



بسم الله الرحمن الرحيم

جمهورية السودان

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشيخ عبد الله البدري

كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكية



**تصميم منظومة طاقة شمسية لإنارة منزل متوسط بمنطقة القدواب
مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة البكالوريوس في الهندسة
الميكانيكية**

إعداد الطلاب :

عبد الرحمن تاج الدين أحمد البدوي

عمر أحمد بلال أحمد

مأزن الحاج محمد عبد الله

إشراف :

د. فتح الرحمن الماحي

2025-2024

الآية الكريمة

"هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِّينَ وَالْحِسَابَ ۚ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ ۚ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ"

(سورة يونس، الآية 5)

الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى منارة دربي، وسبب وجودي، أُمي الحبيبة، التي طالما

ساندتني بدعواتها الصادقة وحبها اللامحدود.

وإلى قدوتي ومعلمي الأول، أبي العزيز، الذي غرس في حب العلم ومبادئ الإصرار

والتحدي.

إلى إخوتي وأخواتي، سندي الدائم ومصدر قوتي، الذين شاركوني الفرح وتفهموا

انشغالي.

وإلى أساتذتي الكرام، الذين أناروا دربي بالعلم والمعرفة، ولم يخلوا عليّ بالنصح

والإرشاد.

وإلى كل الأصدقاء الأوفياء، الذين كانوا خير رفيق في هذه الرحلة، فمعهم خفت

الصعاب وازدادت المتعة.

وأخيراً، إلى وطني الحبيب، أرجو أن يكون هذا الجهد المتواضع لبنة في بنائه وتقدمه.

شكر وعرفان

تتوق الحروف وتزهو الكلمات، لترسم لوحة وفاء وتقدير، لكل من مدّ يد العون، وأضاء دروب البحث، حتى أضحي هذا الجهد حقيقة ملموسة. فالفضل أولًا وأخيرًا لله تعالى، الذي أمدنا بالعزم والقوة، وأنار بصيرتنا لإتمام هذا العمل.

نتقدم بخالص الشكر وجزيل العرفان، وعميق التقدير والاحترام، إلى قادة علمية شامخة، ومعلمٍ قدير، الأستاذ الدكتور/ [فتح الرحمن الماحي]، الذي لم يبخل علينا بعلمه الغزير، وتوجيهاته السديدة، وصبره الجَم، ومتابعته الدؤوبة. فكان نعم المرشد والموجه، ويده التي اقتبسنا منها نور المعرفة، فجاء هذا العمل ثمرة من ثمار غرسكم الطيب.

كما نزجي شكرنا وامتناننا إلى أصحاب العقول النيرة، والخبرات المتفردة، أعضاء لجنة المناقشة الكرام، لتفضلهم بقبول مناقشة هذا البحث، وإثرائه بملاحظاتهم القيمة، التي بلا شك ستساهم في صقل المسيرة البحثية والعلمية. وإلى السند الحقيقي، والداعم الأكبر، عائلتي الكريمة.

لهم كل الحب والتقدير على تضحياتهم الجسام، ودعائهم الصادق الذي كان يحيطنا في كل خطوة، وعلى صبرهم اللامحدود على غيابنا وانشغالنا. فكانوا نعم العون والسند، وبتشجيعهم تذلت الصعاب.

ولكل من مدّ لنا يد المساعدة، وشاركنا المعلومة، وفتح لنا أبواب التجربة، من أساتذتنا الأفاضل، و الزملاء الكرام، ومشاركي الدراسة الذين تفضلوا بتقديم البيانات، لهم مَبني خالص الدعاء والشكر الجزيل.

سائلين المولى عز وجل أن يكون هذا الجهد خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يجعله في ميزان حسنات كل من ساهم فيه.

الملخص (Abstract) :

يهدف هذا البحث إلى تقديم تصميم شامل ومنهجي لمنظومة طاقة شمسية كهروضوئية، مع ذكر الجوانب الفنية والاقتصادية اللازمة لنجاح مثل هذه المشاريع. في ظل التحديات المتزايدة المرتبطة بمصادر الطاقة التقليدية، من نضوب الموارد إلى التأثيرات البيئية السلبية وتغير المناخ، أصبح التحول نحو الطاقة المتجددة ضرورة حتمية لضمان استدامة التنمية والأمن الطاقوي، خاصة في الدول ذات الإمكانات الشمسية الواعدة مثل السودان.

يتناول البحث في البداية مقدمة عامة عن أهمية الطاقة ومصادرها وأنواعها، مسلطاً الضوء على مميزات الطاقة المتجددة. ثم ينتقل إلى تفصيل أنواع الطاقة المتجددة مع تركيز خاص على الطاقة الشمسية، مستعرضاً طرق الاستفادة منها، مع شرح مبادئ عمل الخلايا الشمسية وأنواعها المختلفة. الجزء المحوري من البحث يركز على التحويل الكهربائي للطاقة الشمسية، حيث يفصل المكونات الأساسية للأنظمة الكهروضوئية، بالإضافة إلى تصنيف أنواع الأنظمة المختلفة.

يقدم البحث منهجية مفصلة لتصميم منظومة الطاقة الشمسية، بدءاً من دراسة الموقع وتقدير الأحمال الكهربائية بدقة، مروراً بحسابات اختيار وتحديد أحجام الألواح الشمسية، سعة البطاريات، قدرة العاكس، وتيار منظم الشحن. كما يتطرق إلى الجوانب الهندسية لتصميم التوصيلات الكهربائية، أخيراً، يقدم البحث دراسة شاملة للتكلفة والجدوى الاقتصادية، متضمنة تقدير التكاليف الأولية والتشغيلية، مع الأخذ في الاعتبار المحفزات الحكومية والفوائد البيئية والاجتماعية غير المباشرة.

يخلص البحث إلى أن تصميم منظومات الطاقة الشمسية يمثل استثماراً استراتيجياً يوفر حلاً مستداماً واقتصادياً للاحتياجات الطاقوية، ويساهم في تحقيق الاستقلالية الطاقوية وتقليل البصمة الكربونية.

يوصي البحث بضرورة دعم السياسات والتشريعات، تعزيز البنية التحتية، الاستثمار في البحث والتطوير، وبناء القدرات البشرية لتحقيق أقصى استفادة من هذه التقنية الواعدة.

الفهرس

الرقم	المحتويات	الصفحة
1	الآية	I
2	الإهداء	II
3	الشكر والعرفان	III
4	المستخلص	IV
5	الفهرس	V
الفصل الأول		
1-1	مقدمة عامة	1
2-1	مشكلة البحث	2
3-1	أهداف البحث	2
4-1	منهجية البحث	2
5-1	تعريف الطاقة	2
6-1	أهمية الطاقة	3
7-1	مصادر الطاقة	9
8-1	أنواع الطاقة	11
9-1	الطاقة الشمسية	12
الفصل الثاني		
1-2	أنواع الطاقة المتجددة	17
2-2	طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية	23
3-2	أهمية الطاقة المتجددة	30
الفصل الثالث : مقدمة عامة		
1-3	مكونات الأنظمة الكهروضوئية	33
2-3	أنواع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية	43
الفصل الرابع		
1-4	تصميم المنظومة	49
2-4	دراسة الموقع وتقدير الحمل	49
3-4	اختيار المكونات وتحديد الأحجام	51
4-4	تصميم التوصيلات والتركيب الميكانيكي	57
الفصل الخامس		

63	دراسة التكلفة والجدوى الاقتصادية	1-5
63	تقدير التكاليف الأولية	2-5
65	تكاليف التشغيل والصيانة	3-5
66	الجدوى الاقتصادية وتحليل العائد على الاستثمار	4-5
72	المحفزات الحكومية والسياسات الداعمة	5-5
74	الخاتمة	6-5
76	التوصيات	7-5
79	المراجع و المصادر	



الفصل الأول

الفصل الأول

1.1 مقدمة عامة:

تُعد الطاقة عصب الحياة الحديثة ومحرك التنمية الاقتصادية والاجتماعية في جميع أنحاء العالم. فمنذ فجر التاريخ، سعى الإنسان لتسخير مصادر الطاقة المختلفة لتلبية احتياجاته المتزايدة، بدءاً من النار البدائية وصولاً إلى التقنيات المتقدمة اليوم. تعتمد الحضارات المعاصرة بشكل كبير على توافر الطاقة لتشغيل الصناعات، إنارة المدن، تشغيل وسائل النقل، وتوفير الخدمات الأساسية كالرعاية الصحية والاتصالات. إن أي نقص أو اضطراب في إمدادات الطاقة يمكن أن يؤدي إلى تداعيات اقتصادية واجتماعية وخيمة.

في العقود الأخيرة، واجه العالم تحديات جمة تتعلق بمصادر الطاقة التقليدية. يشكل نضوب الوقود الأحفوري (الفحم، النفط، والغاز الطبيعي) مصدر قلق متزايد، حيث أن هذه المصادر محدودة وغير متجددة، وتقديرات الاحتياطيات تشير إلى أنها لن تدوم إلى الأبد. علاوة على ذلك، فإن الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري قد أسهم بشكل كبير في تفاقم مشكلة التغير المناخي والاحتباس الحراري، نتيجة للانبعاثات الغازية الدفيئة الضارة التي تطلقها عند احتراقها. هذه الانبعاثات تؤثر سلباً على البيئة وصحة الإنسان، وتؤدي إلى ظواهر مناخية متطرفة، ارتفاع منسوب مياه البحار، وتدهور النظم البيئية.

للتغلب على هذه التحديات الملحة، برزت الحاجة الماسة إلى التحول نحو مصادر طاقة مستدامة ونظيفة. هذا التحول ليس خياراً، بل ضرورة حتمية لضمان مستقبل آمن ومزدهر للأجيال القادمة. تتمثل مصادر الطاقة المستدامة في الطاقة المتجددة، التي لا تنضب وتتميز

بكونها صديقة للبيئة. يهدف هذا البحث إلى استكشاف إحدى أبرز هذه المصادر، وهي الطاقة الشمسية، وكيفية تصميم منظومة فعالة للاستفادة منها في توليد الكهرباء، مع دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية لذلك.

2-1 مشكلة البحث:

انتاج طاقة كهربائية باستخدام الطاقة الشمسية.

3-1 أهداف البحث:

- ❖ تصميم منظومة طاقة شمسية لإنارة منزل متوسط بمنطقة القدواب.
- ❖ تشجيع استخدام الطاقة الشمسية للمساهمة في حل مشكلة الإمداد الكهربائي.

4-1 منهجية البحث:

- الإطلاع على الدراسات السابقة و المراجع الأساسية.
- زيارة بعض المواقع التي تستخدم الطاقة الشمسية للوقوف على التجربة عملياً.

5-1 تعريف الطاقة:

الطاقة هي المقدرة على إنجاز شغل أو إحداث تغيير. لا يمكن رؤية الطاقة أو لمسها، ولكن يمكن ملاحظة تأثيراتها المختلفة في العالم من حولنا. تتواجد الطاقة في أشكال متعددة، مثل الطاقة الحركية (المرتبطة بالحركة)، والطاقة الكامنة (المخزنة)، والطاقة الحرارية (المرتبطة بالحرارة)، والطاقة الكهربائية (المرتبطة بالتيار الكهربائي)، والطاقة الضوئية (المرتبطة بالضوء)، والطاقة الكيميائية (المخزنة في الروابط الكيميائية)، والطاقة النووية (المخزنة في نواة الذرة).

6-1 أهمية الطاقة:

للطاقة أهمية قصوى في جميع جوانب الحياة البشرية والطبيعية، ويمكن تلخيص أهميتها

في النقاط التالية:

- للحياة اليومية: لا يمكن للحياة العصرية أن تستمر بدون الطاقة. تعتمد عليها الإضاءة، التدفئة والتبريد، تشغيل الأجهزة المنزلية والإلكترونيات، وشحن الهواتف الذكية.
- للصناعة والنقل: تُعد الطاقة المحرك الأساسي للصناعة، حيث تستخدم في تشغيل المصانع، الآلات، وإنتاج السلع. كما أنها ضرورية لوسائل النقل المختلفة كالسيارات، القطارات، السفن، والطائرات.
- للتنمية الاقتصادية: يُعتبر توفر الطاقة عاملاً أساسياً للتنمية الاقتصادية لأي دولة، حيث يساهم في خلق فرص العمل، وزيادة الإنتاجية، وتحسين مستوى المعيشة.
- للزراعة: تستخدم الطاقة في تشغيل مضخات المياه للري، وفي الآلات الزراعية، وفي صناعة الأسمدة والمبيدات الحشرية، مما يضمن الأمن الغذائي.
- للتكنولوجيا والبحث العلمي: تُعد الطاقة جزءاً لا يتجزأ من التقدم التكنولوجي والبحث العلمي، فهي تُستخدم في تشغيل المختبرات، الأجهزة الدقيقة، والحواسيب الفائقة، وتُمكن من تطوير تقنيات جديدة.

- للطبيعة والبيئة: على الرغم من أن بعض مصادر الطاقة تضر بالبيئة، إلا أن الطاقة الشمسية والرياح والطاقة الكهرومائية هي جزء لا يتجزأ من الأنظمة البيئية الطبيعية التي تدعم الحياة على الأرض.

- تعتبر الطاقة شريان الحياة للمجتمعات الحديثة، فهي عامل أساسي وحيوي في جميع جوانب التنمية الاقتصادية والاجتماعية.

لا يمكن لأي مجتمع أن ينمو ويزدهر بدون توفر مصادر طاقة موثوقة ومستدامة.

1-6-1 أهمية الطاقة لتنمية المجتمعات:

1. المحرك الرئيسي للنمو الاقتصادي:

- الصناعة والإنتاج: تعتمد المصانع والشركات على الطاقة لتشغيل الآلات والمعدات، وبالتالي زيادة الإنتاج وتحسين الجودة.

- الزراعة: تستخدم الطاقة في تشغيل مضخات المياه للري، وفي تشغيل الآلات الزراعية، مما يزيد من إنتاج الغذاء ويساهم في الأمن الغذائي.

- التجارة والنقل: تعتمد حركة التجارة ونقل السلع والأشخاص بشكل كامل على الطاقة (الوقود للسيارات والطائرات والسفن، والكهرباء لتشغيل القطارات).

- خلق فرص العمل: توفير الطاقة يسمح بإنشاء وتوسيع الصناعات والخدمات، مما يؤدي إلى خلق فرص عمل جديدة وتحسين مستويات المعيشة.

2. تحسين جودة الحياة والخدمات الاجتماعية:

- الصحة: المستشفيات والعيادات بحاجة للطاقة لتشغيل الأجهزة الطبية، وتوفير التدفئة والتبريد، وإنارة المرافق، وتبريد الأدوية.

- التعليم: المدارس والجامعات تستخدم الطاقة للإنارة، وتشغيل أجهزة الكمبيوتر، وتوفير بيئة تعليمية مناسبة، مما يساهم في بناء مجتمع متعلم ومبتكر.

- الإضاءة والتدفئة والتبريد: توفر الطاقة الإضاءة للمنازل والشوارع، وتساعد في التدفئة والتبريد، مما يحسن من راحة الأفراد وسلامتهم، ويطيل ساعات العمل والنشاط.

- الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات: تعتمد شبكات الاتصالات والإنترنت والأجهزة الإلكترونية على الطاقة، مما يربط المجتمعات ببعضها ويسمح بالوصول إلى المعلومات والمعرفة.

- توفير المياه النظيفة والصرف الصحي: تحتاج محطات معالجة المياه ومحطات الصرف الصحي إلى الطاقة لتشغيل المضخات وتوفير الخدمات الأساسية للمجتمع.

3. تحقيق التنمية المستدامة:

- تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري: الانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري الذي يتسبب في التلوث وتغير المناخ.

- حماية البيئة: استخدام الطاقة النظيفة يقلل من انبعاثات الغازات الدفيئة والملوثات، مما يحافظ على البيئة وصحة الإنسان.

- الأمن الطاقوي: تنويع مصادر الطاقة والاعتماد على المصادر المحلية يقلل من مخاطر تقلبات الأسعار العالمية ويضمن استقرار إمدادات الطاقة.
- الابتكار والتكنولوجيا: الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة يدفع عجلة الابتكار والتطوير التكنولوجي، مما يعود بالنفع على الاقتصاد والمجتمع ككل.
- المساواة والعدالة: توفير الطاقة بأسعار معقولة للجميع، خاصة في المناطق الريفية والمهمشة، يساهم في تحقيق العدالة الاجتماعية وتقليل الفقر.

4. تعزيز الاستقرار الاجتماعي:

- الحد من الفقر: توفر الطاقة فرصاً اقتصادية، مما يساهم في الحد من الفقر وتحسين مستوى المعيشة للأفراد.
 - توفير الخدمات الأساسية: توفر الطاقة الخدمات الأساسية التي تضمن الاستقرار الاجتماعي، مثل الأمن والرعاية الصحية والتعليم.
- باختصار، الطاقة هي العمود الفقري لأي مجتمع يسعى إلى التنمية والتقدم. توفير الطاقة الكافية والمستدامة والنظيفة هو مفتاح بناء مستقبل مزدهر ومستقر للأجيال الحالية والمستقبلية.

1-6-2 التأثير السلبي على البيئة نتيجة لاستخدام المصادر التقليدية:

- الاستخدام المكثف للمصادر التقليدية للطاقة، مثل الوقود الأحفوري (الفحم، النفط، الغاز الطبيعي)، له تأثيرات سلبية كبيرة على البيئة، يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

1. تلوث الهواء:

- انبعاثات الغازات الدفيئة: يؤدي حرق الوقود الأحفوري إلى إطلاق كميات هائلة من غازات الدفيئة، أبرزها ثاني أكسيد الكربون ((CO₂)، الميثان ((CH₄)، وأكسيد النيتروز (N₂O). هذه الغازات تحبس الحرارة في الغلاف الجوي وتسبب ظاهرة الاحتباس الحراري، مما يؤدي إلى تغير المناخ.

- ملوثات الهواء الأخرى: تتبع أيضاً ملوثات أخرى ضارة مثل أكاسيد الكبريت ((SO_x)، أكاسيد النيتروجين ((NO_x)، الجسيمات الدقيقة، وأول أكسيد الكربون. هذه الملوثات تسبب مشاكل صحية خطيرة (مثل أمراض الجهاز التنفسي والقلب)، وتساهم في تكوين الضباب الدخاني والأمطار الحمضية التي تضر بالنظم البيئية والمباني.

- تلوث الأوزون: بعض هذه الملوثات تساهم في تكوين الأوزون على مستوى الأرض، والذي يعتبر ملوثاً ضاراً بالصحة والنباتات.

2. تلوث المياه:

- التصريف الصناعي: غالباً ما تنتج محطات توليد الطاقة والمصانع التي تعتمد على الوقود التقليدي مياه صرف صناعي تحتوي على مواد كيميائية ومعادن ثقيلة، إذا لم يتم معالجتها بشكل صحيح، فإنها تلوث الأنهار والبحيرات والمحيطات، مما يضر بالكائنات الحية المائية ويؤثر على جودة مياه الشرب.

- التلوث الحراري: تستخدم محطات الطاقة كميات كبيرة من المياه للتبريد. يتم إعادة هذه المياه إلى المسطحات المائية بدرجات حرارة أعلى، مما يؤثر على النظم البيئية المائية ويقلل من مستويات الأكسجين المذاب.

- تسرب النفط: عمليات استخراج ونقل النفط الخام تزيد من مخاطر تسرب النفط، مما يسبب كوارث بيئية مدمرة تؤثر على الحياة البحرية والشواطئ.

3. تلوث التربة وتدهور الأراضي:

- التعدين: استخراج الفحم والمعادن المرتبطة بالوقود الأحفوري يتطلب عمليات تعدين واسعة النطاق تؤدي إلى تدمير المناظر الطبيعية، وتدهور التربة، وتغيير التضاريس.

- النفايات الصلبة: تنتج محطات توليد الطاقة والمصانع كميات كبيرة من الرماد والمخلفات الصلبة التي تحتاج إلى مخلص آمن، وقد تحتوي على مواد سامة تتسرب إلى التربة والمياه الجوفية.

- الأمطار الحمضية: تؤدي الأمطار الحمضية الناتجة عن انبعاثات أكاسيد الكبريت والنيتروجين إلى تغيير حموضة التربة، مما يؤثر سلباً على نمو النباتات ويضر بالغابات والمحاصيل الزراعية.

4. استنزاف الموارد الطبيعية:

- الموارد غير المتجددة: الوقود الأحفوري هو مورد غير متجدد، أي أن تـكونه يستغرق ملايين السنين، وبالتالي فإن استخدامه الحالي بمعدلات مرتفعة يؤدي إلى استنزافه بسرعة.

- فقدان التنوع البيولوجي: يؤدي تدهور البيئة وتلوثها إلى فقدان الموائل الطبيعية للكائنات الحية، مما يهدد العديد من الأنواع بالانقراض ويقلل من التنوع البيولوجي.
5. التغير المناخي:

- يعتبر تغير المناخ، الناتج بشكل رئيسي عن انبعاثات غازات الدفيئة من حرق الوقود الأحفوري، الخطر الأكبر على البيئة والإنسان. يؤدي إلى:
- ارتفاع درجات الحرارة العالمية.
- ذوبان الأنهار الجليدية وارتفاع منسوب سطح البحر، مما يهدد المدن الساحلية.
- زيادة تواتر وشدة الظواهر الجوية المتطرفة (مثل الجفاف، الفيضانات، العواصف).
- تغير أنماط هطول الأمطار، مما يؤثر على الزراعة والأمن الغذائي.
- تحمض المحيطات، مما يضر بالكائنات البحرية والشعاب المرجانية.

7-1 مصادر الطاقة:

يمكن تصنيف مصادر الطاقة المتاحة للبشرية إلى فئتين رئيسيتين:

❖ مصادر الطاقة التقليدية (غير المتجددة).

❖ مصادر الطاقة المتجددة.

1-7-1 مصادر الطاقة التقليدية (غير المتجددة):

هي المصادر التي تتكون من مواد طبيعية استغرق تشكلها ملايين السنين، وبالتالي فهي محدودة الكمية وقابلة للنضوب مع الاستهلاك المستمر.

تشمل هذه المصادر بشكل أساسي الوقود الأحفوري:

- الفحم: من أقدم مصادر الطاقة المستخدمة، ويعد وقوداً كثيفاً للطاقة. يستخدم بشكل رئيسي في محطات توليد الكهرباء والصناعات الثقيلة. ومع ذلك، فإن احتراقه يطلق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون وملوثات أخرى.
- النفط (البترول): سائل أسود لزج يُعد المصدر الرئيسي للوقود المستخدم في النقل (البنزين، الديزل، وقود الطائرات) وفي إنتاج البتروكيماويات. يعتبر احتراقه أيضاً مصدراً رئيسياً للانبعاثات.
- الغاز الطبيعي: يُعد الأنظف نسبياً بين أنواع الوقود الأحفوري من حيث الانبعاثات، ويستخدم في توليد الكهرباء والتدفئة المنزلية والصناعية. على الرغم من ذلك، لا يزال غازاً أحفورياً قابلاً للنضوب.
- الطاقة النووية: تعتمد على انشطار ذرات اليورانيوم لتوليد الحرارة، التي تستخدم لإنتاج البخار وتشغيل التوربينات لتوليد الكهرباء. لا تنتج انبعاثات غازات دفيئة أثناء التشغيل، لكنها تنتج نفايات مشعة خطيرة تتطلب تخزيناً آمناً طويل الأمد، وتحمل مخاطر حوادث التسرب الإشعاعي.

2-7-1 مصادر الطاقة المتجددة:

هي المصادر التي تتجدد بشكل طبيعي وبمعدل أسرع من معدل استهلاكها، مما يجعلها لا تنضب وتعد بدائل مستدامة للوقود الأحفوري. تتميز بكونها نظيفة وصديقة للبيئة، حيث أن انبعاثاتها من غازات الدفيئة والملوثات الأخرى ضئيلة أو معدومة. تشمل هذه المصادر:

- الطاقة الشمسية: تستمد من أشعة الشمس، ويمكن تحويلها إلى كهرباء باستخدام الخلايا الكهروضوئية أو إلى حرارة مباشرة.

- طاقة الرياح: تستخدم قوة الرياح لتشغيل التوربينات الهوائية لتوليد الكهرباء.

- الطاقة المائية (الكهرومائية): تستغل قوة تدفق المياه أو سقوطها لتشغيل التوربينات المائية.

- الطاقة الحرارية الجوفية: تستفيد من الحرارة الكامنة في باطن الأرض لتوليد الكهرباء أو التدفئة.

- طاقة الكتلة الحيوية: تستمد من المواد العضوية النباتية والحيوانية، والتي يمكن حرقها مباشرة أو تحويلها إلى وقود حيوي.

8-1 أنواع الطاقة:

تتجلى الطاقة في أشكال وصور متعددة يمكن تحويلها من شكل إلى آخر وفقاً لقانون حفظ الطاقة. فهم هذه الأنواع ضروري لتصميم أنظمة تحويل الطاقة والاستفادة منها:

- الطاقة الحرارية: هي الطاقة الناتجة عن حركة الجزيئات العشوائية في المادة. تظهر في شكل حرارة ويمكن استخدامها في التدفئة أو توليد البخار لتشغيل التوربينات.

- الطاقة الكهربائية: هي الطاقة الناتجة عن حركة الإلكترونات عبر موصل. تعد الشكل الأكثر استخداماً للطاقة في التطبيقات المنزلية والصناعية، ويمكن نقلها لمسافات طويلة بسهولة.
- الطاقة الميكانيكية: هي الطاقة المرتبطة بحركة الأجسام أو موقعها. تنقسم إلى طاقة حركية (بسبب الحركة) وطاقة كامنة (بسبب الموضع أو الشكل). تُستخدم في تشغيل الآلات والمحركات.
- الطاقة الكيميائية: هي الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمواد. تتحرر هذه الطاقة عند حدوث تفاعلات كيميائية، كما هو الحال في الوقود الأحفوري والبطاريات.
- الطاقة النووية: هي الطاقة المخزنة في نواة الذرات. تتحرر عند حدوث تفاعلات نووية مثل الانشطار النووي أو الاندماج النووي.
- الطاقة الإشعاعية (الكهرومغناطيسية): هي الطاقة التي تنتقل في شكل موجات كهرومغناطيسية، مثل الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية. الطاقة الشمسية هي شكل من أشكال الطاقة الإشعاعية.

9-1 الطاقة الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة، والتي تلعب دوراً حيوياً في تحقيق التنمية المستدامة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

1-9-1 تعريف الطاقة الشمسية:

الطاقة الشمسية هي الطاقة التي تنبعث من الشمس على شكل إشعاع شمسي (ضوء وحرارة). تُعد الشمس المصدر الأساسي للطاقة على كوكب الأرض، وقد استغلها الإنسان منذ القدم بوسائل مختلفة تطورت مع التقدم التكنولوجي.

2-9-1 الأهمية الاستراتيجية للطاقة الشمسية:

تتعدد الأبعاد التي تُبرز الأهمية الاستراتيجية للطاقة الشمسية في سياق التنمية المستدامة والأمن الطاقوي:

1- الاستدامة البيئية: تُعد الطاقة الشمسية مصدراً متجدداً بامتياز، حيث لا تنتج أي انبعاثات لغازات الاحتباس الحراري أو ملوثات الهواء أثناء التشغيل، مما يُسهم بشكل مباشر في التخفيف من آثار التغير المناخي وتحسين جودة الهواء.

2- الاستقلالية الطاقوية: تُمكن الطاقة الشمسية الدول والمجتمعات من تقليل اعتمادها على الوقود الأحفوري المستورد، وبالتالي تعزيز أمنها الطاقوي وحمايتها من تقلبات الأسواق العالمية.

3- التنوع الاقتصادي: يُسهم قطاع الطاقة الشمسية في خلق فرص عمل جديدة في مجالات البحث والتطوير، التصنيع، التركيب، والصيانة، مما يدعم النمو الاقتصادي ويعزز الابتكار.

4- خفض التكاليف التشغيلية على المدى الطويل: على الرغم من الاستثمار الأولي، تُقدم أنظمة الطاقة الشمسية تكاليف تشغيل وصيانة منخفضة، مما يسهم في خفض تكاليف الطاقة للمستهلكين على المدى الطويل.

5- الوصول إلى الطاقة: تُتيح الطاقة الشمسية حلولاً فعالة لتوفير الكهرباء للمجتمعات النائية وغير المتصلة بالشبكة، مما يعزز التنمية الاجتماعية والاقتصادية في تلك المناطق.

1-9-3 التقنيات الرئيسية لاستغلال الطاقة الشمسية:

تُستخدم عدة تقنيات متقدمة لتحويل الإشعاع الشمسي إلى أشكال طاقة قابلة للاستخدام:

1- الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaics – PV):

- مبدأ عملها : تُحوّل الخلايا الكهروضوئية، المصنوعة عادةً من مواد شبه موصلة (مثل السيليكون)، الفوتونات الضوئية مباشرة إلى تيار كهربائي مباشر (DC) عبر التأثير الكهروضوئي.

- التطبيقات: تتراوح تطبيقاتها من الأنظمة الصغيرة (مثل الآلات الحاسبة والإضاءة الخارجية) إلى محطات الطاقة الشمسية الكبيرة المتصلة بالشبكة والتي تُغذي المدن بالكهرباء.

2- أنظمة تركيز الطاقة الشمسية (Concentrated Solar Power – CSP):

■ مبدأ عملها : تُستخدم المرايا أو العدسات لتركيز كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي على منطقة صغيرة، مما يُولد حرارة عالية جداً تُستخدم لتسخين سائل عامل (مثل الزيت الحراري أو الملح المصهور).

يُستخدم هذا السائل لتوليد البخار الذي يُشغل توربينات لإنتاج الكهرباء.

■ الأنواع الشائعة: تشمل أنظمة القطع المكافئ المقعرة ((Parabolic Trough، أبراج الطاقة الشمسية ((Solar Towers، وأطباق ستيرلنج ((Dish Stirling).

■ أنظمة التدفئة والتبريد الشمسية ((Solar Heating and Cooling – SHC):

■ مبدأ العمل: تُستخدم المجمعات الشمسية الحرارية لامتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة حرارية تُستخدم بشكل مباشر لتسخين المياه للاستخدام المنزلي والصناعي، أو لتدفئة المباني، أو حتى لتشغيل أنظمة تبريد الامتصاص.

4-9-1 المحددات والتحديات التي تواجه الطاقة الشمسية:

على الرغم من المزايا العديدة، تواجه الطاقة الشمسية مجموعة من المحددات والتحديات التي تتطلب حلولاً مبتكرة:

1- التكلفة الأولية: تُعد التكلفة الأولية لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية، بما في ذلك الألواح والبطاريات والعاكسات، مرتفعة نسبياً، مما يُشكل حاجزاً أمام تبنيها على نطاق واسع في بعض الأسواق.

2- التقلبات وتحدي التخزين: يرتبط إنتاج الطاقة الشمسية بشكل مباشر بوجود الإشعاع الشمسي، مما يعني تقلبات في الإنتاج (في الليل، خلال الأيام الغائمة). يتطلب ذلك حلول

تخزين للطاقة (مثل البطاريات) التي لا تزال باهظة الثمن وذات قدرة تخزينية محدودة وعمر افتراضي معين.

3- كثافة استخدام الأراضي: تحتاج محطات الطاقة الشمسية الكبيرة إلى مساحات واسعة من الأراضي، مما قد يُثير قضايا تتعلق باستخدام الأراضي وتأثيرها على النظم البيئية المحلية أو الزراعة.

4- التحديات البيئية لدورة حياة المنتج: على الرغم من نظافة التشغيل، فإن عمليات تصنيع الألواح الشمسية تتطلب استهلاكاً للطاقة ومواد كيميائية. كما يُمثل التخلص الآمن من الألواح الشمسية بعد انتهاء عمرها الافتراضي (عادة 25-30 عاماً) تحدياً بيئياً يتطلب تطوير تقنيات إعادة تدوير فعالة.

4- التكامل مع الشبكة: يُشكل دمج كميات كبيرة من الطاقة الشمسية المتقطعة في شبكات الكهرباء القائمة تحدياً هندسياً يتطلب تحديثات في البنية التحتية للشبكة وأنظمة إدارة ذكية لضمان الاستقرار والموثوقية.

5-9-1 آفاق المستقبل:

يُتوقع أن تساهم التطورات المستمرة في كفاءة الألواح الشمسية، انخفاض تكاليف البطاريات، وتحسين تقنيات إدارة الشبكة في التغلب على هذه التحديات. تُشير التوقعات إلى أن الطاقة الشمسية ستُصبح المورد الرئيسي للكهرباء عالمياً في العقود القادمة، مما يُعزز الانتقال نحو مستقبل طاقوي مستدام وأكثر استقلالية.

الفصل الثاني

الفصل الثاني

1-2 أنواع الطاقة المتجددة:

تُعد الطاقة المتجددة حجر الزاوية في استراتيجيات الاستدامة العالمية، وذلك لقدرتها على التجدد الطبيعي ومساهمتها في تقليل الانبعاثات الكربونية.

فيما يلي استعراض لأبرز أنواع الطاقة المتجددة:

1-1-2 الطاقة الشمسية:

تُعرف الطاقة الشمسية بأنها الطاقة المستمدة مباشرة من أشعة الشمس، وهي المصدر الأساسي لجميع أشكال الطاقة على كوكب الأرض. تاريخياً، استغل الإنسان الطاقة الشمسية بشكل مباشر للتدفئة وتجفيف المحاصيل منذ آلاف السنين. أما في العصر الحديث، فقد تطورت تقنيات تحويل الطاقة الشمسية بشكل كبير، مما أتاح استخدامها في توليد الكهرباء وإنتاج الماء الساخن.



• مميزاتهما:

1. النظافة والاستدامة: لا تنتج أي انبعاثات ضارة أثناء التشغيل، مما يجعلها صديقة للبيئة.
2. الوفرة: الشمس مصدر طاقة لا ينضب ومتاح في معظم أنحاء العالم، خاصة في المناطق المشمسة مثل السودان.
3. اللامركزية: يمكن تركيب أنظمة الطاقة الشمسية على نطاق واسع أو صغير، مما يسمح بتوليد الكهرباء في المواقع البعيدة عن الشبكة المركزية.

4. انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة: بمجرد التركيب، تكون تكاليف التشغيل قليلة جداً والصيانة بسيطة.

5. تقليل فواتير الكهرباء: تساهم في خفض أو إلغاء فواتير الكهرباء للمستخدمين.

• عيوبها:

1. التقطع والتذبذب: تتأثر بتغيرات الطقس (غيوم، ليل) ومواسم السنة، مما يتطلب أنظمة تخزين (بطاريات) أو الاتصال بالشبكة لضمان استمرارية الإمداد.

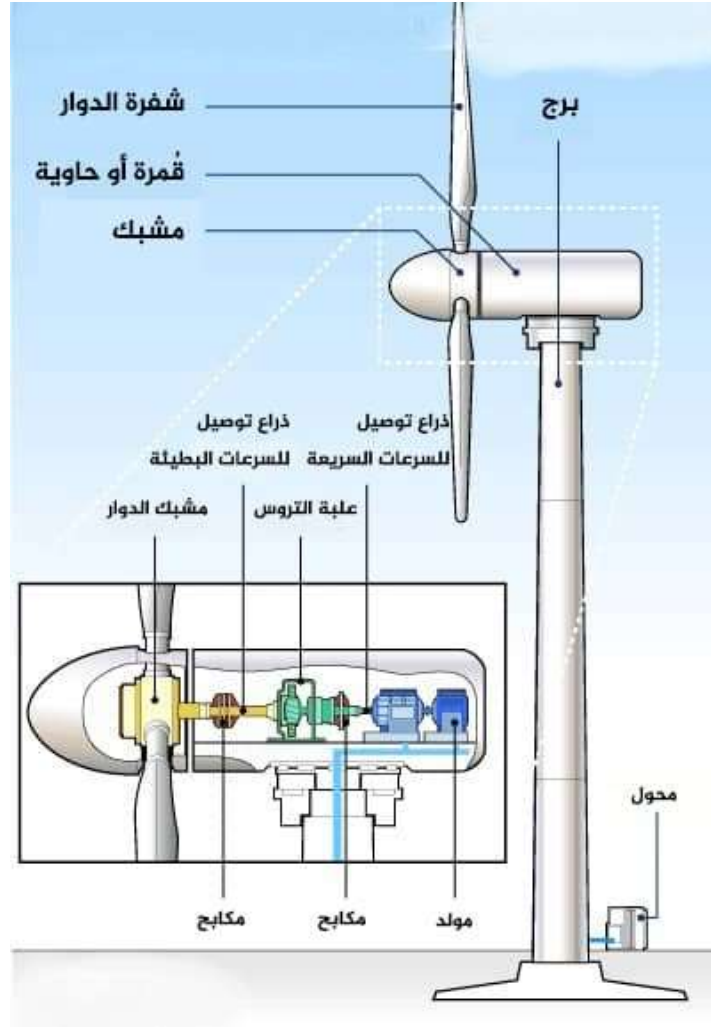
2. التكلفة الأولية: لا تزال تكلفة التركيب الأولية مرتفعة نسبياً مقارنة ببعض المصادر الأخرى، وإن كانت في انخفاض مستمر.

3. المساحة المطلوبة: تحتاج إلى مساحات كبيرة نسبياً لتركيب الألواح الشمسية، خاصة للمشاريع الكبيرة.

4. كفاءة التحويل: كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء لا تزال محدودة مقارنة ببعض المصنفات الأخرى.

2-1-2 طاقة الرياح:

تُعد طاقة الرياح من أقدم أشكال الطاقة التي استخدمها الإنسان، بدءاً من السفن الشراعية وطواحين الهواء. في العصر الحديث، تُستخدم التوربينات الهوائية العملاقة لتحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية. تُثبت هذه التوربينات في مزارع الرياح، سواء على اليابسة أو في عرض البحر (مزارع الرياح البحرية). تُعد مناطق السواحل والمناطق المفتوحة ذات سرعات الرياح العالية هي الأنسب لاستغلال هذه الطاقة.



3-1-2 الطاقة المائية:

تُعرف الطاقة المائية أو الكهرومائية بأنها الطاقة المستمدة من حركة المياه. تُستخدم هذه الطاقة بشكل أساسي في:

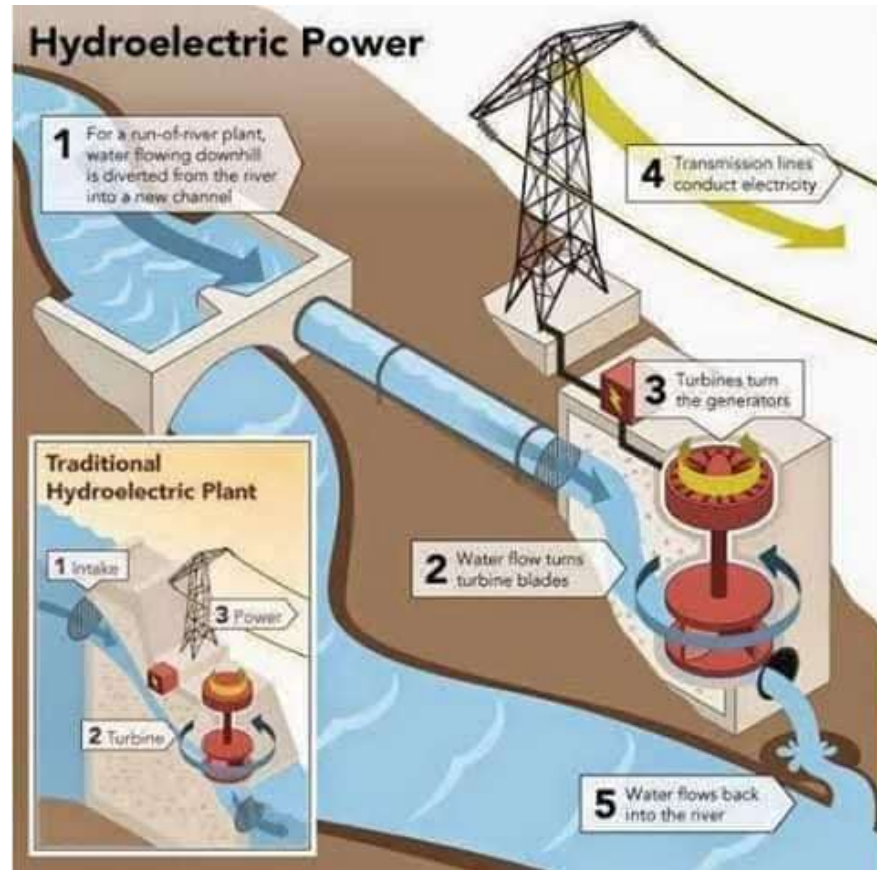
1. الطاقة الكهرومائية التقليدية: حيث يتم بناء سدود على الأنهار لتخزين المياه، ثم إطلاقها لتشغيل توربينات متصلة بمولدات كهرباء.

2. طاقة المد والجزر: تستغل الفرق في منسوب المياه بين المد والجزر لتوليد الكهرباء.

3. طاقة الأمواج: تستفيد من حركة الأمواج في المحيطات لتشغيل أنظمة توليد الطاقة.

تُعد الطاقة الكهرومائية مصدراً موثوقاً ومستقراً للطاقة، ولكنها تتطلب استثمارات كبيرة

وتؤثر على البيئة النهرية.



4-1-2 الطاقة الحرارية الجوفية:

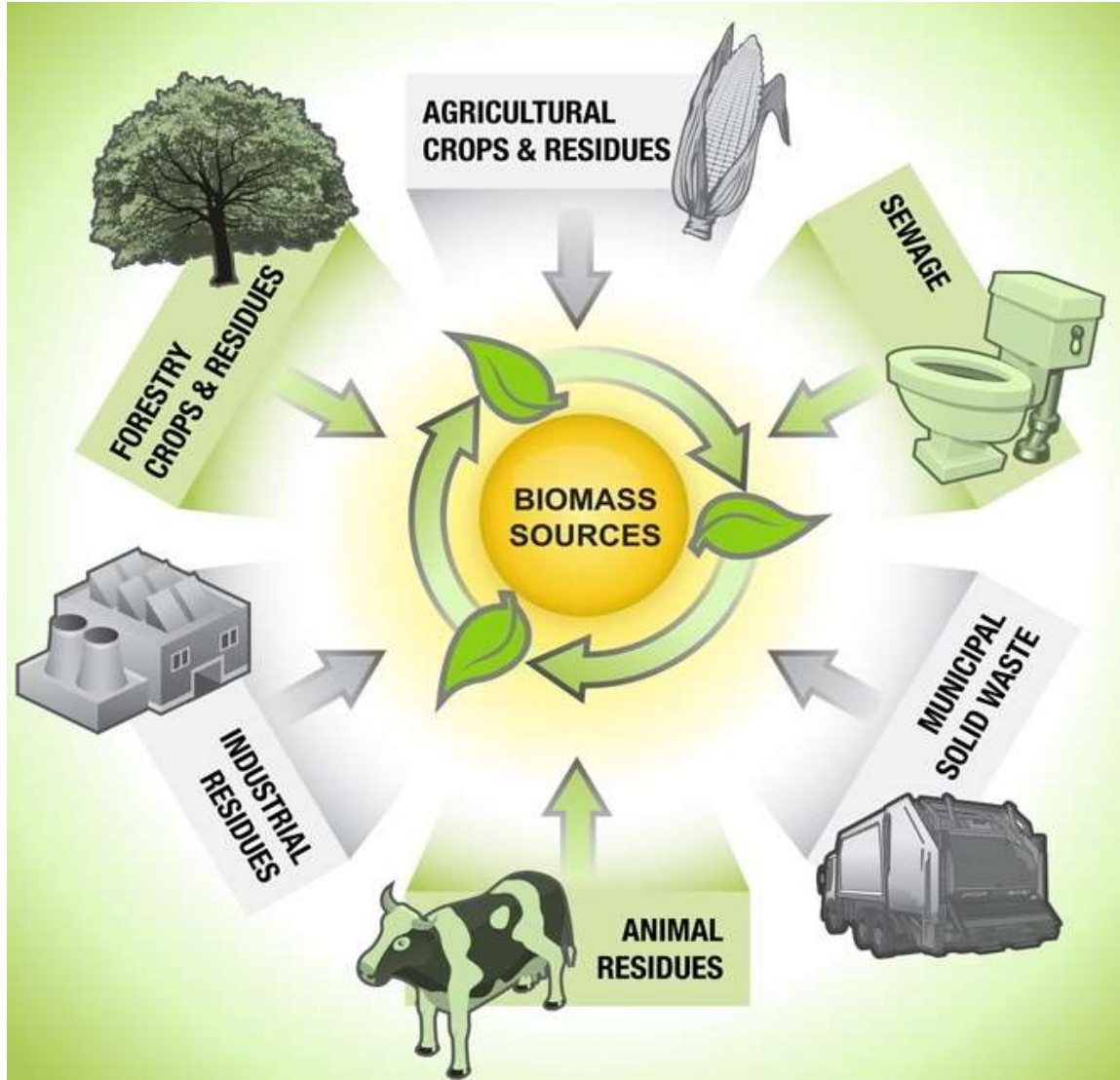
تستفيد هذه الطاقة من الحرارة الكامنة في باطن الأرض، الناتجة عن التحلل الإشعاعي للعناصر في قشرة الأرض واللب. يتم ضخ الماء إلى أعماق الأرض حيث يسخن، ثم يُعاد إلى السطح على شكل بخار أو ماء ساخن، ويستخدم لتشغيل توربينات لتوليد الكهرباء أو لأغراض التدفئة المباشرة. تُعد آيسلندا ونيوزيلندا من أبرز الدول المستفيدة من هذه الطاقة.



5-1-2 طاقة الكتلة الحيوية:

تُشير طاقة الكتلة الحيوية إلى الطاقة المستمدة من المواد العضوية النباتية والحيوانية، مثل المخلفات الزراعية، النفايات العضوية، والنباتات المخصصة للطاقة. يمكن استخدام هذه المواد بعدة طرق:

1. الاحتراق المباشر: لحرارة أو لتوليد الكهرباء.
 2. التخمر اللاهوائي: لإنتاج غاز الميثان (البيوغاز).
 3. التحويل إلى وقود حيوي سائل: مثل الإيثانول الحيوي والديزل الحيوي.
- على الرغم من أنها متجددة، إلا أن استخدامها المستدام يتطلب إدارة جيدة للموارد لتجنب إزالة الغابات أو المنافسة مع إنتاج الغذاء.



2-2 طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية:

تُصنف طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية بشكل عام إلى طريقتين رئيسيتين: التحويل

الحراري والتحويل الكهروضوئي.

1-2-2 التحويل الحراري للطاقة الشمسية:

تعتمد هذه التقنيات على تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة حرارية للاستخدامات

المختلفة.

• 1-1-2-2 التسخين الشمسي للمياه (سخانات المياه الشمسية):

تُعد هذه الأنظمة من أكثر تطبيقات الطاقة الشمسية شيوعاً وانتشاراً. تتكون عادةً من مجمعات شمسية (ألواح سوداء تمتص الحرارة) تُثبت على الأسطح، تقوم بتسخين الماء المار عبرها. يُستخدم هذا الماء الساخن في الأغراض المنزلية (الاستحمام، غسيل الأطباق) أو الصناعية. تتميز بكونها فعالة من حيث التكلفة وتوفر بديلاً اقتصادياً ومستداماً للسخانات التقليدية التي تعمل بالكهرباء أو الغاز.

• 2-1-2-2 محطات الطاقة الشمسية الحرارية (Concentrated Solar Power – CSP):

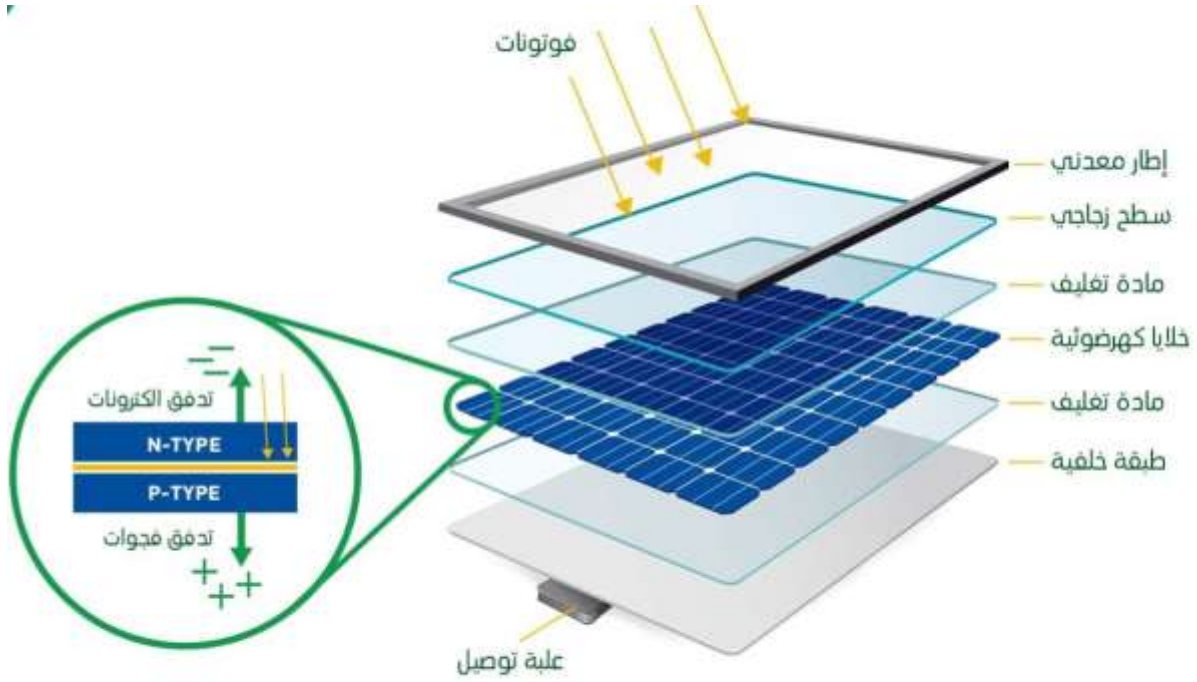
تُستخدم هذه المحطات لتوليد الكهرباء على نطاق واسع. تعتمد على تركيز أشعة الشمس باستخدام مرايا عاكسة كبيرة (مثل المرايا المكافئة، أبراج الطاقة الشمسية، أو صحن الاستقبال) لتركيز الإشعاع الشمسي على مستقبل يحتوي على سائل ناقل للحرارة (مثل الزيت أو الملح المنصهر). يسخن هذا السائل لدرجات حرارة عالية جداً، ثم يُستخدم لإنتاج بخار الماء الذي يدير توربينات متصلة بمولدات كهربائية، بنفس مبدأ عمل محطات الطاقة الحرارية التقليدية. تتميز هذه المحطات بقدرتها على تخزين الحرارة، مما يسمح بتوليد الكهرباء حتى بعد غروب الشمس.

2-2-1-3 تطبيقات التدفئة والتبريد السلبية والإيجابية للمباني:

- التدفئة السلبية: تعتمد على تصميم المباني بحيث تستفيد من أشعة الشمس المباشرة للتدفئة في الشتاء دون الحاجة لأنظمة ميكانيكية معقدة. يتضمن ذلك توجيه المبنى، استخدام النوافذ الكبيرة في الواجهة الجنوبية (في نصف الكرة الشمالي)، استخدام مواد بناء ذات كتلة حرارية عالية، والعزل الجيد.
- التبريد السلبي: يهدف إلى تقليل الحاجة للتبريد الميكانيكي في الصيف من خلال تقنيات مثل التظليل (ننوءات، ستائر، نباتات)، التهوية الطبيعية، استخدام الألوان الفاتحة للمباني، والأسقف الخضراء.
- التدفئة والتبريد الإيجابية: تتضمن استخدام أنظمة ميكانيكية تعمل بالطاقة الشمسية، مثل أنظمة التدفئة الشمسية النشطة التي تضخ الماء الساخن في أنابيب التدفئة، أو أنظمة التبريد الامتصاصي التي تستخدم الحرارة الشمسية لتشغيل دورة تبريد.

2-2-2 التحويل الكهروضوئي للطاقة الشمسية (Photovoltaic – PV):

تعد هذه التقنية هي الأكثر شهرة والأسرع نمواً في مجال الطاقة الشمسية، حيث تقوم بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء باستخدام الخلايا الشمسية.



2-2-2-1 مبادئ عمل الخلايا الشمسية:

تتكون الخلية الشمسية (الكهروضوئية) عادةً من طبقتين من مادة شبه موصلة (غالباً السيليكون)؛ إحداهما مُطعمة بمادة مانحة للإلكترونات (نوع N) والأخرى مُطعمة بمادة مستقبلة للإلكترونات (نوع P). عند سقوط فوتونات الضوء الشمسي على الخلية، فإنها تمنح طاقة للإلكترونات في المادة شبه الموصلة، مما يدفعها للتحرر من ذراتها. بفضل المجال الكهربائي المتكون عند الوصلة بين طبقتي P و N، تتدفق هذه الإلكترونات الحرة في اتجاه واحد، مما يولد تياراً كهربائياً مباشراً (DC).

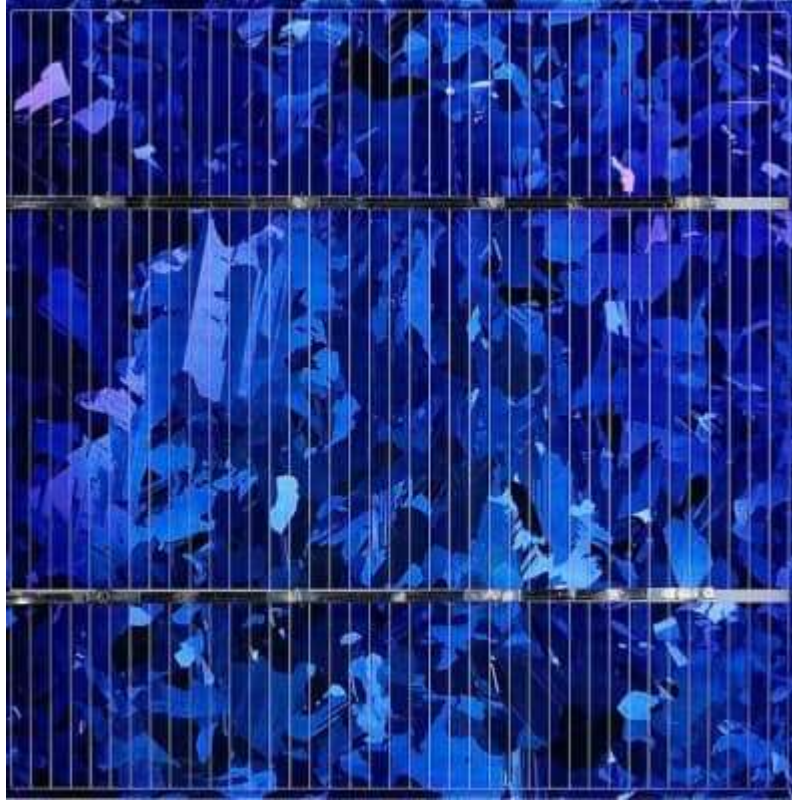
2-2-2-2 أنواع الخلايا الشمسية (أحادية البلورة، متعددة البلورات، رقيقة الفيلم):

- الخلايا أحادية البلورة (Monocrystalline PV): تُصنع من بلورة سيليكون واحدة نقية، وتتميز بكفاءة تحويل عالية (تصل إلى 20-22% أو أكثر في الخلايا التجارية) ومظهر موحد داكن. تُع



الأعلى ثمناً وتتطلب عمليات تصنيع معقدة.

- الخلايا متعددة البلورات (Polycrystalline PV): تُصنع من عدة بلورات سيليكون، وتتميز بلونها الأزرق ومظهرها المتفاوت. كفاءتها أقل قليلاً من الأحادية (15-18%)، ولكنها أقل تكلفة في التصنيع وتعد خياراً اقتصادياً شائعاً.



- خلايا رقيقة الفيلم (Thin-Film PV): تُصنع بترسيب طبقات رقيقة جداً من مادة شبه موصلة (مثل سيليكون غير متبلور، تيلورايد الكادميوم، أو سيلينيد إنديوم نحاس غاليوم - CIGS) على ركيزة. تتميز بمرونتها، خفة وزنها، وأدائها الجيد في ظروف الإضاءة المنخفضة، لكن كفاءتها أقل (عادة 10-14%) وتتطلب مساحة أكبر لنفس القدرة.



3-2-2-2 كفاءة الخلايا الشمسية والعوامل المؤثرة عليها:

تُعرف كفاءة الخلية الشمسية بأنها نسبة الطاقة الكهربائية المنتجة إلى الطاقة الشمسية الساقطة عليها.

تتأثر الكفاءة بعدة عوامل:

- درجة الحرارة: ارتفاع درجة حرارة الخلية الشمسية يؤدي إلى انخفاض في كفاءتها.
- الإشعاع الشمسي: شدة الإشعاع الشمسي الساقط تؤثر مباشرة على كمية الطاقة المنتجة.
- طيف الضوء: تختلف كفاءة الخلية باختلاف طول موجة الضوء.
- الظلال والأوساخ: أي ظل جزئي أو تراكم للأوساخ على سطح الألواح يقلل من كفاءة

الإنتاج الكلي للمنظومة.

- عمر اللوح: تنخفض كفاءة الألواح تدريجياً مع مرور الوقت (معدل انخفاض سنوي يتراوح بين 0.5% و 1%).

2-3 أهمية الطاقة المتجددة:

تتمتع الطاقة المتجددة بأهمية قصوى لمستقبل البشرية والكوكب، وذلك للعديد من الأسباب الرئيسية التي تشمل الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية:

1. حماية البيئة ومكافحة التغير المناخي:

- تقليل الانبعاثات الضارة: على عكس الوقود الأحفوري (النفط، الغاز، الفحم) الذي يُطلق كميات هائلة من غازات الدفيئة (مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان) عند احتراقه، فإن مصادر الطاقة المتجددة (مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية) لا تُصدر أي انبعاثات ضارة بالبيئة أثناء توليد الكهرباء. هذا يساهم بشكل مباشر في مكافحة ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ.
- تحسين جودة الهواء والماء: تقلل الطاقة المتجددة بشكل كبير من تلوث الهواء الناجم عن حرق الوقود الأحفوري، مما يحسن الصحة العامة ويقلل من الأمراض المرتبطة بالتلوث. كما أنها لا تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه للتبريد على عكس محطات الطاقة التقليدية، مما يحافظ على مصادر المياه.
- الحفاظ على الموارد الطبيعية: تحد الطاقة المتجددة من استنزاف الموارد الطبيعية غير المتجددة مثل النفط والفحم، مما يضمن استدامتها للأجيال القادمة.

2. الاستدامة وتوفر المصادر:

○ مصادر لا تنضب: تعتمد الطاقة المتجددة على مصادر طبيعية تتجدد باستمرار مثل الشمس والرياح والمياه والكتلة الحيوية. هذه المصادر متوفرة في معظم دول العالم ولن تنفذ على عكس الوقود الأحفوري الذي يتناقص مع الزمن.

○ الاستقلال الطاقوي: تقلل الطاقة المتجددة من الاعتماد على واردات الوقود الأحفوري، مما يعزز أمن الطاقة للدول ويحميها من تقلبات الأسعار الجيوسياسية والاقتصادية.

3. الفوائد الاقتصادية:

- خلق فرص عمل: يُعد قطاع الطاقة المتجددة كثيف العمالة، مما يعني أنه يساهم في توفير الآلاف من فرص العمل الجديدة في مجالات التصنيع، التركيب، الصيانة، والبحث والتطوير.
- نمو اقتصادي: يحفز الاستثمار في الطاقة المتجددة النمو الاقتصادي، حيث يؤدي إلى تطوير تقنيات جديدة وصناعات مبتكرة.
- انخفاض التكاليف على المدى الطويل: على الرغم من أن التكاليف الأولية لتركيب أنظمة الطاقة المتجددة قد تكون مرتفعة، إلا أن تكاليف التشغيل والصيانة منخفضة جداً على المدى الطويل، مما يجعلها اقتصادية وتقلل من تبعات تقلبات أسعار الوقود الأحفوري.

- تحسين الميزان التجاري: يقلل الاعتماد على الطاقة المتجددة من الحاجة إلى استيراد الوقود، مما يحسن الميزان التجاري للدول.

4. الفوائد الاجتماعية والصحية:

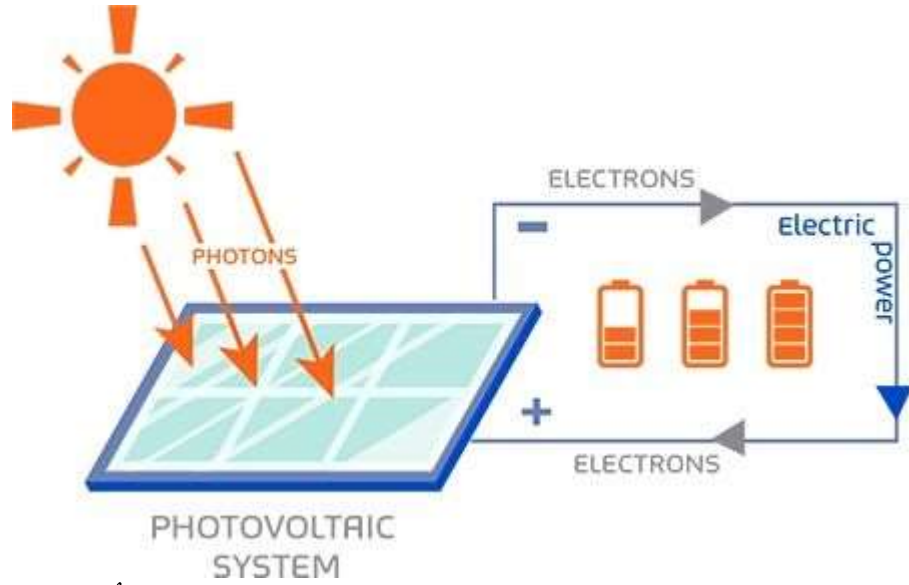
- تحسين الصحة العامة: يقلل الهواء النظيف الناتج عن استخدام الطاقة المتجددة من الأمراض التنفسية وأمراض القلب المرتبطة بالتلوث.
- توفير الطاقة للمجتمعات النائية: يمكن أن توفر حلول الطاقة المتجددة اللامركزية (مثل الألواح الشمسية الصغيرة) الطاقة للمجتمعات النائية التي لا تصلها شبكات الكهرباء التقليدية.
- تعزيز التنمية المستدامة: تساهم الطاقة المتجددة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة من خلال توفير طاقة نظيفة ومستدامة بأسعار معقولة للجميع.
- ❖ تعتبر الطاقة المتجددة حلاً شاملاً للعديد من التحديات التي تواجه العالم اليوم، بما في ذلك التغير المناخي، أمن الطاقة، التلوث، والتنمية الاقتصادية. إن التحول نحوها ليس مجرد خيار، بل ضرورة حتمية لمستقبل آمن ومستدام.

الفصل الثالث

الفصل الثالث

التحويل الكهربى للطاقة الشمسية:

يُعتبر التحويل الكهروضوئى (Photovoltaic – PV) هو الأسلوب الأكثر شيوعاً وفعالية لتحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية. تعتمد هذه العملية على



استخدام الخلايا الشمسية المجمعة في ألواح، والتي بدورها تُشكل جزءاً أساسياً من منظومة متكاملة لإنتاج وتوزيع الكهرباء. يتطلب تصميم منظومة كهروضوئية فهماً دقيقاً للمكونات الرئيسية وكيفية عملها معاً لضمان الأداء الأمثل والكفاءة.

1-3 مكونات الأنظمة الكهروضوئية:

تتألف الأنظمة الكهروضوئية من مجموعة من المكونات الأساسية التي تعمل بشكل متناسق لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء صالحة للاستخدام. أهم هذه المكونات

هي:

1-1-3 الألواح الشمسية (PV Modules):

هي الوحدة الأساسية في أي نظام كهروضوئي، وتتكون من عدد من الخلايا الشمسية المتصلة معاً على التوالي والتوازي لإنتاج جهد وتيار معين. تُغلف هذه الخلايا بمادة شفافة ومقاومة للعوامل الجوية (مثل الزجاج المقسى) وتحاط بإطار من الألومنيوم للحماية.



- خصائصها: تتميز الألواح الشمسية بقدرتها الكهربائية المقدرة (بالواط الذروي - Wp أو kWp)، جهد الدائرة المفتوحة (Voc)، تيار القصر (Isc)، الجهد عند نقطة القدرة القصوى (Vmpp)، والتيار عند نقطة القدرة القصوى (Impp).

تُحدد هذه الخصائص في ظروف الاختبار القياسية (STC: إشعاع 1000 W/m^2 ، درجة حرارة الخلية 25°C ، طيف هوائي AM 1.5).

- تصنيفاتها: تُصنف الألواح بناءً على نوع الخلايا المستخدمة فيها، كما ذكر في الباب الثاني (أحادية البلورة، متعددة البلورات، رقيقة الفيلم). تختلف هذه الأنواع في الكفاءة والتكلفة والمظهر.

2-1-3 المحولات (Inverters):

تُعد المحولات من أهم المكونات في نظام الطاقة الشمسية. وظيفتها الأساسية هي تحويل التيار الكهربائي المباشر (DC) الذي تنتجه الألواح الشمسية إلى تيار متردد (AC) قابل للاستخدام في المنازل والمؤسسات أو للربط بالشبكة الكهربائية العامة.



- أنواعها:

1. المحولات ذات الموجة الجيبية النقية (Pure Sine Wave Inverters): تنتج

تياراً متردداً بموجة جيبية مطابقة تماماً لتلك التي توفرها شركات الكهرباء. تُعد

الأفضل لتشغيل جميع أنواع الأجهزة الكهربائية الحساسة بأمان وكفاءة.

2. المحولات ذات الموجة الجيبية المعدلة (Modified Sine Wave Inverters):

تنتج موجة مربعة معدلة تقريباً، وهي أقل تكلفة ولكنها قد لا تكون مناسبة لتشغيل

بعض الأجهزة الحساسة (مثل الأجهزة الإلكترونية الدقيقة أو المحركات).

- **وظيفتها:** بالإضافة إلى تحويل DC إلى AC، تقوم المحولات الحديثة بوظائف إضافية مثل تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT) لزيادة كفاءة الألواح، وحماية النظام من الأعطال، ومراقبة أداء المنظومة.

3-1-3 البطاريات (Batteries):

تُستخدم البطاريات في أنظمة الطاقة الشمسية لتخزين الطاقة الكهربائية الزائدة المنتجة خلال ساعات سطوع الشمس واستخدامها عند الحاجة، خاصةً خلال الليل أو الأيام الغائمة. تُعتبر البطاريات مكوناً أساسياً في الأنظمة المستقلة (Off-Grid) والأنظمة الهجينة.



• أنواعها:

1. بطاريات الرصاص الحمضية (Lead-Acid Batteries): هي النوع الأكثر شيوعاً

والأقل تكلفة، وتتوفر بأنواع مختلفة مثل (Gel, AGM, Flooded). تتطلب بعض

أنواعها صيانة دورية (مثل إضافة الماء المقطر).

2. بطاريات ليثيوم أيون (Lithium-ion Batteries): أصبحت أكثر انتشاراً بفضل كثافة

طاقاتها العالية، عمرها الافتراضي الطويل، وكفاءتها العالية في الشحن والتفريغ،

وكونها لا تتطلب صيانة. لكنها أغلى تكلفة أولية.

❖ سعتها: تُقاس سعة البطارية بالأمبير ساعة (Ah) وتحدد كمية الطاقة التي يمكنها

تخزينها.

❖ دورها في أنظمة التخزين: تضمن البطاريات استمرارية توفر الطاقة الكهربائية حتى

في غياب الإشعاع الشمسي، مما يوفر استقلالية عن الشبكة الكهربائية.

3-1-4 منظمات الشحن (Charge Controllers):

هو جهاز حيوي في أي نظام شمسي يستخدم بطاريات. وظيفته الأساسية هي تنظيم عملية

شحن البطاريات من الألواح الشمسية لمنع الشحن الزائد أو التفريغ العميق، وكلاهما يمكن

أن يضر بالبطاريات ويقلل من عمرها الافتراضي.



• وظائفها:

1. حماية البطارية من الشحن الزائد (Overcharge).
2. حماية البطارية من التفريغ العميق (Deep Discharge).
3. قطع التيار عند الضرورة للحفاظ على صحة البطارية.
4. تحسين كفاءة الشحن.

• أنواعها:

1. منظمات PWM (Pulse Width Modulation): تعمل على تنظيم الجهد والتيار بقطع وصل الدائرة بشكل سريع. تُعد أقل تكلفة ومناسبة للأنظمة الصغيرة، ولكنها أقل كفاءة في استغلال الطاقة القصوى من الألواح.

2. منظمات (MPPT (Maximum Power Point Tracking): تُعد أكثر تطوراً وكفاءة.

تقوم بمتابعة نقطة القدرة القصوى للألواح الشمسية باستمرار لضمان استخراج أقصى قدر ممكن من الطاقة منها، خاصة في ظروف الإضاءة المتغيرة. تُفضل للأنظمة الكبيرة والمتوسطة.

3-1-5 كابلات التوصيل، قواطع التيار، صناديق التوصيل:

- كابلات التوصيل (Cables): تُستخدم لتوصيل جميع مكونات المنظومة ببعضها البعض. يجب أن تكون ذات جودة عالية ومقاطع عرضية مناسبة لتحمل التيار الكهربائي وتقليل الفاقد في الجهد.



- قواطع التيار (Circuit Breakers/Fuses): تُعد مكونات حماية أساسية تُستخدم لفصل الدائرة تلقائيًا في حالة حدوث تيار زائد أو قصر في الدائرة، لحماية المكونات من التلف ومنع مخاطر الحرائق.



- صناديق التوصيل (Junction Boxes/Combiner Boxes): تُستخدم لتجميع توصيلات الألواح الشمسية وتوفير حماية إضافية للأسلاك والقواطع من الظروف الجوية.



2-3 أنواع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

تُصنف أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بناءً على كيفية تفاعلها مع الشبكة الكهربائية الرئيسية ومدى اعتمادها عليها.

1-2-3 الأنظمة المتصلة بالشبكة (Grid-Tied Systems):

هي الأنظمة الأكثر شيوعاً للمنازل والمؤسسات المتصلة بالشبكة الكهربائية العامة.



- **مبدأ العمل:** تقوم الألواح الشمسية بتوليد تيار DC، والذي يحوله المحول إلى تيار AC يغذي الأحمال الكهربائية في المبنى مباشرة. إذا كان الإنتاج الشمسي أكبر من الاستهلاك، يتم تصدير الفائض إلى الشبكة الكهربائية العامة. وإذا كان الاستهلاك أكبر من الإنتاج الشمسي (مثل الليل أو الأيام الغائمة)، يتم سحب الكهرباء من الشبكة.
- **المكونات:** ألواح شمسية، محول متصل بالشبكة (Grid-Tied Inverter)، وعداد كهرباء ثنائي الاتجاه (Net Meter).

- الميزات والعيوب:

❖ الميزات: لا تتطلب بطاريات تخزين (مما يقلل التكلفة الأولية)، تسمح ببيع الطاقة

الفائضة للشبكة (صافي القياس)، سهولة التركيب والصيانة نسبياً.

❖ العيوب: تعتمد بشكل كامل على وجود الشبكة، ولا توفر طاقة في حالة انقطاع التيار

الكهربائي عن الشبكة (لأسباب تتعلق بالسلامة).

- صافي القياس (Net Metering) ومزاياه:

هو نظام محاسبي يسمح لمشتري الطاقة الشمسية الذين يولدون الكهرباء باستخدام أنظمة

متصلة بالشبكة بخصم كمية الكهرباء التي يصدرونها إلى الشبكة من كمية الكهرباء التي

يسحبونها منها. إذا كان الإنتاج السنوي أكبر من الاستهلاك، قد يتم تعويض المشترك عن

الفائض أو ترحيل الرصيد إلى الفترات اللاحقة. مزايا صافي القياس تشمل: تشجيع

الاستثمار في الطاقة الشمسية، تقليل فواتير الكهرباء بشكل كبير، وتقليل الضغط على شبكة

الكهرباء العامة.

2-2-3 الأنظمة المستقلة / خارج الشبكة (Off-Grid Systems):

تُستخدم هذه الأنظمة في المواقع التي لا تتوفر فيها شبكة كهربائية عامة أو يكون توصيلها

مكلفاً للغاية، مثل المناطق الريفية النائية، المزارع، أو المنازل المعزولة.



- **مبدأ العمل:** تولد الألواح الشمسية الكهرباء، والتي تُستخدم لتغذية الأحمال مباشرة أو لشحن البطاريات عبر منظم شحن. تقوم البطاريات بتخزين الطاقة للاستخدام عند عدم توفر الشمس. يقوم العاكس بتحويل تيار البطاريات (DC) إلى تيار متردد (AC) للأحمال.

❖ المكونات:

- ألواح شمسية، منظم شحن، بنك بطاريات، ومحول خارج الشبكة (Off-Grid Inverter).
قد تُضاف مولدات ديزل كخيار احتياطي.

○ الميزات والعيوب:

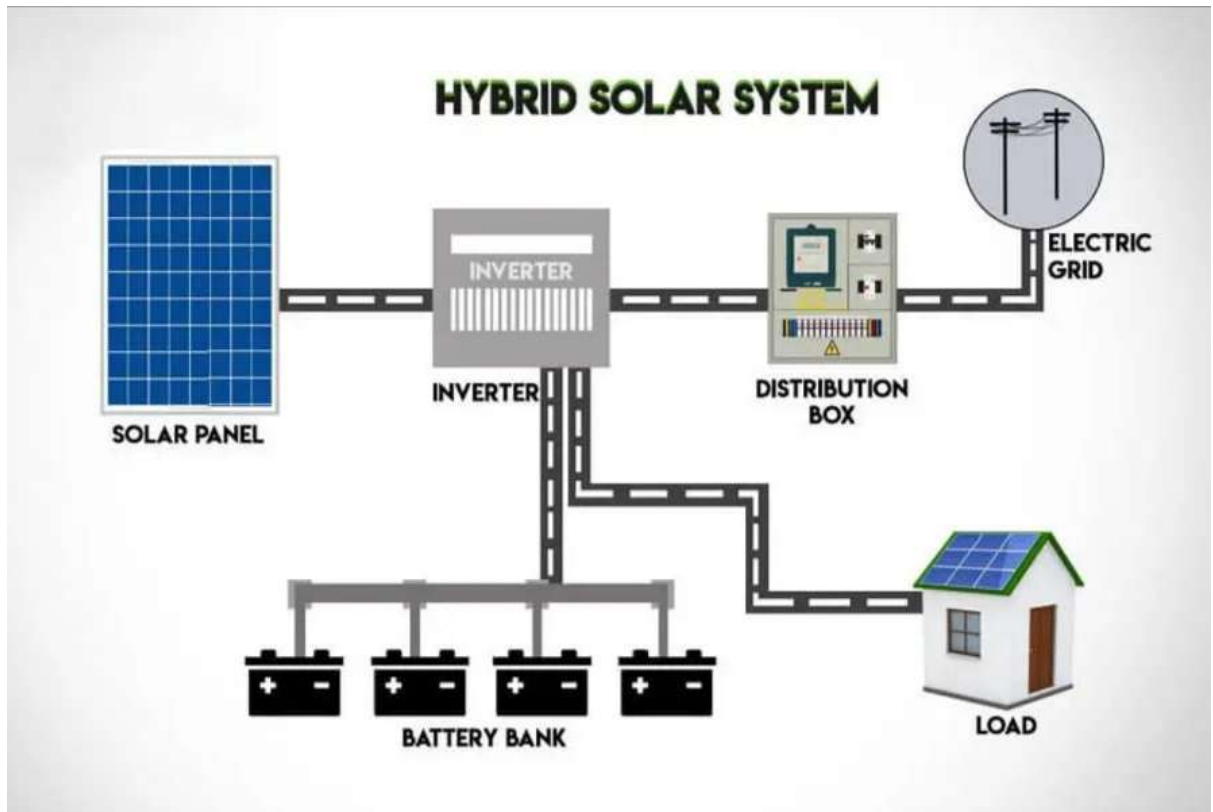
- **الميزات:** استقلالية تامة عن الشبكة الكهربائية، توفير الطاقة في المواقع النائية.
- **العيوب:** تكلفة أولية عالية بسبب الحاجة إلى البطاريات، تتطلب تصميمًا دقيقًا لضمان سعة تخزين كافية، عمر افتراضي محدود للبطاريات يتطلب استبدالها دوريًا.

❖ تطبيقاتها:

تُستخدم على نطاق واسع في أنظمة إضاءة الشوارع، أنظمة الري بالطاقة الشمسية، أكشاك الاتصالات النائية، والمنازل التي تقع بعيداً عن البنية التحتية الكهربائية.

3-2-3 الأنظمة الهجينة (Hybrid Systems):

تجمع هذه الأنظمة بين مزايا الأنظمة المتصلة بالشبكة والأنظمة المستقلة، حيث تدمج بين الطاقة الشمسية والبطاريات، وغالباً ما تتصل بالشبكة الكهربائية العامة أو بمصدر طاقة آخر مثل مولد الديزل.



- مبدأ العمل: تعمل الألواح الشمسية على توليد الكهرباء التي تُستخدم لتغذية الأحمال و شحن البطاريات. يمكن للنظام سحب الكهرباء من الشبكة عند الحاجة، ويمكنه أيضاً

تصدير الفائض إلى الشبكة. في حالة انقطاع الشبكة، يمكن للنظام التحول للعمل من البطاريات لتوفير طاقة احتياطية.

❖ المكونات:

ألواح شمسية، محول هجين (Hybrid Inverter)، بنك بطاريات، وعداد صافي قياس (في حال الاتصال بالشبكة). يمكن دمجها مع مولد ديزل.

❖ الميزات والعيوب:

1- الميزات: توفر استمرارية في توفير الطاقة (حتى في انقطاع الشبكة)، تقلل الاعتماد على الشبكة، وتوفر مرونة أكبر في إدارة الطاقة.

2- العيوب: أكثر تعقيداً وتكلفة من الأنظمة المتصلة بالشبكة البحتة.

الفصل الرابع

الفصل الرابع

4-1 تصميم المنظومة:

يُعد تصميم منظومة الطاقة الشمسية عملية هندسية متعددة الخطوات تتطلب فهماً عميقاً للاحتياجات الكهربائية للموقع، الظروف المناخية المحلية، وتوافر الموارد، بهدف تحقيق أقصى كفاءة وموثوقية للمنظومة بأقل تكلفة ممكنة.

تُطبق هذه المبادئ سواء كانت المنظومة صغيرة الحجم لتلبية احتياجات منزل فردي، أو كبيرة لمشروع صناعي أو محطة توليد كهرباء.

4-2 دراسة الموقع وتقدير الحمل:

تُعد هذه الخطوة هي نقطة البداية لأي عملية تصميم، حيث تحدد الأساس الذي تُبنى عليه جميع الحسابات اللاحقة.

4-2-1 تحديد الموقع الجغرافي للمنظومة:

معرفة الإحداثيات الدقيقة للموقع (خط الطول وخط العرض) أمر بالغ الأهمية لتحديد زاوية ميل الألواح واتجاهها للحصول على أقصى قدر من الإشعاع الشمسي على مدار العام. في السودان، الذي يقع ضمن نطاق جغرافي يتميز بوفرة الإشعاع الشمسي، و قرية القدواب تقع شمال مدينة بربر الإحداثيات هي:

• خط العرض: $18^{\circ}02,00$ شمالاً.

• خط الطول: $33^{\circ}59,00$ شرقاً.

4-2-2 تحليل بيانات الإشعاع الشمسي للموقع:

يُعتبر الإشعاع الشمسي المتاح في الموقع هو العامل الأكثر أهمية في تحديد حجم المنظومة. تُستخدم بيانات الإشعاع الشمسي التاريخية للمنطقة، والتي تُقاس عادةً بوحدة (kWh/m²/day) أو (Wh/m²/day) على السطح الأفقي أو السطح المائل بزاوية مثالية. يمكن الحصول على هذه البيانات من قواعد بيانات عالمية (مثل NASA SSE، PVGIS) أو من محطات قياس محلية. يجب مراعاة متوسط الإشعاع الشمسي في أسوأ شهر خلال العام (عادةً ما يكون الشتاء أو موسم الغبار الكثيف في بعض المناطق) لضمان أداء النظام على مدار العام.

في السودان، تُظهر البيانات متوسط إشعاع شمسي يومي مرتفع يتجاوز 5.5 kWh/m²/day في معظم المناطق، مما يجعلها مثالية لتطبيقات الطاقة الشمسية.

4-2-3 حصر وتحديد الأحمال الكهربائية المراد تغذيتها (الأجهزة الكهربائية، ساعات التشغيل).

مطلوب تصميم منظومة طاقة شمسية لإنارته منزل متوسط يشتمل على الأجهزة الموضحة أدناه:

نوع الجهاز	العدد	القدرة المطلوبة للجهاز الواحد W	القدرة المطلوبة لكل العدد W (P)	عدد ساعات التشغيل في اليوم (hour)	الطاقة المطلوبة لكل الأجهزة Wh (E)
لمبه	5	20	100	5	500
مروحة	2	75	150	2	300

240	3	80	80	1	تلفاز
240	2	120	120	1	مضخة مياه صغيره
2125	17	125	125	1	ثلاجة
500	0.5	1000	1000	1	مكوه
3905		1575	مجموع القدرة و الطاقة لكل الأجهزة		

3-4 اختيار المكونات وتحديد الأحجام:

بناءً على تقدير الحمل وبيانات الإشعاع الشمسي، يمكن البدء في تحديد أحجام المكونات الرئيسية للمنظومة.

1-3-4 حساب عدد الألواح الشمسية المطلوبة:

تُعتبر هذه الخطوة أساسية لتحديد قدرة المنظومة الكهروضوئية.

• بناءً على الحمل والطاقة الشمسية المتاحة:

يُستخدم مفهوم "ساعات الذروة الشمسية" (Peak Sun Hours – PSH) أو "متوسط الإشعاع الشمسي المكافئ يومياً". وهي تمثل عدد الساعات التي لو سقط فيها الإشعاع الشمسي بشدة 1000 W/m^2 (ظروف الاختبار القياسية) لنتجت نفس كمية الطاقة الكلية التي تسقط فعلياً على مدار اليوم.

الخطوات:

- حساب إجمالي الطاقة المطلوبة يومياً من الألواح (Wh) 3905، يجب إضافة نسبة مئوية (عادة 20-30%) للتعويض عن الفاقد في النظام (كفاءة العاكس، فقدان الكابلات، تأثير درجة الحرارة، الأوساخ، عدم التطابق بين الألواح).

يمكن حساب عدد الألواح الشمسية للمنظومة من المعادلة:

$$N_m = \frac{E_r}{P_m \times H_s \times DF \times \eta_{bat} \times \eta_{inv}}$$

E_r = مجموع الطاقة الكلية المطلوبة للمنظومة (Wh).

P_m = القدرة الناتجة للوح الواحد (W).

H_s = عدد ساعات الإشراق في اليوم. (نفرض 8 ساعات).

DF = معامل تشغيل اللوح، (0.8 للمناطق التي تكون فيها درجة حرارة الجو مرتفعة).

η_{bat} = كفاءة البطارية، (من 0.7 إلى 0.85)

η_{inv} = كفاءة المحول، (من 0.85 إلى 0.9)

❖ قاعدة عامة لتحديد جهد المنظومة :

Use $V_{sys} = 12V$, up to 1KW.

Use $V_{sys} = 24 V$, from 1 kWh to 3 to 4 kWh.

Use $V_{sys} = 48 V$, exceeding 4 kWh.

- تحديد القدرة الكلية للألواح الشمسية (Wp):

إذا افترضنا أن ساعات الذروة الشمسية للموقع هي 5.5 ساعات/يوم (متوسط جيد في السودان):

• اختيار نوع وقدرة اللوح الشمسي:

بعد تحديد القدرة الكلية، يتم اختيار لوح شمسي ذي قدرة معينة لتحديد العدد.

• تصميم المصفوفة الشمسية (التوصيل على التوالي والتوازي):

يعتمد تصميم المصفوفة على جهد النظام المطلوب (مثلاً 12V, 24V, 48V للألواح خارج

الشبكة أو جهد أعلى بكثير للأنظمة المتصلة بالشبكة) وجهد تشغيل الألواح الفردية.

• التوصيل على التوالي: يزيد الجهد الكلي للمصفوفة مع الحفاظ على التيار.

• التوصيل على التوازي: يزيد التيار الكلي للمصفوفة مع الحفاظ على الجهد.

بما أن الطاقة الكلية المطلوبة 3905 W، فإن جهد المنظومة: $V_{sys} = 24 V$

عدد الألواح المطلوبة على التوالي :

$$N_{m, series} = \frac{V_{system}}{V_m \times 0.85}$$

$$V_m = \text{جهد اللوح الواحد}$$

عدد الألواح المطلوبة على التوازي :

$$N_{m, Parallel} = \frac{N_m}{N_{m, series}}$$

4-3-2 تحديد سعة البطاريات المطلوبة (للأنظمة خارج الشبكة/الهجينة):

تُعد البطاريات ضرورية لتوفير الطاقة خلال فترات غياب الشمس.

- حساب أيام الاستقلالية (Days of Autonomy): هي عدد الأيام التي يمكن أن يوفر فيها النظام الطاقة للحمل دون شحن من الألواح الشمسية (مثلاً في الأيام الغائمة المتتالية). عادة ما يتم اختيار 1-3 أيام استقلالية.
- اختيار نوع البطارية المناسب وعمرها الافتراضي.
- حساب سعة البطارية (Ah).

البطاريات:

$$Q_{load} = \frac{E_r}{V_{system} \times \eta_{inv}} \quad (Ah) \quad \text{عدد الأمبير_ساعة المطلوب للمنظومة في اليوم :}$$

$$Q_{bat} = \frac{Q_{load} \times DOA}{DOD} \quad (Ah) \quad \text{عدد الأمبير_ساعة المطلوب من البطاريات :}$$

$$= \frac{E_r \times DOA}{V_{system} \times \eta_{inv} \times DOD} \quad (Ah)$$

DOA = عدد الأيام التي تعمل فيها البطارية دون أن يكون هناك اشعاع شمسي.

DOD = نسبة تفريغ البطارية.

عدد البطاريات المطلوب توصيلها على التوازي : $N_{bat,parallel}$

$$= \frac{Q_{at}^b (Ah)}{q_{at}^b (Ah)}$$

عدد البطاريات المطلوب توصيلها على التوالي : $N_{bat,series} = \frac{V_{sys}}{V_{at}^b}$

V_{bat} = جهد البطارية الواحدة.

العدد الكلي للبطاريات هو : $N_{bat} = N_{bat,parallel} \times N_{bat,series}$

3-3-4 اختيار المحول (Inverter):

يجب أن تكون قدرة المحول قادرة على تحمل أقصى حمل لحظي للمنظومة.

يتم حساب مجموع القدرة الاسمية لجميع الأجهزة التي من المحتمل أن تعمل في نفس الوقت (ذروة الحمل).

مثلاً، إذا كانت القدرة المطلوبة هي: 1575 W (بما في ذلك عوامل البدء للأجهزة التي تحتوي على محركات)، فيجب اختيار محول بقدرة مستمرة لا تقل عن 1575 W ، ويفضل أن يكون أعلى بـ 20-30% لضمان المرونة والاحتياطي.

• التوافق مع جهد النظام: يجب أن يتوافق جهد دخل المحول مع جهد المصفوفة الشمسية وجهد بنك البطاريات (في الأنظمة التي تحتوي على بطاريات).

➤ تكون سعته الواط (W) تساوي أو أكبر من القدرة المطلوبة للمنظومة $\times 1.25$

4-3-4 اختيار منظم الشحن (Charge Controller):

تُحدد سعة منظم الشحن بناءً على التيار الأقصى القادم من الألواح الشمسية.

$$I_{\text{Rated}} = (N_{\text{PV-parallel}} \times I_{\text{sc}}) \times 1.25$$

I_{sc} : تيار اللوح الواحد (A).

1.25 : عامل أمان.

مثلاً، إذا كان جهد النظام 24 V والقدرة الكلية للألواح WP1000 :

يجب اختيار منظم شحن بسعة 40 A أو 50 A لضمان الأمان.

- نوع المنظم (PWM/MPPT): يُفضل استخدام MPPT للأنظمة الكبيرة لزيادة الكفاءة، بينما قد يكون PWM كافياً للأنظمة الأصغر.

❖ مواصفات الأجهزة المتاحة في السوق:

- الألواح الشمسية: 200 W , , 8.78 A , $V_{mp}= 22.8\text{ V}$, $V_{oc}=26.9\text{ V}$

$$I_{sc}=9.30\text{ A}$$

- البطاريات : 200 Ah , 12V

عدد الألواح المطلوب:

$$N_m = \frac{3905}{200 \times 8 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.85} = 5.12 \approx 6 \text{ modules}$$

عدد الألواح المطلوبة على التوالي:

$$N_{m, \text{series}} = \frac{24}{22.8 \times 0.85} = 1.23 \approx 2$$

عدد الألواح المطلوبة على التوازي:

$$N_{m, \text{parallel}} = \frac{3}{1.17} = 2.56 = 3$$

البطاريات:

$$Q_{\text{load}} = \frac{E_r}{V_{\text{system}} \times \eta_{\text{inv}}} \quad \text{عدد الأمبير_ ساعة المطلوب للمنظومة في اليوم : (Ah)}$$

$$Q_{\text{load}} = \frac{3905}{24 \times 0.85} = 191.42 \text{ Ah}$$

عدد الأمبير _ ساعة المطلوب من البطاريات:

$$Q_{\text{bat}} = \frac{3905 \times 1}{24 \times 0.85 \times 0.7} = 273.45 \text{ Ah}$$

عدد البطاريات التي يجب توصيلها على التوازي: $N_{bat, parallel} = \frac{273.45 Ah}{200Ah} = 1.36 \approx 2$

عدد البطاريات التي يجب توصيلها على التوالي: $N_{bat, series} = \frac{24}{12} = 2$

العدد الكلي للبطاريات: $N_{bat} = 2 \times 2 = 4$

المحول (Inverter):

القدرة الكلية للنظام هي: 1575 Wh.

وعليه تكون سعة المحول أكبر من أو تساوي $1575 \times 1.25 W$

إذاً المحول المناسب 2KW -24V

منظم الشحن:

تيار منظم الشحن هو: $I_{rated} = (3 \times 9.30) \times 1.25 = 34.87 A$

إذاً منظم الشحن المناسب للمنظومة هو: 40 A

4-4 تصميم التوصيلات والتركيب الميكانيكي:

تُعد هذه الخطوة حاسمة لضمان سلامة وكفاءة وطول عمر المنظومة.

4-4-1 تصميم الأسلاك والكابلات (مقاومة التيار، فقدان الجهد):

- حساب مقاطع الكابلات: يجب أن تكون الكابلات المستخدمة ذات مقطع عرضي مناسب

(بالمليمتر المربع) لتحمل التيار الكهربائي المتوقع دون ارتفاع درجة حرارتها بشكل

مفرط، ولتقليل الفاقد في الجهد. يُسمح عادة بفقدان جهد لا يتجاوز 2-3% من إجمالي

الجهد. تُستخدم جداول خاصة لتحديد مقطع الكابل بناءً على التيار، المسافة، ونوع

المادة.

- نوع الكابلات: يجب استخدام كابلات مخصصة للطاقة الشمسية (PV Cable) تتميز بمقاومتها للأشعة فوق البنفسجية والعوامل الجوية.

- التوصيلات: يجب أن تكون جميع التوصيلات محكمة ومؤمنة باستخدام موصلات MC4 المناسبة للألواح الشمسية لضمان أدنى مقاومة كهربائية ومنع الأكسدة.

4-4-2 تصميم أنظمة التأريض والحماية من الصواعق:

- التأريض (Grounding): يجب تأريض جميع الأجزاء المعدنية في المنظومة (إطارات الألواح، الهياكل، العاكس، البطاريات) بشكل صحيح لتوفير مسار آمن للتيار الكهربائي الزائد في حالة حدوث قصر أو عطل، وحماية الأفراد والمعدات.

- الحماية من الصواعق (Lightning Protection): في المناطق المعرضة للصواعق، يجب تركيب مانعات صواعق (Surge Protection Devices – SPDs) على كل من جانب التيار المستمر (DC) والتيار المتردد (AC) لحماية المعدات الحساسة من ارتفاعات الجهد المفاجئة الناتجة عن الصواعق المباشرة أو غير المباشرة.

4-4-3 تصميم هيكل التثبيت للألواح الشمسية (زاوية الميل، الاتجاه):

- زاوية الميل (Tilt Angle): يجب تحديد زاوية ميل الألواح لتحقيق أقصى قدر من الإشعاع الشمسي على مدار العام. القاعدة العامة هي أن تكون زاوية الميل مساوية لخط عرض الموقع. ومع ذلك، يمكن تعديل الزاوية لتفضيل الإنتاج في الصيف أو

الشتاء حسب الحاجة. في السودان، يمكن اعتماد زاوية قريبة من خط العرض (حوالي 15 درجة في الخرطوم) مع تعديلات موسمية إن أمكن.

- الاتجاه (Azimuth Angle): في نصف الكرة الشمالي، يجب توجيه الألواح نحو الجنوب الجغرافي (زاوية سمت 180 درجة). أي انحراف عن الجنوب سيقلل من الإنتاج. يجب تجنب أي عوائق (مباني، أشجار) قد تسبب ظلالاً على الألواح في أي وقت من اليوم.

- نوع الهيكل: يجب اختيار هيكل تثبيت قوي ومقاوم للرياح والأحمال المختلفة، مصنوع من مواد مقاومة للتآكل مثل الألومنيوم أو الفولاذ المجلفن.

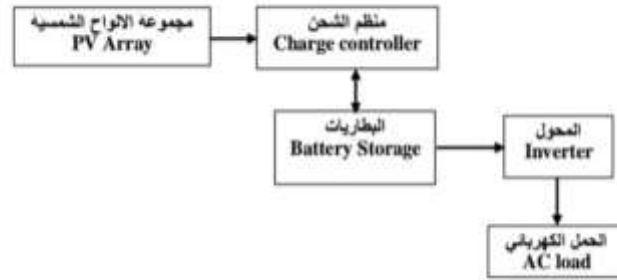
4-4-4 متطلبات السلامة أثناء التركيب والتشغيل:

- فصل الطاقة: يجب فصل جميع مصادر الطاقة قبل البدء بأي أعمال صيانة أو تركيب.
- معدات الوقاية الشخصية (PPE): ارتداء الخوذات، القفازات العازلة، أحذية السلامة، ونظارات الحماية.

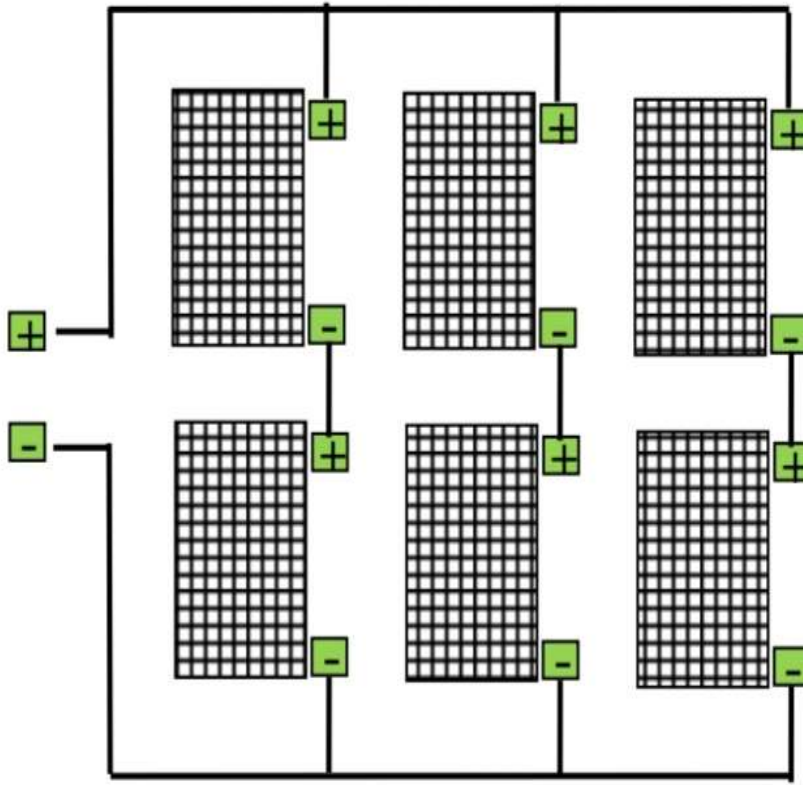
- التأريض: التأكد من تأريض جميع المعدات بشكل صحيح.
- التعامل مع البطاريات: التعامل بحذر مع البطاريات لخطورة تسرب الأحماض أو الغازات القابلة للاشتعال.

- الفحص الدوري: إجراء فحوصات دورية للمنظومة للتأكد من سلامة التوصيلات والمكونات.

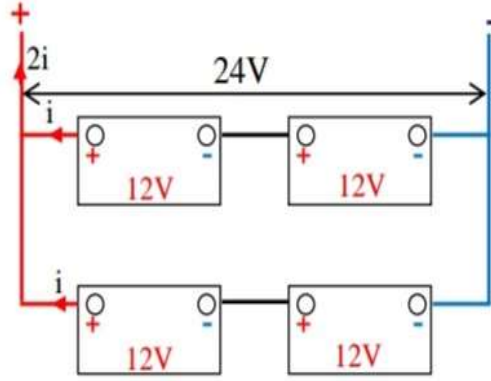
- التدريب: يجب أن يقوم بتركيب وصيانة المنظومة فنيون مدربون ومؤهلون.



(شكل يوضح مكونات منظومة الطاقة الشمسية)



(شكل يوضح طريقة توصيل 2 لوح على التوالي لتكوين خط، 3 خطوط على التوازي).



(شكل يوضح طريقة توصيل البطاريات).

الفصل الخامس

الفصل الخامس

5-1 دراسة التكلفة والجدوى الاقتصادية :

يُعد الجانب الاقتصادي حاسماً في قرار تبني أو استثمار في منظومة الطاقة الشمسية. فبغض النظر عن المزايا البيئية والفنية، يجب أن تكون المنظومة مجدية اقتصادياً لتشجيع الأفراد والمؤسسات على الاستثمار فيها.

تتضمن دراسة التكلفة والجدوى الاقتصادية تقدير التكاليف الأولية والتشغيلية، وتحليل العائد على الاستثمار، بالإضافة إلى مراعاة المحفزات الحكومية.

5-2 تقدير التكاليف الأولية:

تمثل التكاليف الأولية الجزء الأكبر من الاستثمار في منظومة الطاقة الشمسية. تتكون هذه التكاليف من عدة عناصر رئيسية:

5-2-1 تكلفة الألواح الشمسية، المحولات، البطاريات، منظمات الشحن:

❖ الألواح الشمسية: تُشكل جزءاً كبيراً من التكلفة الإجمالية. تختلف أسعارها بناءً على القدرة (بالواط الذروي Wp)، النوع (أحادية البلورة، متعددة البلورات، رقيقة الفيلم)، والعلامة التجارية. (على سبيل المثال، في السودان، قد تتراوح تكلفة اللوح الواحد بقدرة Wp200 بين 100-150 دولار أمريكي، ولكن الأسعار متغيرة باستمرار).

❖ المحولات (Inverters): تختلف تكلفتها بناءً على القدرة (kW) والنوع (متصل بالشبكة، خارج الشبكة، هجين، موجة جيبية نقية). العاكسات الهجينة والخاصة بالأنظمة

خارج الشبكة تكون أعلى عادةً نظراً لتعقيدها ووظائفها الإضافية. (تتراوح التكلفة بين 200-500 \$ ، و قد تزيد حسب المطلوب و التغير المستمر في الأسعار).

❖ البطاريات (Batteries): إذا كانت المنظومة تتضمن تخزيناً للطاقة، فإن البطاريات (خاصة بطاريات الليثيوم أيون) تمثل عنصراً مكلفاً. تتوقف التكلفة على السعة (Ah) والجهد (V) والتقنية المستخدمة (رصاص حمضية، ليثيوم أيون) والعمر الافتراضي. (تبدأ تكلفتها من 400 إلى 850 \$).

❖ منظمات الشحن (Charge Controllers): تكلفتها أقل نسبياً مقارنة بالمكونات الأخرى، وتعتمد على نوعها (PWM/MPPT) وسعتها التيارية. منظمات MPPT أغلى ولكنها أكثر كفاءة. (أسعارها تبدأ من 14 \$)

5-2-2 تكلفة الهياكل المعدنية، الكابلات، قواطع الحماية:

■ الهياكل المعدنية (Mounting Structures): تُصنع عادةً من الألومنيوم أو الفولاذ المجلفن. تختلف تكلفتها بناءً على نوع التركيب (على السطح، على الأرض)، زاوية الميل، والمواد المستخدمة، بالإضافة إلى مدى تعقيد التصميم.

■ الكابلات والتوصيلات (Cables & Connectors): تشمل كابلات التيار المستمر (DC) والمتردد (AC)، وموصلات MC4، وغيرها من الكابلات الضرورية. يجب اختيار كابلات ذات جودة عالية ومقاطع مناسبة لتجنب الفاقد.

- قواطع الحماية وصناديق التوصيل (Circuit Breakers & Junction Boxes): تُعد مكونات أمان أساسية، وتضاف تكلفتها إلى التكلفة الإجمالية للمشروع.

5-2-3 تكاليف التركيب والنقل والعمالة:

- أجور العمالة: تشمل تكاليف العمالة الماهرة لتركيب الألواح، توصيل الأسلاك، وبرمجة العاكسات ومنظمات الشحن.

- تكاليف النقل: نقل المكونات من المورد إلى موقع التركيب.
- تكاليف الترخيص والتصاريح: قد تتطلب بعض الدول الحصول على تراخيص من الجهات الحكومية لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية، وقد تكون هناك رسوم مرتبطة بذلك.

5-3 تكاليف التشغيل والصيانة:

على الرغم من أن أنظمة الطاقة الشمسية تتميز بانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية، إلا أن هناك بعض التكاليف التي يجب أخذها في الاعتبار:

5-3-1 تكاليف الصيانة الدورية (تنظيف الألواح، فحص المكونات):

- تنظيف الألواح: يجب تنظيف الألواح الشمسية بانتظام (خاصة في المناطق التي تتراكم فيها الأتربة والغبار مثل السودان) للحفاظ على كفاءتها. يمكن أن يتم ذلك يدوياً أو باستخدام أنظمة تنظيف آلية للمشاريع الكبيرة.

- الفحص الدوري: فحص التوصيلات الكهربائية، التأكد من سلامة الكابلات، وفحص أداء العاكسات ومنظمات الشحن.

- فحص البطاريات: في أنظمة البطاريات، يجب فحص مستوى الإلكتروليت (لبعض أنواع الرصاص الحمضية)، التأكد من سلامة أقطاب التوصيل، ومراقبة أداء الشحن والتفريغ.

5-3-2 تكلفة استبدال البطاريات (إن وجدت) بعد عمرها الافتراضي:

تُعد البطاريات هي المكون الوحيد في المنظومة الذي يمتلك عمراً افتراضياً أقصر بكثير من الألواح الشمسية (التي تدوم لأكثر من 25 عاماً). بطاريات الرصاص الحمضية قد تحتاج إلى الاستبدال كل 3-7 سنوات، بينما بطاريات الليثيوم أيون قد تدوم من 10-15 سنة أو أكثر. يجب احتساب تكلفة الاستبدال هذه ضمن التحليل الاقتصادي طويل الأمد للمنظومة.

5-4 الجدوى الاقتصادية وتحليل العائد على الاستثمار:

لتقييم الجدوى الاقتصادية للمنظومة، تُستخدم عدة مؤشرات مالية:

5-4-1 حساب فترة استرداد رأس المال (Payback Period):

هي المدة الزمنية اللازمة لاستعادة التكاليف الأولية للاستثمار من خلال الوفورات المحققة في فواتير الكهرباء أو الدخل الناتج عن بيع الطاقة.

$$\{\text{فترة الاسترداد}\} = \{\text{التكلفة الأولية الإجمالية}\} \div \{\text{الوفورات السنوية أو الدخل السنوي}\}.$$

مثال: إذا كانت التكلفة الأولية 5000 دولار، والوفر السنوي في فاتورة الكهرباء 1000 دولار، فإن فترة الاسترداد هي 5 سنوات. تعتبر فترة الاسترداد الأقصر مؤشراً على جدوى اقتصادية أفضل.

5-4-2 مقارنة تكلفة الطاقة من المنظومة الشمسية بتكلفة الكهرباء التقليدية:

يجب مقارنة تكلفة إنتاج كل كيلووات ساعة من الطاقة الشمسية (LCOE – Levelized Cost of Electricity) بتكلفة الكهرباء المستوردة من الشبكة العامة أو المولدة بالديزل. في السودان، حيث تكلفة الكهرباء التقليدية قد تكون متقلبة وتواجه انقطاعات متكررة، فإن الطاقة الشمسية غالباً ما تكون بديلاً أكثر استقراراً وتنافسية على المدى الطويل، خاصة عند احتساب تكلفة الانقطاعات.

مثال يوضح مقارنة التكلفة:

جدول يوضح تكلفة الطاقة الشمسية:

الأجهزة	المواصفات	العدد	سعر الوحدة	التكلفة الكلية
الألواح	200 W	6	100,000 ج.س	600,000 ج.س
المحول	2 KW	1	420,000 ج.س	420,000 ج.س
البطاريات	200 Ah	4	620,000 ج.س	2,480,00 ج.س
المنظم	40 A	1	70,000 ج.س	70,000 ج.س
الحامل	مواسير 6×3	6	6000 ج.س	6000 ج.س

<u>200,000</u> ج.س	<u>200,000 ج.</u> س	=	<u>مهندس و</u> <u>حرفي</u>	<u>العمالة و</u> <u>التركيب</u>
<u>300,000</u> ج.س	<u>300,000</u> ج.س		<u>ملحقات</u>	<u>ملحقات</u> <u>تركيب</u>
<u>4,076,00</u> 0 ج.س	<u>2,310,000</u> ج.س		<u>المجموع</u>	

التكلفة الإنشائية الكلية للمنظومة:

التكلفة الإنشائية الكلية للمنظومة هي: 4,076,000 جنيه سوداني (الأسعار قابلة للتغيير نسبة لتدهور الأوضاع الإقتصادية).

العمر الافتراضي لمنظومة الطاقة الشمسية هو: 25 سنة.

نفرض مثلاً، تكلفة إستبدال الأجهزة و الصيانة السنوية 2% من التكلفة الإنشائية و هي 81,520 جنيه سوداني

التكلفة التراكمية للمنظومة:

التكلفة الأولية: 4,076,000 جنيه سوداني.

تكاليف الصيانة السنوية: 81,520 جنيه سوداني، كل عام.

استبدال المحول مرة بعد 12 سنة بتكلفة تقديرية 489,120 جنيه سوداني (نسبة للتضخم).

استبدال البطاريات كل 5 سنوات (السنوات: 5 , 10 , 15 , 20).

تكلفة استبدال تقديرية 1,222,800 جنيه سوداني.

السنة	التكلفة التراكمية (جنيه سوداني)
الأولى	4,175,520
الثانية	4,239,040
الثالثة	4,320,560
الرابعة	4,402,080
الخامسة	5,706,400
السادسة	5,787,920
السابعة	5,869,440
الثامنة	5,950,960
التاسعة	6,032,480
العاشرة	7,336,800
الحادية عشر	7,418,320
الثانية عشر	7,988,960
الثالثة عشر	8,070,480
الرابعة عشر	8,152,000
الخامسة عشر	9,456,320
السادسة عشر	9,537,840
السابعة عشر	9,619,360
الثامنة عشر	9,700,880
التاسعة عشر	9,782,400
العشرون	11,086,720
الحادية والعشرون	11,168,240
الثانية والعشرون	11,249,760
الثالثة والعشرون	11,331,280
الرابعة والعشرون	11,412,800
الخامسة والعشرون	12,717,120

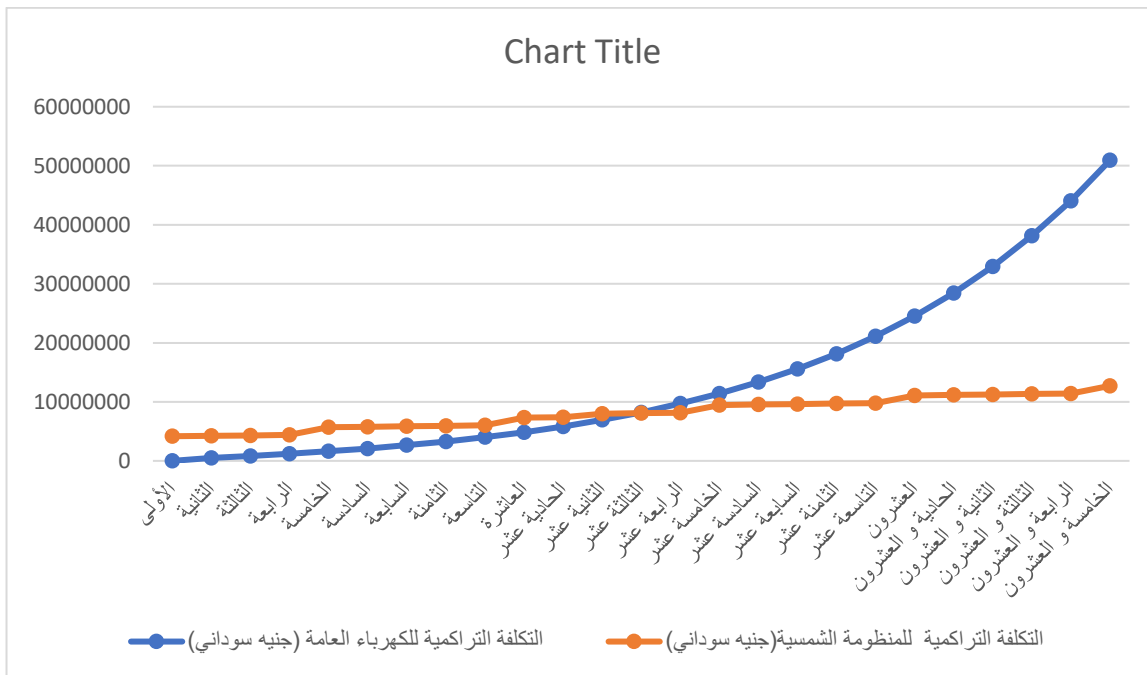
التكلفة التراكمية للاستهلاك من الكهرباء العامة:

نفرض الإستهلاك الشهري = 20,000 جنيه سوداني

نفرض الزيادة السنوية في تكلفة الكهرباء العامة: (15% مثلاً).

جدول يوضح التكلفة التراكمية للإستهلاك من الكهرباء العامة:

السنة	التكلفة التراكمية (جنيه سوداني)
الأولى	240,000
الثانية	516,000
الثالثة	833,400
الرابعة	1,198,410
الخامسة	1,618,171
السادسة	2,100,897
السابعة	2,656,013
الثامنة	3,293,236
التاسعة	4,025,242
العاشرة	4,867,048
الحادية عشر	5,835,126
الثانية عشر	6,948,415
الثالثة عشر	8,228,578
الرابعة عشر	9,700,764
الخامسة عشر	11,393,779
السادسة عشر	13,340,747
السابعة عشر	15,579,759
الثامنة عشر	18,154,611
التاسعة عشر	21,115,691
العشرون	24,520,813
الحادية والعشرون	28,436,703
الثانية والعشرون	32,939,977
الثالثة والعشرون	38,118,741
الرابعة والعشرون	44,075,521
الخامسة والعشرون	50,925,816



(رسم بياني يمثل التكلفة التراكمية للمنظومة الشمسية و الكهرباء العامة)

يتضح من الرسم البياني :

1. التكلفة الأولية الباهظة للطاقة الشمسية.
 2. التكلفة المتزايدة للكهرباء العامة.
 3. نقطة التعادل (Break-even Point) هي السنة الـ 15 .
 4. توفير طويل الأمد للطاقة الشمسية.
 5. الإستنتاج العام:
- الرسم البياني يوضح أن الإستثمار في منظومة الطاقة الشمسية، على الرغم من تكلفتها الأولية المرتفعة، يمثل حلاً إقتصادياً أفضل و أكثر استدامة على المدى الطويل في السودان.

5-4-3 الاعتبارات البيئية والاجتماعية (توفير الوقود، تقليل الانبعاثات):

على الرغم من صعوبة تكميمها مالياً بشكل مباشر، إلا أن هذه الاعتبارات تُضيف قيمة كبيرة للمشروع:

- توفير الوقود: تقلل المنظومة الشمسية الاعتماد على الوقود الأحفوري المستورد، مما يوفر العملات الأجنبية ويدعم الأمن الطاقوي.
- تقليل الانبعاثات: المساهمة في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة والملوثات الجوية، وتحسين جودة الهواء.
- الفوائد الاجتماعية: توفير الكهرباء للمناطق النائية، خلق فرص عمل في قطاع الطاقة المتجددة، وتحسين جودة الحياة.

5-5 المحفزات الحكومية والسياسات الداعمة:

- تلعب السياسات الحكومية دوراً حيوياً في تشجيع الاستثمار في الطاقة الشمسية. في السودان، كما هو الحال في العديد من البلدان النامية، يمكن أن تشمل هذه المحفزات:
- الحوافز الضريبية: إعفاءات ضريبية على استيراد مكونات الطاقة الشمسية أو على أرباح مشاريع الطاقة المتجددة.
 - القروض الميسرة: توفير قروض بفوائد منخفضة أو بشروط سداد ميسرة لمشاريع الطاقة الشمسية.

- برامج الدعم والمنح: تقديم منح مالية أو دعم مباشر للمشاريع الشمسية، خاصة في القطاعات الحيوية مثل الزراعة أو الرعاية الصحية.
- التعرفة التفضيلية (Feed-in Tariffs): شراء الكهرباء الفائضة من المنتجين الصغار بسعر أعلى من سعر البيع، لتشجيعهم على الربط بالشبكة.
- دور التشريعات والقوانين في دعم الطاقة الشمسية: سن قوانين ولوائح تُسهل إجراءات الترخيص والربط بالشبكة، وتوفير إطاراً قانونياً مستقراً للمستثمرين.
- إن دراسة التكلفة والجدوى الاقتصادية المتعمقة تمكن المستثمرين من اتخاذ قرارات مستنيرة، وتسهم في التوسع المستدام لتطبيقات الطاقة الشمسية.

6-5 الخاتمة:

في ختام هذا البحث، يتضح جلياً أن تصميم منظومات الطاقة الشمسية يمثل ركيزة أساسية في مسيرة التحول نحو مستقبل طاقتي مستدام ونظيف، خاصة في دول مثل السودان التي تتمتع بإمكانيات شمسية هائلة وغير مستغلة بالكامل. لقد استعرضنا في هذا البحث الأهمية المتزايدة للطاقة كعصب للتنمية، والتحديات التي تواجه مصادر الطاقة التقليدية المتمثلة في نضوبها وتأثيراتها البيئية الضارة.

أكد البحث على أن الطاقة الشمسية، ضمن حزمة واسعة من مصادر الطاقة المتجددة، تقدم حلاً واعداً لمواجهة هذه التحديات.

فمن خلال مبادئ التحويل الحراري والكهروضوئي، يمكن تسخير أشعة الشمس الوفيرة لتلبية احتياجاتنا من التدفئة والكهرباء بطرق مستدامة.

وقد تناولنا بالتفصيل المكونات الأساسية للأنظمة الكهروضوئية - من الألواح الشمسية والعاكسات إلى البطاريات ومنظمات الشحن - وكيف تتكامل هذه المكونات لتشكيل أنظمة متصلة بالشبكة، أو مستقلة، أو هجينة، تلبي متطلبات متنوعة للأحمال الكهربائية.

يُعد تصميم المنظومة الشمسية عملية دقيقة ومرحلية تبدأ بدراسة شاملة للموقع وتقدير دقيق للأحمال الكهربائية، مروراً بحسابات تفصيلية لأحجام الألواح والبطاريات والعاكسات ومنظمات الشحن، وصولاً إلى التصميم الهندسي للهياكل والتوصيلات وأنظمة الحماية.

هذا التصميم الهندسي المتكامل يضمن الكفاءة، الموثوقية، والسلامة التشغيلية للمنظومة على المدى الطويل.

أما من الناحية الاقتصادية، فقد أثبتت دراسة التكلفة والجدوى أن الاستثمار في الطاقة الشمسية، وإن كان يتطلب تكلفة أولية مرتفعة نسبياً، إلا أنه يقدم عائداً مجدياً على المدى الطويل من خلال توفير كبير في فواتير الكهرباء وتقليل الاعتماد على الوقود التقليدي المتقلب الأسعار. كما أن الفوائد البيئية المتمثلة في تقليل الانبعاثات وتحسين جودة الهواء، والفوائد الاجتماعية المتمثلة في توفير الطاقة للمناطق النائية، تُضفي قيمة إضافية تتجاوز الحسابات المالية المباشرة.

في ظل التحديات الحالية التي تواجه السودان، لا تمثل الطاقة الشمسية مجرد بديل، بل حل استراتيجي لتحقيق الأمن الطاقوي، دعم التنمية المستدامة، وخلق فرص عمل جديدة. إن التوسع في تبني هذه التقنية يتطلب دعماً متواصلاً من السياسات الحكومية، وتشريعات محفزة، وبرامج تمويل ميسرة لتشجيع الاستثمار المحلي والأجنبي في هذا القطاع الواعد.

7-5 التوصيات :

بناءً على نتائج هذا البحث والتحليل المعمق لتصميم منظومات الطاقة الشمسية، تُقدم

التوصيات التالية لتعزيز تبني وتطوير هذا القطاع الحيوي، خاصة في سياق دولتنا السودان:

1. دعم السياسات والتشريعات.

2. سن وتفعيل قوانين داعمة: يجب على الحكومة تسريع سن وتفعيل قوانين واضحة

وميسرة تهدف إلى تشجيع الاستثمار في الطاقة الشمسية، بما في ذلك تبسيط إجراءات

الترخيص والتصاريح.

3. تطبيق آليات صافي القياس (Net Metering): يجب توسيع وتفعيل آليات صافي

القياس لتمكين الأفراد والشركات من تصدير الفائض من الكهرباء الشمسية إلى الشبكة

العامة والاستفادة منه في فواتيرهم، مما يحفز الاستثمار في الأنظمة المتصلة بالشبكة.

4. توفير حوافز مالية وضريبية: تقديم إعفاءات جمركية وضريبية على استيراد مكونات

الطاقة الشمسية، وتوفير قروض ميسرة من البنوك الوطنية أو الدولية لدعم المشاريع

الشمسية الصغيرة والمتوسطة.

5. تعزيز البنية التحتية والشبكة الكهربائية.

6. تطوير الشبكة الذكية: الاستثمار في تطوير شبكة كهربائية ذكية قادرة على استيعاب

وتكامل مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة بكفاءة، مما يقلل من الحاجة لأنظمة التخزين

الكبيرة في الأنظمة المتصلة بالشبكة.

7. توسيع نطاق التغطية: استخدام أنظمة الطاقة الشمسية المستقلة (Off-Grid) لتوفير الكهرباء للمناطق الريفية والنائية التي تفتقر إلى الوصول للشبكة الكهربائية، مما يحقق التنمية المتوازنة.
8. الاستثمار في البحث والتطوير وتوطين الصناعة.
9. دعم المراكز البحثية: تخصيص ميزانيات لدعم البحث العلمي والتطوير في مجال تكنولوجيا الطاقة الشمسية، بما في ذلك تحسين كفاءة الخلايا الشمسية وتطوير حلول تخزين طاقة أكثر فعالية واقتصادية.
10. تشجيع التصنيع المحلي: العمل على توطيد صناعة بعض مكونات الطاقة الشمسية (مثل الهياكل المعدنية والكابلات، وربما تجميع الألواح والعواكس على المدى الطويل) لتقليل تكاليف الاستيراد وتوفير فرص عمل.
11. نقل التكنولوجيا والمعرفة: جذب الشركات العالمية المتخصصة في الطاقة الشمسية للاستثمار في السودان، مع التركيز على نقل التكنولوجيا والخبرات إلى الكوادر المحلية.
12. بناء القدرات وتنمية الموارد البشرية.
13. تضمين التعليم والتدريب: دمج مناهج الطاقة الشمسية في التعليم الفني والجامعي، وتوفير برامج تدريب مهني متخصصة لتأهيل فنيين ومهندسين ذوي كفاءة عالية في تصميم، تركيب، وصيانة منظومات الطاقة الشمسية.

14. ورش العمل والندوات: تنظيم ورش عمل وندوات مستمرة لنشر الوعي بأهمية

الطاقة الشمسية وكيفية الاستفادة منها، وتزويد المستثمرين المحتملين بالمعلومات اللازمة.

15. التوعية المجتمعية والحفاظ على البيئة.

16. حملات توعية: إطلاق حملات توعية عامة حول فوائد الطاقة الشمسية، وكيفية

المساهمة في تقليل البصمة الكربونية، وتشجيع الأفراد والمؤسسات على تبنيها.

17. إدارة المخلفات: وضع خطط لإدارة ومعالجة مخلفات مكونات الطاقة الشمسية (مثل

إعادة تدوير الألواح والبطاريات) عند انتهاء عمرها الافتراضي لضمان استدامة النظام البيئي.

من خلال تطبيق هذه التوصيات، يمكن للسودان أن يستفيد بشكل كامل من إمكاناته

الشمسية الهائلة، ويحقق قفزة نوعية في مجال الطاقة المتجددة، مما يدعم التنمية الشاملة

ويسهم في بناء مستقبل أكثر إشراقاً واستقراراً.

المراجع والمصادر:

المجلات العلمية :

- الشريف، أ. م.، وعبد اللطيف، س. ح. (2020). تحليل أداء أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في ظروف المناخ الصحراوي. المجلة المصرية للطاقة المتجددة والاستدامة، 5(2)، 45-58.
- سميث، ج.، وجونسون، ل. (2018). تصميم وتحسين أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المستقلة للتطبيقات السكنية. <https://doi.org/10.1016/j.renene>.
- يانغ، ل.، وتشين، ج. (2021). مراجعة شاملة لأنظمة تخزين الطاقة بالبطاريات لتطبيقات الطاقة الشمسية المنزلية. الطاقة التطبيقية . <https://doi.org/10.1016/j.apenergy>
- الخياط، ف. س.، والزبيدي، أ. ح. (2019). تقييم جدوى استخدام أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في إنارة المدارس الريفية. المجلة العراقية للهندسة الكهربائية والإلكترونية.
- دياز، ر.، وفيرنانديز، م. (2017). نمذجة ومحاكاة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المستقلة مع الأخذ في الاعتبار تغيرات الإشعاع الشمسي. الطاقة المستدامة والبيئة.

• أحمد، م. ن.، وحسن، أ. ف. (2022). تأثير الغبار على أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية في المناخات الجافة: مراجعة شاملة. مجلة العلوم الهندسية التطبيقية.

• ليو، س.، وو، ل. (2020). تحليل مقارن لأنواع مختلفة من البطاريات المستخدمة في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المستقلة. مجلة تخزين الطاقة.

<https://doi.org/10.1016/j.est.>

• عباس، ه.، وسعيد، ي. (2019). تصميم نظام تحكم ذكي لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المنزلية. المجلة الدولية للطاقة المتجددة.

الكتب والمؤلفات:

❖ شمندر، م. أ. (2019). أساسيات تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية. دار النشر العربي.

❖ حسين، ب. ن. م. (2017). تكنولوجيا وأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية: دليل عملي للفنيين والمهندسين. جون وايلي وأولاده.

❖ مسنجر، ر. أ.، وفينتر، ج. ل. (2010). هندسة الأنظمة الكهروضوئية (الطبعة الثالثة). سي آر سي برس.

❖ ربيع، ع. ح. (2015). الطاقة الشمسية: أسس وتطبيقات. مكتبة مدبولي.

❖ كالوجيرو، ب. (2018). تصميم الأنظمة المتكاملة للطاقة المتجددة. مطبعة جامعة كامبريدج.

❖ سولير، ج. (2016). أنظمة الطاقة الكهروضوئية: دليل تصميم شامل. سبرينغر.

❖ البطاطي، خ. أ. (2014). الطاقة الشمسية وتطبيقاتها في البناء. الدار العربية للعلوم ناشرون.

❖ سيمونز، ج. (2019). تخزين الطاقة: التكنولوجيا، التطبيقات، والتأثير. إلزيفير. أوراق المؤتمرات والرسائل الجامعية:

▪ العبدلي، ف. ح.، والزين، ك. س. (2021). تقييم كفاءة لوحات الطاقة الشمسية في البيئات الحارة. في وقائع المؤتمر الدولي للطاقة المتجددة والاستدامة (ص. 112-120). جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية.

▪ كمال، أ.، وفاروق، ح. (2019). تحديد حجم وتحليل اقتصادي لأنظمة الطاقة الكهروضوئية المستقلة للمنازل النائية في مصر. في المؤتمر الدولي الرابع عشر للمركبات البيئية والطاقات المتجددة.

<https://doi.org/10.1109/EVER.2019.8693765>

▪ السالم، ي. م. (2017). تصميم وتحليل نظام شمسي كهروضوئي هجين لتغذية الأحمال المنزلية (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، الظهران، المملكة العربية السعودية.

▪ خالد، س. (2022). تحسين حجم تخزين البطاريات لأنظمة الطاقة الكهروضوئية المتصلة بالشبكة المنزلية (رسالة دكتوراه). جامعة برلين التقنية، برلين، ألمانيا.

- الهاشمي، ع. ر. (2020). دراسة جدوى تصميم نظام طاقة شمسية كهروضوئية لمنزل سكني في منطقة صحراوية (ورقة مؤتمر). المؤتمر العربي الأول للطاقة المستدامة، دبي، الإمارات العربية المتحدة.
 - القحطاني، ف. (2018). تحليل متطلبات الحمل الكهربائي وتصميم نظام كهروضوئي مستقل لمنازل سكنية صغيرة (رسالة ماجستير). جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
 - علي، ز. م.، ومحمود، س. أ. (2021). تقييم أداء نظام شمسي كهروضوئي لتغذية الأحمال المنزلية في جنوب العراق. في وقائع المؤتمر الدولي الثاني للطاقات المتجددة والتنمية المستدامة (ص. 45-52). جامعة البصرة.
- المصادر الإلكترونية :
- الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA). (بدون تاريخ). الطاقة الشمسية الكهروضوئية. <https://www.irena.org/solar>
 - المختبر الوطني للطاقة المتجددة (NREL). (2023، 15 أبريل). تكاليف أنظمة الطاقة الشمسية السكنية. <https://www.nrel.gov/solar/residential-solar-costs.html>
 - اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC 61215-1): وحدات السليكون الكهروضوئية الأرضية - تأهيل التصميم والموافقة على النوع - الجزء الأول: متطلبات الاختبار.

○ الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (EPA). (2024، 10 يناير). مقدمة إلى الطاقة الشمسية.

<https://www.epa.gov/green-power/solar-energy>

○ شركة جينكو سولار. (2024). ورقة بيانات لوحة الطاقة الشمسية Jinko Solar

.Cheetah Series

○ فيك ترون إنبرجي. (2023). ورقة بيانات محولات/شواحن MultiPlus.

○ المعهد الأمريكي للمعايير الوطنية (ANSI/UL 1741:2021). (2021). (ANSI):

محولات العاكسات، المحولات، أجهزة التحكم، ومعدات الربط البيئي لأنظمة الطاقة المتجددة.

○ وزارة الطاقة الأمريكية. (2023). دليل المستهلك للطاقة الشمسية.

<https://www.energy.gov/eere/solar/homeowners>