة المنتجة أقلّ من الأحمال؛ فهذا يعني أنّ هناك عجزاً في القدرة، ويُغطّى هذا العجز من خلال تعويضه من الشبكة الكهربائية، وبما أنّ العدّاد ثنائيّ الاتجاه فهذه العملية ممكنة، وتُسجَّل كمية القدرة المسحوبة وزمنها (طاقة)، لكن تُسجَّل في خانة مختلفة عن تلك التي سَجَّلت فائض الطاقة الشمسية، كما هو موضّح في الشكل (5) الآتي:



الشكل (5)

وفي الوضع الطبيعي تستمرّ القدرة بالتدفق من الشبكة وإليها تبعاً لشدّة الإشعاع الشمسي، وحجم الأحمال الكهربائية، وكلّما ازدادت القدرة المتدفقة نحو الشبكة تزداد قراءة عدّاد الطاقة الصادر، وكلّما سُحِبَت القدرة من الشبكة نحو الأحمال تزداد قراءة العدّاد الوارد.

طريقة الاحتساب:

يسجّل العدّاد ثنائي الاتجاه الطاقة الصادرة من المحطّة الشمسية، والواردة من شركة الكهرباء، وهاتان القراءتان ناجمتان عن التدفق المستمرّ للقدرة الواردة والصادرة عبر العدّاد. وتضطلع شركة الكهرباء على قراءات العدّاد في بداية كلّ شهر؛ من أجل إصدار الفواتير الكهربائية. وتعتمد شركة الكهرباء في الاحتساب على قراءات العدّاد الوارد مقابل الصادر، وَفق التعليمات الصادرة من السلطة الطاقة التي تتغيّر من وقت إلى آخر، لكنْ هناك نمطين سائدين لطريقة الاحتساب يختلفان وَفق تعريف الطاقة الفائضة عن المحطّة الشمسية، ونسبة الخصم منها، هما:

1. الفائض وَفق تعريف المقاصة (فائض المقاصة):

هي طريقة احتساب غير موضوعية، اعتُمِدَت لفترة خلال الاحتساب في المحطات الشمسية، ومبدأ هذه الطريقة هي تعريف الفائض بأنّه الفرق بين الطاقة الصادرة إلى الواردة.

فإذا كانت الطاقة الصادرة أكثر، فهناك فائض بقدر الفرق فقط، وتُطبَّق عمولة شركة الكهرباء فقط على هذا القدر من الفائض.

أمّا إذا كانت الطاقة الواردة أكثر من الصادرة، فيدفع صاحب المحطّة الشمسية ثمن فرقية كمية الطاقة فقط، دون أن تُخصَم أيّ عمولة مطلقاً.

- في حال كون الصادر (من الشمس) أكثر من الوارد (من الشركة):

الفاتورة = صفر.

فائض المقاصة = الطاقة الصادرة – الطاقة الواردة.

كمية الطاقة المخزّنة = فائض المقاصة (1 – عمولة شركة الكهرباء).

- في حال كون الوارد (من الشركة) أكثر من الصادر (من الشمس):

كمية الطاقة المخزّنة = صفر.

فائض المقاصة = صفر.

الفاتورة = ((الطاقة الواردة - الطاقة الصادرة) × التعرفة الكهربائية).

وفي حال كون وجود كمية طاقة فائضة ومخزّنة من أشهر سابقة، فتُخصَم قيمتها من الفاتورة؛ ما يؤدّي إلى تصفير قيمة الفاتورة، أو تقليلها على حساب كمية الطاقة المخزّنة الكلية.

وهذه هذه الطريقة من الاحتساب تمّ التخلي عنها؛ لعدم موضوعيتها، فمثلاً: لو أنتج شخص 1000kWh خلال شهر، وكان كامل الإنتاج في أثناء عدم وجود أحمال مطلقاً، عندها سيُسجِّل عدّاد الصادر 1000kWh، فإذا كان صاحب المحطّة الشمسية يشغّل أحماله فقط بالليّل في أثناء انعدام الشمس، واستهلك 1000kWh خلال الشهر نفسه، فالعدّاد الوارد سيسجِّل 1000kWh، وعند الاحتساب في نهاية الشهر، ستتمّ عملية التقاصّ على أساس أن لا فائض ولا عجز، فتصدر فاتورة صفرية، ولا تحصّل شركة الكهرباء على أيّ عمولة، على الرغم من الخسائر التي تكبّدتها الشركة في أثناء تصريف الطاقة نهاراً، وفوترتها لزبائنها الآخرين، والخسائر الناجمة من نقل الطاقة من مصادرها إلى موضع الأحمال.

2. الفائض اللّحظي:

هي طريقة احتساب موضوعية، ومعمول فيها، ويُعَدّ كامل الطاقة الصادرة في حكم الفائضة؛ لأنّه، كما ذكرنا، ستتكلّف شركة الكهرباء في توزيعها، ثمّ تعويضها بطاقة بدلاً منها حال الحاجة إليها، ولتعويض الشركة عن الخسائر؛ فهي تستحقّ تطبيق العمولة على كامل هذه الكمية، لكن يتمّ عادة اعتماد نسبة عمولة أقلّ.

في حال كون الصادر (من الشمس) أكثر من الوارد (من الشركة):

الفائض = الطاقة الصادرة.

فاتورة الطاقة = (الطاقة الواردة – (الطاقة الصادرة × (1 – عمولة شركة الكهرباء))).

- إذا كانت النتيجة موجبة:

الفاتورة المالية = فاتورة الطاقة × التعرفة الكهربائية.

كمية الطاقة المخزنة = صفر.

- وإذا كانت النتيجة سالبة:

الفاتورة المالية = صفر.

كمية الطاقة المخزّنة = -1 × فاتورة الطاقة.

مثال 2:

صاحب مصنع ركّب محطّة شمسية وَفق قانون صافي القياس، وفي نهاية الشهر كان فرق عدّاد الصادر يسجل 38569kWh، فيما فرق عدّاد الوارد يسجّل 41250kWh، أحسب قيمة الفاتورة، إذا علمتُ أنّ الاحتساب يتمّ على الفائض اللّحظي، وبعمولة 12% لشركة الكهرباء، فيما التعرفة الكهربائية تبلغ 0.56 شيقل لكلّ كيلوواط. ساعة.

الحلّ:

فاتورة الطاقة = (الطاقة الواردة – (الطاقة الصادرة × (1 – عمولة شركة الكهرباء))).

فاتورة الطاقة = (41250 – (38569 × (1 – 0.12))).

فاتورة الطاقة = (41250 – (38569 × (1 – 0.12))).

فاتورة الطاقة = (41250 – 33940).

فاتورة الطاقة = 7310 كيلوواط. ساعة.

بما أنّ النتيجة موجبة:

الفاتورة المالية = فاتورة الطاقة × التعرفة الكهربائية.

الفاتورة المالية = 7310 × 0.56.

الفاتورة المالية = 4093.6 شيقلاً.

مثال 3:

صاحب محلّ تجاري ركّب محطّة شمسية وَفق قانون صافي القياس، وفي نهاية الشهر كان فرق عدّاد الصادر يسجّل 3879kWh، فيما فرق عدّاد الوارد يسجّل 2990kWh، أحسب قيمة الفاتورة، إذا علمتُ أنّ الاحتساب يتمّ على الفائض اللحظي، وبعمولة 12% لشركة الكهرباء، فيما التعرفة الكهربائية تبلغ 0.69 شيقل لكلّ كيلوواط. ساعة.

الحلّ:

فاتورة الطاقة = (الطاقة الواردة – (الطاقة الصادرة × (1 – عمولة شركة الكهرباء))).

فاتورة الطاقة = (2990 – (3879 × (1 – 0.12))).

فاتورة الطاقة = 2990 – 3413.

فاتورة الطاقة = - 423.

بما أن النتيجة سالبة:

الفاتورة المالية = صفر.

كمية الطاقة المخزّنة = - 1 × فاتورة الطاقة.

كمية الطاقة المخزّنة = 423 كيلوواط.ساعة.

ما يعني أنّ الفاتورة بالكامل غُطِيَت، وهناك فائض مرحَّل للأشهر القادمة يحقّق له توفير بقيمة:

423 × 0.69 = 291.87 شيقلاً.

مثال 4:

صاحب منزل ركّب محطّة شمسية وَفق قانون صافي القياس، وفي نهاية الشهر كان فرق عدّاد الصادر يسجّل 570kWh، فيما فرق عدّاد الوارد يسجّل 650kWh، أحسب قيمة الفاتورة، إذا علمتُ أنّ الاحتساب يتمّ على الفائض اللحظي، وبعمولة 25% لشركة الكهرباء، فيما التعرفة الكهربائية تبلغ 0.6 شيقل لكلّ كيلوواط. ساعة.

وإذا عرفتُ أنّ المحطّة الشمسية أنتجت 1200kWh، فكم تبلغ قيمة التوفير المتحقّق من تركيب محطّة الطاقة الشمسية؟

الحلّ:

فاتورة الطاقة = (الطاقة الواردة – (الطاقة الصادرة × (1 – عمولة شركة الكهرباء))).

فاتورة الطاقة = (650 – (570 × (1 – 0.25))).

فاتورة الطاقة = (650 – 427.5).

فاتورة الطاقة = 222.5 كيلوواط. ساعة.

بما أنّ النتيجة موجبة:

الفاتورة المالية = فاتورة الطاقة التعرفة الكهربائية.

الفاتورة المالية = 222.5 × 0.6.

الفاتورة المالية = 133.5 شيقلاً.

ولمعرفة قيمة التوفير المتحقّقة؛ عليّ أن أحلّل وضع الطاقة بناءً على المعطيات، كما في الشكل (6) الآتي:

الشكل (6)

وتتوفّر قراءات العدّادات الثلاثة، منها يمكّن من معرفة كمية الطاقة التي استهلكتها الأحمال وَفق المعادلة الآتية:

كمية الطاقة المستهلكة = (الطاقة الشمسية – الصادرة) + الطاقة الواردة.

كمية الطاقة المستهلكة = (1200 – 570) + 650.

كمية الطاقة المستهلكة = 630 + 650.

كمية الطاقة المستهلكة = 1280 كيلوواط. ساعة.

ألاحظ أنّ إنتاج الطاقة الشمسية جزء استهلكته الأحمال مباشرة، فيما جزء آخر قد صُدِّر.

لو لم تكن هناك طاقة شمسية لكانت الفاتورة:

الفاتورة بلا طاقة شمسية = كمية الطاقة المستهلكة التعرفة الكهربائية.

الفاتورة بلا طاقة شمسية = 1280 × 0.6 = 768 شيقلاً.

قيمة التوفير = الفاتورة بلا طاقة شمسية – الفاتورة المالية.

قيمة التوفير = 768 – 133.5

قيمة التوفير = 634.5 شيقلاً.

أنظمة الاستهلاك الذاتي (Auto-consume or Zero Grid Injection):

ترتبط هذه الأنظمة الشمسية بالشبكة؛ بمعنى أنّها لا تعمل من دونها، لكنّها لا تضخّ أيّة طاقة بالشبكة، أو لا تستفيد أبداً من الفائض الذي يُضَخّ إلى الشبكة.

وتظهر الحاجة لهذه المحطات الشمسية عندما ترفض شركات توزيع الكهرباء ربط المحطات الشمسية؛ لأسباب فنية تتعلق بعدم قدرة الشبكة الكهربائية على استيعاب مزيد من المحطات الشمسية؛ لأنّ قدرة الألواح الشمسية يجب ألّا تتجاوز بأي حال الـ 30% من قدرة الشبكة. وفي هذه الحالة يلجأ الناس إلى تركيب محطات شمسية وَفق نظام الاستهلاك الذاتي من نوع (zero grid injection)، بحيث تُنتِج المحطّة الشمسية قدرة فقط بمقدار يكفي الأحمال أو أقلّ، من خلال أنظمة تحكّم بإنتاج الإنفيرترات، وبالتالي لا يكون هناك أيّ فائض؛ ما يعني أنّ الفائض سيُفقَد؛ ما يؤدّي إلى تقليل الاستفادة من المحطّة الشمسية، وجدواها الاقتصادية، لذلك تُركَّب محطّة شمسية حجمها أقلّ بكثير من تلك التي تحتاجها المنشأة؛ لتلافي ضياع قدر كبير من الطاقة.

وتجدر الإشارة إلى أنّه لا توجَد في فِلَسطين قوانين تحكم هذا النوع من المحطات الشمسية؛ لذلك يُفضَّل تركيبها بالتنسيق مع مالك الشبكة، أو مع سلطة الطاقة؛ منعاً للتعقيدات القانونية.

أسئلة الدرس:

1. ما المقصود بأنظمة الاستهلاك الذاتي؟
2. مَن الذي يعوِّض النقص في الطاقة في أنظمة الطاقة المرتبطة بالشبكة؟
3. لماذا يُحتاج إلى عدّاد طاقة ثنائي الاتجاه في أنظمة الطاقة الشمسية لحساب المقاصة؟ وهل يمكن استبداله بعدّادين أحاديَّي الاتجاه؟

السؤال الأول: أختار رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. بمَ تمتاز أنظمة الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة عن الأنظمة المنفصلة عن الشبكة؟
   أ- بأنّها أقلّ تكلفة للقدرة نفسها.
   ب- بأنّها أقلّ انتشاراً.
   ج- بأنّها تعمل بدون وجود شبكة كهربائية.
   د- بأنّها تغطّي مِساحة سطح أقلّ.
2. ما العنصر المسؤول عن تتبّع نقطة القدرة القصوى في الأنظمة الشمسية المتصلة بالشبكة؟
   أ- الألواح الشمسية.
   ب- الإنفيرتر.
   ج- مودم الإنترنت.
   د- الحامل المعدني.
3. ماذا تمثّل كفاءة الإنفيرتر؟
   أ- خفّة وزن الإنفيرتر.
   ب- مقدار أقلّ جهداً يعمل عنده الإنفيرتر.
   ج- التردد الأقصى للعمل.
   د- نسبة تحويله للطاقة الداخلة والخارجة.
4. أيّ من الآتية من عيوب حساب متوسط الاستهلاك لمنشأة عن طريق التخمين؟
   أ- السرعة.
   ب- تحتاج إلى أجهزة، وأدوات.
   ج- صعوبة التوثيق.
   د- تفتقر إلى الدقّة.
5. أيّ من الاتية من خسائر حقل التوليد؟
   أ- درجة الحرارة.
   ب- الغبار.
   ج- ظاهرة عدم التوافق.
   د- جميع ما ذُكِرَ.
6. من أجل ماذا يتّجه الناس إلى أنظمة الطاقة الشمسية الاستثمارية؟
   أ- تغطية أحمال الشتاء.
   ب- الاستغلال الأمثل للسطح.
   ج- جني الأموال.
   د- طول العمر الافتراضي.
7. أيّ نوع من العدّادات يلزم تركيبه لأنظمة صافي القياس؟
   أ- عدّاد تيار.
   ب- عدّاد جهد.
   ج- عدّاد أحادي الاتجاه.
   د- عدّاد ثنائي الاتجاه.
8. في أنظمة صافي القياس، فيمَ تُخزَّن كمية الطاقة الصادرة والواردة؟
   أ- في بطاقة ذاكرة.
   ب- في منظّم الشحن.
   ج- في العدّاد ثنائي الاتجاه.
   د- في الإنفيرتر.

السؤال الثاني: ما المقصود بخاصية تزامن التردّد والجهد التي يقوم بها الإنفيرتر في أنظمة الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة؟

السؤال الثالث: ما العوامل التي تحدّد قدرة الإنفيرتر؟

- **السؤال الرابع: أوضّح المقصود بإنفيرترات اللّوح الواحد.**
- **السؤال الخامس: في محطّة شمسيةٍ مرتبطة بالشبكة، كانت خسائر النظام كما يأتي: خسائر حقل التوليد تبلغ 12%، وكفاءة النقل والحمايات تبلغ 92%، وخسائر الإنفيرتر تبلغ 10%، أحسب معامل أداء المحطّة الشمسية.**
- **السؤال السادس: محطّة طاقة شمسية خاصّة بمشترك منزلي، رُبِطَت مع شبكة الكهرباء المحلية بآلية الربط المباشر (نظام التعرفة)، قُرِئَ عدّاد الطاقة الشمسية في نهاية الشهر، فكانت قراءته 95412 kWh، علماً أنّ هناك عقداً مبرماً بين صاحب المشروع وشركة الكهرباء، على أنّ تعرفة شراء الكهرباء هي 0.54 شيقل، وكانت قراءة عدّاد الاستهلاك 9500KWh، أحسب ما يأتي:**
  1. قيمة فاتورة الاستهلاك، إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.65 شيقل.
  2. قيمة فاتورة إنتاج المحطّة الشمسية.
- **السؤال السابع: لماذا يلجأ البعض إلى تركيب أنظمة الاستهلاك الذاتي؟**

5

الوَحدة النمطية الخامسة

تركيب المحطات الشمسية المتصلة بشبكة الكهرباء المحلية

«التركيب الجيّد للأنظمة الشمسية يُحسّن من أدائها، وكفاءةِ إنتاجها».

بعد دراسة هذه الوَحدة، والتفاعل مع أنشطتها، يُتوقّع من الطلبة أن يكونوا قادرين على التّعرّف إلى تركيب الأنظمة الشمسية أحادية الطور وثلاثية الطور، إضافة إلى تركيب العدّادات الكهربائية المختلفة، وغيرها من خلال الآتي:

1. التّعرّف إلى العِدد اليدوية الخاصّة بأعمال الأنظمة الشمسية.
2. تركيب لوح التيار الثابت وتجميعه في المحطات الشمسية.
3. توصيل لوح التيار المتناوب أحادي الطور.
4. توصيل لوح التيار المتناوب ثلاثي الطور.
5. تجميع لوح العدّاد أحادي الطور وثلاثي الطور.
6. المقارنة بين العدّادات أحادية الاتّجاه وثنائية الاتجاه.
7. تجهيز نظام تأريض محطّة شمسية.
8. التعرف إلى إجراءات الصيانة في المحطات الشمسية.
9. التّعرّف إلى آلية مراقبة المحطات الشمسية.
10. توصيل مجسّات الحركة؛ لترشيد استهلاك الطاقة.

الكفايات المُتوقّع أن يمتلكها الطلبة بعد الانتهاء من دراسة هذه الوَحدة هي:

أولاً- الكفايات الاحترافية:

1. التّعرّف إلى العِدد اليدوية الخاصّة بأعمال الأنظمة الشمسية.
2. تركيب لوح التيار الثابت وتجميعه في المحطات الشمسية، وتجميع السترنجات (Strings).
3. توصيل لوح التيار المتناوب أحادي الطور، إضافة إلى حارفات الجهد المرتفع (SPD).
4. توصيل لوح التيار المتناوب أحادي الطور وثلاثي الطور.
5. المقارنة بين عدّادات الطاقة الكهربائية أحادية الاتجاه (بيع مباشر) وثنائية الاتجاه.
6. تجهيز نظام تأريض محطّة شمسية، وتوصيل الإلكترودات الأرضية.
7. التعرف إلى إجراءات الصيانة في المحطات الشمسية، وتتبّع الأخطاء.
8. التّعرّف إلى آلية مراقبة المحطات الشمسية.
9. توصيل مجسّات الحركة؛ لترشيد استهلاك الطاقة.

ثانياً- الكفايات الاجتماعية والشخصية:

1. المصداقية.
2. تلبية حاجات الزبون والحفاظ على خصوصيته.
3. المبادرة في الاتصال بالأشخاص ذوي الخبرة.
4. التأمل الذاتي.
5. احترام الرأي والرأي الآخر.
6. تحمّل النقد.
7. الثقة بالنفس.

ثالثاً- الكفايات المنهجية:

1. تحفيز الرغبة الاستكشافية.
2. المقدرة على البحث.
3. التعلّم التعاوني.
4. بناء خطّة العمل.
5. معرفة المصطلحات الإنجليزية الخاصّة بالمهنة.

قواعد الأمن والسلامة المهنية:

1. الالتزام بالملابس الخاصّة بالتدريب العملي.
2. عدم لمس الأجهزة الموجودة في المشغل إلّا بتوجيهات من مشرف المشغل.
3. عدم تشغيل أيّ من التجارب العملية التي أُنجِزت إلّا تحت إشراف مشرف المشغل.
4. التأكّد من إطفاء جميع الأجهزة بعد الانتهاء من أداء التجارب، والحصول على النتائج.
5. الحفاظ على المشغل نظيفاً طوال الوقت، وبعد الانتهاء من التجارب العملية.
6. الانتباه من خطر الصعق الكهربائي في أثناء التعامل مع مصادر التغذية عالية القدرة.

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب منزل من فني تركيب الطاقة المتجددة تركيب محطّة شمسية أحادية الطور (Single phase PV system) على سطح منزله، من خلال نظام احتساب البيع المباشر (Feed In Tariff)، بحيث يُصدَّر كامل الطاقة المنتجة إلى الشبكة.

العمل الكامل:

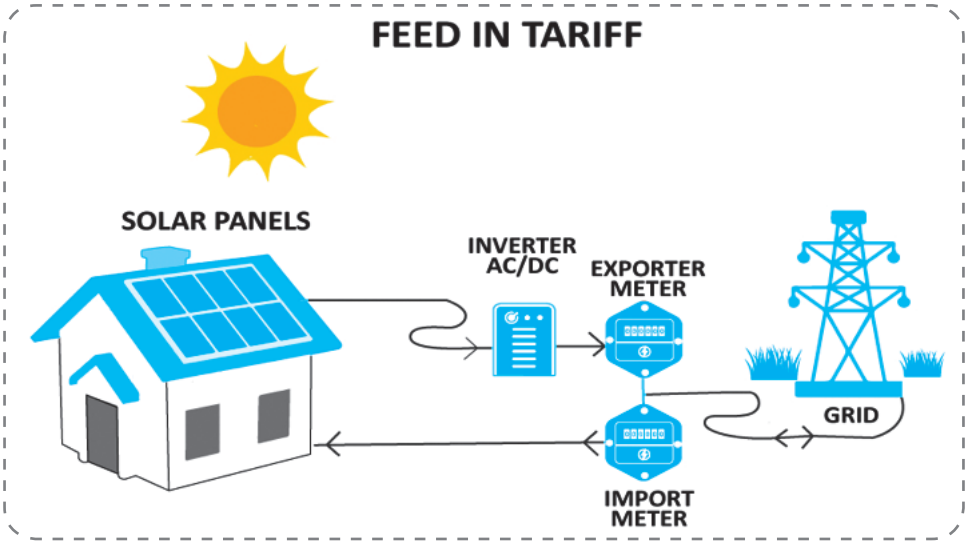
خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأحلّلها	جمع البيانات من صاحب المنزل عن: • كمية الاستهلاك الشهرية لمنزله. • طبيعة أحماله الموجودة في المنزل، ومواصفاتها الفنية. • نمط الاستهلاك الفصلي صيفاً، وشتاءً. • مِساحة السطح المسموح استغلالها للمشروع. • جمع بيانات عن: • الألواح الشمسية المتوفّرة في السوق المحلية، وأهمّ مواصفتها الفنية. • أنواع الإنفيرترات الشمسية المستخدمة، والمتوفّرة.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب الزبون الكتابي. • الشبكة العنكبوتية، وفيديوهات تعليمية. • الاستعانة بالخبراء. • كتيّبات مواصفات فنية لأحمال منزلية مختلفة.
أخطّط، وأقرّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المهمة. • تحديد جدول تكلفة للمهمة. • تحديد العِدَد المناسبة؛ لتنفيذ العمل.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• العِدد اليدوية التي تلزم. • نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنية، تبعاً للمعايير الفنية ذات الصلة. • تحديد القدرة الكهربائية المسموح بناؤها لمحطّة شمسية بنظام البيع المباشر وَفق استهلاك الزبون. • تصميم المحطّة الشمسية، وتحديد عدد الألواح، ورسم المخطّطات الكهربائية للنظام.	• مجموعات عمل.	• ألواح شمسية. • إنفيرتر وحماياته. • أسلاك (DC)، و(AC). • كتيّبات المواصفات الفنية لجميع المكونات. • مخطّطات توصيل الإنفيرتر.

	• تحديد عدد أجهزة الحماية، وسَعَة ألواح الحماية الثابتة (DC)، والمتناوبة (AC). • تركيب الألواح الشمسية، وتسحيب الأسلاك إلى لوح التيار الثابت، وتوصيها توصيلاً صحيحاً، ثمّ الربط بالإنفيرتر من خلال المدخل الخاصّ بالتيار الثابت (DC). • وصل الإنفيرتر من النقاط المخصصة فيه للتيار المتناوب بلوح حماية التيار المتناوب (AC)، وتوصيل الحمايات توصيلاً صحيحاً، ثمّ الوصول إلى لوح العدّاد. • بعد توصيل العدّاد توصيلاً صحيحاً وَفق المخطّط، توصَل الأسلاك الخارجة من العدّاد إلى أقرب نقطة للشبكة المحلية؛ لتُصدَّر الطاقة الكهربائية إليها.		
أتحقّق من	• الفحص بالنظر لمكان تركيب القطع، والوحدات، والتوصيلات. • فحص الإنفيرتر، والمحطّة الشمسية، وعدّاد الطاقة الكهربائية من خلال تشغيل المحطّة، واستخدام جهاز الأفوميتر، والكلامبميتر؛ للتأكد من توصيل النقاط توصيلاً جيداً.	• مجموعات عمل.	• جهاز فحص ملتيميتر رَقْمي. • جهاز كلامبميتر.
أوثّق، وأقدّم	• توثيق نتائج العمل. • تلخيص الخطوات، والإجراءات، والنتائج كافّة على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن التكلفة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي. • العمل الفردي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • مقارنة مع وصف الزبون.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- لماذا تكثر شركات تركيب الأنظمة الشمسية في فِلَسطين؟
- أناقش: هل تؤثّر جودة تركيب المحطّة على عمرها الافتراضي، وكفاءة إنتاجها؟

نشاط: أبحث عن قيمة الكيلوواط. ساعة الواحد الذي تدفعه شركة الكهرباء المحلية في بلدي من خلال نظام البيع المباشر.

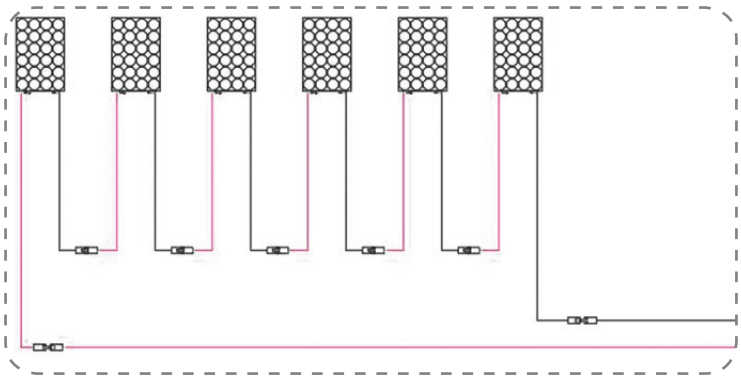


تركيب محطّة شمسية أحادية الطور:

يُعدّ نظام التوليد المرتبط بالشبكة الأكثر انتشاراً في فِلَسطين مقارنة بالأنظمة المنفصلة عن الشبكة، ويتكوّن هذا النظام بشكل رئيس من حقل التوليد (الألواح الشمسيّة، والحامل المعدني)، والإنفيرتر، والحمايات، والوصلات. وبعد تثبيت الهيكل المعدني والألواح الشمسية للمشروع، يُنتقَل إلى مرحلة التجميع الكهربائي، واعتماداً على المخطّطات الكهربائية؛ تُنفَّذ السترنجات (Strings)، ويُثبَّت الإنفيرتر (Inverter)، وألواح التيار الثابت والمتناوب، وصولاً إلى لوح عدّاد الطاقة الكهربائية، وتتمّ الخطوات كما يأتي:

توصيل الألواح الشمسية كهربائياً:

يمتلك كلّ لوح شمسي طرفَي خرج: طرف موجب، وطرف سالب، كما مر سابقاً، علماً أنّ أطراف الأسلاك تكون مزوّدة بوصلات (MC4) تسهّل عملية التوصيل، وتقلّل من خسائر التوصيلات الكهربائية، وتوصيل الألواح الشمسيّة بعضها مع بعض على التوالي؛ لتكوّن صفّاً من الألواح الشمسية يُسمّى سترنجاً، كما في الشكل (1) الآتي، وتجدر الإشارة إلى أنّه لا يمكن إحداث أيّ قَطْعٍ لهذه الوصلات، إنّما يمكن إطالتها وَفق مخطّطات التصميم:



الشكل (1): توصيل مجموعة من الألواح الشمسية لتكوّن سترنجاً (String)

وغالباً ما يُضاف طول إضافيّ لأيّ كابل توصيل مستخدَم في السترنجات؛ لأنّ الأطراف النهائية لعملية التوصيل لا تمتلك طولاً كافياً لتصل إلى لوح حمايات التيار الثابت، وعليه فإنّه يتمّ ذلك باستخدام كوابل (DC) خاصّة للألواح الشمسية تُجهَّز بأطراف (MC4)؛ لتوائم أطراف الألواح الشمسية، وتُمَدّ الأسلاك الإضافية بين الصفوف، ومكان تركيب ألواح الحماية والإنفيرتر داخل قنوات خاصّة. وبعد إتمام التوصيلات الكهربائية للألواح الشمسية، تُمَدّ الأسلاك بين الألواح، وتُثبَّت على الهيكل باستخدام مرابط، أو ملازم خاصّة، كما في الشكل (2) الآتي:

الشكل (2): تثبيت أسلاك الألواح الشمسية بالهيكل المعدني

توصيل لوح التيار الثابت وتجميعه (DC Box):

يُعَدّ لوح تجميع التيار المستمرّ (DC Box) ذا أهمية كبيرة؛ إذ إنّه المكان النهائي لتجميع أسلاك التيارات المستمرّة الخارجة عن الألواح الشمسية قبل دخولها إلى الإنفيرتر، كما أنّه يحتوي بداخله على نوعين من الحمايات الكهربائية، هما:

1. القواطع الكهربائية (DC Circuit Breaker)؛ للحماية المرتفعة من التيار الكهربائي.
2. حارفات الجهد المرتفع (Surge Arresters)؛ للحماية من ارتفاع الجهد الكهربائي المفاجئ.

وتجدر الإشارة إلى أنّ لوح تجميع التيار الثابت يكون مصنوعاً من الحديد أو البلاستيك غير القابل للاحتراق، ويجب أن يكون ذا درجة حماية مرتفعة (IP65) كحدّ أدنى، وللسماح للكوابل بالدخول إلى الحمايات؛ يُستخدَم كابل جلاند (Cable Gland)؛ للمحافظة على درجة الحماية (عازلية من الماء) للّوح، إضافة إلى أنّ اللّوح يجب أن يحتوي على جسر أوميغا (DIN)؛ ليتلاءم مع تركيب القواطع، وحارفات الجهد، كما في الشكل (3) الآتي:

الشكل (3): أشكال مختلفة لألواح التيار الثابت

وبعد تثبيت لوح التجميع، يُحدَّد عدد الكوابل التي ستدخل إلى اللّوح؛ لعمل الثقوب المناسبة، كما في الشكل (4) الآتي الذي يوضّح أشكال مختلفة من الكابل جلاند. كما تحتوي الجلاندات على قطعة مطاطية، وعند شدّها تمنع تسرّب المياه والأتربة إلى الداخل، علماً أنّ الجلاند يجب أن يُختار بمِساحة ملائمة للكابل:

الشكل (4): أشكال وأحجام مختلفة للكابل (جلاند)

وفي المرحلة النهائية تُثبَّت أدوات الحماية من قواطع وحارفات جهد داخل اللّوح، وبعد تمديد كوابل التيار المستمرّ من الألواح الشمسية إلى لوح التيار الثابت، وتُجهَّز أطراف الكوابل بوصلة (MC4) في منطقة الألواح، كما في الشكل (5)، ويكون كلّ سترنج من الألواح الشمسية مزوّد بكابلين: أحدهما موجب، والآخر سالب، ونهايات هذه الكوابل مزوّدة بوصلات (MC4). وتُقسَم هذه الوصلات إلى نوعين، هما: وصلة (MC4) موجبة (ذكر)، ووصلة (MC4) سالبة (أنثى). ويوصَل بين هذين النوعين من خلال كبس القطب الموجب بالسالب؛ لتحقيق توصيلة تمتاز بالمتانة، وذات حماية (IP67). وتجدر الإشارة إلى أنّ هذه الكبسات تصلح فقط لكوابل 4 ملم، و6 ملم، كما في الشكل (6) الآتي:

الشكل (5): وصلات (MC4) المستخدمة لوصل كوابل الألواح الشمسية

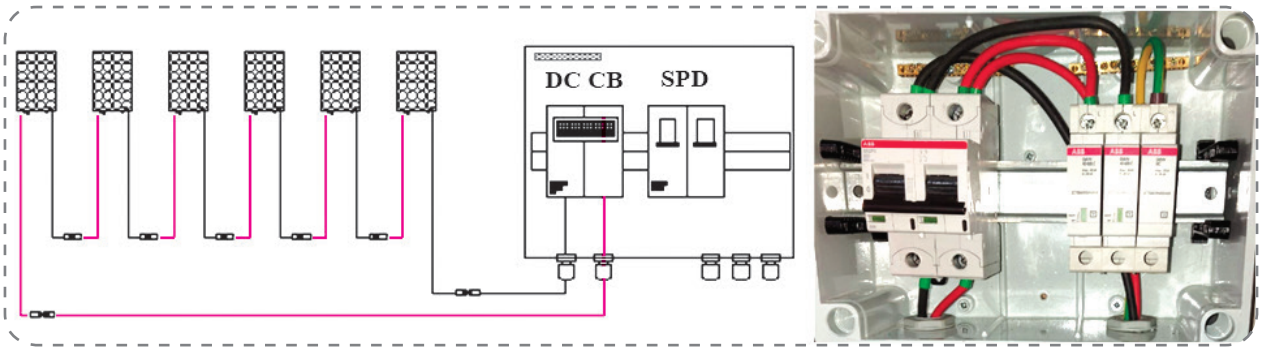
الشكل (6): خطوات تجهيز وصلات (MC4) المستخدمة لوصل كوابل الألواح الشمسية

وتُستخدَم في الأنظمة الشمسية كوابل بمواصفات خاصّة لنقل الكهرباء بين الألواح وعلبة التجميع، ويُرمَز لها بالرمز (PV1-F)، وتمتاز هذه الكوابل بكفاءة عالية، وعمر افتراضي مرتفع، إضافة إلى عدّة ميزات فيزيائية، وكهربائية، وحرارية، منها:

1. تتكوّن من سلك نحاسي ليّن (شعرات).
2. مضادّة للاحتراق، ومقاومة للاشتعال.
3. تحتمل فرق جهد ثابت مرتفعاً يصل إلى 1800 فولت ثابت.

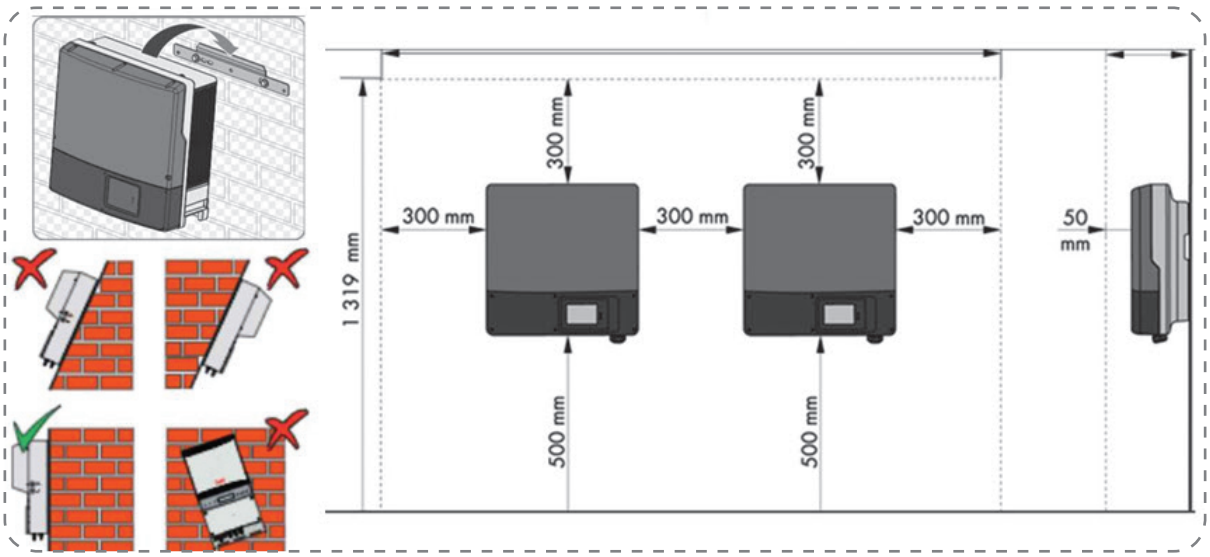
الشكل (7): مكبس كابل سليف

وبعد تجهيز أطراف كوابل التيار المستمرّ داخل علبة التجميع توصَل الأسلاك في قاطع التيار الثابت من الأسفل، حيث يكون الكابل الأحمر يمثّل الطرف الموجب، والكابل الأسود يمثّل الطرف السالب، ثمّ توصَل حارفة الجهد المرتفع بالطرفين الموجب والسالب، كلٌ وَفق ما هو محدّد، وكذلك نقطة التأريض، كما في الشكل (8)، عادة فإنّ مدخل التيار الثابت في الإنفيرتر يكون وصلة (MC4) موجبة وسالبة، لذلك تُجهَّز كوابل التيار المستمرّ الخارجة من لوح التيار الثابت بوصلات (MC4)، بحيث تلائم مدخل (DC) الإنفيرتر:



الشكل (8): تجميع الألواح الشمسية بلوح التيار الثابت

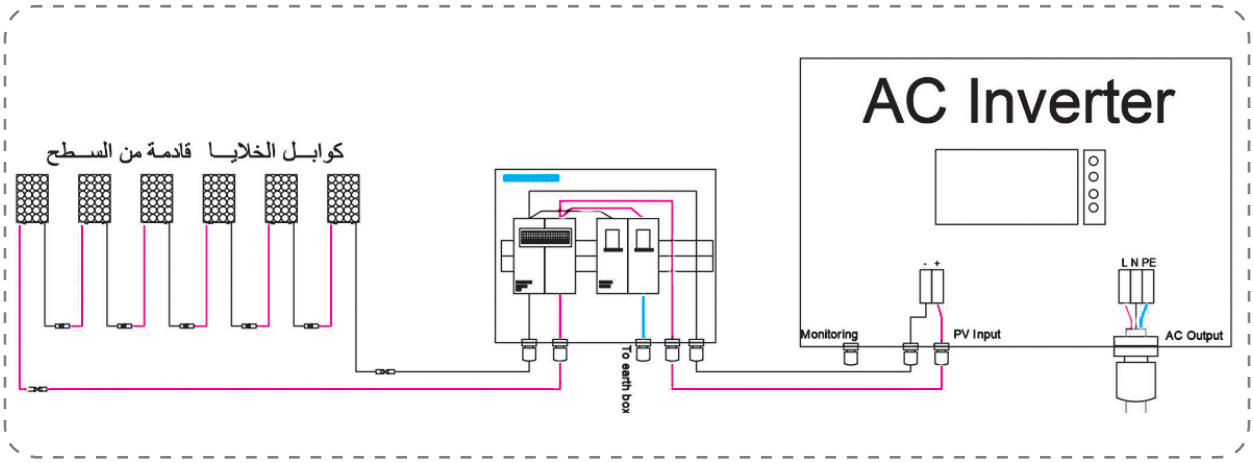
وعادةً ما تكون الإنفيرترات مزوّدة بحامل لها؛ فقد يُثبَّت الحامل على الجدار، وعلى ارتفاع مناسب، بحيث يكون الإنفيرتر على مستوى النظر؛ أي على ارتفاع (120-160سم) عن الأرض؛ لتسهيل أعمال التركيب والصيانة، ويمكن في بعض الظروف تركيبه على ارتفاعات أكبر؛ لتجنّب وصول الأطفال السهل له، علماً أنّ كلّ إنفيرتر يكون مزوّداً بدفتر إرشادات للتركيب، يحدّد أفضل آلية تركيب له، والمسافات بينه وبين الجدار، أو بين الإنفيرترات نفسها، كما في الشكل (9) الآتي، مع مراعاة الحفاظ على المسافات الدنيا عن الإنفيرتر؛ لأغراض تهويته؛ لعدّ زيادة الخسائر الداخلية، وهذه الارتدادات تعتمد على حجم الإنفيرتر، ونوعه:



الشكل (9): تعليمات تركيب أحد إنفيرترات الطاقة الشمسية، وإرشاداتها

نشاط عملي:

أجهّز سترنجاً من الألواح الشمسية المتصلة على التوالي، وكذلك لوحَ تيار ثابتاً مع كامل أجهزة الحماية إلى أن توصَل أطراف التيار الثابت للإنفيرتر، كما في الشكل (10) الآتي:

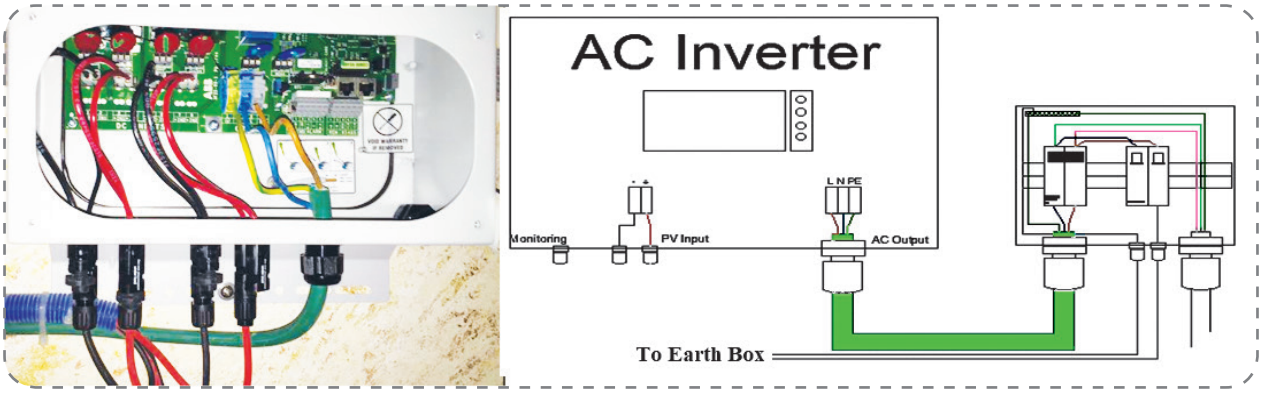


الشكل (10): تجهيز جانب التيار الثابت من المحطّة الشمسية

توصيل لوح التيار المتناوب وتجميعه (AC Box):

يُعَدّ لوح تجميع التيار المتردّد (AC Box) ذا أهمية كبيرة؛ لأنّه المكان النهائي لتجميع أسلاك التيارات المتردّدة الخارجة من الإنفيرتر، فهي تحتوي بداخلها على ثلاث أنواع من الحمايات الكهربائية، هي:

1. القواطع الكهربائية (AC Circuit Breaker)؛ للحماية المرتفعة من التيار الكهربائي.
2. حارفات الجهد المرتفع (AC Surge Arresters)؛ للحماية من ارتفاع الجهد الكهربائي المفاجئ.
3. قاطع التسريب الأرضي (Earth leakage CB)؛ للحماية من التسريب في الدارة، وتكون حساسيته 300 ميلي أمبير، علماً أنّ لوح تجميع التيار المتناوب يكون كما التيار الثابت؛ أي ذو درجة حماية مرتفعة (IP65) كحدّ أدنى، حيث يوصَل كابل أحادي الطور (فاز/ نيوترال/ إرث) بمِساحة مقطع مناسبة للتيار الناتج من الإنفيرتر بالمخرج المخصص للتيار المتناوب للإنفيرتر، ثمّ يوصَل في لوح التيار المتناوب (AC Box) مع استخدام الكابل (جلاند)، كما في الشكل (11) الآتي، علماً أنّ رأس الكابل يُستخدَم سليفاً، إن كان شعراته ليّنة، أما إن كان صُلباً فلا حاجة للسليف، مع مراعاة ألّا يظهر أيّ طرف نحاسي بعد التركيب؛ حتى لا تحصل دارة قصر، أو تفريغ:



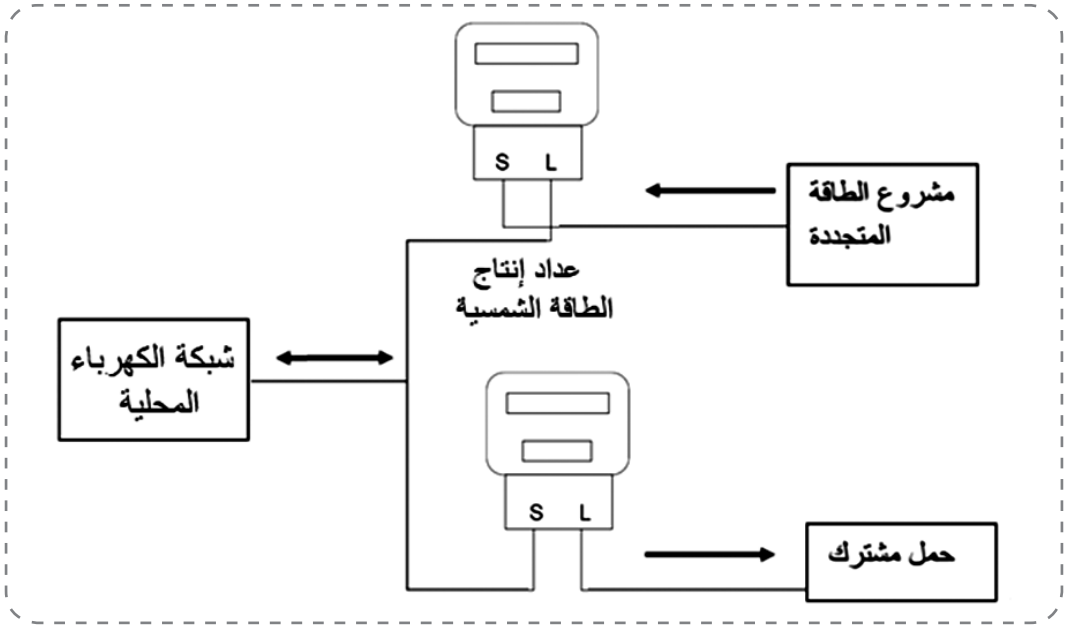
الشكل (11): تجهيز جانب التيار المتناوب من المحطّة الشمسية

توصيل لوح عدّاد الطاقة الكهربائية المباشر، وتجميعه:

تُنتج محطات الطاقة المرتبطة بالشبكة طاقة كهربائية، ولضمان تحديد قيمة الإنتاج بدقّة؛ يُجهَّز لوح مزوّد بعدّاد طاقة؛ من أجل قياس كميّة الطاقة المصدّرة إلى الشبكة، ففي نظام البيع المباشر يُحتاج إلى عدّاد اتجاه واحد.

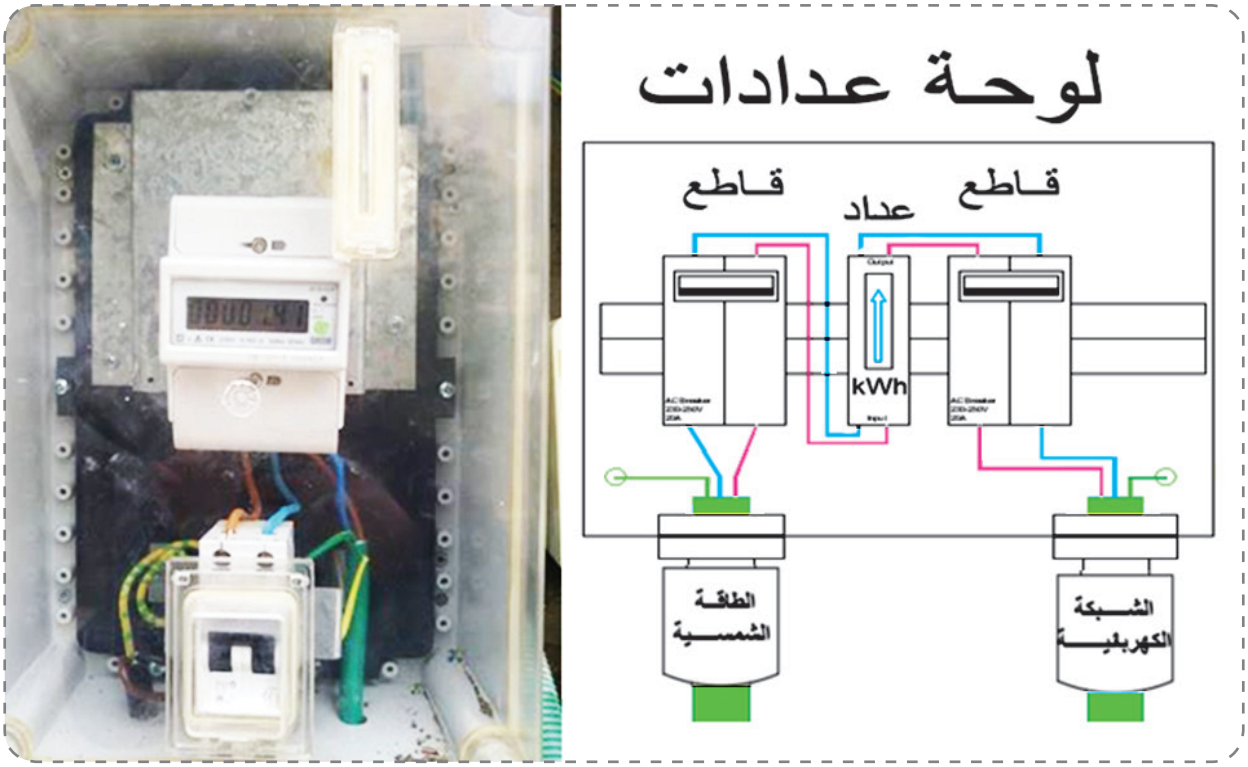
نظام التعرفة، البيع المباشر (Feed IN Tariff):

هو نظام ربط يعتمد على مبدأ ضخّ كاملِ الإنتاج الشمسيّ إلى شبكة الكهرباء المحليّة مقابل تعرفة بيْعٍ ثابتة لكلّ كيلوواط. ساعة، كما شُرِحَ سابقاً. ويمكن تمثيل المخطّط السهمي لطريقة توصيل عدّاد الطاقة الكهربائيّ مع الشّبكة، كما في الشكل (12) الآتي:



الشكل (12): توصيل عدّاد مشترك منزلي موصول مع الشبكة بطريقة مباشرة (Feed IN)

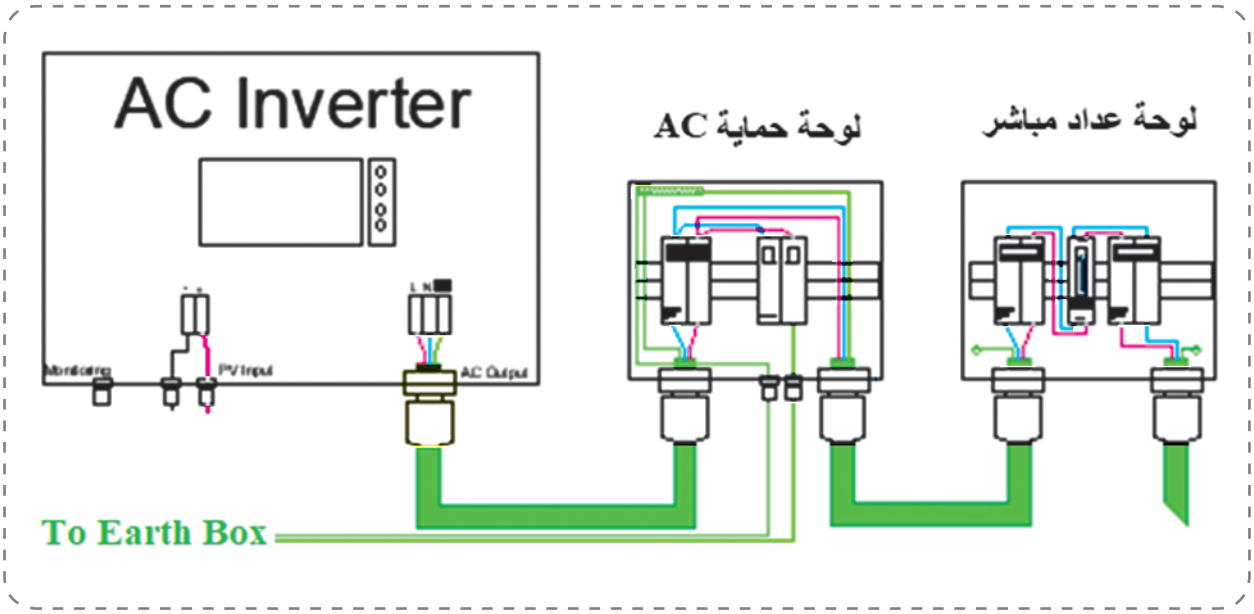
وعادةً ما تكون ألواح العدّادات هي ألواح قابلة للختم (قلادة قفل)؛ لتجنّب تلاعب الأفراد باللّوح، وبكمية الإنتاج المسجلة من العدّاد، مثل ألواح (CI4)، بحيث تكون مزوّدة بفتحة للقاطع المزدوج، أو عمل الفتحة من فني شركة الكهرباء، يدخل إلى علبة العدّاد خطّ (فاز/ نيوترال)، ويخرج منها خطّ (فاز/ نيوترال)، مع مراعاة مِساحة مقطع الكابل والتيار الذي يتحمّله العدّاد. وأخيراً يُمَدّ كابل آخر يربط بين لوح العدّادات والشبكة، حيث يُدخَل الكابل إلى علبة العدّاد، ويوصَل مع القاطع، كما في الشكل (13) الآتي الذي يوضّح طريقة توصيل عدّاد ذي اتجاه واحد:



الشكل (13): توصيل عدّاد باتجاه واحد موصول مع الشبكة وصلاً مباشراً (Feed IN)

نشاط عملي:

أجهّز لوح تيار متناوب لإنفيرتر طاقة شمسية، كما في الشكل (14) الآتي مع كامل أجهزة الحماية المطلوبة، ثمّ لوحَ عدّاد باتجاه واحد؛ لقراءة كامل الإنتاج، علماً أنّ المحطّة مرتبطة مع الشبكة بنظام البيع المباشر:



الشكل (14): تجهيز جانب التيار المتناوب والعدّاد من المحطّة الشمسية

أسئلة الدرس:

1. أوضّح: لماذا لا تُستخدَم كوابل عادية في إطالة الكوابل الشمسية عند الحاجة؟
2. أعلّل ما يأتي:
   - تُستخدَم مانعات الصواعق في أنظمة التوليد الشمسية.
   - تُترَك مسافة بين الإنفيرتر وألواح التجميع المجاورة.
3. ما أنواع الحمايات التي تُركَّب داخل ألواح التيار الثابت (DC)؟
4. ما أنواع الحمايات التي تُركَّب داخل ألواح التيار المتردّد (AC)؟
5. ما جهاز الحماية الذي يتفعّل آلياً مباشرة عند حدوث ارتفاع مفاجئ للجهد في النظام الشمسي؟

أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنية، تبعاً للمعايير الفنية ذات الصلة. • تحديد القدرة الكهربائية المسموح بناؤها لمحطّة شمسية بنظام البيع المباشر وَفق استهلاك المصنع. • تصميم المحطّة الشمسية، وتحديد عدد الألواح، ورسم المخطّطات الكهربائية للنظام. • تحديد عدد أجهزة الحماية وأنواعها، وسَعَة ألواح الحماية الثابتة (DC)، والمتناوبة AC)). • تركيب الألواح الشمسية، وتسحيب الأسلاك إلى لوح التيار الثابت، وتوصيها توصيلاً صحيحاً، ثمّ الربط بالإنفيرتر من خلال المدخل الخاصّ بالتيار الثابت (DC). • وصل الإنفيرتر من النقاط المخصصة فيه للتيار المتناوب بلوح حماية التيار المتناوب (AC)، وتوصيل الحمايات توصيلاً صحيحاً، ثمّ الوصول إلى أقرب نقطة للربط بالشبكة الكهربائية. • تجهيز لوح عدّاد الطاقة ثلاثي الطور، بحيث يقرأ كمية الطاقة المتدفقة إلى الشبكة من النظام الشمسي.	• مجموعات عمل.	• ألواح شمسية. • إنفيرتر وحماياته. • أسلاك (DC)، و(AC). • كتيّبات المواصفات الفنية لجميع المكونات. • مخطّطات توصيل الإنفيرتر.
أتحقّق من	• الفحص بالنظر لمكان تركيب القطع، والوحدات، والتوصيلات. • فحص الإنفيرتر، والمحطّة الشمسية، وعدّاد الطاقة الكهربائية من خلال تشغيل المحطّة، واستخدام جهاز الملتيميتر والكلامبميتر؛ للتأكد من توصيل النقاط توصيلاً جيداً.	• مجموعات عمل.	• جهاز فحص ملتيميتر رَقْمي. • جهاز كلامبميتر.
أوثّق، وأقدّم	• توثيق نتائج العمل. • تلخيص الخطوات، والإجراءات، والنتائج كافّة على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن التكلفة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي. • العمل الفردي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أقوم بـ	المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. مقارنة مع طلب الزبون.	النقاش الجماعي.	نماذج التقويم.

الموقف التعليمي التعلّمي الرابع: تجهيز نظام تأريض المحطات الشمسية

وصف الموقف التعليمي:

طلب صاحب مصنع من فني تركيب الطاقة المتجددة بناء نظام تأريض جيد لمحطّة شمسية، على أن يكون مطابقاً لمتطلبات شركة الكهرباء المحلية؛ حيث إنّ المحطّة الشمسية لم تجتاز اختبارات فحص التأريض المعمول من مهندسي شركة الكهرباء.

العمل الكامل:

خطوات العمل	الوصف	المنهجية	الموارد
أجمع البيانات، وأحلّلها	جمع البيانات من صاحب المصنع عن: • طريقة تأريض المصنع. • المواصفات المستخدمة لنظام التأريض. • لوح التوزيع الرئيسة، وبسبار تأريضها. جمع بيانات عن: • أنظمة التأريض، وطرق تعزيزها. • أنواع إلكترودات التأريض. • أسلاك التأريض المستخدمة في الأنظمة.	• العمل في مجموعات. • البحث العلمي. • الحوار والمناقشة. • العصف الذهني.	• طلب الزبون الكتابي. • الشبكة العنكبوتية، وفيديوهات تعليمية. • الاستعانة بالخبراء. • كتيّبات مواصفات فنية.
أخطّط، وأقرّر	• تصنيف البيانات، وتبويبها. • تحديد جدول زمني؛ لتنفيذ المهمة. • تحديد جدول تكلفة للمهمّة. • تحديد العِدَد المناسبة؛ لتنفيذ العمل.	• الحوار والمناقشة. • العمل في مجموعات.	• العِدد اليدوية التي تلزم. • نموذج جدول زمني. • نموذج جدول تكلفة.
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنية، تبعاً للمعايير الفنية ذات الصلة. • تحديد مقاومة التأريض المطلوبة من الشركة المزودة للتيار الكهربائي. • تثبيت لوح التأريض الرئيس في النظام الشمسي، وربطه بخطّ التأريض الرئيس مع إلكترودات التأريض، وأساسات المبنى.	• مجموعات عمل.	• ألواح شمسية. • إنفيرتر وحماياته. • أسلاك (DC)، و(AC). • أسلاك تأريض • كتيّبات المواصفات الفنية لجميع المكونات. • مخطّطات توصيل الإنفيرتر.

	• تأريض لوح التيار المتناوب (AC BOX) من خلال وصله ببسبار الإرث الرئيس في المحطّة. • تأريض لوح التيار الثابت (DC BOX) من خلال وصل ببسبار الإرث الرئيس في المحطّة. • تأريض الهيكل المعدني للألواح الشمسية. • تأريض الألـواح الشمسية، ووصلها بالهيكل المعدني من المكان المخصّص. • فحص مقاومة التأريض في المحطّة الشمسية فحصاً كاملاً باستخدام جهاز (Earth Loop Tester)، ومقارنها بالقيمة المطلوبة.		
أتحقّق من	• الفحص بالنظر لمكان تركيب القطع، والوحدات، والتوصيلات. • فحص الإنفيرتر، والمحطّة الشمسية، وبسبار التأريض من خلال تشغيل المحطّة، واستخدام جهاز فحص الإرث؛ للتأكد من توصيل النقاط توصيلاً جيداً، وفحص مقاومة الإرث.	• مجموعات عمل.	• جهاز فحص الإرث (Loop Tester)
أوثّق، وأقدّم	• توثيق نتائج العمل. • تلخيص الخطوات، والإجراءات، والنتائج كافّة على دفتر التدريب العملي. • تقديم تقرير مفصّل عن التكلفة. • عرض كلّ مجموعة عمل ما أُنجِزَ على الجميع.	• مجموعات عمل. • النقاش الجماعي. • العمل الفردي.	• جهاز عرض (LCD). • دفتر التدريب العملي.
أقوم بـ	• المقارنة بين الحلول الفنية المختلفة بين جميع مجموعات العمل. • مقارنة مع وصف الزبون.	• النقاش الجماعي.	• نماذج التقويم.

الأسئلة:

- أناقش وجود نظام تأريض في المنظومة الكهربائية.
- أناقش: تُستغَلّ أساسات المبنى، إضافة إلى إلكترودات التأريض.

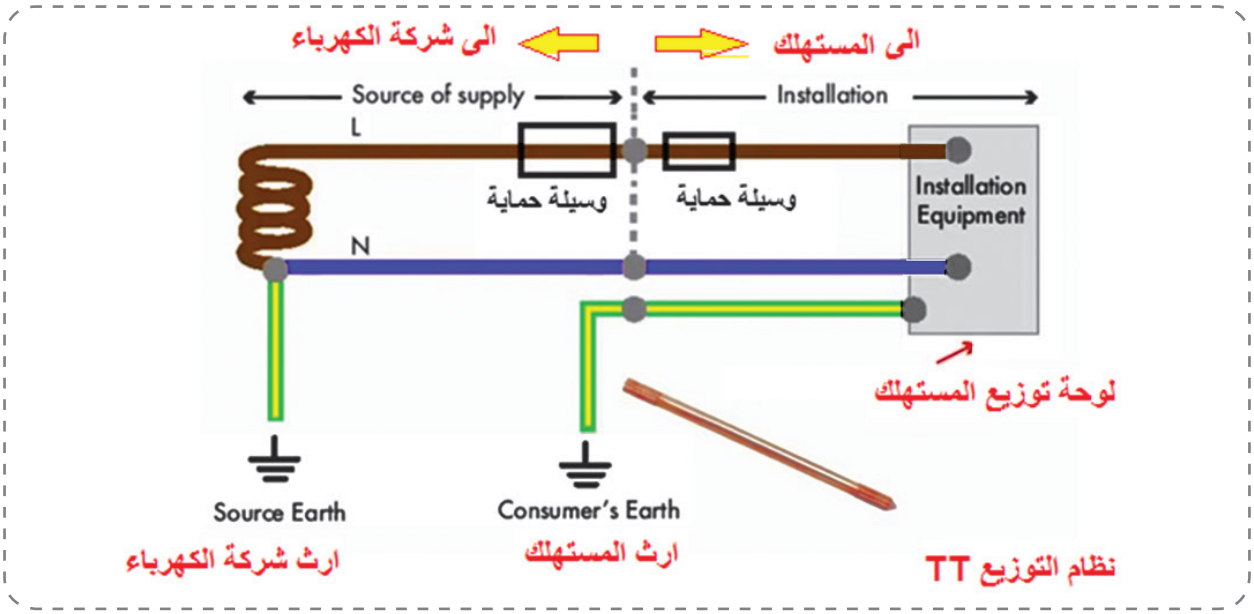
نشاط: أبحث عن الطرق المختلفة لتعزيز نظام التأريض في الأنظمة الكهربائية، والأنظمة الشمسية.

نظام التأريض في المحطات الشمسية:

يعدّ نظام التأريض أحد أهمّ مكوّنات النظام الكهربائي؛ حيث يلعب دوراً أساسياً في اختيار أجهزة الحماية، إضافة إلى حماية الإنسان والأجهزة من الخطر الكهربائي، وكلمة تأريض تعني: التوصيل الجيد للأجزاء المعدنية التي لا يسري فيها تيار في الوضع الطبيعي للدارة الكهربائية مع الأرض، مثل الهيكل المعدني للألواح الشمسية.

وبما أنّ الأشخاص على اتصال بالأرض، فإن ملامستهم لجسم معدني تظهر عليه شحنة كهربائية مما يعرضهم للخطر؛ بسبب تكوّن فرق في الجهد على جسم الإنسان. وبناءً عليه، فإنّه يتمّ توصيل جميع الأجزاء المعدنية بالأرض، وهو من أساليب الحماية الفعالة في النظم الكهربائية، ويُسمّى هذا الأسلوب **التأريض الوقائي**.

وتجدر الإشارة إلى أنّ بعض الشركات الفِلَسطينية المزودة للكهربا تعمل بنظام تأريض (TT)، كما في الشكل (1) الآتي، حيث إنّ شركة الكهرباء لا تزوّد المستهلك بخطّ الإرث في هذا النظام، إنّما يكون المستهلك مُلزماً ببناء نظام تأريض خاصّ به، وتأسيسه، وعليه فإنّ لشركة الكهرباء والمستهلك نظام تأريض منفصل:



الشكل (1): نظام التوزيع (TT) المستخدم في فِلَسطين

وهناك عوامل مختلفة تؤثّر على مدى فاعلية نظام التأريض، أهمها:

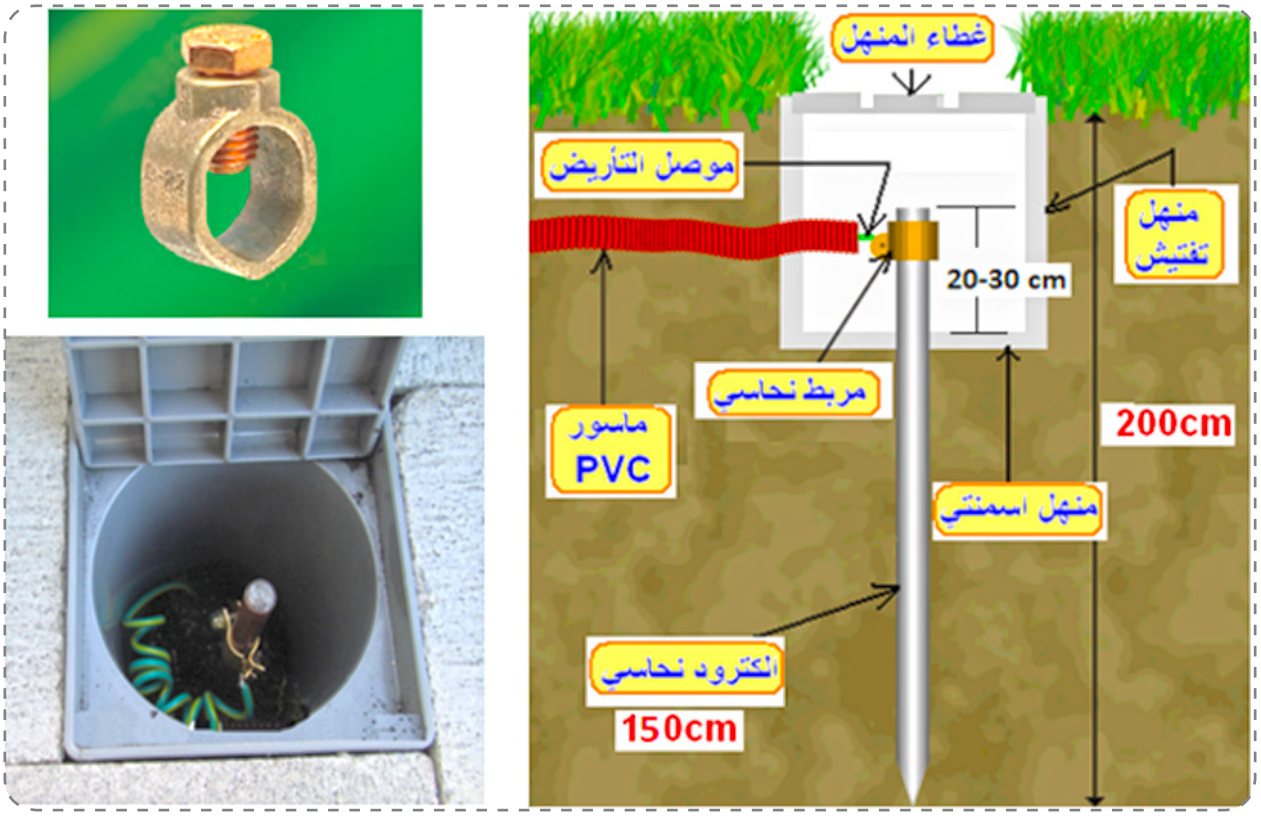
1. مقاومة وسيلة التأريض المستخدمة، مثل الأسلاك، والإلكترودات.
2. مقاومة التربة التي توضَع فيها.

ومع توفّر الأجهزة المناسبة التي يمكن من خلالها قياس مقاومة خطّ الإرث ومقاومة التربة، يمكن تصميم نظام تأريض فعّال، بحيث يُحقَّق الهدف الرئيس من هذين العاملين، وهو توفير أقلّ مقاومة ممكنة لمسار تيار التسريب.

آليات التأريض المستخدمة في الأنظمة الكهربائية:

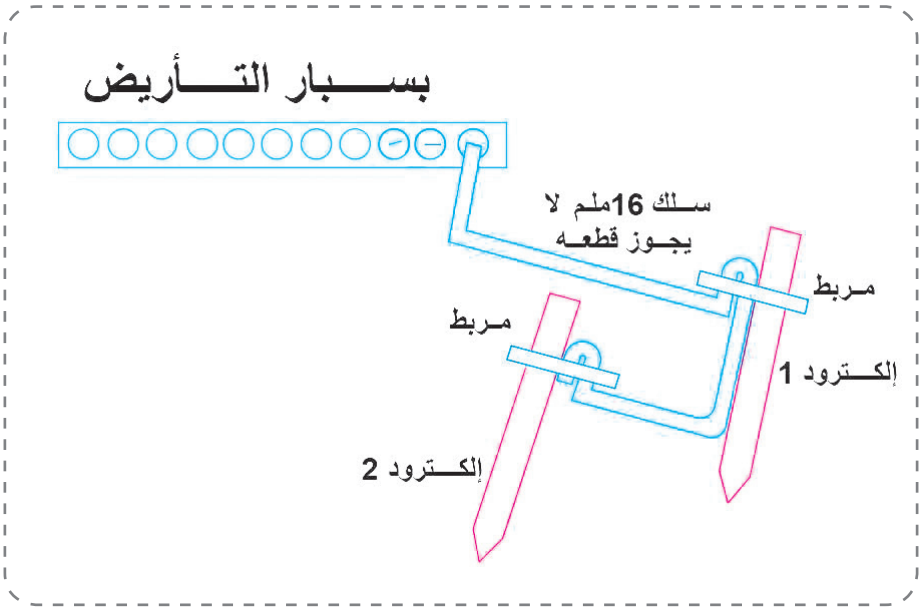
1. التأريض باستخدام لحام شبكة حديد الأساسات في المبنى.
2. التأريض بالوصلة المباشرة (إلكترودات التأريض).

الإلكترودات: هي (قضبان) نحاسية، طولها نحو 150سم، تُغرَس في التربة؛ لإنشاء مسار للتيار بين نظام التأريض والأرض، وفي بعض الحالات تُستخدَم وسائل إضافية؛ لتحسين قيم التأريض، مثل الشبكات، أو الصفائح النحاسية، أو شبكة المياه. ويُستخدَم كابل تأريض نحاسي؛ لربط جسر التأريض الرئيس مع إلكترودات التأريض مباشرة باستخدام مربط نحاسي، وقد يمرّ هذا الكابل داخل أنابيب خاصّة، والشكل (2) الآتي يوضّح مكونات حفرة التأريض:



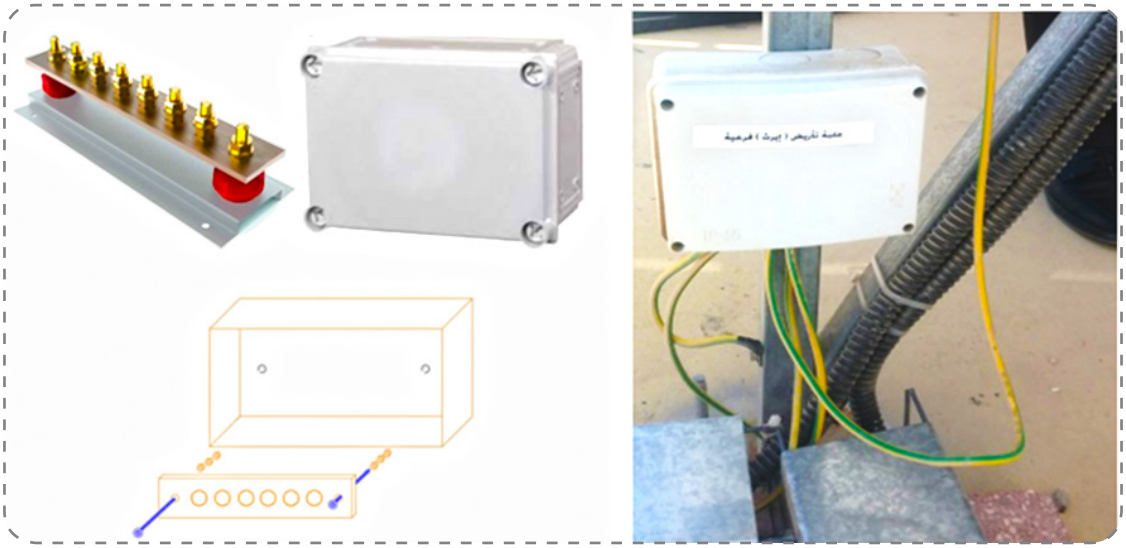
الشكل (2): وصف أجزاء إلكترود التأريض في نظام التأريض

تعتمد قيمة المقاومة بين قضيب التأريض والتربة المحيطة به على مِساحة التلامس بينهما ومجال التأثير؛ لذلك يُفضل وضع قضيب التأريض عمودياً، ولكن لاعتبارات خاصّة بالتربة، مثل وجود صخور، يمكن أن يُركَّب بزاوية ميل مختلفة. وتمتلك بعض أنواع التربة مقاومة عالية؛ لذلك يُستخدَم عدد من الإلكترودات المتصلة بعضها مع بعض بكابل تأريض مدفون بمِساحة مقطعه (16ملم^2)، بحيث يكون السلك الواصل بينها متصلاً، ويُمنَع قطعه، كما في الشكل (3) الآتي، علماً أنّ المسافة بين الإلكترودات عادةً ما تكون (3 متر)، أو ضعف طول الإلكترود على الأقلّ.



الشكل (3): وصف طريقة توصيل أكثر من إلكترود تأريض معاً

يُعدّ نظام التأريض في محطّة التوليد الشمسيّة أمراً في غاية الأهميّة؛ حيث يؤمّن مسار جيّد للتيارات المتسربة في النظام إلى الأرض، وحماية المستخدمين من الصعقة الكهربائية، إضافة إلى أنّ لنظام التأريض أهميّةً كبيرة في حماية مكوّنات النظام من التيارات المتسرّبة، وتيار العطل، والشكل (4) الآتي يوضّح شكل لوح تأريض لنظام شمسي، ومكوناته الداخلية:

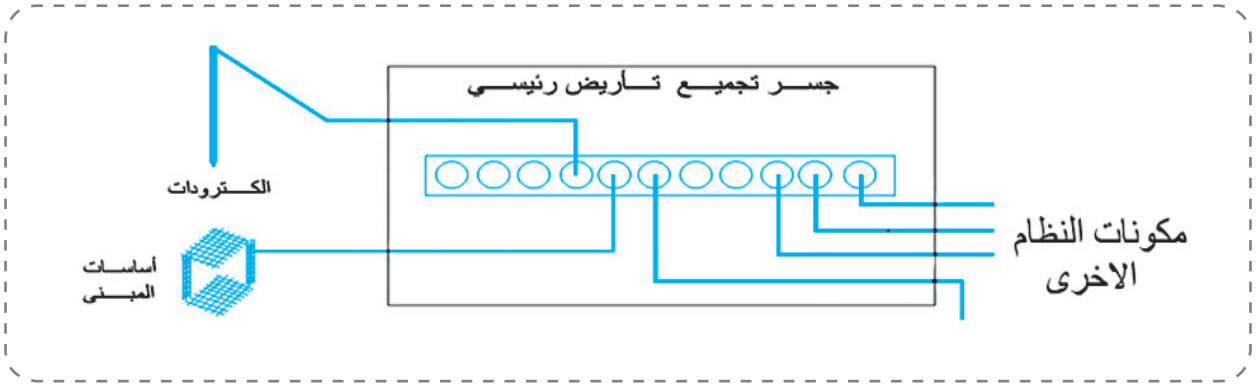


الشكل (4): لوح تأريض لنظام شمسي ومكوناته الداخلية

تجهيز نظام التأريض في الأنظمة الشمسية:

تُستخدَم علبة بلاستيكيّة للتأريض ذات درجة حماية عادية من المياه؛ كون دخول المياه إليها لا يسبّب مشكلة. ويتمّ إدخال كوابل التأريض بعد عمل فتحات، دون الحاجة إلى وصلات للكوابل، ثمّ يُثبَّت بسبار نحاسي مزوّد ببراغٍ؛ لتثبيت كوابل التأريض المزوّدة بنعل كابل. وتجدر الإشارة إلى أنّ الكابل الرئيس لنظام التأريض القادم من أساسات المبنى أو إلكترودات التأريض يجب أن يكون متصلاً بلوح التأريض بمِساحة مقطعه لا تقل عن (16ملم^2)، ويلزم وضع علامات مميّزة لكلّ كابل؛ للتعريف به.

إضافة إلى أنه تُربَط الكوابل القادمة من الإنفيرتر، وألواح التيار المتناوب والثابت إلى جسر التجميع، ويُربَط أيضاً كابل من الهيكل المعدني الحامل للألواح الشمسية، وأيّ جسم معدني يوصَل بالبسبار، وجميع هذه الكوابل مِساحة مقطعها (10ملم^2)، كما في الشكل (5) الآتي. وفي حال مدّ قنوات أسلاك معدنية، يجب مدّ كابل تأريض مكشوف في كامل القناة بالسُّمك نفسه:



الشكل (5): توصيل مكونات لوح تأريض النظام الشمسي بالبسبار الرئيس

ولتأريض الألواح الكهربائية؛ تُستخدَم براغٍ مع وصلات التأريض، مع عمل وصلة تأريض بين الألواح والهيكل المعدني، كما في الشكل (6) الآتي:

الشكل (6): وصلات التأريض ووصلها بالهيكل المعدني

فحص مقاومة الأرضي للنظام الشمسي:

تُقاس قيمة الأرضي باستخدام جهاز فحص التأريض (Loop Tester) الموضّح في الشكل (7) الآتي، من خلال وضعه على معايرة 200 أوم، ووضع الكابل الأحمر على مصدر الكهرباء الفاز، والكابل الأخضر على بسبار التأريض، ثمّ الضغط على كبسة (Test)، ويُراعى أن يكون مصدر الكهرباء (الفاز) مباشرة (دون وجود قاطع التسريب الأرضي)، وبعد ذلك تُقرَأ القيمة وتُقارَن بقيمة التأريض المطلوبة من الجهة المختصة. وتجدر الإشارة إلى أنّ قيمة المقاومة يجب أن تتراوح بين (2 - 5) أوم لأنظمة الطاقة الشمسية المنزلية، وأنّ كلّ شركة توزيع لها قوانين خاصّة بها لمقاومة نظام التأريض:

الشكل (7): جهاز فحص الإرث (Earth Loop Tester)

نشاط عملي: أجهّز لوح تأريض لمحطّة شمسية كاملة من خلال تأريض الألواح الشمسية وألواح التجميع من خلال ربطها بنظام تأريض رئيس، ثمّ أفحص مقاومة التأريض للنظام باستخدام جهاز (Earth Loop Tester).

أسئلة الدرس:

1. أوضّح المقصود بالتأريض في الأنظمة الكهربائية.
2. أكمل الفراغات فيما يأتي:
   - العوامل المؤثرة على مدى فاعلية نظام التأريض: _____، و_____.
   - مِساحة مقطع كابل التأريض الرئيس: _____.
3. ما الهدف من تطبيق فحص التأريض؟
4. أذكر اسم الجهاز المستخدم في فحص نظام التأريض، موضحاً طريقة الفحص.

لجنة المناهج الوزارية:

أ. د. مروان عورتاني　　د. بصري صالح　　أ. ثروت زيد