الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الوادي
كلية العلوم الدقيقة
قسم الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

الشعبة: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع وطاقة

من إعداد الطالبة: هباز يمنى

الموضوع

دور البطاريات في تخزين الطاقة الشمسية للاستهلاك المنزلي -دراسة حالة-

نوقشت بتاريخ [2025/09/30]

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

الاسم واللقب	الرتبة	الجامعة	الصفة
ضيف الله مصباح	أستاذ التعليم العالي	جامعة الوادي	رئيسًا
عطية محمد الهادي	أستاذ التعليم العالي	جامعة الوادي	مناقشًا
خلفاوي فضيلة	أستاذ محاضر ب	جامعة الوادي	مشرفًا

السنة الجامعية: 2024-2025م / 1446-1447هـ

شكر وعرفان

أول من يشكر ويحمد آناء الليل وأطراف النهار هو العلي القهار الأول والآخر والظاهر والباطن الذي أغرقنا بنعمه التي لا تحصى وأغدق علينا برزقه الذي لا يفنى وأنار دروبنا، فله جزيل الحمد والثناء العظيم، هو الذي أرسل فينا عبده ورسوله محمدا بن عبد الله عليه أزكى الصلوات وأطهر التسليم أرسله بقرآنه المبين، فعلمنا ما لم نعلم وحثنا على طلب العلم أينما وجد.

لله الحمد كله والشكر كله أن وفقنا وألهمنا الصبر على المشاق التي واجهتنا لإنجاز هذا العمل المتواضع.

والشكر موصول إلى الدكتورة المشرفة: خلفاوي فضيلة التي لم تبخل علي بعلمها ولا بوقتها في سبيل إثراء هذه المذكرة، فلها مني جزيل الشكر والتقدير والاحترام سائلة المولى عز وجل أن يجزيها عني كل خير.

كما أرفع كلمة الشكر للجنة المناقشة على الوقت والجهد المبذول لتنقيح هذه المذكرة.

أشكر كل من مدّ لي يد العون من قريب أو بعيد.

وفي الأخير لا يسعني إلا أن أدعو الله عز وجل أن يرزقنا السداد والرشاد والعفاف والغنى وأن يجعلنا هداة مهتدين.

الإهداء

إلى الذي أوصاني الله به برا وإحسانا وأهدى لي سنين عمره والدي الحبيب.

إلى بحر الحب والحنان والنبض الساكن في عروقي أمي الحنونة.

إلى نجوم سمائي المتلألئة وسندي في الحياة إخوتي وأخواتي.

إلى أساتذتي الأكارم شموع العطاء.

إلى كل من علمني حرفا وكان سببا في وصولي إلى ما أنا عليه اليوم.

أهدي إليكم ثمرة جهدي المتواضع وأسأل الله العلي العظيم أن يفتح لي ولكم أبواب الخير والتوفيق.

يمنى

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى معالجة إشكالية ارتفاع الطلب المنزلي على الطاقة الكهربائية خلال فصل الصيف في ولاية المغير - الجزائر-، والبحث في مدى قدرة المنظومة الشمسية المخزنة للطاقة على تعويض جزء معتبر من هذا الاستهلاك خلال ساعات غياب الإشعاع الشمسي. تركّز الدراسة على حساب الاستهلاك الفعلي للطاقة الكهربائية المنزلية، حساب الطاقة المنتجة، وتحديد متطلبات التخزين والمعدات الكهربائية اللازمة لتصميم منظومة شمسية فعّالة. أظهرت النتائج أنّ الاستهلاك اليومي المنزلي بلغ 33.93kWh/day، بينما تنتج للألواح الشمسية $(620W)$ إنتاج $64{,}8\ kWh/day$، أي ما يعادل تغطية تقارب 52% من الاستهلاك الفعلي عند الأخذ بعين الاعتبار الخسائرالممكنة لطاقة. كما بيّنت الحسابات أنّ نظام التخزين بجهد $48V$ يتطلب 24 بطارية $(260Ah)$ موزعة على 6 سلاسل متوازية، كل سلسلة مكونة من 4 بطاريات على التوالي. أما بالنسبة لمكوّنات التحكم والتحويل، فقد وُجد أنّ المنظومة تحتاج إلى منظم شحن من نوع MPPT قادر على التعامل مع تيار يقارب $225A$، إضافة إلى محول قدرة $5kW$ لضمان تشغيل مختلف الأحمال المنزلية.

كلمات مفتاحية: طاقة كهربائية، المنظومة الشمسية، ألواح شمسية، بطارية، منظم شحن.

Abstract:

This work aims to study the high electricity demand during the summer in El-Meghaier, Algeria, and to examine the extent to which a solar energy storage system can offset the consumption during periods of absent solar radiation. The study focuses on calculating the daily electricity consumption of the house, the energy produced, the storage requirements, and the necessary devices to design an effective solar system. The results show that daily consumption of the house is 33.93 kWh/day, while the solar panels of 620W produce 64.8 kWh/day, which covers approximately 52% of the actual consumption with potential energy losses. The calculations also indicate that a 48V system requires 24 batteries $(260Ah)$, arranged in 6 parallel strings, which have 4 batteries connected in series. The system requires an MPPT charge controller capable of handling a current of approximately 225A, in addition to a 5kW power inverter to operate the various household.

Keywords: Electrical power, solar system, solar panels, battery, charge controller.

الفهرس

الفهرس I
قائمة الاختصارات والرموز: V
قائمة الجداول: VII
قائمة الأشكال: VIII
مقدمة: 2

الفصل الأول: الأسس الفيزيائية لتخزين الطاقة الشمسية باستخدام البطاريات.

I. المبادئ الفيزيائية للخلايا الشمسية (Photovoltaic Cells) -الخلايا الكهروضوئية-: 5
1.I. آليات التفاعل مادة-إشعاع: 5
1.1.I. التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect: 5
2.1.I. تشتت كومبتون Compton Scattering: 6
II. النظام الكهروضوئي: 7
III. الخلايا الكهروضوئية: 8
1.III. الخلية الكهروضوئية: 9
2.III. التركيب الفيزيائي للخلايا الكهروضوئية: 9
1.2.III. أشباه الموصلات: 10
2.2.III. أصناف أشباه الموصلات: 11
3.2.III. الوصلة PN (PN Junction): 13
4.2.III. مكونات الخلية الكهروضوئية: 13
3.III. مبدأ التحويل الكهروضوئي: 15
4.III. الخصائص الكهربائية للخلايا الكهروضوئية: 15
1.4.III. تيار الدارة المغلقة أو تيار دارة القصر Isc: 16
2.4.III. فرق جهد الدارة المفتوحة Voc: 16
3.4.III. الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية Pmax: 16
4.4.III. معامل الشكل FF: 17
5.4.III. كفاءة الخلية الكهروضوئية η: 17

III.5. أنواع الخلايا الكهروضوئية: 18
III.5.1. خلايا سيليكونية: 18
III.5.2. خلايا شريطية: 18
III.5.3. خلايا عضوية: 19
III.6. أجيال الخلايا الكهروضوئية: 19
III.6.1. خلايا الجيل الأول: 19
III.6.2. خلايا الجيل الثاني: 20
III.6.3. خلايا الجيل الثالث: 20
III.7. توصيل الألواح الشمسية: 20
III.7.1. توصيل على التوالي (التسلسل): 20
III.7.2. توصيل على التوازي: 20
III.7.3. توصيل مختلط: 21
III.8. العوامل المؤثرة على أداء الخلية: 22
III.8.1. تأثير ضوء الشمس: 22
III.8.2. تأثير درجة الحرارة: 24
IV. البطاريات: 25
IV.1. أنواع البطاريات المستخدمة في الأنظمة الشمسية: 26
IV.1.1. بطارية الرصاص-حمض (Lead-Acid): 27
IV.1.2. بطاريات الليثيوم-أيون (Li-Ion): 27
IV.1.3. بطاريات ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$): 28
IV.2. التفاعلات الكيميائية وآلية التخزين الفيزيائي: 31
IV.2.1. الخلية الكهروكيميائية: 31
IV.2.2. تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية: 31
IV.2.3. العوامل المؤثرة على كفاءة التخزين: 33

الفصل الثاني: العلاقة النظرية بين الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية والطاقة المخزنة في البطاريات.

I. الطاقة الناتجة عن الخلايا الشمسية (Photovoltaic Energy): 39
II. قدرة وسعة البطارية: 39
III. مفهوم عمق التفريغ (Depth of Discharge - DoD): 40

IV. الطاقة المنتجة والطاقة المخزنة: 41
V. العلاقة بين إنتاج الطاقة وتخزينها في الأنظمة الكهروضوئية: 43
1.V. إنتاج أعلى من الطلب 43
2.V. إنتاج أقل من الطلب: 43
3.V. إنتاج مساو للاستهلاك تقريبا: 43
VII. العوامل المؤثرة على الطاقة المنتجة والمخزنة: 44
1.VII. مساحة الألواح الشمسية: 44
2.VII. زاوية الانحراف الشمسي: 44
3.VII. درجة الحرارة: 44
4.VII. جودة البطاريات وكفاءتها: 45
5.VII. نظام التحكم في الشحن والتفريغ: 45

الفصل الثالث: حساب الاستهلاك المنزلي للطاقة وعلاقته بالبطاريات والخلايا الشمسية.

I. أنظمة الطاقة الكهروضوئية في الجزائر: 50
II. أهم العلامات التجارية للألواح الشمسية المتوفرة في الجزائر: 50
III. أهم العلامات التجارية لبطاريات التخزين المتوفرة في الجزائر: 50
IV. تعريف الاستهلاك المنزلي للطاقة: 51
1.IV. المنزل: 51
1.1.IV. الطاقة المنتجة من طرف الألواح الشمسية: 53
2.1.IV. تحديد جهد نظام الطاقة الشمسية: 54
3.1.IV. حساب عدد البطاريات اللازمة: 54
4.1.IV. الاستطاعة الشمسية المطلوبة من المنظومة الشمسية في الساعة الواحدة: 57
5.1.IV. عدد الألواح اللازمة لتغذية المنزل: 57
6.1.IV. حساب الطاقة المخصصة لشحن البطاريات: 59
7.1.IV. حساب قدرة العاكس: 59
8.1.IV. تحديد منظم الشحن ومواصفاته: 60
9.1.IV. المخطط العام للمنظومة الشمسية: 62
خاتمة: 66

قائمة الاختصارات والرموز:

- E_c: الطاقة الحركية للإلكترون $(Joule)$.
- $h\nu$: طاقة أشعة غاما $(Joule)$.
- $h\nu_o$: طاقة ربط الإلكترون $(Joule)$.
- $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} m^2\ kg\ /\ s$: ثابت بلانك.
- E_g: الفجوة الطاقية (eV).
- I_{SC}: تيار دارة القصر (A).
- V_{OC}: فرق جهد الدارة المفتوحة (V).
- P_{max}: الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية (W).
- **(Maximum Power Point (MPP))**: نقطة الاستطاعة القصوى.
- $FF(Fill\ Factor)$: معامل الشكل.
- η: كفاءة الخلية الكهروضوئية.
- G: الإشعاع الشمسي الساقط $(W\ /\ m^2)$.
- A: المساحة السطحية للوح (m^2).
- **PV Systems**: أنظمة الطاقة الكهروضوئية.
- **DoD (Depth of Discharge):** العمق المسموح للتفريغ.
- E_{PV}: الطاقة المنتجة $(W\text{h})$.
- P_{PV}: قدرة اللوح الشمسي (W).
- **(Energy Management System – EMS)**: أنظمة إدارة الطاقة.
- **(PWM)(Pulse Width Modulation) :** منظم الشحن بتعديل عرض النبضة.
- **(MPPT)(Maximum Power Point Tracking) :** منظمات الشحن بتتبع نقطة القدرة القصوى.
- Ah_a: الأمبير الساعي الكلي (Ah).
- Ah_d: الأمبير الساعي اليومي (Ah/day).
- TC: معامل تصحيح درجة الحرارة (معامل يعطى من طرف الشركة المصنعة للبطارية).
- DA: عدد الأيام الغائمة على التوالي.
- DM: هامش التصميم (نسبة الخطأ في التصميم).
- N_{bs}: عدد سلاسل البطاريات.
- N_{PV}: عدد الألواح الشمسية.
- E_{Bat}: الطاقة المخصصة لشحن البطاريات (W).

- P_{PV}: قدرة اللوح الشمسي (W).
- N_{PV}: عدد الألواح الشمسية.
- N_h: ساعات الذروة الشمسية الفعلية في الموقع.
- E_m: الطاقة المستهلكة في النهار (W).
- P_{inv}: استطاعة العاكس (W).
- I_{con}: تيار منظم الشحن (A).
- SF: عامل الأمان.
- P_{inv}: استطاعة العاكس (W).
- P_t: الاستطاعة الكلية للأجهزة الكهربائية (W).

قائمة الجداول:

الجدول	العنوان	الصفحة
الجدول(I-1)	جدول يوضح مميزات وعيوب بطاريات الرصاص-حمض (Lead-Acid).	29
الجدول(I-2)	جدول يوضح مميزات وعيوب بطاريات الليثيوم-أيون (Li-Ion).	30
الجدول(I-3)	مميزات وعيوب بطاريات ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$).	31
جدول(I-4)	مقارنة بين أنواع البطاريات الثلاث.	33
الجدول(III-1)	الأجهزة الكهربائية المستخدمة في المنزل 1.	55

قائمة الأشكال:

الشكل	العنوان	الصفحة
الشكلI-1	رسم تخطيطي يوضح التأثير الكهروضوئي.	5
الشكلI-2	رسم تخطيطي يوضح تشتت الفوتون نتيجة أثر كومبتون.	6
الشكلI-3	رسم تخطيطي يوضح مكونات اللوح الشمسي.	7
الشكلI-4	رسم تخطيطي يوضح مكونات النظام الكهروضوئي.	8
الشكلI-5	عنصر السيليكون.	9
الشكلI-6	مخطط حزم الطاقة في المواد الصلبة.	10
الشكلI-7	الترابط التساهمي لذرات متجاورة من مادة السيليكون.	11
الشكلI-8	رسم توضيحي لشبه موصل من نوع N.	12
الشكلI-9	رسم توضيحي لشبه موصل من نوع P.	13
الشكلI-10	فكرة تكوين الوصلة الثنائية الموجبة والسالبة وعلاقتها مع توزيع الشحنات.	14
الشكلI-11	مخطط توضيحي لمكونات الخلية الكهروضوئية.	15
الشكلI-12	مخطط توضيحي لمبدأ التحويل الكهروضوئي في الخلية الكهروضوئية.	16
الشكلI-13	العلاقة بين الجهد والتيار لخلية كهروضوئية.	16
الشكلI-14	أنواع الخلايا السيلسكونية.	19
الشكلI-15	صورة توضح الخلايا العضوية.	20
الشكلI-16	توصيل الألواح الشمسية على التوالي.	22
الشكلI-17	توصيل الألواح الشمسية على التوازي.	22
الشكلI-18	التوصيل المختلط للألواح الشمسية.	23
الشكلI-19	منحنى يوضح تأثير شدة الإضاءة على خاصية التيار بدلالة الجهد.	24
الشكلI-20	منحنى يوضح تأثير شدة الإضاءة على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد.	25
الشكلI-21	منحنى يوضح تأثير درجة الحرارة على خصائص الجهد والتيار.	26
الشكلI-22	منحنى يوضح تأثير درجة الحرارة على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد.	26
الشكلI-23	مخطط يوضح نظام On-Grid ونظام Off-Grid.	28
الشكلI-24	صورة توضيحية لبطارية الرصاص-حمض (Lead-Acid).	30
الشكلI-25	مخطط توضيحي لتركيب بطارية الليثيوم-أيون (Li-Ion).	31
الشكلI-26	مخطط توضيحي تركيب بطارية ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$).	32
الشكلI-27	مخطط يوضح مكونات الخلية الكهروكيميائية.	34

الشكلI-28	رسم تخطيطي يوضح عمليتي الشحن والتفريغ في البطاريات.	36
الشكلII-1	منظم الشحن PWM.	49
الشكلII-2	منظم الشحن MPPT.	50
الشكلII-3	مخطط يوضح موقع تركيب منظم الشحن.	51
الشكلIII-1	مخطط نظام 48V.	58
الشكلIII-2	البطارية المستعملة في النظام الكهروشمسي.	59
الشكلIII-3	خصائص اللوح الشمسي المختار.	63
الشكلIII-4	مخطط توضيحي لمنظومة الطاقة الشمسية لاستهلاك طاقة للمنزل المدروس.	67

مقدمة

مقدمة:

تُعَدُّ الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح، والطاقة الشمسية، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية من أهم الحلول المستدامة لتلبية احتياجات الطاقة العالمية دون الإضرار بالبيئة. تزداد أهمية هذه المصادر البيئية والاقتصادية في ظل التحديات التي يسببها الاعتماد على الوقود الأحفوري من تلوث بيئي وتغير في المناخ.

تعتبر الطاقة الشمسية واحدة من أكثر أشكال الطاقة المتجددة توفراً ونظافة، وجزءًا لا يتجزأ من الاستراتيجية العالمية لتحقيق مستقبل أكثر استدامة وصداقة للبيئة، حيث تستغل ضوء الشمس وتحوله إلى طاقة كهربائية أوحرارية دون إصدار ملوثات ضارة. تُسهم الطاقة الشمسية في تحسين جودة الهواء وتقليل انبعاثات الكربون التي تشكل ضررا بيئيا. كما تُمكّن المجتمعات من الوصول إلى الطاقة في المناطق النائية والمعزولة. أما من الجانب الاقتصادي، فهي تتيح فرصاً واسعة للاستثمار وتوليد وظائف جديدة، بالإضافة إلى تقليل تكاليف الطاقة على المدى الطويل وتحقيق استقلالية في مصادر الطاقة.

شهدت تقنيات الطاقة الشمسية الضوئية (PV) تطورات حديثة عززت بشكل كبير من كفاءة مواد وتطبيقات أنظمة الطاقة الشمسية، مما يدفع إلى التوجه نحو حلول طاقوية أكثر استدامة، وذلك ما بينته دراسة حديثة (**Ogundipe et al., 2024**)، إذ حققت خلايا شمسية متعددة الوصلات التي تتكون من طبقات متعددة من مواد أشباه الموصلات كفاءات تفوق 40% تحت ضوء الشمس المركز. بالإضافة إلى ذلك ساهمت التطورات في تقنية خلايا الباعث المعزول بالخلف (PERC) والخلايا الشمسية ذات الوجهين، التي تلتقط الضوء من جانبيها، في زيادة كفاءة خلايا السيليكون التقليدية [1].

كما تلعب البطاريات دورًا حيويًا في منظومة الطاقة الشمسية، حيث تُستخدم لتخزين الطاقة الكهربائية التي تولدها الألواح الشمسية خلال ساعات النهار لاستخدامها لاحقًا في أوقات الليل أوالظروف الجوية الغائمة. وتعمل البطاريات على ضمان استمرار إمدادات الطاقة الكهربائية بشكل مستقر ومستدام؛ فيعزز ذلك من استقلالية النظام الشمسي ويقلل الاعتماد على الشبكات الكهربائية التقليدية. من جهة أخرى، تُسهم في توفير طاقة احتياطية خلال انقطاع التيار الكهربائي وتحسين استقرار الجهد الكهربائي وإدارة الأحمال، مما يجعل النظام أكثر كفاءة وموثوقية. وقد أظهرت دراسة قام بها مجموعة من الباحثين (**Xue et al., 2022**) تطوير بطاريات معدنية قابلة لإعادة الشحن ومحسنة بالضوء من خلال دمج داخلي بين تقنية الخلايا الشمسية والبطاريات المعدنية عالية الكثافة الطاقية في جهاز واحد مما يبسط تكوين الجهاز، ويخفض التكاليف، ويقلل من فقدان الطاقة الخارجي [2].

يُعد تحسين تخزين الطاقة الشمسية باستخدام البطاريات من المحاور الأساسية، التي تسهم في تعزيز كفاءة واستدامة نظم الطاقة المتجددة. وبفضل هذه التطورات، يمكن للطاقة الشمسية أن تلعب دورًا رئيسيًا في بناء مستقبل طاقي نظيف وأكثر استدامة يلبي الاحتياجات المتنوعة للمجتمعات والمشروعات المختلفة، مع تقليل الأثر البيئي وتحقيق فوائد اقتصادية مجتمعية واسعة.

تهدف هذه الدراسة إلى إبراز العلاقة بين الاستهلاك اليومي من الطاقة الكهربائية والمنظومة الشمسية المتكونة من ألواح شمسية وبطاريات تخزين، وتقييم أداءها وتحديد أهميتها في تحسين استدامة وكفاءة نُظم الطاقة الشمسية. إذن كيف يمكن تحسين كفاءة وفعالية أنظمة تخزين الطاقة الشمسية باستخدام البطاريات؟ وكيف يمكن تصميم نظام شمسي متكامل يحقق توازناً فعالاً بين استهلاك الكهرباء وعدد الألواح الشمسية والبطاريات؟

مقدمة:

تتكون هذه الدراسة من ثلاث فصول، يتناول **الفصل الأول** الأسس الفيزيائية لتخزين الطاقة الشمسية باستخدام البطاريات. أما **الفصل الثاني** فيشرح العلاقة النظرية بين الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية والطاقة المخزنة في البطاريات. وتتطرق في **الفصل الأخير** إلى حساب الإستهلاك المنزلي للطاقة وعلاقته بالبطاريات والخلايا الشمسية بهدف تصميم نظام شمسي يغطي هذا الإستهلاك بأعلى كفاءة ممكنة.

المراجع:

[1] Ogundipe, O. B., Okwandu, A. C., & Abdulwaheed, S. A. (2024). Recent advances in solar photovoltaic technologies: Efficiency, materials, and applications. *GSC Advanced Research and Reviews*, *20*(1), 159-175.

[2] Xue, H., Gong, H., Yamauchi, Y., Sasaki, T., & Ma, R. (2022). Photo-enhanced rechargeable high-energy-density metal batteries for solar energy conversion and storage. *Nano Research Energy*, *1*(1), e9120007-e9120007.

الفصل I: الأسس الفيزيائية لتخزين الطاقة الشمسية باستخدام البطاريات

تمهيد:

مع زيادة الاستهلاك العالمي للطاقة وما ينجر عليه من مشاكل مناخية، أصبح التوجه نحو مصادر طاقة بديلة وصديقة للبيئة ضرورة ملحة. تُعد الطاقة الشمسية من أبرز هذه البدائل، كونها مصدراً متجدداً، نظيفاً، مستداماً ومتوفراً في جميع الأماكن دون انبعاثات ملوثة أو نفايات صناعية، على عكس الوقود الأحفوري المحدود الموارد.

تعد الطاقة الشمسية أحد المصادر الطاقة البديلة للوقود الأحفوري وتحد من الاعتماد عليه، مما يخفض من معدلات الاحتباس الحراري ويقلل من المخاطر البيئية المرتبطة به، فضلا عن قابليتها للتطبيق في المناطق النائية التي تفتقر إلى البنية التحتية الكهربائية التقليدية.

تتمتع الجزائر بمساحة جغرافية واسعة وتنوع في الأقاليم المناخية، فينعكس ذلك إيجاباً على مستويات الإشعاع الشمسي في البلاد. وبما أن ولاية المغير تقع جغرافيا في شمال شرق الصحراء الجزائرية؛ فإن موقعها يضمن لها معدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي. ما يجعل منها مصدر وفيرا للطاقة الشمسية في هذه المنطقة.

I. المبادئ الفيزيائية للخلايا الشمسية (Photovoltaic Cells) -الخلايا الكهروضوئية-:

إن الخلايا الشمسية أو ما يعرف بالخلايا الكهروضوئية هي الوسيلة الأساسية التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وحتى نفهم طريقة عملها وجب علينا معرفة كيفية تفاعل الإشعاع مع المادة.

1.I. آليات التفاعل مادة-إشعاع:

1.1.I. التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect:

هي ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح جسم صلب عند سقوط أمواج كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية صغيرة عليه.

يتفاعل الفوتون مع أحد الإلكترونات المرتبطة بالذرة؛ أي مع أحد الالكترونات في مستوياتها الداخلية (الطبقات L،k) فيختفي الفوتون تماما ويظهر الإلكترون الذري أو الإلكترون الضوئي الذي يحمل طاقة تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط وطاقة ربط الإلكترون بالذرة [1-2].

تُعطى معادلة الطاقة الحركية للإلكترون الضوئي بالعلاقة:

$$h\nu = h\nu_o + E_c \qquad (\mathbf{I.1})$$

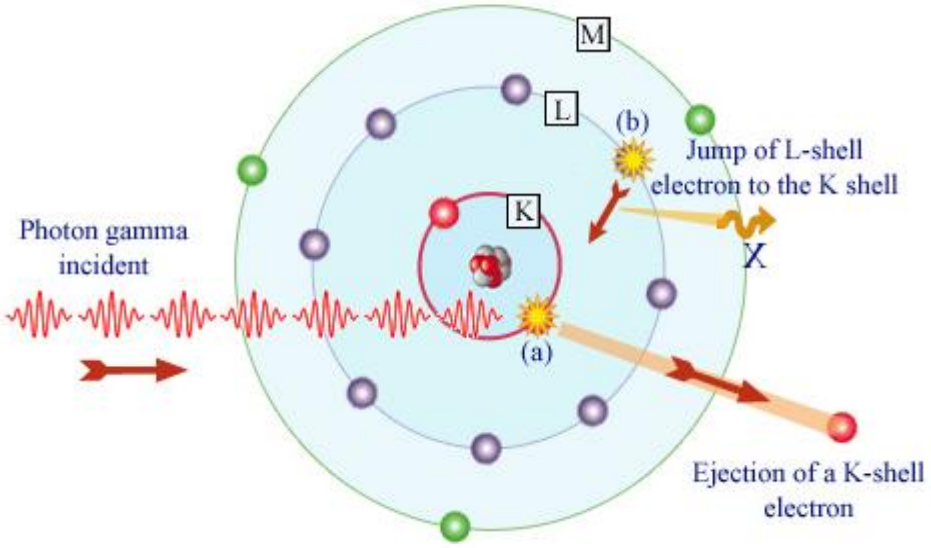
حيث:

E_c: الطاقة الحركية للإلكترون الضوئي.

$h\nu$: طاقة الفوتون.

$h\nu_o$: طاقة ربط الإلكترون.

في حين أنّ المكان الشاغل للإلكترون الضوئي المنبعث (الشكلI-1)؛ فيملئ بواسطة إلكترونات من المدارات الخارجية للذرة، وينجر عن ذلك انبعاث أشعة X المميزة للعنصر.



الشكلI-1: رسم تخطيطي يوضح التأثير الكهروضوئي [3] .

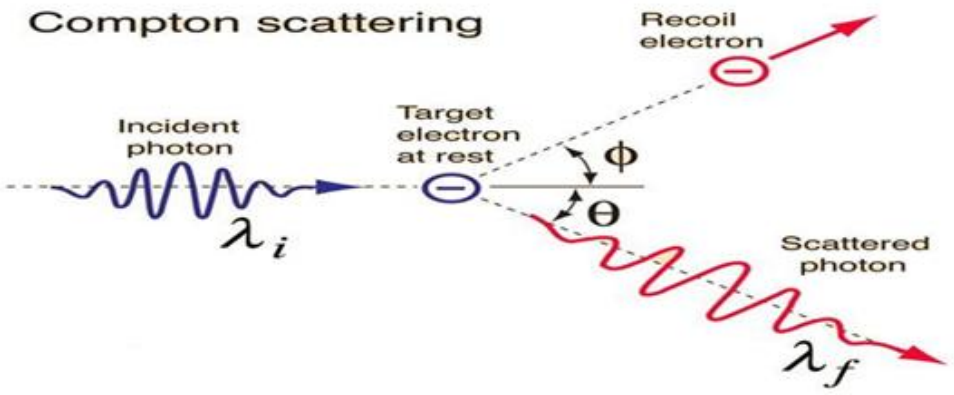
2.1.I. تشتت كومبتون Compton Scattering:

يحدث تشتت كومبتون نتيجة تصادم مرن بين فوتون ذو طاقة عالية بإلكترون حر ساكن، الذي بدوره يتشتت مغيرا من مساره بزاوية θ فاقدا جزءا من طاقته؛ أما الالكترون فيتبعثر ويكتسب طاقة حركية [2] تعطى بالعلاقة التالية:

$$E = E\gamma - E\gamma^{-} \quad (\mathbf{I.2})$$

حيث:

E: الطاقة الحركية للإلكترون المبعثر.
$E\gamma$: طاقة الفوتون الوارد.
$E\gamma^{-}$: طاقة الفوتون المشتت.

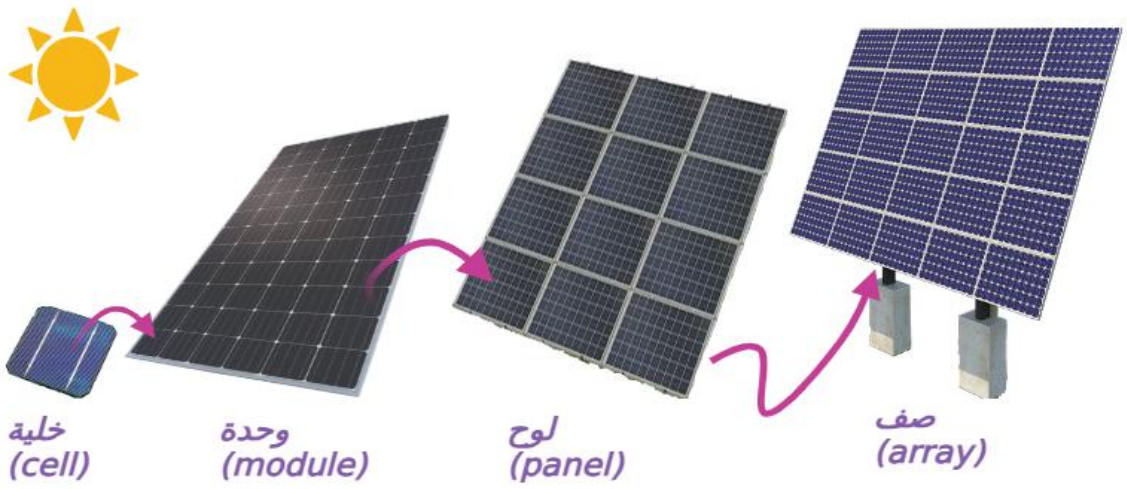


الشكلI-2: رسم تخطيطي يوضح تشتت الفوتون نتيجة أثر كومبتون [4].

II. النظام الكهروضوئي:

هو نظام يعمل على تحويل الطاقة الضوئية القادمة من الشمس إلى طاقة كهربائية باستخدام ظاهرة التأثير الكهروضوئي (الشكلI-4)، يتكون من أربع عناصر أساسية وهي:

1. **الألواح الشمسية:** تُعرف على أنّها الجزء الظاهر من النظام الكهروضوئي والذي يتم تثبيته على الأسطح (الشكلI-3)، وتتكون من:
   - **الخلية الشمسية:** يتكون بتكرارها الوحدة الشمسية.
   - **الوحدة الشمسية:** يتكون بتكرارها الصف الشمسي.
   - **الصف الشمسي:** مجموعة الصفوف الشمسية يشكل الألواح الشمسية [5].



الشكلI-3: رسم تخطيطي يوضح مكونات اللوح الشمسي[6] .

2. منظمات الشحن:

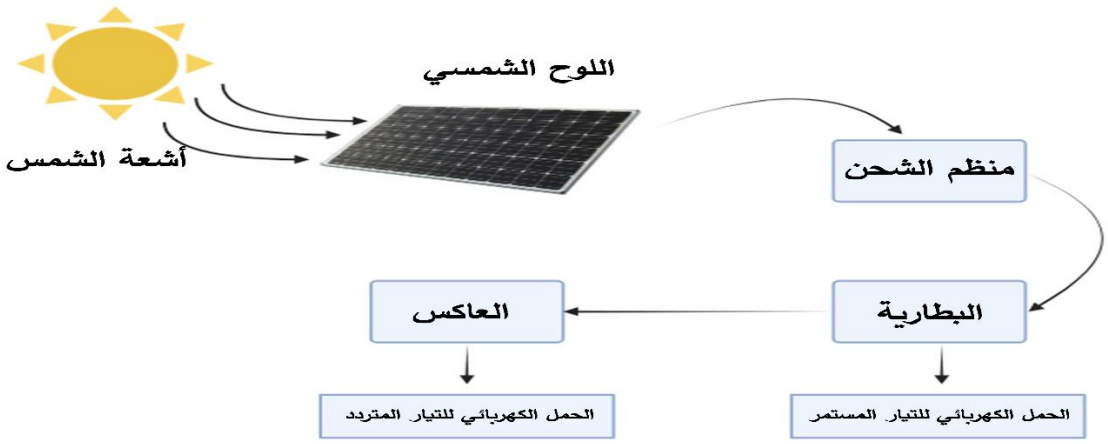
هي أجهزة إلكترونية تعمل على تنظيم التيار الكهربائي الوارد من الخلايا الشمسية إلى البطاريات، وكذلك الصادر من البطارية إلى الحمل الكهربائي (الأجهزة أو المعدات التي تستهلك الكهرباء). ويهدف استخدام هذا النوع من الأجهزة للمحافظة على البطاريات المستخدمة والزيادة من مدة حياتها لأطول وقت ممكن، مع ضمان الاستخدام بصورة أمثل [7].

3. البطاريات:

تُعرف البطارية على أنها جهاز يعمل كمصدر للتيار المستمر. تتكون أساسا من خلية كهروكيميائية واحدة أو عدد من الخلايا الكهروكيميائية التي يتم تجميعها في غلاف مشترك وتوصيلها معًا، لتعمل كمصدر للطاقة الكهربائية [8] .

4. العواكس (المحولات):

يعد العاكس من أهم مكونات النظام الكهروضوئي، تكمن وظيفة هذا الجهاز بتحويل التيار الكهربائي المستمر(DC) الناتج عن الألواح الشمسية إلى تيار متردد (AC)؛ بهدف تشغيل الأجهزة الكهربائية واستخدامه في الأغراض المنزلية [7].



الشكلI-4: رسم تخطيطي يوضح مكونات النظام الكهروضوئي.

III. الخلايا الكهروضوئية:

اكتشف الفيزيائي الفرنسي **ألكسندر إدموند بيكريل** (Alexandre-Edmond Becquerel, (1820-1891 أول مرة ظاهرة التأثير الكهروضوئي عام 1839م. وهو الاكتشاف العلمي الأساسي الذي تستند إليه تقنية الخلايا الشمسية (الخلايا الكهروضوئية) في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية [9].

في عام 1883 م قام العالم الأمريكي **تشارلز فريتس** (Charles Fritts (1850 - 1903)) بصنع أول خلية شمسية باستخدام طبقة رقيقة من الذهب على شبه موصل السيلينيوم؛ لكنها كانت ذات كفاءة منخفضة جدا [10].

شهد القرن العشرين تطورات علمية مهمة، حيث قدم **ألبرت أينشتاين** (Albert Einstein (1879-1955) ورقة علمية شرح فيها مفهوم التأثير الكهروضوئي. بينما عُرفت النقلة النوعية الكبرى في عام 1954، عندما طور علماء **مختبرات بيل الأمريكية** أول خلية شمسية فعالة تعتمد على السيليكون، مما شكل بداية العصر الحديث للطاقة الشمسية. ثم شهدت العقود التالية تحسنا تدريجيا في كفاءة الخلايا الشمسية، وانخفاض تكلفتها، وتوسع استخدامها تدريجيا؛ خاصة بعد أزمة النفط في السبعينات التي دفعت الدول إلى البحث عن مصادر طاقة بديلة ومتجددة [10].

1.III. الخلية الكهروضوئية:

الخلية الكهروضوئية (الخلية الشمسية) هي جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام ظاهرة التأثير الكهروضوئي عبر مواد شبه موصلة مثل السيليكون؛ حيث يسبب سقوط أشعة الشمس (فوتونات) عليه تمتص الإلكترونات طاقة هذه الأخيرة مما يؤدي إلى إثارتها من حالة الطاقة المنخفضة (نطاق التكافؤ) إلى حالة طاقة أعلى (نطاق التوصيل). هذا ينتج عنه تكوين أزواج من الإلكترونات والثقوب فيتكوّن مجالا كهربائيا يدفع الإلكترونات والثقوب للتحرك باتجاهات متعاكسة، مما يخلق تيارًا كهربائيًا مستمرًا يمكن جمعه واستخدامه في دوائر كهربائية [5].

2.III. التركيب الفيزيائي للخلايا الكهروضوئية:

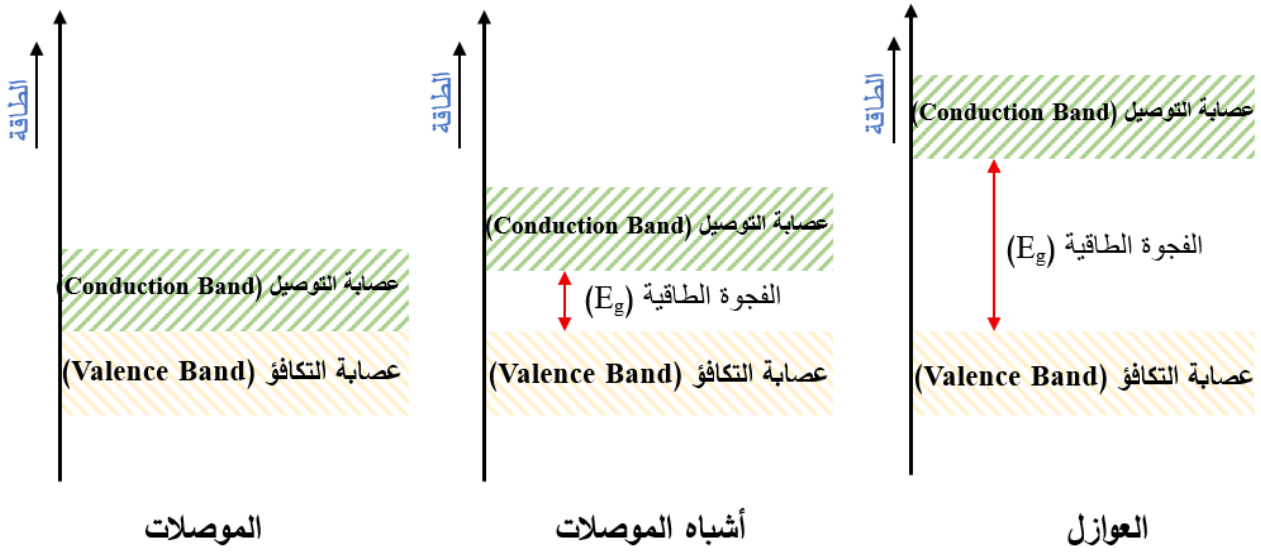
في الوقت الحالي تصنع معظم الخلايا الشمسية من أشباه الموصلات وغالبا من مادة السيليكون (Si)، كونه ثاني أكثر العناصر وفرة على القشرة الأرضية بعد الأكسجين. ينتمي السيليكون إلى مجموعة أشباه الفلزات، وهو عنصر كيميائي مستقر جدا وغير سام، غالبا ما يكون مرتبطا بالأكسجين على شكل ثاني أكسيد السيليكون "SiO_2" (السيليكا) أو في معدن السيليكات "SiO_4" [11].



الشكلI-5: صورة توضح عنصر السيليكون في شكله الطبيعي ورمزه في الجدول الدوري.

1.2.III. أشباه الموصلات:

يمكن تصنيف المواد حسب خصائصها الكهربائية إلى ثلاثة أنواع: الموصلات، أشباه الموصلات والعوازل. في كل صنف من المادة يمكن تقسيم مستويات طاقة الإلكترونات إلى ثلاث مجالات يُسمى كل مجال **بالعصابة**، وهي: **عصابة التوصيل** (Conduction Band) والتي تحتوي على الإلكترونات الحرة، و**عصابة التكافؤ** (Valence Band) تتكون من فجوات (أو ثقوب) تمثل نقصا في الإلكترونات. ولكي تمر الإلكترونات من عصابة التكافؤ إلى عصابة النقل يجب عليها عبور منطقة تدعى **بالعصابة الممنوعة**، بحيث عرضها الطاقوي يسمى **بالفجوة الطاقية** (Energy gap)، والتي تفسر زيادة ارتباط الإلكترونات بالنواة بزيادة قيمتها. من ناحية أخرى تتميز كل مادة (ناقلة، شبه ناقلة، أو عازلة) بقيمة الفجوة الطاقية (E_g) الخاصة بها [14] . يمكن وصف ما سبق من خلال الشكل الموالي:

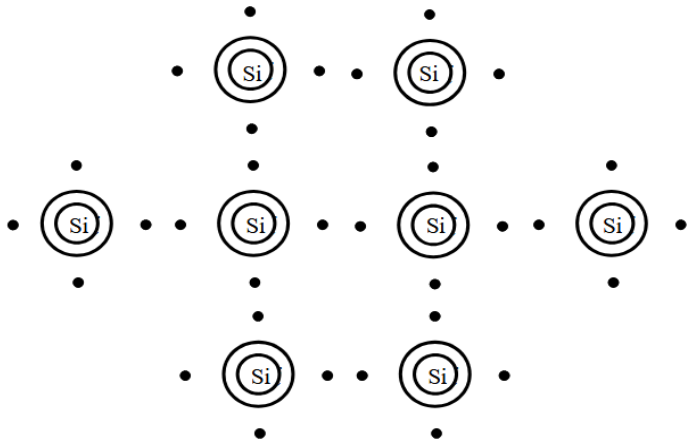


الشكلI–6: مخطط حزم الطاقة في المواد الصلبة.

تظهر الفجوة الطاقية (E_g) في العوازل أكبر منها في أشباه الموصلات؛ أما عند الموصلات فيمكن اعتبار أن مستوى عصابة التكافؤ ومستوى عصابة التوصيل متداخلتان.

تُعرف أشباه الموصلات بأنّها مواد صلبة بلورية تتميز بقدرتها المتوسطة على نقل التيار الكهربائي، فهي مواد عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق$(0K)$. وتقل مقاومة هذه المواد بارتفاع درجة الحرارة، أو عند تسليط فرق جهد كهربائي عليها، أو تعرضها لإشعاع بطاقة كافية؛ أي أنّها ليست موصلة جيدا كالمعادن ولا عازلة تماما كالزجاج. من جهة أخرى، تتصف بأنّها عناصر رباعية التكافؤ (يحتوي غلاف الذرة الخارجي على 4 إلكترونات) مثل السيليكون (Si)، والجرمانيوم (Ge)، وقد تكون مركّب من مادتين مثيل الجاليوم والزرنيخ $(GaAs)$ [12-13].

ترتبط ذرات أشباه الموصلات فيما بينها بروابط تساهمية؛ فمثلا العدد الذري لذرة السيليكون هو 14 (^{14}Si)؛ أي أن المدار الثالث يحتوي على 4 إلكترونات تكافؤ، ترتبط كل ذرة سيليكون مع أربع ذرات مجاورة بحيث يشترك إلكترون من إلكترونات التكافؤ لذرة ما مع إلكترونات التكافؤ للذرة الأخرى (الشكل I-7) [13]. كما تتميز المواصفات التالية:



الشكلI-7: الترابط التساهمي لذرات متجاورة من مادة السيليكون [13].

- ❖ يمكن لأشباه الموصلات أن تصبح في حالة استقرار وتتصرف كعوازل جيدة للكهرباء إذا تم خفض درجة حرارتها إلى الصفر المطلق(0K) [13].
- ❖ عند ارتفاع درجة الحرارة في أشباه الموصلات، تبدأ الذرات في التذبذب داخل المادة بطاقة حرارية متوسطة قدرها 3KT؛ حيث K هو ثابت بولتزمان، وT هي درجة الحرارة المطلقة. وإذا كانت هذه الطاقة كافية لكسر الترابط بين الذرات؛ فإن بعض هذه الإلكترونات ستصبح حرة الحركة، وبالتالي تكون المادة موصلة للتيار الكهربائي [13].
- ❖ عندما يتحرك الإلكترون من مكانه، يترك وراءه فراغًا يسمى بالثقب (فجوة) Hole، وهو يحمل شحنة موجبة [13].
- ❖ تُسمى الإلكترونات والثقوب معًا حاملات الشحنة؛ لأنها المسؤولة عن التيار الكهربائي داخل المادة [13].

2.2.III. أصناف أشباه الموصلات: تصنف أشباه الموصلات إلى:

- **أشباه الموصلات الداخلية (النقية):**

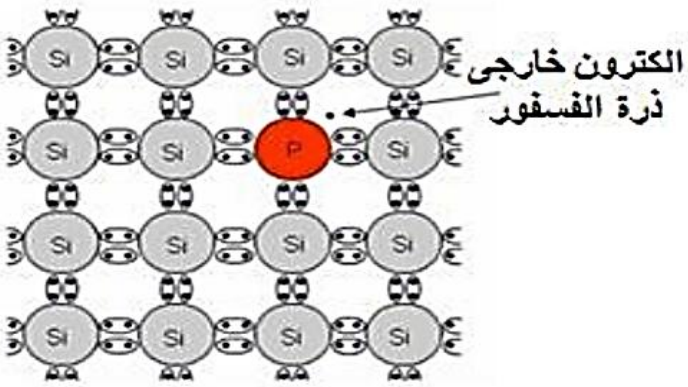
هي مواد نقية كيميائيا (خالية من الشوائب)، تتكون من عنصر واحد مثل السيليكون، أو الجرمانيوم. حيث تنتقل الإلكترونات من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل نتيجة لارتفاع درجة الحرارة [13].

- **أشباه الموصلات الخارجية (المشابة أو المطعمة):**

هي مواد شبه موصلة نقية، تم إضافة شوائب (مثل الفوسفورP، الزرنيخ As، البورون B، البيزموث Bi) إليها بنسب ضئيلة جدا (ذرة واحدة من الشوائب إلى 10^6 ذرة من المادة المضيفة السيليكون أو الجرمانيوم) وذلك بهدف حدوث ترابط بينهما دون تغيير في التركيب البلوري الأساسي لتحسين موصليتها الكهربائية [13]. وتنقسم إلى:

- **أشباه الموصلات ذات النوع السالب N-type:**

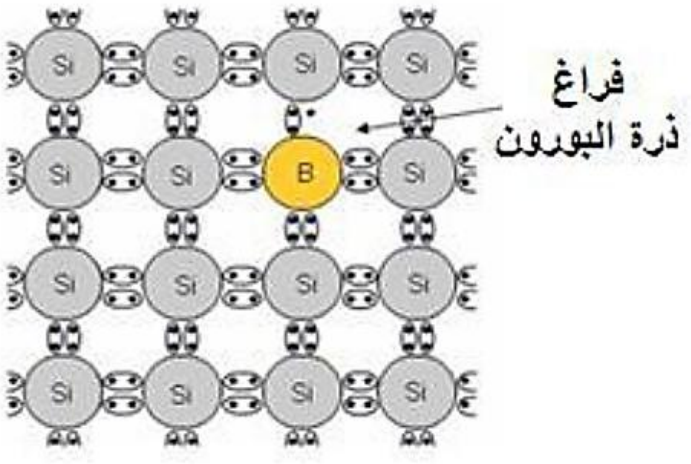
نحصل عليها عند إضافة ذرة شائبة خماسية التكافؤ مثل الفوسفور (P) (تحتوي على 5 إلكترونات في المدار الأخير) إلى بلورة شبه موصل نقي (سيليكون أو جرمانيوم) بحيث تتماسك كل ذرة شائبة مع 4 ذرات مجاورة من شبه الموصل النقي فيبقى إلكترون واحد غير مشترك وعندما يتحرك هذا الأخير من ذرة إلى أخرى فإنه لا يترك فجوة ولا يحتاج إلى إلكترون آخر يحل محله لذلك فإن التيار في هذا النظام تحمله الإلكترونات السالبة [13].



الشكلI-8: رسم توضيحي لشبه موصل من نوع N [11].

- **أشباه الموصلات ذات النوع الموجب P-type:**

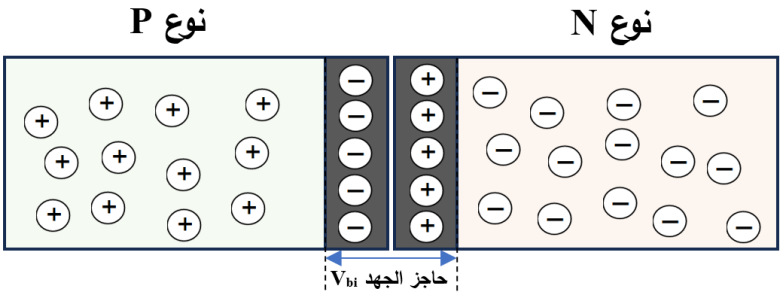
يتم الحصول على هذا النوع من أشباه الموصلات عند إضافة ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل البورون (B) إلى المادة شبه الموصلة؛ فتتكون ثلاثة روابط تساهمية وتظل الرابعة غير مكتملة حيث تظل فجوة موجبة (فراغ). تجذب الفجوة إليها الإلكترون الحر؛ ونتيجة لحركته تملأ الفجوة وتظهر فجوة جديدة وهكذا، في هذا النظام تعتبر الفجوات هي حاملات الشحنة [13].



الشكلI-9: رسم توضيحي لشبه موصل من نوع P [11].

III.3.2. الوصلة PN (PN Junction):

ثنائي الوصلة **PN** هي وصل لنوعين من أشباه الموصلات الموجب "**P-type**"(تركيز عال من الثقوب) والسالب "**N-type**" (تركيز عال من الإلكترونات) بطريقة خاصة ومناسبة؛ فتنتشر إلكترونات النوع السالب إلى ناحية النوع الموجب بينما تنتشر آنيا ثقوب النوع الموجب ناحية النوع السالب فيتكون حاجز يسمى حاجز الجهد (Potential barrier) ويعطي هذا الحاجز جهدا كهربيا يعرف بالجهد الداخلي V_{bi} [13].



الشكلI-10: فكرة تكوين الوصلة الثنائية الموجبة والسالبة وعلاقتها مع توزيع الشحنات.

III.4.2. مكونات الخلية الكهروضوئية:

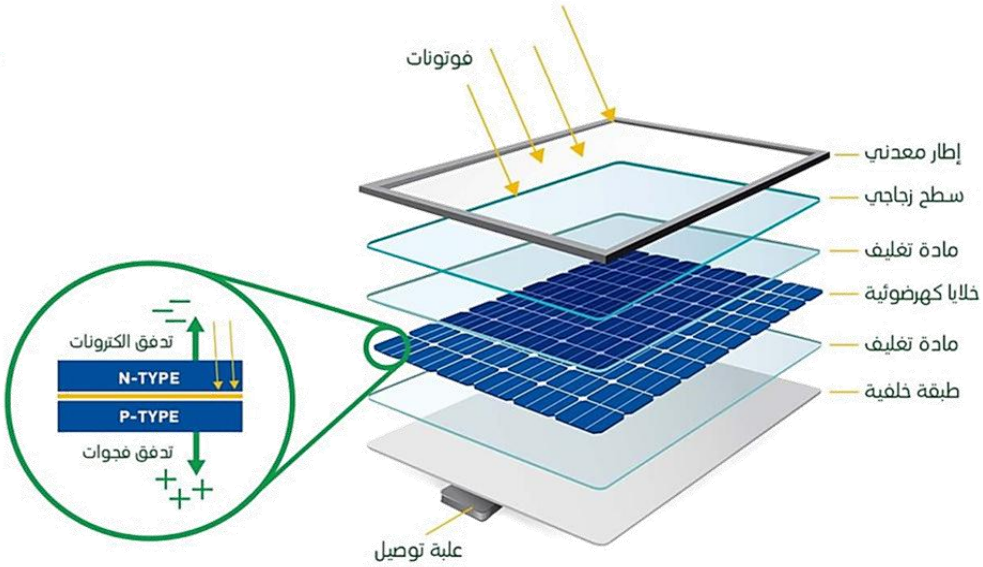
تستحوذ الخلايا الشمسية المصنوعة من مواد أشباه الموصلات على نحو أكثر 90% من سوق الخلايا الشمسية، وبشكل خاص تلك المصنوعة من السيليكون، التي تمثل أكثر من 80% من السوق كونه عنصر شائع ومتوفر بكثرة في الطبيعة؛ ما يجعل تكاليف تصنيعه أقل نسبيًا مقارنة بمواد أخرى [10] .

تتكون الخلية الكهروضوئية أساسا من طبقتان من مواد شبه موصلة والتي غالبا ما تكون من السيليكون:

- **طبقة موجبة P-type:** مكونة من مادة شبه موصلة، ومطعمة بذرات ثلاثية التكافؤ تحتوي على عدد كبير من **الفجوات.**
- **طبقة سالبة N-type:** مكونة من مادة شبه موصلة، ومطعمة بذرات خماسية التكافؤ تحتوي على عدد كبير من **الإلكترونات**.

تشكل هاتين الطبقتين الوصلة PN، التي يتشكل فيها المجال الكهربائي والذي يدفع الإلكترونات المتولدة إلى التدفق عبر الدارة الكهربائية.

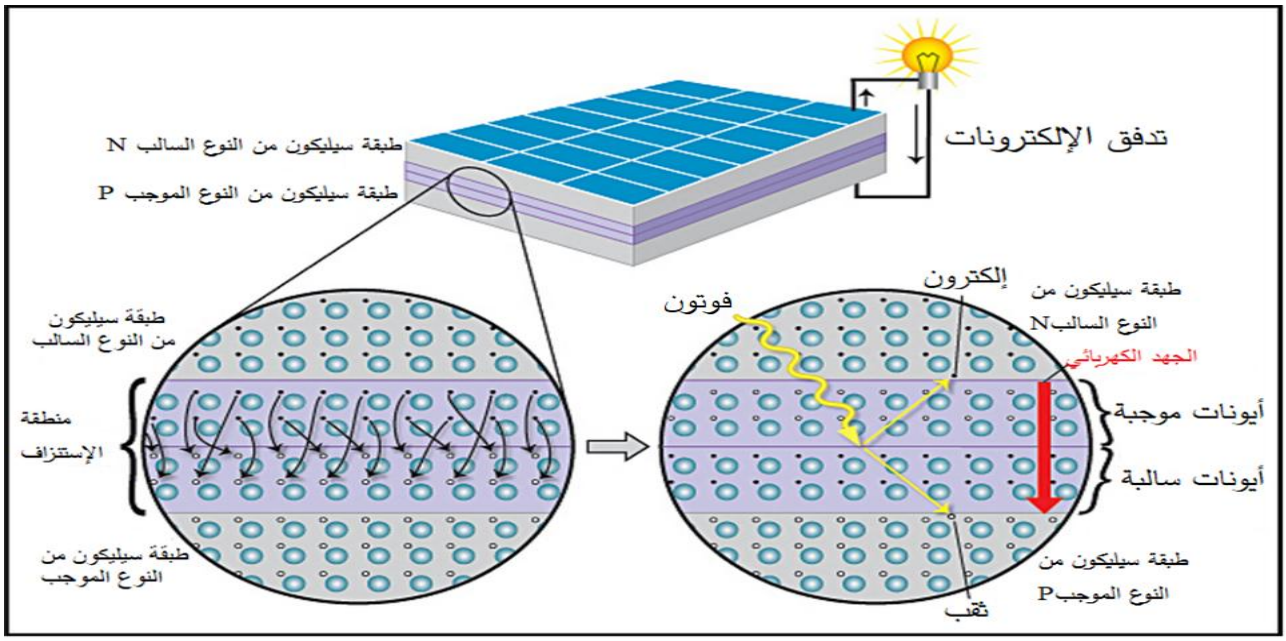
- **الغطاء الزجاجي:** تُغطى الخلايا الشمسية عادة بطبقة زجاجية لحمايتها من العوامل الجوية. مثل الغبار ، والرطوبة، وغيرهما. كما يسمح بمرور أشعة الشمس مع حجب الأشعة الضارة.
- **الإطار المعدني:** يصنع عادة من الألمنيوم من أجل توفير الحماية للوحدة الشمسية.
- **أسلاك التوصيل:** تُوصل الخلايا الشمسية ببعضها بحيث تسمح بتدفق التيار الكهربائي الناتج من الخلية الشمسية إلى الدارة الكهربائية الخارجية.



الشكلI-11: مخطط توضيحي لمكونات الخلية الكهروضوئية.

III.3. مبدأ التحويل الكهروضوئي:

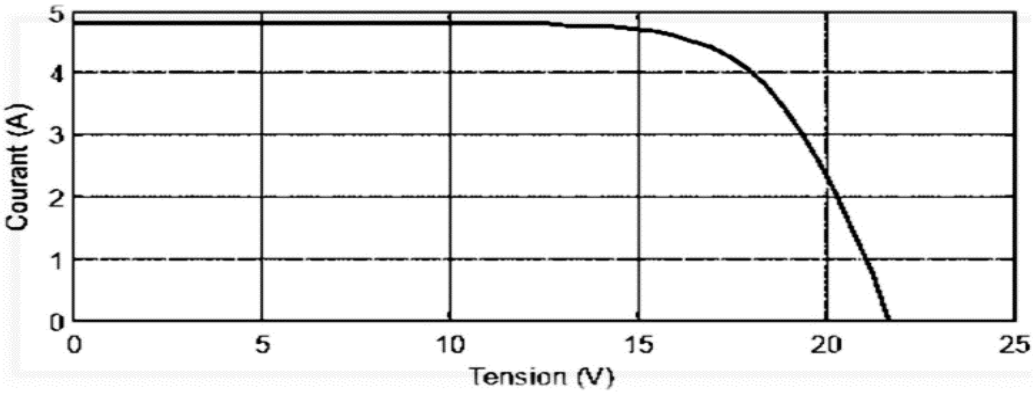
عند سقوط أشعة الشمس على سطح الخلية الكهروضوئية (الشكلI-12)؛ فإن الإلكترونات الحرة تمتص طاقة الفوتونات (الاشعاع الكهرومغناطيسي). فإذا كانت طاقة هذه الفوتونات كافية؛ فإنها تعمل على تحفيز الإلكترونات في الخلية الكهروضوئية (شبه الموصل) وتكوين أزواج إلكترون-فجوة. تخلق الوصلة PN مجالا كهربائيا داخليا يعمل على فصل الإلكترونات عن الفجوات، وعند توصيلها بدارة كهربائية خارجية تبدأ الإلكترونات في التدفق من الجانب السالب N-type إلى الجانب الموجب P-type عبر الدارة الكهربائية الخارجية. تزداد حركة هذه الإلكترونات بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية مما يولد تيارا كهربائيا مستمرا (DC)، يمكن استخدامه مباشرة أو تحويله إلى تيار متناوب (AC) بواسطة المحول [15].



الشكلI-12: مخطط توضيحي لمبدأ التحويل الكهروضوئي في الخلية الكهروضوئية [16].

III.4. الخصائص الكهربائية للخلايا الكهروضوئية:

تنتج الخلية الكهروضوئية طاقة كهربائية على شكل تيار كهربائي مستمر(DC) ، حيث تعتمد شدة هذا التيار بشكل رئيسي على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية. كما تتأثر خصائص التيار والجهد الناتجين بمتطلبات الحمل الكهربائي المتصل بالخلية؛ مما يحدد كمية الطاقة الكهربائية الفعلية التي يمكن توفيرها [15].



الشكلI-13: العلاقة بين الجهد والتيار لخلية كهروضوئية [17].

يوضح المنحنى (الشكلI-13) تغير التيار الذي تولده الخلية الكهروضوئية بدلالة الجهد عند طرفيها ويُستخدم لتحديد خصائصها وأفضل نقطة تشغيل لها (نقطة القدرة العظمى).

تُوصف الخلية الكهروضوئية بشكل رئيسي من خلال خاصيتين أساسيتين: فرق جهد دارتها المفتوحة وتيار دارتها المغلقة. هاتان القيمتان تعكسان قدرة الخلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية وتستخدمان لتقييم أدائها وكفاءتها.

III.4.1. تيار الدارة المغلقة أو تيار دارة القصر I_{sc}:

هو التيار الكهربائي المار في الخلية الكهروضوئية بدون حمل؛ أي أنّه يعتبر أقصى تيار كهربائي تستطيع الخلية إنتاجه من الإشعاع الشمسي، وفي هذه الحالة يكون فرق الجهد معدوما [15].

III.4.2. فرق جهد الدارة المفتوحة V_{oc}:

هو أقصى جهد يمكن أن تولده الخلية الكهروضوئية في حالة عدم وجود حمل أو عندما لا تكون متصلة بأي دائرة. هذا يعني أن الخلية تولد جهدًا كهربائيًا عند أطرافها بينما لا يتدفق أي تيار عبرها؛ لأن الدائرة مفتوحة ولا يوجد مسار لتدفق التيار [15].

III.4.3. الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية P_{max}:

تُعرّف على أنّها النقطة التي تحقق عندها الخلية أقصى كفاءة في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية (نقطة الاستطاعة القصوى Maximum Power Point (MPP)). وهي أقصى قدرة يمكن الحصول عليها من الخلية في ظروف تشغيل معينة [15]. وتعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{max} = V_m \cdot I_m \qquad (\mathbf{I.3})$$

حيث:

P_{max}: الاستطاعة العظمى (W).

V_m: النقطة القصوى للجهد (V).

I_m: النقطة القصوى للتيار (A).

4.4.III. معامل الشكل FF:

يمثل معامل الشكل النسبة بين الطاقة القصوى (أقصى قدرة كهربائية يمكن للخلية توليدها تحت ظروف إضاءة معينة) والمنتجة (الطاقة الكهربائية التي تولدها الخلية عند تعرضها للإشعاع الشمسي) [15]. يعطي بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{P_{max}}{\text{Isc} \cdot \text{Voc}} = \frac{V_m \cdot I_m}{\text{Isc} \cdot \text{Voc}} \qquad (\mathbf{I.4})$$

حيث:

FF: معامل الشكل.

$P_{max} = V_m \cdot I_m$: الإستطاعة العظمى (W).

V_m: النقطة القصوى للجهد (V).

I_m: النقطة القصوى للتيار (A).

Isc: تيار دارة القصر (A).

Voc: جهد الدارة المفتوحة (V).

5.4.III. كفاءة الخلية الكهروضوئية η:

هي النسبة بين الطاقة القصوى التي تنتجها الخلية الكهروضوئية وقوة الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الخلية [15]، تعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{max}}{G.A} \qquad (\mathbf{I.5})$$

حيث:

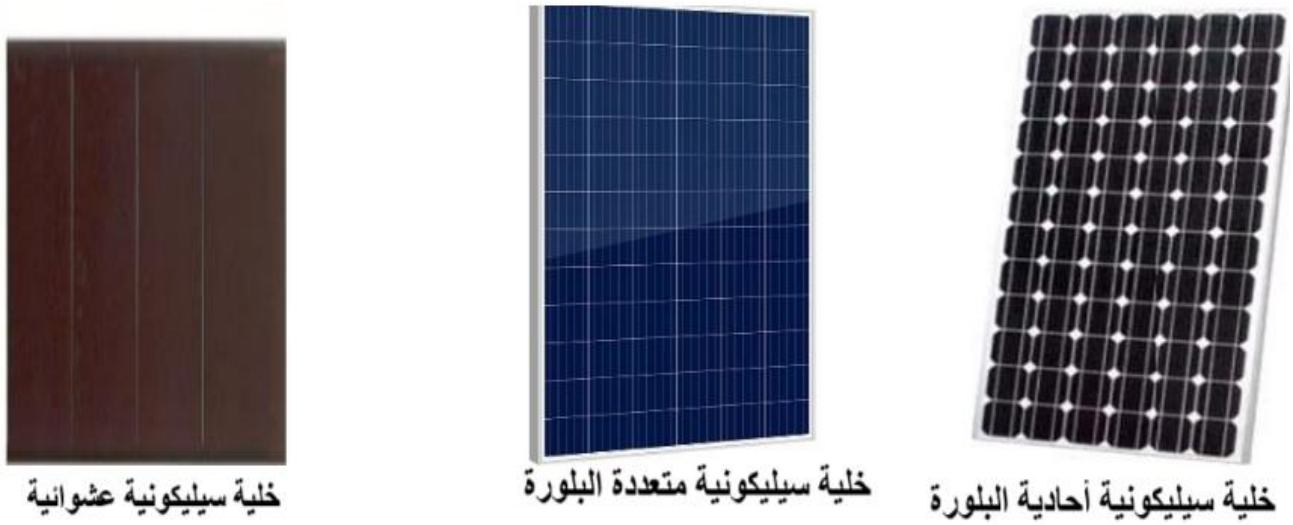
G: الإشعاع الشمسي الساقط (W/m^2).

A: المساحة السطحية للوح (m^2).

III.5. أنواع الخلايا الكهروضوئية:

III.5.1. خلايا سيليكونية: وتشمل

- **خلايا سيليكونية أحادية البلورة:** هي خلايا يتم تصنيعها من بلورة سيليكون واحدة، حيث تتميز هذه الخلايا بكفاءتها العالية في تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء. كما تتصف بعمر افتراضي طويل نسبيا لكن صناعتها مكلفة مقارنة بالخلايا الشمسية متعددة البلورات [15].
- **خلايا سيليكونية متعددة البلورة:** تصنع من السيليكون المصهور المتعدد البلورات، وتتميز بلونها الأزرق. تتراوح كفاءتها ما بين % [15-11]، وكذلك تُعرف بصناعتها السهلة مقارنة مع خلايا السيليكون أحادية البلورة مع تكلفتها الأقل[15] .
- **خلايا سيليكونية عشوائية:** تصنع الخلايا السيليكونية من السيليكون غير المتبلور، تتميز بعمر زمني قصير ومرونة في التصنيع؛ مما يجعلها مناسبة لتطبيقات متنوعة. تتراوح كفاءتها ما بين % [8-4] وتتناقص مع مرور الزمن [15].



الشكلI-14: صورة توضح أنواع الخلايا السيلسكونية [15].

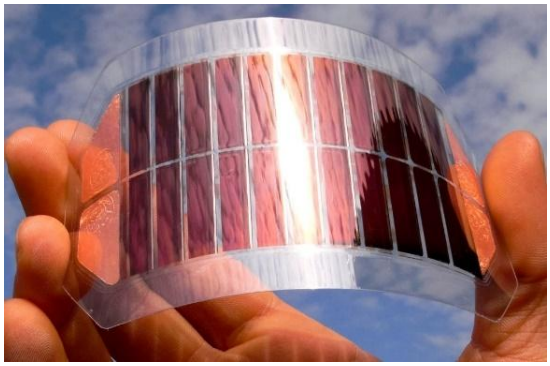
III.5.2. خلايا شريطية:

تصنع عن طريق ترسيب طبقة رقيقة جدا من أشباه الموصلات، مثل السيليكون الرقيق أو كبريتيد الكادميوم (CdTe) على ركيزة (زجاج، بلاستيك، معدن) بسمك يتراوح بين عدة نانومترات إلى عدة ميكرومترات، باستخدام تقنيات مثل الترسيب الكيميائي للبخار أو الترسيب الفيزيائي.

- **خلايا الكوبراندیوم دیسلنايد (Copper Indium Diselenide):** وهي خلايا تصنع من مواد شبه موصلة، مكونة من النحاس(Cu) ، الأنديوم (In). تصل كفاءتها مخبريا إلى 12% [15].
- **خلايا الجاليوم أرسنايد (Gallium Arsenide) (GaAs):** تستخدم عادة في التطبيقات الفضائية. ويتصف هذا النوع من الخلايا بكفاءة عالية في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. تتميز هذه الأنواع بتأثرها كثيرا بالتغيرات الحرارية؛ لكنها غالية التكلفة وتتطلب تقنيات تصنيع أكثر تعقيدا [15].
- **خلايا الجاليوم تيلورايد (Gallium Telluride) (GaTe):** تتكون من عنصري الجاليوم والتيلوريوم. تعتمد في تصنيعها على طبقات رقيقة جدًا، مما يجعلها خفيفة ومرنة. تتراوح كفاءتها ما بين % [11-8]. وتمتاز خلايا الج بامتصاصية عالية للضوء بالرغم من أن تكلفتها أرخص مقارنة بالخلايا السيليكونية التقليدية [15].

III.3.5. خلايا عضوية:

يُصنع هذا النوع من الخلايا المصنوعة من مواد عضوية (كربونية) مثل البوليميرات. ومن بين مميزاتها المرونة، خفة الوزن، وانخفاض تكاليف تصنيعها. يمكن استخدامها في شحن الهواتف الذكية، الأجهزة اللوحية والأجهزة القابلة للارتداء. إلاّ أنّ كفاءتها أقل من كفاءة الخلايا الشمسية التقليدية المصنوعة من السيليكون [15].



الشكلI-15: صورة توضح الخلايا العضوية [15].

III.6. أجيال الخلايا الكهروضوئية:

تنقسم أجيال الخلايا الشمسية إلى ثلاثة أجيال رئيسية وذلك بناءً على التقنيات المستخدمة في تصنيعها.

III.1.6. خلايا الجيل الأول:

تعتمد خلايا الجيل الأول على السيليكون البلوري، سواء أحادي البلورة أو متعدد البلورات، وهي الخلايا الأكثر شيوعا واستخداما نظرا لتوفر مصادرها في جميع انحاء العالم. وقد كانت خلايا الجيل الأول تتميز بكبر حجمها، غير مرنة، وذات تكلفة تصنيع عالية. ونتيجة أنّ رقائق السيليكون منخفضة الامتصاص والاستيعاب للأشعة الشمسية؛ فقد أدى ذلك إلى زيادة سمكها مقارنة بالرقائق المصنوعة من أشباه الموصلات الأخرى. إلا أنّها تتمتع بكفاءة جيدة واستقرار طويل الأمد [18].

III.2.6. خلايا الجيل الثاني:

وهي خلايا شمسية من الأفلام الرقيقة، والتي تعتمد في إنتاجها على عدة أساليب متقدمة يُذكر منها طريقة ترسيب الأبخرة الكيميائي (تصنيع أغشية رقيقة من مواد أشباه الموصلات المترسبة على قواعد زجاجية أو بلاستيكية لتكوين وحدة الخلية الفوتوفولطية). هذه الخلايا أقل تكلفة من خلايا الجيل الأول؛ ولكنها قد تكون أقل كفاءة [18].

III.3.6. خلايا الجيل الثالث:

وهو ما يعرف بجيل تكنولوجيا النانو. تمثل الخلايا الشمسية المستقبلية، ويشمل تقنيات ناشئة مثل الخلايا الشمسية العضوية، والخلايا الشمسية متعددة الوصلات. هذه الخلايا تهدف إلى تحقيق كفاءة أعلى، تكاليف أقل ومرونة أكبر في التصميم. مازالت منتجات هذا الجيل في مرحلة البحث، التقييم، والتطوير على المستوى التجريبي والعملي؛ كما يتوقع أيضا أنّ يكون لها مدى إبداع واسع [18].

III.7. توصيل الألواح الشمسية:

هناك ثلاثة طرق لربط مجموعة الألواح الشمسية، وهي إمّا على التوالي (التسلسل)، التوازي، أو على التوالي والتوازي (مختلط)، وذلك لتشكل مجموعة من السلاسل المصفوفة. حيث يمكن وصفها فيما يلي:

III.1.7. توصيل على التوالي (التسلسل):

يوصف التوصيل في هذه الحالة برط الطرف الموجب للوح مع الطرف السالب للوح الموالي، وهكذا دوليك بشكل متسلسل لتشكيل سلسلة من الألواح الشمسية. إذا تم توصيل الألواح الشمسية على التوالي فإن الجهد المنتج يتضاعف؛ وهذا يعني زيادة الطاقة، بينما التيار فيبقى ثابتا. تعتبر هذه الطريقة فعالة في حالة نقل الطاقة لمسافات طويلة أو لتشغيل عاكسات تتطلب جهد [7].

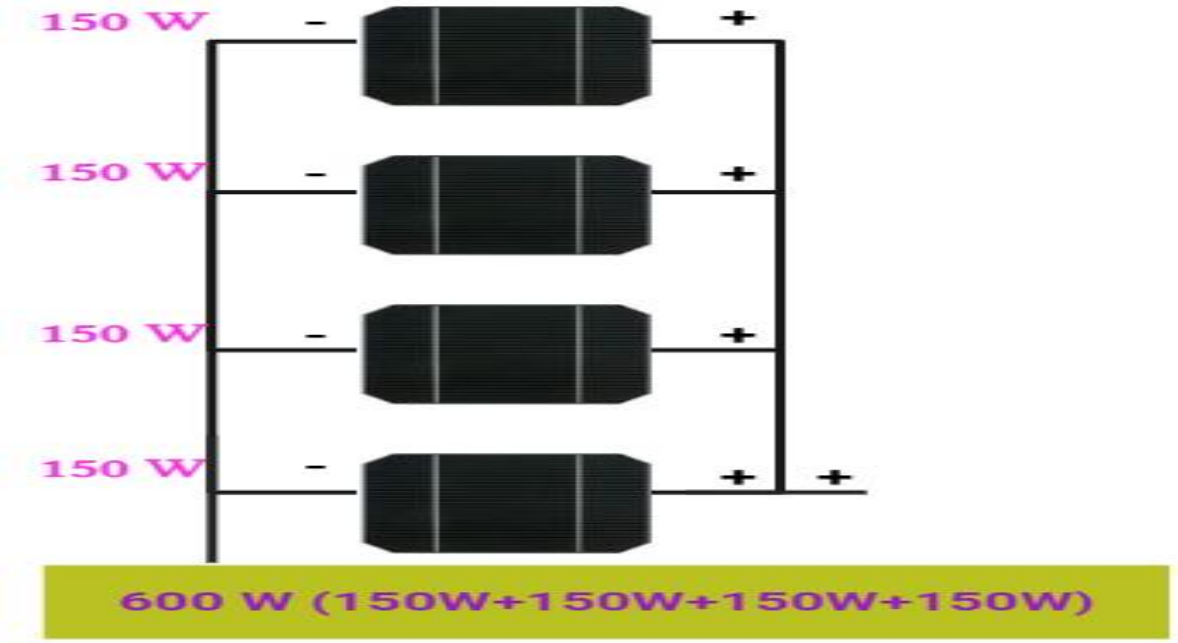


الشكلI -16: توصيل الألواح الشمسية على التوالي [7].

III.2.7. توصيل على التوازي:

هذا النوع من التوصيل يتم من خلال ربط النهاية الموجبة للوح الشمسي الأول بالنهاية الموجبة في اللوح الشمسي الذي يليه، كما يتم توصيل النهاية السالبة في اللوح الأول بالنهاية السالبة في اللوح الثاني وهكذا. هذا النوع

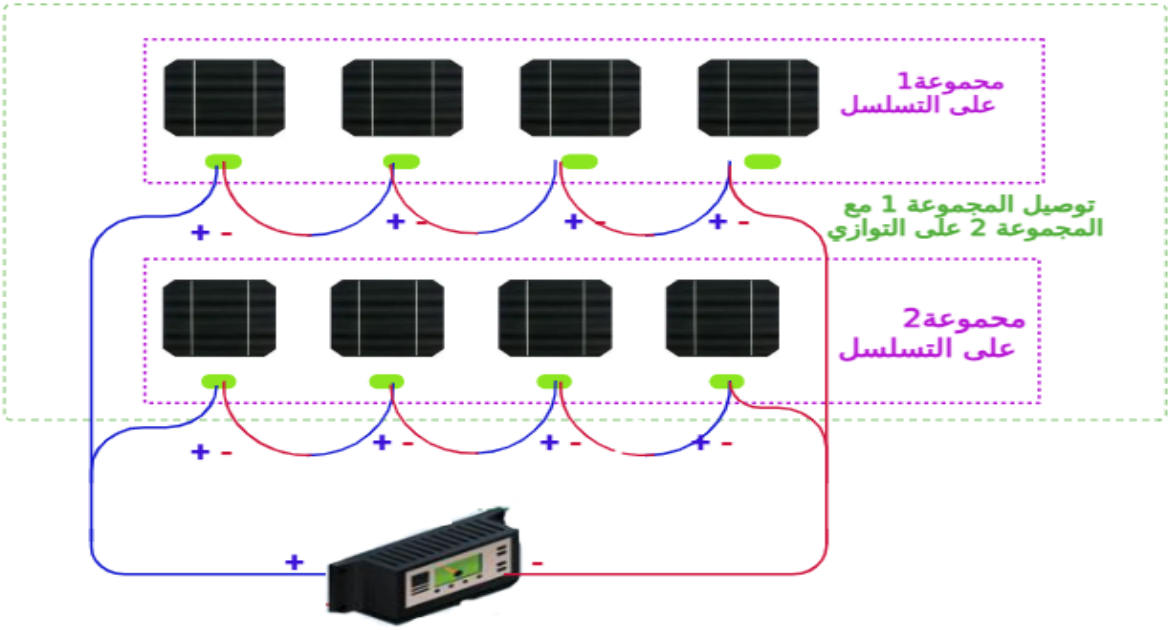
من التوصيل يزيد من قيمة التيار (الأمبير) للدارة الكهربائية، ويحافظ على ثبات الجهد الكهربائي المنتج. بالإضافة لأنّه يسمح بتشغيل الألواح بشكل مستقل بدون أن يؤثر تعطل لوح واحد على باقي النظام [7].



الشكلI-17: توصيل الألواح الشمسية على التوازي [7].

3.7.III. توصيل مختلط:

هذا النوع يجمع بين نوعين من التوصيل، وهما التوصيل على التوالي والتوازي. يُمكن هذا النوع من زيادة قيم الجهد والتيار في نظام الألواح الشمسية؛ وبالتالي تحسين قدرة توليد الطاقة بشكل عام وهي الطريقة الأكثر استعمالا. حيث يتم تقسيم الألواح إلى مجموعات متسلسلة ثم توصيلها معا على التوازي أو العكس [15].



الشكلI-18: التوصيل المختلط للألواح الشمسية [19].

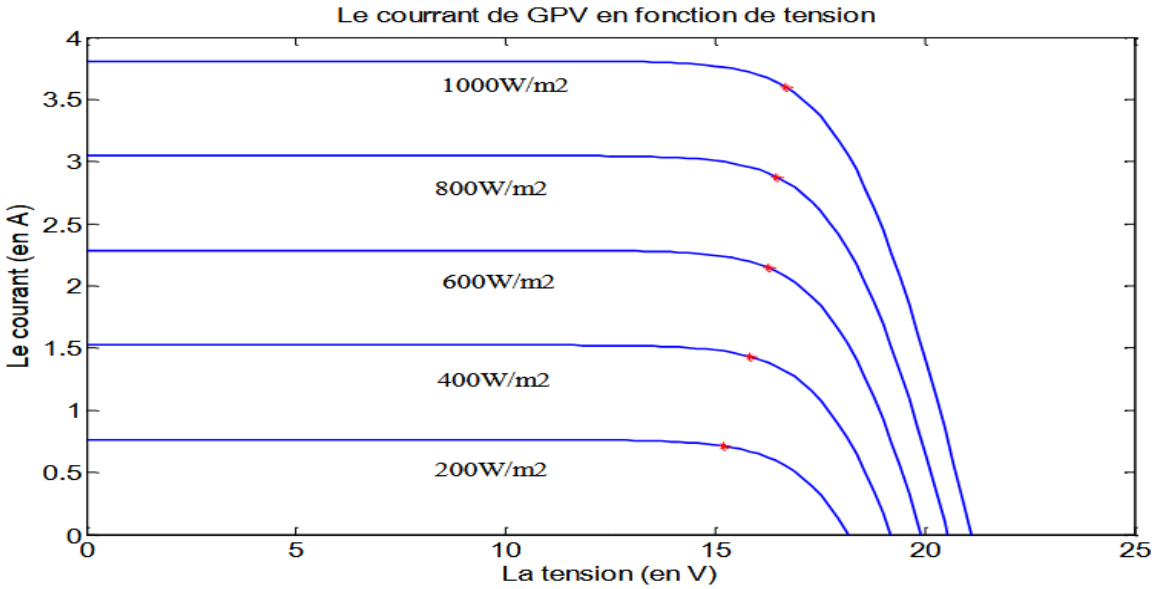
عند ربط الألواح الشمسية يجب مراعاة جهد النظام وكذا أقصى جهد للعاكس على ألا يتجاوز جهد التوصيل التسلسلي الحد الأقصى الذي يتحمله العاكس أو النظام الكهربائي، كذلك يفضل استخدام ألواح شمسية ذات مواصفات متقاربة مع استخدام موصلات وأسلاك مناسبة خاصة في التوصيل المتوازي حيث يزداد التيار.

III.8. العوامل المؤثرة على أداء الخلية:

يعتمد أداء الخلية الكهروضوئية على قدرتها على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، إذ أن كفاءتها تتأثر بعدة عوامل مثل درجة الحرارة، وكمية الإشعاع الشمسي، ونوع المواد المستخدمة، ونسبة الغبار والملوثات على سطحها.

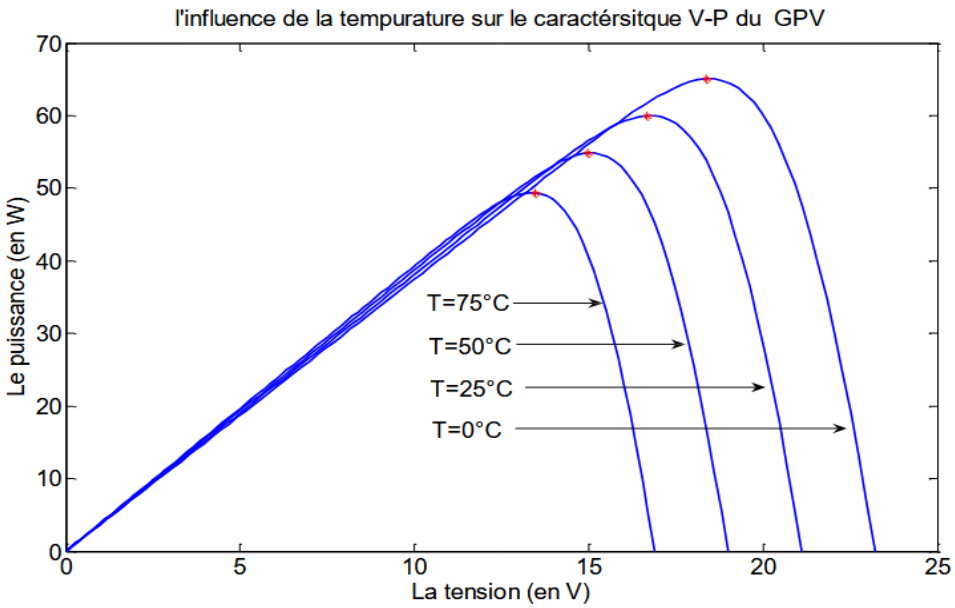
III.8.1. تأثير ضوء الشمس:

إن تيار دارة القصر (I_{sc}) للألواح الشمسية يتغير بشكل مباشر مع مستوى أشعة الشمس، حيث يزداد التيار بزيادة شدة الإشعاع الشمسي بسبب زيادة التأثير الكهروضوئي، بينما يظل جهد الدائرة المفتوحة (V_{oc}) ثابتًا تقريبًا مع تغير الإشعاع (يتغير الجهد بشكل طفيف فقط) (الشكلI-19)، هذا يعني أن التيار يتناسب طرديًا مع كمية الإشعاع الساقط على اللوح، في حين أن الجهد لا يتأثر بشكل كبير بتغير الإشعاع، نتيجة لذلك تزداد القدرة الكهربائية المستخرجة من اللوح الشمسي (الشكلI-20) [20].



الشكلI-19: منحنى يوضح تأثير شدة الإضاءة على خاصية التيار بدلالة الجهد [20].

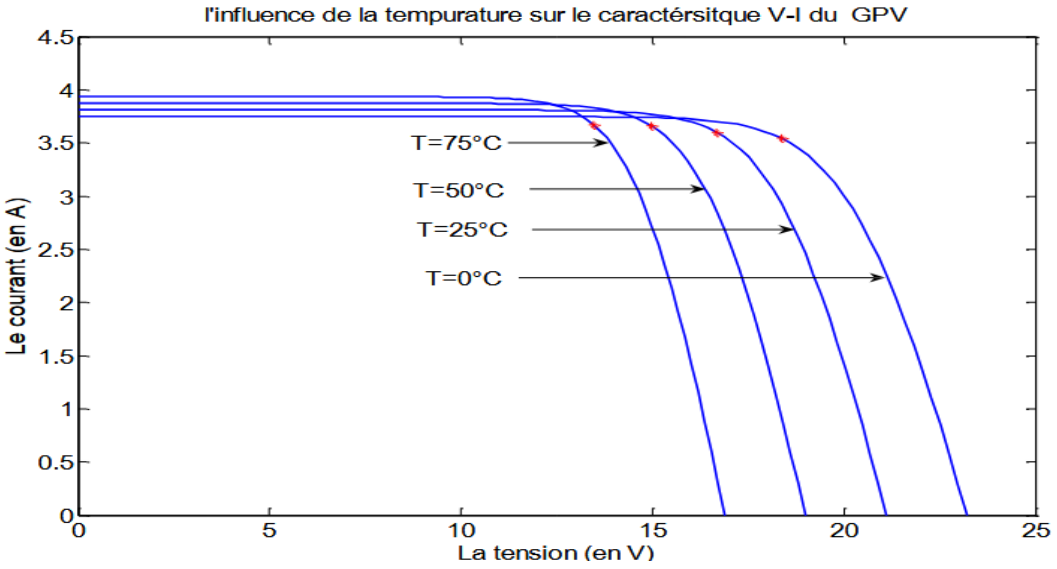
النقاط الحمراء في المنحنى تمثل نقاط الحد الأقصى للطاقة (Maximum Power Point - MPP) وهي النقطة التي تحقق أقصى قدرة ممكنة من اللوح الشمسي وتكون نقطة التشغيل الأمثل لاستخدام الألواح الشمسية بكفاءة عالية.



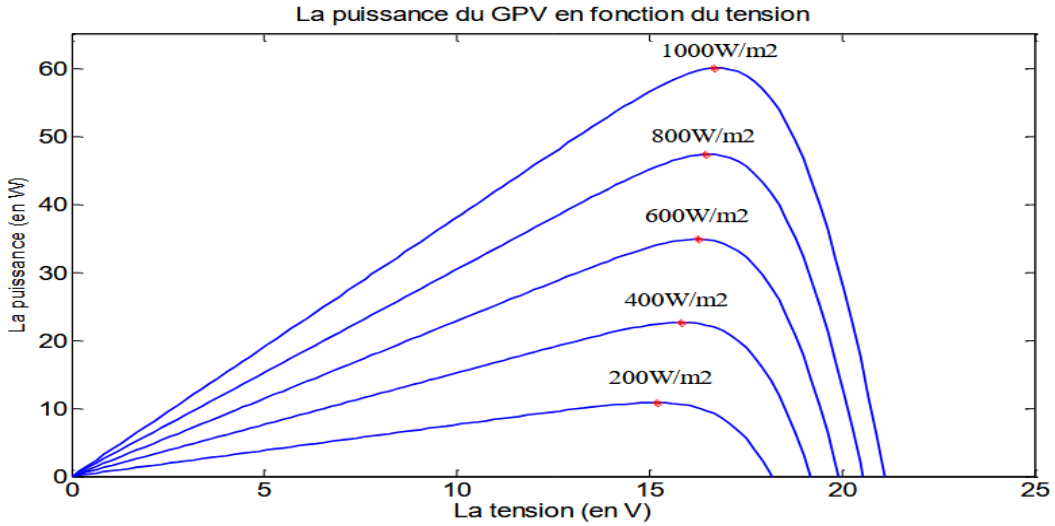
الشكلI-20: منحنى يوضح تأثير شدة الإضاءة على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد [20].

III.2.8. تأثير درجة الحرارة:

تؤثر درجة الحرارة بشكل طفيف على التيار الناتج من الألواح الشمسية، حيث يزداد التيار قليلاً مع ارتفاع درجة الحرارة. من جهة أخرى تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى انخفاض واضح في جهد الدائرة المفتوحة (V_{oc}) (الشكلI-22)، مما ينعكس سلبًا على قدرة الألواح الشمسية [20].



الشكلI-21: منحنى يوضح تأثير درجة الحرارة على خصائص الجهد والتيار [20].



الشكلI-22: منحنى يوضح تأثير درجة الحرارة على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد [20].

IV. البطاريات:

إن كمية ضوء الشمس التي تصل إلى الألواح الشمسية تتغير باستمرار بسبب عوامل بيئية متعددة مثل حركة السحب، التظليل، الليل، الغبار، والتلوث الجوي. هذه التغيرات تؤدي إلى تقلبات في شدة الإشعاع الساقط على الألواح؛ مما يؤثر بشكل مباشر على التيار الكهربائي الناتج منها. نتيجة ما سبق فإنّها تؤثر على إنتاج الطاقة الكهربائية [21].

يُظهر التغير في الإشعاع الشمسي الحاجة إلى استعمال البطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية؛ التي تولدها الألواح الشمسية خلال ساعات النهار. ما يضمن توفير الطاقة في أوقات عدم وجود ضوء الشمس ليلا أو الأيام الغائمة [21].

يمكن تصنيف نظم توليد الكهرباء عن طريق الطاقة الشمسية إلى:

1. نظام مستقل عن الشبكة الكهربائية العامة Off-Grid PV Systems:

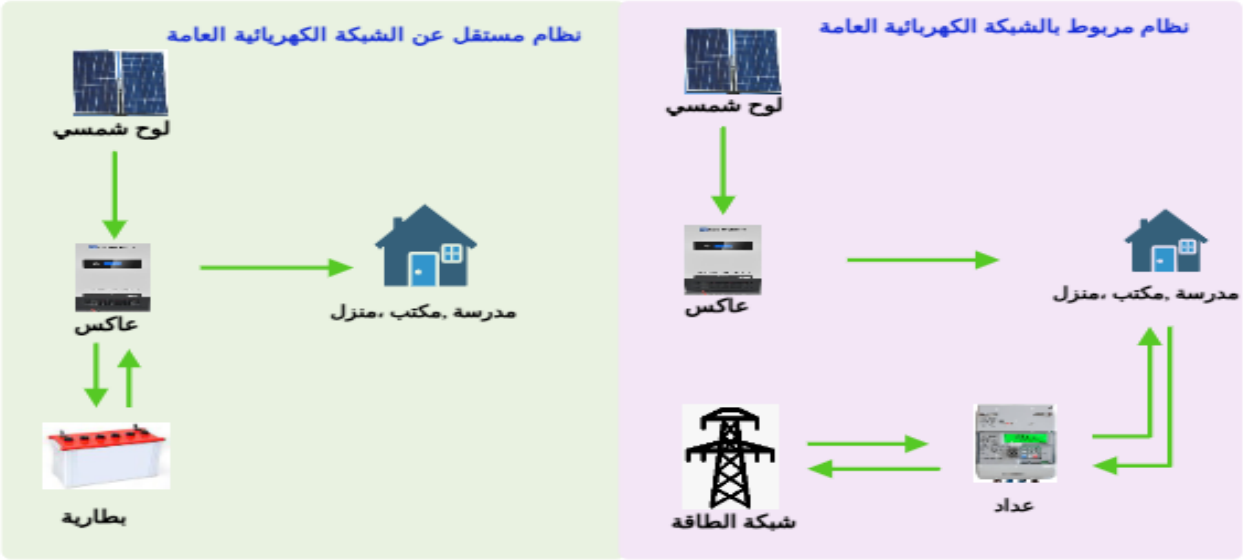
تُستخدم أنظمة توليد الطاقة الكهربائية الشمسية المستقلة عن الشبكة بشكل واسع في المناطق النائية، والتي تبعد عن خطوط الشبكة الكهربائية الرئيسية. يعتمد هذا النظام على الألواح الشمسية بغية توليد الكهرباء وتخزينها في بطاريات لاستخدامها عند الحاجة.

غالبا ما تكون تكاليف إنجاز نظم توليد الطاقة الكهربائية الشمسية المستقلة عن الشبكة مرتفعة، وتعتبر تكاليف كتلة التخزين (البطاريات) السبب الرئيسي في ذلك. وهذا ما يدفع باتجاه نظم توليد الطاقة الكهربائية الشمسية المربوطة مع الشبكة.

2. نظام مربوط بالشبكة الكهربائية العامة On-Grid PV Systems:

هو نظام يقوم بتوليد الكهرباء من الألواح الشمسية ومن ثم تحويلها إلى طاقة تيار متردد متوافقة مع شبكة الكهرباء العامة، ليتم استخدامها مباشرة في تغذية الأحمال الكهربائية أوضخ الفائض منها إلى الشبكة. يعتمد هذا النظام على عاكس (inverter) خاص يقوم بتحويل التيار المستمر الناتج من الألواح إلى تيار متردد متوافق مع معايير الشبكة من حيث الجهد والتردد.

تلعب الشبكة الكهربائية العامة في المنوبات المربوطة مع الشبكة دورا تخزينيا للطاقة الكهربائية؛ ما يتيح عدم الحاجة لاستخدام البطاريات لتخزينها. يظهر هذا النظام في محطات توليد الطاقة الشمسية ذات الاستطاعات العالية، التي تتجاوز عشرات أو مئات الميغا واط وغالبا ما تُنجز من قبل الحكومة أو شركات تجارية [21].



الشكلI-23: مخطط يوضح نظام On-Grid ونظام Off-Grid .

1.IV. أنواع البطاريات المستخدمة في الأنظمة الشمسية:

تُعرف البطاريات بأنّها أجهزة تعمل كمصدر للتيار المستمر (DC). تتكون أساسا من خلية كهروكيميائية واحدة أو عدد من الخلايا الكهروكيميائية، التي يتم تجميعها في حاوية مشتركة وتوصيلها معًا لتعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة لتفاعلات الأكسدة والاختزال تحدث تلقائيا فيحدث من خلاله تفاعلات لانتقال الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب للخلية. هذا التدفق (تدفق الالكترونات) هو ما يطلق عليه بالتيار الكهربائي [13].

تنقسم البطاريات إلى نوعين رئيسيين:

1. بطاريات أولية:

تُعرف التفاعلات في البطاريات الأولية بأنّها تفاعلات كيميائية كهربائية غير عكوسة. وبالتالي عندما تستهلك المتفاعلات؛ فإن الخلية تصبح ميتة ويجب التخلص منها. وعليه يمكن تعريف البطارية الأولية على أنها بطارية غير قابلة للشحن تستعمل مرة واحدة فقط [22].

2. بطاريات ثانوية:

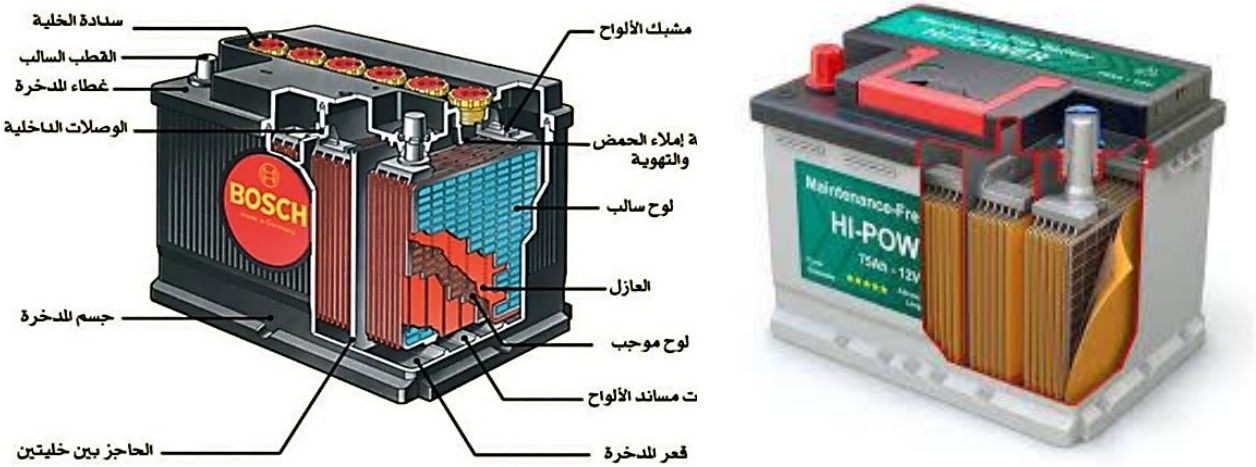
هي بطاريات قابلة لإعادة الشحن، حيث يمكن تفريغها وإعادة شحنها عدة مرات عن طريق تطبيق تيار كهربائي يعيد التفاعلات الكيميائية العكسية لاستعادة المواد الفعالة في البطارية؛ مما يجدد المواد الفعالة ويُمكننا من استخدامها بشكل متكرر، مثل بطاريات الرصاص الحمضية المستخدمة في السيارات وبطاريات الليثيوم-أيون، والتي تتواجد في الأجهزة الإلكترونية المحمولة كالحواسيب والهواتف [22].

1.1.IV. بطارية الرصاص-حمض (Lead-Acid):

بدأ التطوير العملي لبطاريات الرصاص-حمض بفضل أبحاث واختراعات الفيزيائي الفرنسي **غاستون بلانتيه** ((1834-1889) Gaston Planté) في عام 1860، فكانت أول بطارية قابلة لإعادة الشحن في التاريخ من هذا النوع، منذ ذلك الحين تطورت لتصبح من أكثر تقنيات تخزين الطاقة انتشارًا واستخدامًا في العالم [22]. يلخص الجدول (I-1) أهم خصائص بطاريات الرصاص-حمض.

الجدول(I-1): جدول يوضح مميزات وعيوب بطاريات الرصاص-حمض (Lead-Acid) [23].

المميزات	العيوب
○ بطارية ثانوية شائعة، منخفضة التكلفة، وقابلة للتصنيع محليًا في جميع أنحاء العالم. ○ أداء جيد عند معدلات تفريغ عالية مناسبة لتشغيل المحركات. ○ أداء جيد في درجات الحرارة المنخفضة والعالية. ○ كفاءة كهربائية عالية. ○ جهد خلية مرتفع (جهد الدائرة المفتوحة حوالي 2.0V وهو الأعلى بين جميع أنظمة البطاريات ذات الإلكتروليت المائي). ○ خدمة تعويم جيدة (الحفاظ على الشحن لفترات طويلة).	○ عمر دورات نسبيًا منخفض (50–500 دورة). ○ كثافة طاقة محدودة عادةً بين 30-40Wh/kg. ○ صعوبة في التصنيع بأحجام صغيرة جدًا. ○ تخزين طويل الأمد في حالة التفريغ، قد يؤدي إلى استقطاب دائم للأقطاب (تكون طبقة كبريتات الرصاص).



الشكلI-24: صورة توضيحية لبطارية الرصاص-حمض (Lead-Acid) [24].

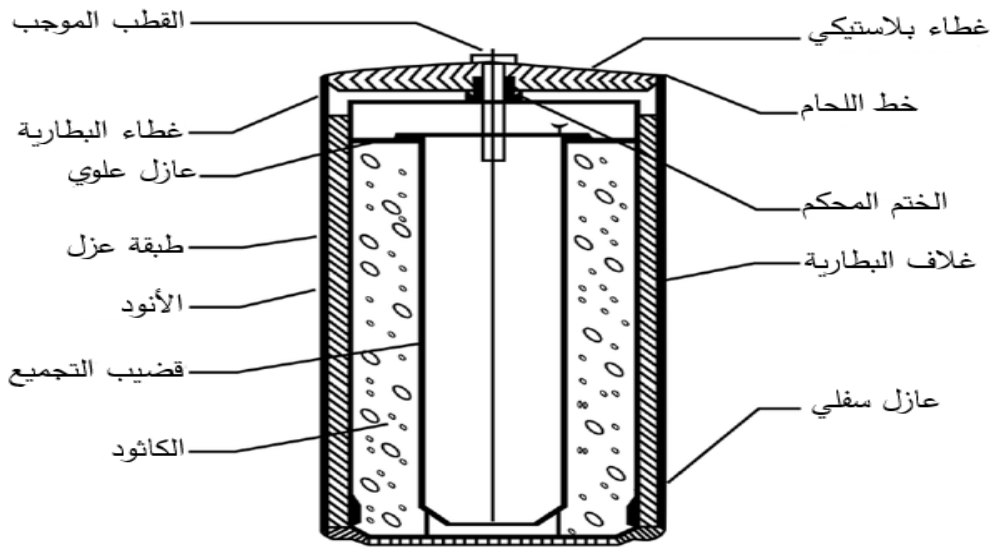
2.1.IV. بطاريات الليثيوم-أيون (Li-Ion):

هي بطاريات قابلة لإعادة الشحن. تعتمد على تداخل أيونات الليثيوم بين القطب الموجب (الكاثود) والقطب السالب (الأنود). أثناء دورة الشحن والتفريغ تتبادل أيونات الليثيوم (Li^+) بين القطبين الموجب والسالب. تتميز هذه

البطاريات بعدة خصائص (الجدول(I-2)) تجعلها مفضلة في العديد من التطبيقات الحديثة، خاصة في الأجهزة المحمولة والسيارات الكهربائية، كما تُستخدم بشكل واسع في الأنظمة الشمسية المتقدمة لتخزين الطاقة الشمسية الزائدة التي تولدها الألواح الشمسية [14].

الجدول(I-2): جدول يوضح مميزات وعيوب بطاريات الليثيوم-أيون (Li-Ion) [23].

المميزات	العيوب
o عمر افتراضي طويل. o نطاق تشغيل واسع من حيث درجة الحرارة. o معدل تفريغ ذاتي منخفض. o قدرة على الشحن السريع. o خلايا محكمة الإغلاق (لا تحتاج إلى صيانة).	o تكلفة أولية متوسطة. o تتدهور عند درجات حرارة عالية. o فقدان السعة أو حدوث فرار حراري عند الشحن الزائد. o تحتاج إلى دوائر حماية دقيقة وأنظمة مراقبة مستمرة لضمان سلامتها أثناء التشغيل، خاصة في تطبيقات الطاقة العالية مثل السيارات الكهربائية وأنظمة تخزين الطاقة.



الشكلI-25: مخطط توضيحي لتركيب بطارية الليثيوم-أيون (Li-Ion) [25].

3.1.IV. بطاريات ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$):

هي نوع من بطاريات الليثيوم-أيون، التي تستخدم فوسفات الحديد الليثيوم ($LiFePO_4$) كمادة للقطب الموجب (الكاثود)، والكربون (الجرافيت) كمادة للقطب السالب (الأنود). تُستخدم على نطاق واسع في السيارات

الكهربائية والدراجات الكهربائية، وكذا لتخزين الطاقة في أنظمة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح (الجدول(I-3) يلخص أهم خصائصها) [26].

الجدول(I-3): مميزات وعيوب بطاريات ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$) [26].

المميزات	العيوب
○ مكونات غير سامة ومتوفرة بكثرة. ○ كفاءة طاقة عالية. ○ سهولة إعادة التدوير. ○ أمان عال (تتميز بثبات حراري ممتاز وهي أقل عرضة للاشتعال أو الانفجار). ○ عمر افتراضي طويل.	○ تكلفة تصنيع مرتفعة نسبيا. ○ حجم بطارية أكبر. ○ ضعف الأداء في درجات الحرارة المنخفضة. ○ صعوبات في إعادة التدوير.



الشكلI-26: مخطط توضيحي لتركيب بطارية ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$) [26].

يلخص الجدول (الجدول(I-4)) مقارنة بين أنواع البطاريات بطارية الرصاص-حمض (Lead-Acid)، بطارية الليثيوم-أيون(Li-ion) وبطارية ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$).

الجدول(I-4): مقارنة بين أنواع البطاريات الثلاث [23-27] .

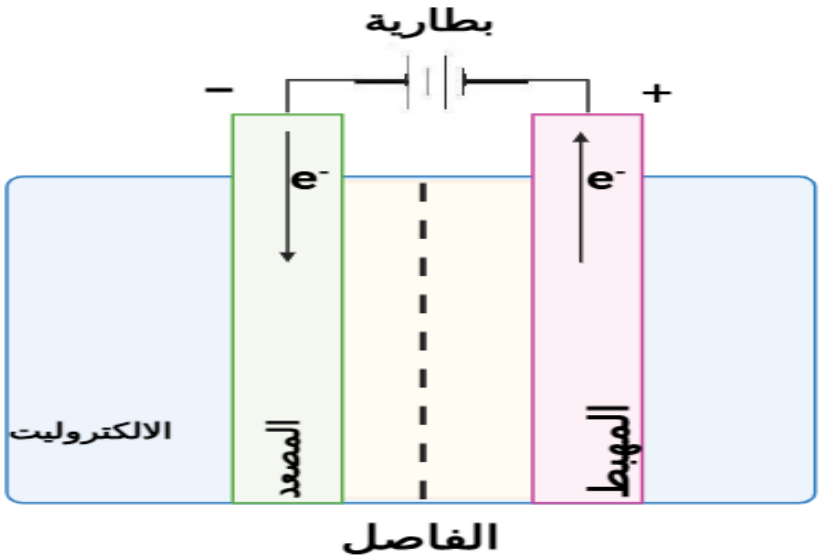
نوع البطارية / الخاصية	بطارية الرصاص-حمض (Lead-Acid)	بطارية الليثيوم-أيون (Li-ion)	بطارية ليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$)
الكفاءة	من 70% إلى 80%	من 90% إلى 100%	من 95% إلى 90%
العمق المسموح للتفريغ (DoD)	حوالي 50%	من 80% إلى 100%	من 80% إلى 100%
العمر (دورات الشحن)	من 200 إلى 500 دورة	من 2000 إلى 5000 دورة	من 2000 إلى 5000 دورة
الوزن	ثقيل	أخف بنسبة من 50% إلى	متوسط إلى مرتفع
الأمان	أقل أمانا (مخاطر تسرب الحمض)	مخاطر حرائق وانفجارات محتملة	أمان عال جدا
السعر	منخفض	مرتفع	متوسط إلى مرتفع (أقل من بطاريات ليثيوم-أيون التقليدية)

2.IV. التفاعلات الكيميائية وآلية التخزين الفيزيائي:

1.2.IV. الخلية الكهروكيميائية:

تستخدم الخلية الكهروكيميائية التفاعلات الكيميائية (الأكسدة والاختزال) لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية أو العكس وتتكون من:

- **المصعد(Anode) :** موصل كهربائي على شكل لوح أو قضيب، وهو القطب الي تحدث له عملية الأكسدة (تحرير إلكترونات) [28].
- **المهبط (Cathode):** القطب الذي يحدث على سطحه عملية الاختزال (اكتساب إلكترونات) [28].
- **الالكتروليت:** هو الوسط (محلول شاردي) الذي يوفر آلية نقل الأيونات للإلكترونيات بين المصعد والمهبط، يمكن أن يكون صلبا أو سائلا [8].
- **الفاصل (Separator):** غشاء مسامي يفصل بين الأنود والكاثود، دوره منع التلامس المباشر بينهما مما يمنع حدوث دائرة قصيرة.



الشكلI-27: مخطط يوضح مكونات الخلية الكهروكيميائي [29].

2.2.IV. تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية:

خلال عملية الشحن، تقع عملية تحويل الطاقة الكهربائية إلى كيميائية داخل الخلية الكهروكيميائية، وذلك من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تحدث في الأقطاب. تعد هذه التفاعلات العمليات الأساسية لتحويل الطاقة التي يتم تخزينها في صورة روابط كيميائية داخل البطارية.

- **طاقة التخزين:**

طاقة التخزين في البطارية هي كمية الطاقة الكهربائية التي يمكن للبطارية تخزينها واطلاقها خلال دورة شحن وتفريغ كاملة. تُقاس عادة بالواط ساعي (Wh)، أو الجول(J) $(1Wh = 3600J)$، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$E = Q \cdot V = I \cdot t \cdot V \qquad (\mathbf{I.6})$$

حيث:

E: طاقة التخزين $(Wh$ أو $J)$.

V: الجهد الكهربائي للبطارية (فرق الجهد بين القطبين) (V).

Q: سعة الشحنة الكهربائية المخزنة (كمية الكهرباء التي يمكن للبطارية توفيرها) (Ah).

I**:** التيار الكهربائي (A).

t: مدة الشحن أو التفريغ للبطارية (h).

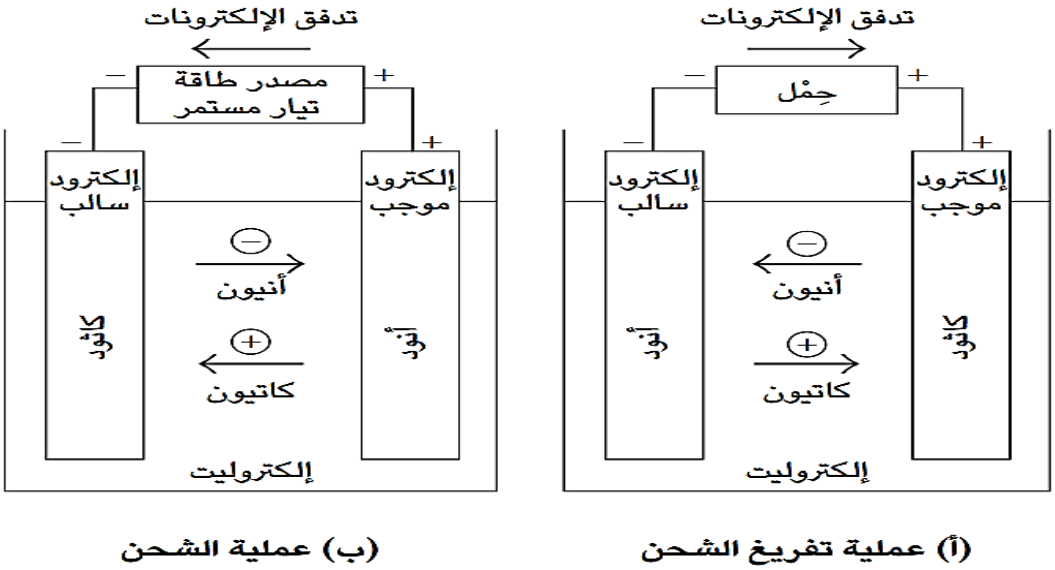
- **مبدأ الشحن والتفريغ:**

الشحن:

عند توصيل البطارية بمصدر طاقة كهربائية خارجي (تيار مستمر)؛ فإن المجال الكهربائي يجبر الإلكترونات على التدفق من الإلكترود الموجب (المهبط)، أين تحدث عملية الأكسدة (فقدان إلكترونات) إلى الإلكترود السالب (المصعد) أين تحدث عملية اختزال أوما يُعرف باكتساب إلكترونات (الاتجاه المعاكس للتيار الذي تتولد به الطاقة عند تفريغ البطارية) [14].

التفريغ:

بتوصيل البطارية بحِمل خارجي، حيث تتدفق الإلكترونات من الإلكترود السالب عبر الحمل الخارجي (جهاز كهربائي) إلى الإلكترود الموجب. تكتمل الدارة الكهربائية في الإلكتروليت، الذي يعمل كوسط ناقل للأيونات داخل الخلية الكهروكيميائية؛ مما يسمح باستمرار تدفق الشحنة الكهربائية، من خلال تدفق الأيونات السالبة والأيونات الموجبة إلى الأنود والكاثود على الترتيب [14].



الشكلI-28: رسم تخطيطي يوضح عمليتي الشحن والتفريغ في البطاريات [14].

3.2.IV. العوامل المؤثرة على كفاءة التخزين:

- **نوع البطارية:**

تختلف كفاءة التخزين من بطارية إلى أخرى بشكل كبير حسب نوع البطارية، الذي يحدده بأساس اختلاف المواد النشطة في الأقطاب الكهربائية. إذ أن الكيمياء الداخلية للبطارية هي التي تحدد الخصائص الكهروكيميائية التي تؤثر على الكفاءة [29].

- **درجة الحرارة:**

تعمل البطاريات بأفضل كفاءة في نطاق درجة حرارة معين؛ حيث أن الانحراف عن هذا النطاق يؤدي إلى انخفاض الأداء وتسريع الشيخوخة. يظهر تأثير درجة الحرارة أساسا على سرعة التفاعلات الكيميائية داخل البطارية [29].

- **عمق التفريغ (Depth of Discharge - DoD):**

يعبر عمق التفريغ عن نسبة الشحنة أو الطاقة التي تم تفريغها من البطارية مقارنة بسعتها الكلية. ويفسر ذلك على أنّه مقدار الطاقة التي استُخدمت من البطارية خلال دورة تفريغ معينة، ويُعبر عنه عادةً كنسبة مئوية. وتظهر العلاقة بين هذا العامل والبطارية من خلال العلاقة طردية؛ فكلما زاد عمق التفريغ، زاد الضغط على البطارية. يُسهم هذا الشيء في التقليل من الكفاءة والعمر الافتراضي [29].

- **معدل الشحن والتفريغ:**

تؤثر سرعة الشحن أو التفريغ على كفاءة البطارية، حيث تؤدي معدلات الشحن أو التفريغ العالية إلى زيادة فقدان الطاقة وتقليل السعة الفعلية. كل ذلك يكون بسبب ارتفاع المقاومة الداخلية وارتفاع درجة حرارة البطارية [29].

- **عدد دورات الشحن/التفريغ:**

مع تزايد عدد دورات الشحن والتفريغ، تخضع المواد النشطة داخل البطارية لتفاعلات جانبية تؤدي إلى انخفاض السعة القابلة للاستخدام؛ مما يقلل من كمية الطاقة التي يمكن تخزينها واسترجاعها [29].

يتضح أن الاعتماد على الطاقة الشمسية هو خيار استراتيجي وطبيعي ويوفر بديلاً فعالاً ومستداماً للوقود الأحفوري. فهذا التوجه لا يعزز فقط المساهمة في تقليل الانبعاثات الكربونية وحماية البيئة من تغير المناخ، بل يفتح أيضًا آفاقًا واسعة للتنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة ويُعد تخزين الطاقة الشمسية باستخدام البطاريات أحد الركائز الأساسية لتحقيق الاستفادة المثلى من أنظمة الطاقة الشمسية، ومع تطور تقنيات البطاريات، مثل بطاريات الليثيوم أيون والبطاريات الصديقة للبيئة، أصبحت أنظمة التخزين أكثر كفاءة واعتمادية، مما يعزز دور الطاقة الشمسية كمصدر رئيسي ومستدام للطاقة في المستقبل

المراجع:

[1] Beiser, A. (2003). Concepts of modern physics.

[2] د.مصطفى محمد عبد المهدي المجالي (بدون سنة) –الوقاية الإشعاعية.

[3] https://radioactivity.eu.com/articles/phenomenon/photoelectric_effect Seen on 05/07/2025 at 13:12

[4] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html Seen on 05/07/2025 at 13:35

[5] ضي ثامر عبيد. (2022) الخلايا الشمسية. جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الفيزياء. جامعة بابل-العراق.

[6] نورا أكرم بلال. (2021). التأثير الكهروضوئي وتوليد الطاقة الكهربائية. جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في العلوم. جامعة الموصل-العراق.

[7] م. إميل عاصي مقطش.(2017) سلسلة الوحدات التدريبية المبنية على أساس الكفاءة المهنية. المملكة الأردنية الهاشمية.

[8] A. Bhatia, B.E (2020). Electrical Fundamentals – Introduction to Batteries, PDHonline Course E233 (3PDH), CHAPTER 2.

[9] Nelson, J. A. (2003). *The physics of solar cells*. World Scientific Publishing Company.

[10] سماحي سهيلة (2016). فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الاشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.

[11] اسحيمي شهيرة، بن دومة سكينة، 2023، دراسة حول إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الشهيد حمة لخضر -الوادي.

[12] كاميليا يوسف محمد (2016). الطاقة الكهروشمسية. دار الكتب والوثائق القومية-مصر.

[13] محمد علي أحمد آل عيسى (بدون سنة). نبذة مختصرة أسس أشباه الموصلات النظرية والتطبيقية.

[14] Chen, C. J. (2011). *Physics of solar energy*. John Wiley & Sons.

[15] حيزي إسراء، الأعور أميمة (2024). دراسة سلوك الخلايا الكهروضوئية تحت تأثير أشعو مكثفة في مركز أسطواني قطع مكافئ. مذكرة ماستر أكاديمي. جامعة قاصدي مرباح- ورقلة.

[16] Moharam, M. M., El Shazly, A. N., Anand, K. V., Rayan, D. E. R. A., Mohammed, M. K., Rashad, M. M., & Shalan, A. E. (2021). Semiconductors as effective electrodes for dye sensitized solar cell applications. *Topics in Current Chemistry*, *379*(3), 20.

[17] رمضاني فريال، حوري نسرين (2021). دراسة وتحجيم الأنظمة الكهروضوئية. مذكرة ماستر أكاديمي. جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.

[18] عبد الله قاسم محمد (2023). الخلايا الشمسية. جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس التربية في الفيزياء. جامعة بابل-العراق.

[19] https://www.voltiat.com/how-to-connect-solar-panels-for-beginners/ Seen on 09/07/2025 at 12:49

[20] مجحودة وئام، نوير نجاح (2023). دراسة نظام توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية موصول بالشبكة الكهربائية. مذكرة ماستر أكاديمي. جامعة الشهيد حمة لخضر-الوادي.

[21] م. محمد عطا الشيخ (2018). التحكم بنظام تغذية منزلي يعمل على الطاقة الشمسية ومربوط مع الشبكة الكهربائية. دراسة لنيل شهادة الماجستير في نظم التحكم والروبوتيك. المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا. الجمهورية العربية السورية.

[22] Barak, M. (Ed.). (1980). *Electrochemical power sources: primary and secondary batteries* (No. 1). IET.

[23] Reddy, T. B., & Linden, D. (2011). Linden's handbook of batteries.

[24] https://www.motorscaffe.com/2019/08/automotive-battery-components.html

Seen on 09/07/2025 at 18:18

[25] Gao, D., Liu, X., Zhu, Z., & Yang, Q. (2023). A hybrid CNN-BiLSTM approach for remaining useful life prediction of EVs lithium-Ion battery. *Measurement and Control*, *56*(1-2), 371-383.

[26] Chen, T., Li, M., & Bae, J. (2024). Recent Advances in Lithium Iron Phosphate Battery Technology: A Comprehensive Review. *Batteries*, *10*(12), 424.

[27] Rakhimov, E., Khoshimov, D., Sultonov, S., Jamoldinov, F., Imyaminov, A., & Omonov, B. (2024). RETRACTED: Battery technologies: exploring different types of batteries for energy storage. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 84, p. 05034). EDP Sciences.

[28] د.عمر بن عبد الله الهزازي (2019). الكيمياء الكهربائية. الجزء الأول. المملكة العربية السعودية.

[29] Rahn, C. D., & Wang, C. Y. (2013). *Battery systems engineering*. John Wiley & Sons.

الفصل II: العلاقة النظرية بين الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية و الطاقة المخزنة في البطاريات

تمهيد:

في أنظمة الطاقة الشمسية، تُولد الألواح الشمسية خلال فترات النهار طاقة كهربائية تُستخدم إمّا مباشرة أو تُخزن في البطاريات. كلما زادت قدرة الألواح الشمسية على توليد الطاقة، زادت الحاجة إلى بطاريات بسعة تخزين أكبر لاستيعاب الفائض من الطاقة. وعند غياب ضوء الشمس، تُفرغ هذه البطاريات من الطاقة المخزنة لتزويد الأحمال الكهربائية.

يلعب منظم شحن الطاقة الشمسية (Solar Charge Controller) دورًا أساسيًا كحلقة وصل بين الألواح الشمسية والبطاريات. حيث يعمل على تنظيم تدفق التيار والجهد القادمان من الألواح إلى البطاريات لضمان شحنها بكفاءة وأمان. يقوم منظم الشحن بمنع الشحن المفرط الذي قد يتلف البطاريات ويقلل من عمرها، كما يحميها من التفريغ العميق الذي يسبب ضررًا دائمًا ويقصر من عمرها الافتراضي. بالإضافة إلى ذلك، يحمي منظم الشحن الألواح الشمسية من التيار العكسي الذي قد يحدث في غياب ضوء الشمس.

I. الطاقة الناتجة عن الخلايا الشمسية (Photovoltaic Energy):

تعتمد الطاقة الناتجة عن الألواح الشمسية على قدرة اللوح الشمسي ومدة تعرضها للإشعاع الفعال. وتعطى بالعلاقة التالية:

$$E_{PV} = P_{PV} \cdot t \qquad \textbf{(II. 1)}$$

حيث:

E_{PV}: الطاقة المنتجة (Wh).

P_{PV}: قدرة اللوح الشمسي (W).

t: مدة الاشعاع الفعال يوميا (h).

II. قدرة وسعة البطارية:

- **السعة (Capacity):**

تعرف سعة البطارية بأنها مقدار مخزون الكهرباء فى البطارية، وتقدر بوحدة الأمبير-ساعة (Ah)، وهي شدة التيار الممكن الحصول عليه من البطارية من بدء التفريغ إلى الحد المقرر لهبوط الجهد [1].

- **القدرة (Power):**

هي كمية الطاقة التي يمكن للبطارية توفيرها في لحظة معينة، تُقاس بالواط (W) وتعتمد على الجهد (V) والتيار الكهربائي (I) المتاح من البطارية.

- **الطاقة المخزنة في البطارية (Battery Energy Storage):**

هي إجمالي كمية الطاقة الكهربائية التي يمكن للبطارية تخزينها وإطلاقها بالكامل من حالة الشحن الكامل إلى حالة التفريغ الكامل، وتعتمد على سعة البطارية وجهدها [2] وتعطى بالعلاقة التالية:

$$E_{bat} = V \cdot I \cdot t = C \cdot V \qquad (\mathbf{II.2})$$

حيث:

E_{bat}: الطاقة المخزنة في البطارية (Wh).

V: جهد البطارية الكهربائي (V).

I: شدة التيار الكهربائي (I).

t: مدة التشغيل أوالشحن.

C: سعة البطارية (Ah).

عند الأخذ بعين الاعتبار الخسائر التي تحدث أثناء عمليات الشحن والتفريغ، مثل المقاومة الداخلية للبطارية والتفاعلات الكيميائية التي تقلل من كمية الطاقة القابلة للاستخدام، نجد أن الطاقة الفعلية المخزنة في البطارية أقل من الطاقة التي تم إدخالها إليها أثناء الشحن، لذلك نعبر عن الطاقة الفعلية بالعلاقة التالية:

$$E_{actual} = C \cdot V \cdot \eta \qquad (\mathbf{II.3})$$

حيث:

E_{actual}: الطاقة الفعلية المخزنة في البطارية.

η: كفاءة البطارية.

III. مفهوم عمق التفريغ (Depth of Discharge - DoD):

يعتبر عمق التفريغ مقياس عن نسبة الشحنة أو الطاقة التي تم تفريغها من البطارية مقارنة بسعتها الكلية. بمعنى أنّه إذا كانت البطارية مشحونة بالكامل (100%) واستخدمت منها 40% من سعتها؛ فإن عمق التفريغ يكون 40% (النسبة المئوية من السعة الكلية التي يمكن استخراجها من البطارية). وبالتالي فكلما زاد عمق التفريغ، زاد استهلاك البطارية من طاقتها [3].

يُلاحظ أنّ هناك تناسب عكسي بين عمق التفريغ وعدد دورات الشحن التي تتحملها البطارية. فكلما زاد عمق التفريغ، قل عدد الدورات الممكنة بسبب الإجهاد المتزايد على مكوناتها [4].

يمكن إذا كتابة المعادلة المصححة للطاقة القابلة للاستخدام على الشكل الموالي:

$$E_{usable} = C \cdot V \cdot \eta \cdot DoD \quad (II.4)$$

حيث:

E_{usable}: الطاقة القابلة للاستخدام.

DoD: عمق التفريغ.

IV. الطاقة المنتجة والطاقة المخزنة:

تُعرف الطاقة المنتجة بأنّها كمية الكهرباء التي تولدها الخلايا الشمسية عند تعرضها لأشعة الشمس. فتعدّ المصدر الأول للطاقة في النظام الكهروضوئي.

أما الطاقة المخزنة فهي الطاقة التي يتم حفظها في البطارية لاستخدامها لاحقًا عند انخفاض إنتاج الخلايا أو زيادة الأحمال، بحيث تؤمن استمرارية التشغيل [5].

لتحقيق التوازن بين الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية والطاقة التي تخزنها البطاريات، وجب تصميم حجم الخلايا الشمسية والبطارية بما يتوافق مع قدرة الإنتاج والطلب. بالإضافة لمراعاة وجود فائض لتغطية الأيام الغائمة أومنخفضة الاشعاع الشمسي، وكذلك وجب استخدام أنظمة إدارة الطاقة (Energy Management System - EMS)، التي تعمل على مراقبة والتحكم في عملية الشحن والتفريغ للبطارية؛ وذلك قصد ضمان عدم تحميل البطارية أكثر من قدرتها والحفاظ على عمرها الافتراضي. تساعد هذه الأنظمة أيضا في تجنب الإفراط في الشحن أو التفريغ العميق [5].

عند وجود فائض في الطاقة المنتجة من الألواح الشمسية، يمكن استغلاله في إعادة تغذية الشبكة الكهربائية في الأنظمة المتصلة بالشبكة، كما يمكن بيع الفائض أو إعادته إلى الشبكة الكهربائية كمصدر تعويض؛ مما يقلل من فاتورة الكهرباء.

من جهة أخرى، عند تسجيل زيادة استهلاك للطاقة في وجود عجز للنظام الكهروضوئي (أي أن الطاقة المنتجة من الألواح الشمسية لا تكفي لتلبية الطلب). يمكن الاعتماد على الشبكة الكهربائية كنسخة احتياطية في الأنظمة المتصلة بالشبكة، أو فصل وتقليل الأحمال الكهربائية غير الضرورية خلال فترات العجز لتقليل الضغط على النظام.

- **معادلة التوازن الطاقوي**، تأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

- **الخسائر في النظام الشمسي (Solar System Losses):**

تواجه أنظمة الطاقة الشمسية عدّة أنواع من الخسائر التي تؤثر على كفاءة إنتاج الطاقة من بينها:

- **خسائر في أسلاك والمحولات:**

عند انتقال الكهرباء من الألواح إلى الأحمال أو البطاريات، تمر عبر أسلاك ومحولات كهربائية، هذه العناصر لها مقاومة كهربائية تؤدي إلى فقدان جزء من الطاقة على شكل حرارة، وعادة ما تكون معدّلات هذه الخسائر تتراوح بين 2% إلى 5% من إجمالي الطاقة المنتجة [6].

- **خسائر تحويل التيار من مستمر (DC) إلى متناوب (AC) :**

تنتج الألواح الشمسية تيارًا مستمرًا (DC) بينما معظم الأجهزة المنزلية تحتاج لتشغيلها إلى تيار متردد (AC). عملية التحويل هذه تتم عبر محولات (inverters) تصل كفاءتها عادة ما بين 90% إلى 98%؛ أمّا خسائر التحويل فهي تتراوح بين 2% إلى 10% [6].

- **خسائر في شحن البطاريات وتفريغها:**

إنّ استخدام الطاقة المخزنة في البطاريات ينجر عنه خسائر بسبب الكفاءة غير الكاملة للبطاريات (الكفاءة عادة بين 80%-95%)، فتكون خسائر الشحن والتفريغ في الغالب تتراوح بين 5% إلى 20% حسب نوع البطارية [6].

نعبر عن توازن الطاقة في نُظم الطاقة الشمسية بمعادلة التوازن الطاقوي التالية، حيث يجب أن تساوي الطاقة المنتجة مجموع الطاقة المستهلكة والمخزنة والمفقودة:

$$E_{PV} = E_{load} + E_{stored} + E_{loss} \qquad (\mathbf{II.5})$$

حيث:

E_{PV} : الطاقة الكهربية المنتجة من الألواح الشمسية (Photovoltaic Energy).

E_{load} : الطاقة المستهلكة في الأحمال (Load Energy).

E_{stored} : الطاقة المخزنة في البطاريات (Stored Energy).

E_{loss} : الطاقة المفقودة (Losses).

مع مراعاة الخسائر المذكورة سلفا يمكن حساب الكفاءة الشاملة للنظام من خلال المعادلة:

$$\eta_{total} = \eta_{PV} \cdot \eta_{controller} \cdot \eta_{battery} \cdot \eta_{inverter} \quad (\mathbf{II.6})$$

حيث:

η_{total}: الكفاءة الشاملة للنظام.

η_{PV}: كفاءة اللوح الشمسي.

$\eta_{controller}$: كفاءة وحدة التحكم.

$\eta_{battery}$: كفاءة البطارية.

$\eta_{inverter}$: كفاءة المحول.

V. العلاقة بين إنتاج الطاقة وتخزينها في الأنظمة الكهروضوئية:

1.V. إنتاج أعلى من الطلب:

عند وجود عدد كبير من الألواح الشمسية أو ارتفاع في شدّة الإشعاع الشمسي؛ ينتج النظام الكهروضوئي طاقة كهربائية تفوق حاجة المستهلك أو الحمل. ولذلك وجب تخزين الطاقة الزائدة في بطاريات ذات سعة مناسبة لاستيعاب الفائض؛ لكن في حالة عدم كفاية سعتها يمكن أن يؤدي ذلك إلى شحن زائد مما قد يضر بالبطاريات أو يقلل من عمرها الافتراضي [2].

يمكن تصريف الطاقة الفائضة إلى شبكة الكهرباء (في الأنظمة المتصلة بالشبكة) أو استخدامها في تطبيقات أخرى، مثل تسخين المياه أو تشغيل أحمال إضافية [2].

2.V. إنتاج أقل من الطلب:

عندما يكون انتاج الألواح الشمسية أقل من استهلاك الحمل الكهربائي، تصبح الطاقة المنتجة غير كافية لتلبية الاحتياجات الفعلية. في هذه الحالة، يتم الإحالة لاستغلال الطاقة المخزنة في البطاريات لتعويض النقص؛ ما يؤدي إلى انخفاض مستمر في مستوى شحنها. هذا الوضع يخلُق حالة عدم استقرار في النظام، ويتطلب اللجوء إلى مصادر طاقة بديلة مثل الشبكة الكهربائية أو مولدات الاحتياط لتوفير الطاقة اللازمة. كما يمكن ذكر بعض من الحلول الممكنة لهذه المشكلة، متمثلة في زيادة سعة البطاريات أو ربط النظام بشبكة الكهرباء (نظام متصل بالشبكة) لضمان توفير الطاقة بشكل مستمر وموثوق [2].

3.V. إنتاج مساو للاستهلاك تقريبا:

إذا كان إنتاج الطاقة مساوٍ للاستهلاك يكون النظام الكهروضوئي مستقرا ومتوازنًا، بحيث تنتج الألواح كمية طاقة تقارب تمامًا احتياجات الحمل أو الاستهلاك في الوقت الفعلي. تعتبر هذه الحالة مثلى تحقق كفاءة عالية في استخدام الطاقة، مع تقليل الاعتماد على المصادر الخارجية وإطالة عمر البطاريات، وذلك من خلال إدارة الشحن والتفريغ السليم فتحافظ على مستويات شحن مناسبة وتجنب التفريغ العميق. وكذلك اختيار بطاريات ذات جودة عالية مصممة خصيصًا للاستخدام في أنظمة الطاقة الشمسية لتحمل دورات الشحن والتفريغ المتكررة [2].

VII. العوامل المؤثرة على الطاقة المنتجة والمخزنة:

1.VII. مساحة الألواح الشمسية:

هناك علاقة طردية بين الطاقة المنتجة ومساحة الألواح الشمسية حيث أن مساحة الألواح تحدد كمية الإشعاع الشمسي التي يمكن التقاطها وتحويلها إلى طاقة كهربائية فكلما زادت مساحة الألواح زادت كمية الإشعاع الشمسي المستقبلة وبالتالي زادت القدرة على توليد الطاقة. طاقة أكبر تعني إمكانية تخزين كمية أكبر من الطاقة في البطاريات، يمكن التعبير عن القدرة الكهربائية الناتجة من الألواح الشمسية بالعلاقة التالية:

$$P = \eta \cdot A \cdot G \quad (\mathbf{II.7})$$

حيث:

P: القدرة الكهربائية المنتجة (W).

η: كفاءة اللوح الشمسي.

A: مساحة اللوح الشمسي (m^2).

G: شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح $(W\ /\ m^2)$.

2.VII. زاوية الانحراف الشمسي:

تعرف زاوية الانحراف الشمسي (δ) بأنها الزاوية التي يصنعها محور دوران الأرض مع المستوى الاستوائي (مستوى خط الاستواء). وهي تعبر عن ميل محور الأرض بالنسبة للشمس، وتتغير قيمتها خلال السنة بين $+23{,}45^\circ$ و$-23{,}45^\circ$، وذلك بسبب ميلان محور الأرض حول الشمس أثناء الدوران في مدارها. هذه الزاوية تؤثر على ارتفاع الشمس عند خط الاستواء وفي مناطق مختلفة على سطح الأرض حسب الفترات الزمنية من السنة [7].

تلخص أهمية الأساسية لزاوية الانحراف في تثبيت اللوح بزاوية ميل موافقة للموقع لاستقبال أفضل إشعاع شمسي؛ فيكون ضبط هذه الزاوية على حسب فترات السنة. إذ تعتمد الطاقة المنتجة على كفاءة استقبال الإشعاع، وكلما زادت الطاقة المنتجة بسبب الزاوية المثلى، زادت كمية الطاقة المخزنة للاستخدام لاحقا [7].

3.VII. درجة الحرارة:

تؤدي زيادة درجة حرارة الوسط إلى ارتفاع درجة حرارة الخلايا الشمسية، وبما أنّ أشباه الموصلات تُعتبر المكون الأساسي لهذه الخلايا ولما تتمتع به من خصائص طبيعية. يسبب ارتفاع درجة الحرارة انخفاضًا في كفاءتها يصل إلى حوالي 0.5% عن كل زيادة، بمقدار $1°C$ في درجة حرارة الخلية كهروضوئية. يُحدث هذا الانخفاض نتيجة لانخفاض جهد الدارة المفتوحة وزيادة المقاومة الداخلية للخلية [8].

4.VII. جودة البطاريات وكفاءتها:

تُعتبر البطارية من العناصر الأساسية في النظام الكهروضوئي وجودتها تؤثر بشكل مباشر على أدائها وعمرها التشغيلي. فالبطاريات ذات الجودة المنخفضة تتعرض لتدهور أسرع في السعة، كما يصعب التنبؤ بسلوكها عند انخفاض السعة إلى أقل من 80%، مما يؤثر سلباً على موثوقية النظام وكفاءته. أظهرت دراسة ميدانية لكفاءة البطاريات يظهر أن سعة البطارية تنخفض إلى حوالي 60% من السعة الأصلية بعد 18 شهراً من التشغيل بسبب عدة عوامل مثل جودة التصنيع وسوء إدارة الشحن، مما يقلل من كمية الطاقة المخزنة المتاحة للاستخدام [5].

5.VII. نظام التحكم في الشحن والتفريغ:

تعمل أنظمة التحكم (الشكلII.3) في الشحن والتفريغ على إدارة تدفق الطاقة بين مصادر الإنتاج (الألواح الشمسية) والبطاريات لضمان أداء آمن وفعال، تشمل هذه الأنظمة تقنيات وأجهزة تهدف إلى إدارة وتنظيم عملية شحن البطاريات وتفريغها لضمان كفاءة عالية وعمر أطول للبطاريات [9]، من أبرز هذه الأنظمة:

- **منظمات الشحن بتعديل عرض النبضة (Pulse Width Modulation)(PWM) :**

يقوم هذا المنظم (الشكلII-1) بتقليص الجهد الآتي من الألواح الشمسية لتحويله إلى الجهد المناسب لشحن البطاريات. رغم هذه الوظيفة لكنه يمتلك من العيوب التي يمكن أنّ نذكر منها تسببه في فقدان بعض الطاقة وتقليل كفاءة النظام. ترتبط كفاءته بالفرق في قيمة الجهد بين الألواح الشمسية والبطاريات، وهي مناسبة للأنظمة الصغيرة والمتوسطة، التي تتميز بتكلفة منخفضة لكنّها أقل كفاءة مقارنة بالأنظمة المتقدمة [10].



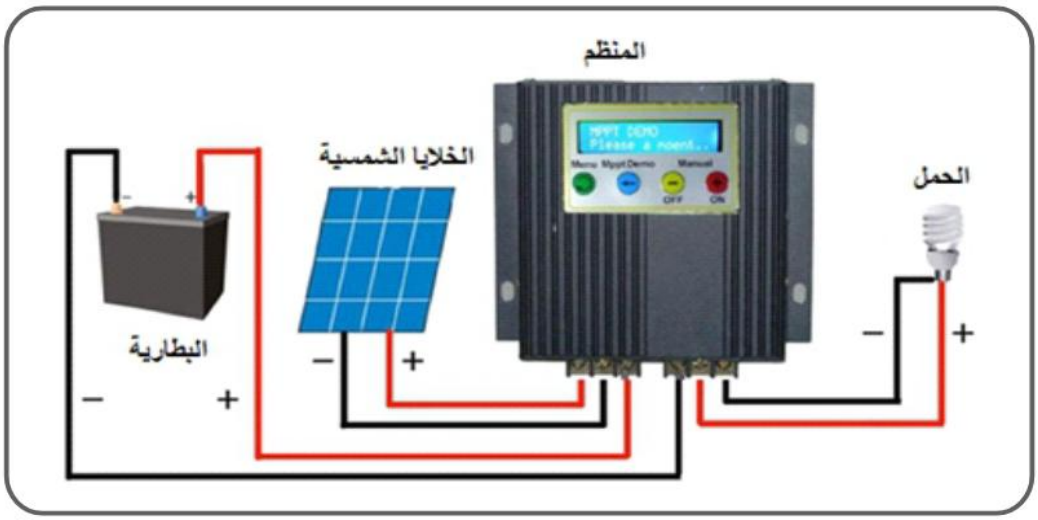
الشكلII-1: منظم الشحن **PWM** [11].

- **منظمات الشحن بتتبع نقطة القدرة القصوى (Maximum Power Point Tracking)(MPPT):**

يعمل المنظم (الشكلII-2) على تتبع نقطة القدرة العظمى (Maximum Power Point) للألواح الشمسية. تُعرف هذه النقطة على أنّها النقطة التي تشهد أقصى قدرة كهربائية يمكن توليدها في ظل ظروف الإشعاع ودرجة الحرارة المتغيرة، وذلك من خلال استقبال جهد الألواح الشمسية وتنظيمها ليتناسب مع جهد البطاريات وأحمال التيار المستمر. يستطيع منظم الشحن تحسين انتاج الطاقة واستخراج من 15% إلى 30% إضافية من الطاقة أكثر من جهاز تحكم PWM، من أهم مميزات هذا المنظم أنه يضمن عدم تدفق التيار العكسي من وإلى الألواح ليلا، يحمي البطاريات من الشحن الزائد والتفريغ العميق، بالإضافة إلى ميزة الشحن والإيقاف الذاتي؛ لكن تكلفته غالية الثمن مقارنة بجهاز تحكم من نوع PWM [9-10].



الشكلII-2: منظم الشحن **MPPT** [11].



الشكلII.3: مخطط يوضح موقع تركيب منظم الشحن [11].

تمثل العلاقة بين الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية والطاقة المخزنة في البطاريات جوهر فعالية أنظمة الطاقة الشمسية. فالكفاءة المثلى لهذه العلاقة تضمن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية مخزونة تحفظ لفترات زمنية متفاوتة دون فقد كبير. هذه العلاقة تبرز أهمية التوازن الدقيق بين إنتاج الطاقة الشمسية وسعة التخزين لضمان استمرارية تغذية الحمل الكهربائي وفقًا للاحتياجات الفعلية، مما يعزز الاعتماد على الطاقة النظيفة ويُسهم في تحقيق التنمية المستدامة بكفاءة عالية.

المراجع:

[1] د. أحمد عبطان الجميلي (2024). محاضرة في كهربائيات الساحبات الزراعية (البطارية). جامعة تكريت- العراق.

[2] Reddy, T. B., & Linden, D. (2011). Linden's handbook of batteries. *(No Title)*.

[3] BIA Haithem, KHADEM Bachir, BELLILI Sifeddine (2020) Etude des techniques d'estimation de l'état de charge de la batterie d'un système embarqué. Mémoire de fin d'étude Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.

[4] Rahn, C. D., & Wang, C. Y. (2013). *Battery systems engineering*. John Wiley & Sons.

[5] Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, *188*, 426-440.

[6] Dhass, A. D., Beemkumar, N., Harikrishnan, S., & Ali, H. M. (2022). A review on factors influencing the mismatch losses in solar photovoltaic system. *International Journal of Photoenergy*, *2022*(1), 2986004.

[7] حجاج محمد طالب، زناتي عادل (2019) تحسين مردود الألواح الشمسية باستخدام العواكس المسطحة. مذكرة ماستر أكاديمي. جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.

[8] Bedaa Safieddine, Terriche Abdelmadjid. (2024) Enhancement study of the efficiency of photovoltaic panels through the utilization of geothermal cooling system. Memory Presented for obtaining the diploma of MASTER. Kasdi Merbah University Ouargla.

[9] Ahmed, M. K. (2019). ON-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING PERTURB AND OBSERVE ALGORITHM. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, *14*(52), 1113-1122.

[10] رمضاني فريال، حوري نسرين (2021) دراسة وتحجيم الأنظمة الكهروضوئية. مذكرة تخرج لنيل شهادة ماسترأكاديمي. جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.

[11] م. إميل عاصي مقطش. (2017) سلسلة الوحدات التدريبية المبنية على أساس الكفاءة المهنية. المملكة الأردنية الهاشمية.

الفصل III: حساب الاستهلاك المنزلي للطاقة و علاقته بالبطاريات والخلايا الشمسية.

I. أنظمة الطاقة الكهروضوئية في الجزائر:

وفقًا لإحصائيات وزارة الطاقة، هناك أكثر من 260000 قرية غير متصلة بالشبكة العامة للكهرباء. ونتيجة لذلك، تميل المنازل المعزولة إلى استخدام مولدات الديزل لتلبية احتياجاتها الأساسية من الكهرباء؛ لكن هذه المولدات تستهلك وقود الديزل وتُنتج انبعاثات ملوثة على البيئة، بالإضافة إلى ارتفاع تكاليف النقل والصيانة. لذلك توجهت الأبحاث لإيجاد بدائلا لمصادر الطاقة التقليدية متمثلة في الطاقة الشمسية الكهروضوئية. في 2015، تعاقدت الجزائر مع الشركة الكورية الجنوبية "هانوها" لإنشاء محطات بقدرة $450MW$ (450 ميغاواط) في ولاية بسكرة. كما ركبت شركة "سينو هايدرو" الصينية محطة بقدرة $20MW$ (20 ميغاواط) في "رأس الوادي" بولاية برج بوعريريج، هناك أيضًا العديد من المحطات قيد التنفيذ أوالتشغيل في ولايات مثل أدرار وإن صالح وغيرها[1] .

في ولاية غرداية، تم تشغيل محطة تجريبية بقدرة $1.1MW$ (1.1 ميغاواط) لدراسة عدة تقنيات من الخلايا الشمسية (جدول(III-1)). وتعمل كمختبر ميداني للقياس والمقارنة[1] .

سنقوم في هذا الفصل بحساب الاستهلاك المنزلي للطاقة الكهربائية ونصمم بناء عليه نظاما شمسيا (ألواح + بطاريات) يغطي هذا الاستهلاك بأعلى كفاءة ممكنة.

II. أهم العلامات التجارية للألواح الشمسية المتوفرة في الجزائر:

- **كوندور إنرجي (Condor Energy):** شركة جزائرية تعمل في مجال الطاقة المتجددة وتركيب الأنظمة الشمسية.
- **زرقون غرين إنرجي (Zergoun Green Energy):** مصنع لإنتاج الألواح الشمسية الكهروضوئية في ورقلة.
- **لونجي (LONGi):** شركة صينية تعمل على إنشاء مصنع لإنتاج الألواح الشمسية في الجزائر.

III. أهم العلامات التجارية لبطاريات التخزين المتوفرة في الجزائر:

شركات جزائرية:

- **Iris J.C.Ind:** هي شركة جزائرية متخصصة في مجال حلول ومعدات الطاقة الشمسية، وأنظمة الإضاءة والتخزين الصناعي. توفر منتجات ومعدات متنوعة مثل: سخانات المياه الشمسية، المصابيح وأجهزة الإضاءة بتقنية LED، المضخات الشمسية، الوحدات الكهروضوئية، منظمات الشحن، البطاريات، ومحولات التيار.
- **SCET Energie:** هي شركة رائدة في مجال الطاقة الاحتياطية وحماية الأنظمة الكهربائية الحساسة.
- **Amimer Energie:** شركة متخصصة في تركيب الأنظمة الشمسية.

IV. تعريف الاستهلاك المنزلي للطاقة:

يقصد بالاستهلاك المنزلي للطاقة على أنّه كمية الطاقة التي تستهلكها مختلف الأجهزة الكهربائية داخل المنزل يوميا، ويتم قياسه بوحدة الواط-ساعة (Wh) أو كيلو واط-ساعة (kWh).

يختلف الاستهلاك حسب عدد الأجهزة، مدة تشغيلها والقدرة الكهربائية لكل جهاز. ويحسب الاستهلاك من خلال العلاقة[2] التالية:

$$E_{load} = \sum P_i \cdot t_i \qquad \textbf{(III. 1)}$$

حيث:

E_{load}: الطاقة المستهلكة (Wh).

P_i: قدرة الجهاز الكهربائية (W).

t_i: عدد ساعات تشغيل الجهاز يوميا (h).

1.IV. المنزل:

يُوضح الجدول (III-1) الأجهزة الكهربائية ذات الاستهلاك الكبير المستعملة في **منزل**، مع قدرة الكهربائية لكل جهاز، والذي سنحسب من خلاله الطاقة الكلية التي يستهلكها المنزل في اليوم الواحد خلال موسم الصيف الممتد من شهر جوان إلى نهاية شهر أوت. بهدف تغطية الاستهلاك الأساسي من الطاقة وترشيد الاعتماد الكلي على الطاقة الكهربائية، جمع الجدول تقليص قدر المستطاع الأجهزة المستخدمة بشكل دائما ويومي ولايمكن الاستغناء عليها.

الجدول(III-1): الأجهزة الكهربائية ذات الاستهلاك الكبير المستخدمة في المنزل.

الجهاز	عدد الأجهزة	القدرة (W)	ساعات التشغيل في اليوم	ساعات التشغيل في النهار	ساعات التشغيل في الليل	الطاقة المستهلكة (Wh / day)
ثلاجة1	1	130	24	12	12	3120
ثلاجة2	1	78	24	12	12	1872
تلفاز	1	75	5	2	3	375
مصباحLED2	3	18	4	0	4	216
مصباحLED4	5	12	2	0	2	120
حاسوب محمول	1	45	2	2	0	90
هاتف نقال1	1	60	1	1	0	60
هاتف نقال 2	2	33	1,5	1,5	0	99
غسالة	1	550	0,5	0,5	0	275
مضخة	1	370	3	2	1	1110
مجمدة	1	140	24	12	12	3360
مكيف هواء	1	2100	11	5	6	23100
مروحة	1	45	3	3	0	135
الإستطاعة الكلية للأجهزة (W)			**3773**	**16225**	**17709**	**33932**
الإستهلاك اليومي الكلي من الطاقة في النهار (Wh / day)						
الإستهلاك اليومي الكلي من الطاقة في الليل (Wh / day)						
الإستهلاك اليومي الكلي من الطاقة (Wh / day)						

وعليه يمكن القول أنّ الاستهلاك المنزلي الكلي من الطاقة يوميا هو: $\mathbf{33,930\ kWh / day}$

1.1.IV. الطاقة المنتجة من طرف الألواح الشمسية:

من المعروف أنّ الألواح الشمسية تنتج تيارًا مستمرًا (DC) ؛ بينما تستخدم الأجهزة الكهربائية في المنازل التيار المتناوب (AC)؛ لذا يتم تحويل التيار المستمر إلى متناوب عبر محول التيار. خلال هذه العملية، يحدث فقد للطاقة وهذا راجع إلى كفاءة المحول. إضافة إلى حدوث خسائر أخرى أثناء مرور الطاقة عبر مكونات النظام الأخرى (منظم الشحن والبطاريات)، حيث تفقد الطاقة نتيجة كفاءة هذه الأجهزة.

يتم حساب الطاقة التي يتوجب على جميع الألواح انتاجها مع الأخذ بعين الاعتبار هذه الخسائر لضمان توفير الطاقة الكافية، ويتم حساب الطاقة المنتجة من الألواح الشمسية من خلال المعادلة التالية[2]:

$$E_{PV} = \frac{E_{load}}{\eta_{con} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{Bat}} \qquad \textbf{(III. 2)}$$

حيث:

E_{PV}: طاقة الألواح الشمسية $(kWh\ /\ day)$.

E_{load}: الطاقة الكلية المستهلكة خلال اليوم $(kWh\ /\ day)$.

η_{inv}: مردود محول التيار.

η_{con}: مردود منظم الشحن.

η_{Bat}: مردود البطاريات.

ومنه الطاقة التي يجب أن تنتجها الألواح هي:

$$E_{PV} = \frac{33{,}930}{0{,}85 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}7} = 64{,}80\ kWh/day$$

من خلال هذه الحسابات نلاحظ أن الطاقة المنتجة من طرف الألواح الشمسية تقدر بـ $64{,}80\ kWh/day$ ما يمثل تقريبا 52% من الاستهلاك اليومي **للمنزل** من الطاقة الكهربائية اليومية. تُنتج الألواح طاقة أكبر من الطاقة مطلوب استهلاكها من الأجهزة المستخدمة؛ وذلك لتأخذ بعين الاعتبار الفقد في الطاقة الناتج عن محول التيار، منظم الشحن، أسلاك النقل والبطاريات.

عند انتقال الطاقة من مرحلة إلى أخرى تفقد أجزاء منها؛ لذلك وجب أن تكون الطاقة المنتجة من طرف الألواح الشمسية أكبر بكثير من متطلبات الاستهلاك.

2.1.IV. تحديد جهد نظام الطاقة الشمسية:

يقصد بجهد النظام مقدار فرق الجهد الكهربائي الذي يعمل به النظام، بمعنى آخر أنّه القوة الدافعة الكهربائية التي تُحرك الشحنات داخل النظام بين نقاطه المختلفة. يُحدد جهد النظام بناءً على قدرة الأحمال الكهربائية الكلية التي نريد تشغيلها. ويكون عادةً من بين ثلاثة أنظمة شائعة التالية:

- **نظام 12V:** مناسب لأنظمة صغيرة حيث تكون قدرة الأحمال أقل من $1000W$.
- **نظام 24V:** مناسب للأحمال التي تتراوح من $1000W$ إلى $2000W$.
- **نظام 48V:** مناسب للأحمال الأكبر من $2000W$ ، وهو الأكثر استخدامًا في الأنظمة الكبيرة والمتوسطة لتقليل التيار وتحسين كفاءة الأسلاك وتخفيض الفقد[3] .

تكمن أهمية اختيار جهد النظام في تحديد عدد البطاريات التي يجب توصيلها (على التوالي لتكوين الجهد المطلوب)، وعدد الألواح الشمسية، وكذلك كل من منظم الشحن والعاكس. بما أن الاستطاعة الكلية للأجهزة في **المنزل** هي $\mathbf{3773W}$ فإن جهد النظام الملائم في هذه الدراسة هو **نظام 48V**. من جهة أخرى، ضمن هذا النظام المستخدم؛ فإنّ عدد البطاريات المربوطة على التسلسل يحوي فقط على 4 بطاريات في كل سلسلة.



الشكلIII-1: مخطط توضيحي لنظام 48V.

3.1.IV. حساب عدد البطاريات اللازمة:

في منظومة الشمسية المدروسة لتغذية المنزل، ينصح باستخدام بطاريات ذات سعات تتراوح بين 200Ah و300Ah ، كما يُوخذ بعين الاعتبار سعر المنتج، الجمارك في حالة الاستراد، وكذلك الصيانة. بالنظر لكمية الاستهلاك في فصل الصيف للمنزل المدروس، والذي قدرت بـ 33,930 kWh / day تم الاعتماد على بطارية الجل ذات سعة مقدرة بـ 260Ah (الشكل III-2) - متوفرة في الجزائر من طرف عدة شركات. تتميز هذه البطارية بكونها من بطاريات الرصاص الحمضية المفتوحة، ذات صفائح موجبة مسطحة القابلة لإعادة الشحن.

كما أنها مصممة بشكل أساسي للاستخدام في أنظمة إنارة الشوارع الكهروضوئية، وإشارات المرور الشمسية، ومضخات الطاقة الشمسية، وأنظمة الطاقة الشمسية.



الشكلIII-2: البطارية المستعملة في النظام الكهروشمسي.

لحساب عدد البطاريات اللازمة يجب حساب الأمبير الساعي الكلي، والذي يقصد به سعة البطارية، وذلك وفق العلاقة [3] التالية:

$$Ah_a = \frac{Ah_d \cdot TC \cdot DA \cdot DM}{DoD} \quad \textbf{(III. 3)}$$

حيث:

Ah_a: الأمبير الساعي الكلي (Ah).

Ah_d: الأمبير الساعي اليومي (Ah/day).

DA : عدد الأيام الغائمة على التوالي.

DM: هامش التصميم (نسبة الخطأ في التصميم).

DoD: عمق تفريغ البطارية.

TC: معامل تصحيح درجة الحرارة (معامل يعطى من طرف الشركة المصنعة للبطارية). وبمأن البطارية المستخدمة من نوع بطاريات الرصاص الحمضية، فيؤخذ عند المنطقة الحارة عادة 1 عند 25°[4].

حساب الأمبير ساعي اليومي Ah_d : والذي يمثل كمية الشحنة الكهربائية التي يحتاجها النظام ويوفرها النظام الشمسي المركب خلال يوم [3].

$$Ah_d = \frac{E_{PV}}{48} \qquad (\mathbf{III.4})$$

حيث:

E_{PV}: الطاقة اللازم انتاجها من الألواح الشمسية $(Wh\ /\ day)$.

48: جهد النظام.

ومنه:

$$Ah_d = \frac{64800}{48} = 1350Ah/day$$

بأخذ القيم التالية:

$$Ah_d = 1350\ Ah/day$$

$$TC = 1$$

$$DA = 1$$

$$DM = 1$$

$$DoD = 80\%$$

نجد أن الأمبير ساعي الكلي يقدر بـ:

$$Ah_a = \frac{1350 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{0{,}80} = 1687{,}5Ah$$

- **حساب عدد البطاريات اللازمة:**

في جهد النظام المطبق (**نظام 48V**) يكون لدينا 4 بطاريات في السلسلة الواحدة، لذلك نحسب عدد السلاسل من خلال العلاقة[3] أسفله:

$$N_{bs} = \frac{Ah_a}{Ah_b} \quad (\mathbf{III.5})$$

حيث:

N_{bs}: عدد سلاسل البطاريات.

Ah_b: الأمبير الساعي للبطارية (سعة البطارية) (Ah).

وعليه بتطبيق القانون نجد:

$$N_{bs} = \frac{1687,5}{260} = 6,49 \approx 6$$

بما أنّ كل سلسلة تحتوي على 4 بطاريات في نظام $48V$؛ فإن العدد الكلي للبطاريات يساوي[3]:

$$N_b = N_{bs} \cdot 4 \qquad (\mathbf{III.6})$$
$$= 6 \,.\, 4 = 24$$

4.1.IV. الاستطاعة الشمسية المطلوبة من المنظومة الشمسية في الساعة الواحدة:

تحسب الاستطاعة الشمسية المطلوبة من المنظومة الشمسية في الساعة الواحدة من خلال العلاقة[3] التالية:

$$P_{Ps} = \frac{E_{PV}}{N_h} \quad (\mathbf{III.7})$$

حيث:

P_{PS}: الاستطاعة العظمى للألواح في الساعة الواحدة.

E_{PV}: الطاقة اللازم انتاجها من الألواح الشمسية.

N_h: ساعات الذروة الشمسية الفعلية في الموقع في **ولاية المغير جنوب الجزائر**، يُقدر متوسط ساعات الذروة الشمسية بنحو **6 ساعات يومياً**.

إذن:

$$P_{Ps} = \frac{64,80}{6} = 10,8kW$$

5.1.IV. عدد الألواح اللازمة لتغذية المنزل:

يحسب عدد الألواح الشمسية اللازمة لتغذية المنزل من خلال قسمة الاستطاعة الشمسية المطلوبة من المنظومة الشمسية في الساعة الواحدة على قدرة اللوح الواحد[3].

$$N_{PV} = \frac{P_{PS}}{P_{PV}} \qquad (\mathbf{III.8})$$

حيث:

N_{PV}: عدد الألواح الشمسية.

P_{PS}: الاستطاعة الشمسية المطلوبة من المنظومة الشمسية في الساعة الواحدة.

P_{PV}: قدرة اللوح الشمسي الواحد.



الشكلIII-3: صورة توضح خصائص اللوح الشمسي المختار.

وعليه عدد الألواح الشمسية اللازمة هو:

$$N_{PV} = \frac{10800}{620} = 17{,}41$$

أي أنّ هذه المنظومة الشمسية المستخدمة لتغذية احتياجات لمنزل من طاقة تحتاج لـ 17 لوح شمسي.

6.1.IV. حساب الطاقة المخصصة لشحن البطاريات:

يتم حسابها من خلال العلاقة[3] التالية:

$$E_{Battery} = P_{PV} \cdot N_{PV} \cdot N_h - E_m \quad \textbf{(III. 9)}$$

حيث:

$E_{Battery}$: الطاقة المخصصة لشحن البطاريات (W).

P_{PV}: قدرة اللوح الشمسي (W).

N_{PV}: عدد الألواح الشمسية.

N_h: ساعات الذروة الشمسية الفعلية في الموقع في **ولاية المغير جنوب الجزائر**، يُقدر متوسط ساعات الذروة الشمسية بنحو **6 ساعات يومياً**.

E_m: الطاقة المستهلكة في النهار (W).

إذن:

$$E_{Battery} = 620 \cdot 17 \cdot 6 - 16225 = 47015Wh$$

7.1.IV. حساب قدرة العاكس:

لاختيار العاكس المناسب لمنظومة الطاقة الشمسية المستخدم، يجب تحديد مجموع الأحمال الكهربائية المشغلة من طرفه، والتي تمثل الاستطاعة الكلية للأجهزة الكهربائية $(P_t = 3773W)$. والتأكد من أن قدرة العاكس تغطي هذه الأحمال مع هامش أمان (عادة زيادة 20-30%) لتغطية الزيادات المفاجئة في الأحمال.

باعتبار هامش الأمان 30%، يصبح لدينا عامل الأمان [3] كالتالي:

$$SF = \frac{1}{SF\%} + 1 \quad \textbf{(III. 10)}$$

حيث:

SF:عامل الأمان.

وعليه، $SF = 1.3$

وبالتالي تصبح قدرة العاكس وفق المعادلة [3]التالية:

$$P_{inv} = P_t \,.\, SF \quad \textbf{(III. 11)}$$

حيث:

P_{inv}: استطاعة العاكس (W).

P_t: الاستطاعة الكلية للأجهزة الكهربائية (W).

SF:عامل الأمان.

وبالتالي تكون قيمة قدرة العاكس:

$$P_{inv} = 3773 \cdot 1{,}3 = 4904{,}9W$$

إذن يمكن القول أنّنا بحاجة إلى محول تيار بقيمة 5kW

بالمقارنة بين قيمتي قدرة العاكس والاستطاعة الكلية للأجهزة الكهربائية في المنزل، نلاحظ أنّ: $P_{inv}(5W) > P_t(3773W)$. وبالتالي يمكن القول أنّ العاكس يتحمل أعباء جميع الأحمال، وله القدرة على تشغيل جميع الأجهزة دون انقطاع. كما يحافظ على إبقاء البطاريات أطول وقت شحن ممكن، ما يسمح بجعل المنظومة الشمسية ذات كفاءة أفضل.

IV.8.1. تحديد منظم الشحن ومواصفاته:

بالحديث عن منظم الشحن، الذي يعمل على مراقبة الجهد والتيار داخل المنظومة الشمسية. فيستحسن استخدام منظم شحن MPPT؛ لأن هذا النوع هو الأفضل والأكثر كفاءة، كما أنّه من الممكن أن يكون منظم الشحن مدمجا مع محول التيار.

تعتمد عملية اختيار منظم الشحن على طريقة توصيل الألواح الشمسية، بحيث يجب أن يكون قادرا على تحمل أقصى تيار كهربائي تنتجه الألواح الشمسية مع إضافة معامل أمان (1.3 مثلا) على التيار الإجمالي المتوقع.

كما أنه يجب التأكد من أن مجموع جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للألواح المتصلة على التسلسل أقل من أقصى قيمة الموجودة ضمن مواصفات منظم الشحن.

- **حساب تيار منظم الشحن المطلوب**[5] **:**

$$I_{con} = \frac{E_{PV}}{48 \cdot N_h} \qquad (\mathbf{III.12})$$

حيث:

I_{con}: تيار منظم الشحن (A).

E_{PV}: الطاقة اللازم انتاجها من الألواح الشمسية (Wh).

N_h: متوسط ساعات الشمس في المنطقة.

$48V$: نظام البطاريات.

إذن:

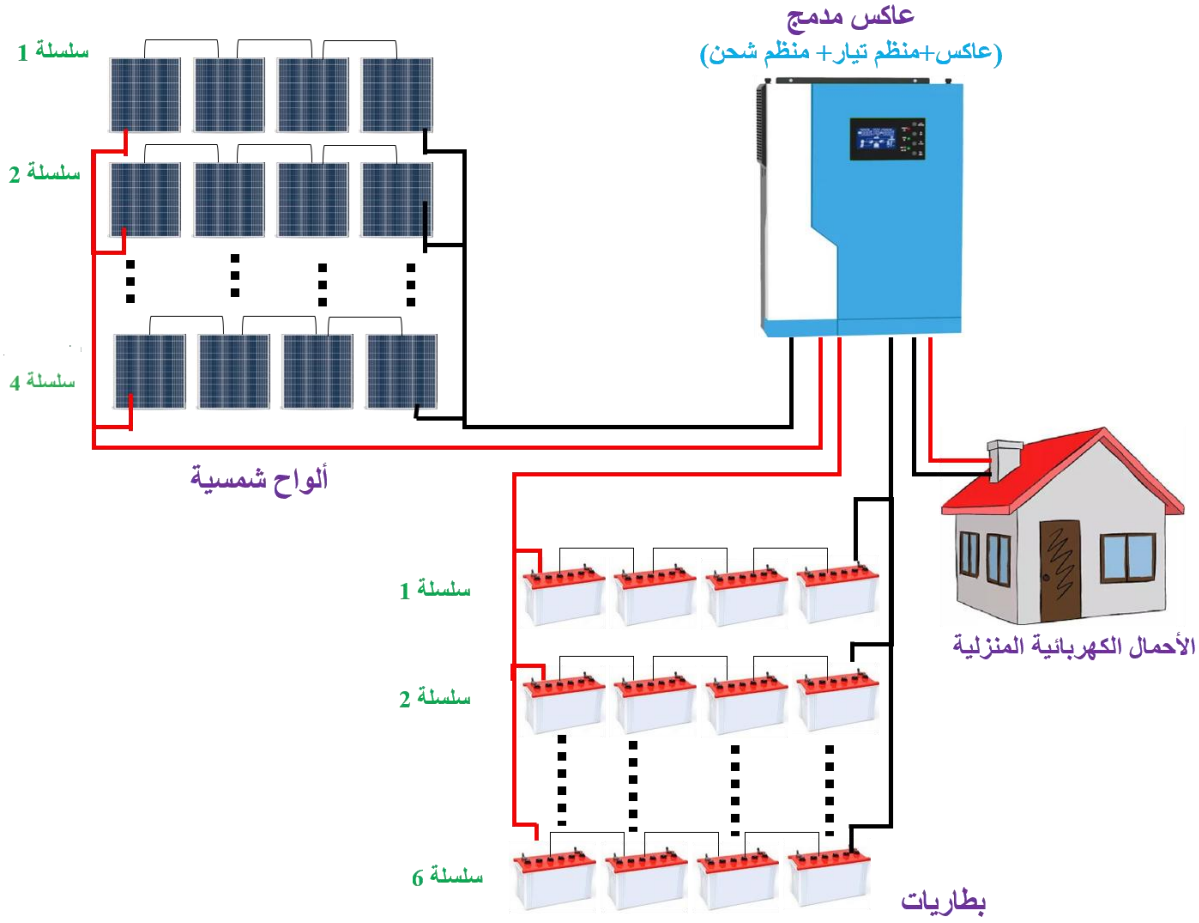
$$I_{con} = \frac{64800}{48 \cdot 6} = 225\ A$$

بالتالي، نحتاج إلى منظم شحن MPPT قادر على التعامل مع تيار شحن مساو لـ $225\ A$.

باعتبار أنّ التيار (current at maximum power) I_{pm}، الذي يمثل أعلى تيار عند أكبر استطاعة للألواح الشمسية P_{max} مساو لـ $14{,}26A$. كما أنّه ضمن هذه المنظومة لدينا 6 سلسلة للبطاريات مربوطة على التفرع، فنجد أنه لمقدار تيار الشحن $225A$ نحتاج تقريبا لـ 4 سلاسل من الخلايا الشمسية (225/14,26) لضمان الأمان والشحن الفعلي.

معظم منظمات الشحن التجارية تدعم تيارات تتراوح بين $(100A - 150A)$ لكل وحدة. لهذا التيار الكبير $(225A)$، يُنصح باستخدام عدة منظمات شحن MPPT متوازية لتوزيع الحمل بشكل آمن. يمكن مثلاً استخدام 2 منظمات شحن بتيار حوالي $120A$ لكل منها.

IV.1.9. المخطط العام للمنظومة الشمسية:



الشكلIII-4: مخطط توضيحي لمنظومة الطاقة الشمسية لاستهلاك طاقة للمنزل المدروس.

يُوضح الشكل (الشكلIII-4) مخططا توضيحيا لما يمكن أنّ تكون عليه المنظومة الشمسية للمنزل المدروس. حيث وُجد حسب الحسابات بأنّه نظام يكون فيه متوسط الاستهلاك اليومي لثلاث أشهر لفصل الصيف في ولاية المغير من الطاقة الشمسية مقدر بـ $33,93kWh/day$. وضمن هذه النتائج وجد أنه بحاجة لـ **24** بطارية موزعة على 6 سلاسل مربوطة على التفرع، بحيث كل فرع يحوي 4 بطاريات مربوطة على التسلسل (**48V**). من ناحية أخرى وُجد أنّ هذه المنظومة تتكون من **17** لوحا شمسيا موزعا على **4** سلاسل على التفرع وكل سلسلة بها 4 ألواح على التسلسل. ويمثل هذا التوزيع الأمثل لنظام $48V$. كما وجب أن تحوي هذه المنظومة على منظمات شحن وتيار لضمان شحن وتفريغ آمن.

في ختام هذا الفصل، يتبين أن فهم وتحديد استهلاك الطاقة الكهربائية المنزلي بدقة يُعدُّ خطوة جوهرية لضمان تكامل وفعالية أنظمة الطاقة الشمسية. إذ يرتكز نجاح هذه الأنظمة على التنسيق بين إنتاج الطاقة الشمسية وتخزينها في البطاريات مقابل احتياجات المنزل الفعلية وتحقيق هذا التوازن يسهم في تعزيز الاستدامة الطاقية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، مما يدعم التنمية البيئية والاقتصادية المستدامة.

المراجع:

[1] Bouzid, Z., Ghellai, N., & Mezghiche, T. (2015). Overview of solar potential, state of the art and future of photovoltaic installations in Algeria. *International Journal of Renewable Energy Research*, *5*(2), 427-434.

[2] جعرون فاطمة، جوغي إكرام (2018). تغذية منزل عن طريق لوح شمسي فوتوضوئي. مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي. جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.

[3] عازب أحمد صفوان، العبادي عبد السلام (2022). دراسة منظومة طاقة شمسية كهروضوئية PV تلبي حاجيات مزرعة في منطقة ورقلة. مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي. جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.

[4] Buchmann, I. (2001). Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers.

[5] https://2u.pw/Cv7WK. Seen on 20/08/2025 at 10:39

خاتمة

خاتمة:

تُعد الطاقة عصب الحياة الأساسي في المجالات المختلفة، فيسعى العالم بجهود متزايدة لإنتاجها من مصادر متنوعة ومستدامة تواكب الطلب المتنامي عليها، والمحافظ في الوقت ذاته على البيئة. فمنذ عقود مضت، شهدها هذا القطاع تحولاً كبيراً نحو استخدام الطاقة المتجددة النظيفة على رأسها الطاقة الشمسية. ما جعل البحث في هذا المجال مهما جدا يشمل أشكالا مختلفة محيطة به.

هدفت هذه الدراسة على تسليط الضوء على الاستهلاك اليومي من الطاقة الكهربائية وما يواكبها من بطاريات وألواح شمسية لتغطية الاستهلاك في ساعات غياب الشمس ضمن المنظومة الشمسية. سعينا في هذه الدراسة إلى ابراز هذه الأهمية، وكذا أهمية أنظمة التخزين وتصميم نظام شمسي منزلي.

من خلال هذا العمل، تطرقنا في الفصلين الأول والثاني إلى الجانب النظري المحيط بالدراسة. فقد شملا الأسس الفيزيائية لتخزين الطاقة الشمسية بواسطة البطاريات، وكذلك العلاقة النظرية بين الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية والطاقة المخزنة في البطاريات.

من ناحية أخرى، فقد اهتم الجزء العملي من الدراسة باحصاء الاستهلاك المنزلي اليومي من الطاقة الكهربائية لفصل الصيف في ولاية المغير -الجزائر البالغ $\boldsymbol{33,93kWh\ /\ day}$. كما أظهرت الحسابات بأنّ الطاقة المنتجة من طرف الألواح الشمسية بلغت $\boldsymbol{64,8\ kWh/day}$، ما يغطي تقريبا 52% من الاستهلاك المنزلي اليومي. من ناحية أخرى، وُجد أنّ العدد الكلي للبطاريات ضمن نظام $48V$ تصل لـ *24* بطارية، موزعة على 6 سلسلة على التفرع ولكل منها 4 بطاريات مربوطة على التسلسل. بالنسبة لمنظم الشحن فيستحسن استخدام منظم شحن MPPT له القدرة على التعامل مع تيار شحن مساو تقريبا لـ $225A$. بالإضافة محول تيار بقيمة 5kW.

تبين النتائج أن تغذية منزل فقط في فصل الصيف وفي ذروة الاستهلاك الكهربائي، يحتاج إلى عدد كبير من الألواح الشمسية والبطاريات. وبالتالي فإنّ المنظومة الشمسية بحاجة إلى مساحة كبيرة وتكلفة ضخمة. فمن أبرز التحديات التي تواجه الأنظمة الشمسية هي التكلفة الأولية العالية لتركيب الأنظمة الشمسية وارتفاع تكلفة البطاريات وتقنيات التخزين الحالية.

بالرغم من هذه العقبات، تستمر الجهود في تطوير تقنيات جديدة مثل تحسين كفاءة الألواح الشمسية، استخدام الذكاء الاصطناعي لإدارة الشبكات، تقديم حلول مبتكرة لتخزين الطاقة لضمان استمرارية، واستقرار الطاقة الشمسية كمصدر مستدام.