

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي بـسـكـندرية

Département de Physique et Chimie

قسم الفيزياء والكيمياء



Mémoire de fin d'étude

مذكرة التخرج

En vue de l'obtention du diplôme : Professeur d'enseignement moyen

لنيل شهادة: أستاذ التعليم المتوسط

التخصص: فيزياء

Spécialité: Physique

من إعداد :

سيليني هناء

بوطربوشة كوثر

الموضوع Thème

دراسة وتحسين أداء لوحة شمسية من السيليكون

لجنة المناقشة

رئيسا

م.ع.أ.ت.سكيكدة

فيصلي محمد

الأستاذة

مشرفا

م.ع.أ.ت.سكيكدة

غزال فتحي

الأستاذ

ممتحنا

م.ع.أ.ت.سكيكدة

مريان إبراهيم

الأستاذ

Promotion 2025 دفعة



# شُكْر

الحمد لله الذي وهبنا التوفيق والسداد ومنحنا العزيمة والثبات وأعاننا على إتمام هذا العمل، والصلاة والسلام على

المبعوث رحمة للعالمين، سيدنا وحبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين

يقول عز وجل في كتابه الكريم:

﴿وَإِذْ تَأَذَّنَ رَبُّكُمْ لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ﴾

سورة إبراهيم - الآية 07

توجه بخالص تقديرنا وعظيم امتناننا إلى الأستاذ المشرف الأستاذ الدكتور "غزال فتحي" الذي أحاط هذا

البحث بكامل اهتمامه وعنايته ومتابعته

كما تتوجه بجزيل الشكر والامتنان، وخالص العرفان والتقدير، لكل من قدم لنا يد العون في هذا البحث

إلى أساتذتنا الكرام من قسم الفيزياء والكيمياء - المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي -

جزاكم الله عنا كل خير

كوثر بوطر بوشة، هناء سيليني

## إهداء

والروح من فرط السرور توهجت .

لحظة لظالما انتظرتها وحملت بها ونزعت افكارى ومرودا لها .

لحظة تعبت حتى نلتها، اجتهدت وثابرت وصلت ابث فرحتي في حكاية اكتملت فصولها وخيوط انتهى من غزلها، والحمد لله

اتممت دراستي واليوم بكل فخر تخرجت من المدرسة العليا لاساتذة التعليم التقني

والتكنولوجي بسكيدة .

اهدي تخرجي وثمره جهدي الى من احتضن حلمي، وغرس في العزيمة والارادة ومنحوني دعمهم وثقتهم الى التي جعل الله الجنة

تحت اقدامها "امي" والى النور الذي اضاء دربى، والعزير الذي حملت اسمه فخرا "ابي" .

الى من شددت عضدي بهم فكانوا يتابع امرتوي منها، الى خيرة ايامي وصوقتها الى قررة عيني اخواتي الثلاثة "سامرة، مريم ونزينب"

ادامكم الله .

الى من ابتسم لي وابهج حياتي اولاد اختي "صوفيا ايناس ومحمد علي"

الى اعز صديقي بالرغم من البعد الا انك تبقي احسن رفقة تقيه عزيرتي "مريجة حنان عكنوش"

الى خالتي المحنونة وابنائها "هديل وآدم" .

الى زملائي وصديقاتي في المدرسة العليا لاساتذة تعاشنا نفس اللحظات بافراحها واحزانها .

والى اساتذنا الكرام .

الى كل من كان له الفضل في وصولي الى هذه المرحلة اهدي لهم تخرجي .

الى نفسي كمكافأة لطيلة سنوات دراستي من مرحلة الابتدائي الى هذا اليوم . وما كنت لافعل ذلك لولا ان مكنتني الله .

فالحمد لله منذ البدء . . .

وعند الحتام . . .

كوثر بوطر بوشة

## إهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وَأَنْ لَيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى﴾ [سورة النجم: آية 39]

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك جل جلالك

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة "سيدنا وحبينا محمد صلى الله عليه وسلم".

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي أن تكون ولم يكن الحلم قريباً، لا الطريق مخوفاً بالتسهيلات لكن فعلتها

﴿رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ﴾

أهدي ثمرة جهدي هذا، إلى داعمتي الأولى والأبدية، إلى من تدثرنني بالدعوات الصادقة، إلى "أمي" قرة عيني.

إلى من أحمل اسمه بكل فخر، إلى من حصد الأشواك عن دربي لي يمهّد لي طريق العلم، إلى من أفنى عمره من أجلنا

ومن أجل إيصالنا نحو القمم، إلى من رباني فأحسن تربيتي "أبي"

إلى من كانت ولا تزال السند والنبض الدافئ في حياتي، رفيقة دربي، وصديقتي الأولى، وملهمتي في الصبر

والعطاء إلى "أختي حسناء" الغالية

إلى من قيل فيه "سنشد عضدك بأخيك"، إلى من مرزقت به سنداً في الحياة، إلى "أخي أحمد تقي الدين"

إلى داعمتي ومحفرتي، إلى من مرزعت في الأمل، إلى رفيقة الدرب "رفيقة" أدام الله محبتنا وصادقتنا وجمعنا الله

قريباً

إلى من دعمني بدون شروط، إلى من كان معي في كل مراحل مسيرتي، إلى "خالي عبد العزيز" و"خالتي" أطال

الله أعماركم كما ومرزقكم بأبنائكم كما.

## إهداء

إلى "عمي عبد الرزاق" و"نروجته الفاضلة"، وإلى من كانا لي أكثر من أهل رإلى من غمراني بدعمهما، وشكراً  
لكما على الدعاء، وعلى الكلمة الطيبة وعلى الإحساس الجميل بأني دوماً في القلب

إلى أبنائهما "عبد الودود" و"لين" بهجة قلبي وروحي

إلى القلب الكبير الذي لم ينسني يوماً، وإلى من كان كثير السؤال عني، وإلى "عمي الغالي محمد"

إلى أخواتي اللاتي لم تلدهن أمي، وإلى من أهدتني إياهن مقاعد الدراسة، إلى الأرواح الثيبة التي عبرت طريقي فصارت  
وطنًا وصحبة وعمراً جميلاً، إلى نسيبة ونور وجيهان أدام الله صحبتنا .

إلى من دعمني، شجعني، وآمن بي صديقاتي "شيماء، أميرة، إيمان . . ."

إلى زملائي في المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات للهندسة والعمارة،

شكراً من القلب على دعمكم وتحفيزكم الدائم . لقد كنت عوناً وسنداً، وجودكم كان له  
أثر طيب في نفسي .

إلى الأستاذ "غزال قنحي" الذي لم يخل عليّ يوماً بالمعلومة، وكان دوماً معطاءً، كرم النفس، واسع الصدر،

إلى من يرحح بالنابكلما ته، وينزع فينا الطمأنينة والثقة... كل الشكر والامتنان لما قدمه من دعم وتوجيه

إلى كل من يهجه نجاحي، إلى كل قلب صادق كان جزءاً من مرحلتي، ولكم مني كل الشكر

والعرفان

اللهم إنه ليس بمجهدى واجتهادى إنما بتوفيقك وكرمك وفضلك، فلك الحمدُ حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه .

هناء سيليني

# الفهرس

أ	فهرس الأشكال.....
ب	فهرس الجداول.....
1	مقدمة عامة.....

## الفصل الأول

### الطاقة وأشكالها

2	1. I مقدمة.....
2	2. I تعريف الطاقة.....
3	1. 2. I تعريف العمل.....
3	2. 2. I الإستطاعة.....
4	3. I أشكال الطاقة حسب مستوى دراسة الجملة.....
4	1. 3. I المستوى الماكروسكوبي.....
6	2. 3. I المستوى الميكروسكوبي.....
6	4. I اشكال الطاقة حسب المصادر.....
6	1. 4. I الطاقة التقليدية او الطاقة غير المتجددة.....
6	1. 1. 4. I الفحم الحجري.....
7	2. 1. 4. I النفط.....
8	3. 1. 4. I الغاز الطبيعي.....
9	2. 4. I مصادر الطاقة البديلة المتجددة.....
9	1. 2. 4. I الطاقة الشمسية.....
9	2. 2. 4. I كيفية تحويل الطاقة الشمسية.....
10	3. 2. 4. I استخدامات الطاقة الشمسية.....
11	4. 2. 4. I الشمس.....
12	5. 2. 4. I طبيعة الاشعاع الشمسي.....
14	6. 2. 4. I التوزيع الطيفي للإشعاع الشمس.....
15	7. 2. 4. I أنواع الإشعاع الشمسي الوارد إلى الأرض.....
18	8. 2. 4. I العوامل المؤثرة في الإشعاع الشمسي.....

# الفهرس

20	..... طاقة الرياح. 9.2.4.I
21	..... طاقة موجات المد الجزر 10.2.4.I
21	..... طاقة حرارة الأرض. 11.2.4.I
21	..... 5.I خاتمة

## الفصل الثاني

### الخلايا الشمسية وآلية عملها

22	..... 1.II مقدمة
22	..... 2.II تصنيف المواد
22	..... 3.II حزم الطاقة
23	..... 1.3.II حزمة التكافؤ
23	..... 2.3.II حزمة التوصيل
23	..... 3.3.II الحزمة الممنوعة
23	..... 4.II اشباه النواقل
24	..... 1.4.II المواد شبه الموصلة النقية
24	..... 1.1.4.II مستوى فيرمي في شبه الموصل النقي
25	..... 2.4.II المواد شبه الموصلة غير النقية
25	..... 1.2.4.II انواع المواد شبه الموصلة الغير النقية
26	..... 5.II تعريف الخلايا الشمسية
26	..... 6.II مكونات الخلية الشمسية
28	..... 7.II مبدأ عمل الخلايا الشمسية
32	..... 8.II منحى تيار - جهد المميز للخلية الكهروضوئية المثالية:
33	..... 9.II الخصائص الكهربائية للخلية الكهروضوئية
33	..... 1.9.II فرق جهد الدارة المفتوحة $VOC$
33	..... 2.9.II تيار الدارة المغلقة $ISC$
34	..... 3.9.II الإستطاعة الأعظمية $Pmax$ :

# الفهرس

34	..... FF معامل الشكل 4. 9. II
35	..... كفاءة الخلية الكهروضوئية 5. 9. II
35	..... أنواع الخلايا الشمسية السيليكونية. 10-II
35	..... الجيل الأول 1. 10. II
35	..... سيليكون أحادي التبلور 1. 1. 10. II
36	..... سيليكون متعددة البلورات 2. 1. 10. II
36	..... الجيل الثاني 2. 10. II
37	..... السيليكون اللابلوري 1. 2. 10. II
37	..... الجيل الثالث 3. 10. II
37	..... خلايا CZTS 1. 3. 10. II
37	..... الخلايا الكهروضوئية العضوية 2. 3. 10. II
38	..... تجميع الخلايا الكهروضوئية 11. II
38	..... تجميع الخلايا على التسلسل 1. 11. II
39	..... التجميع على التفرع 2. 11. II
40	..... التجميع المشترك (التوازي-التسلسل) 3. 11. II
40	..... العوامل المؤثرة على أداء الخلايا الشمسية 12. II
40	..... تأثير درجة الحرارة 1. 12. II
41	..... تأثير الإشعاع الشمسي 2. 12. II
42	..... تأثير التظليل 3. 12. II
42	..... كفاءة محول التيار الشمسي (Solar Inverter) 4. 12. II
42	..... التوجيه والإمالة 5. 12. II
42	..... نسبة تدهور الألواح الشمسية 6. 12. II
42	..... تأثير الرياح 7. 12. II
43	..... خلاصة 12. II

# الفهرس

## الفصل الثالث

### نتائج الدراسة والمناقشة

44	.....	1. مقدمة	III
44	.....	2. البروتوكول التجريبي	III
45	.....	3. طريقة العمل	III
46	.....	4. القياسات الخاصة باللوح لوحده	III
46	.....	1.4. دراسة تغير التوتر بدلالة درجة الحرارة	III
48	.....	2.4. دراسة تغير التيار بدلالة درجة الحرارة	III
51	.....	4.4. الخلاصة الأولى	III
52	.....	5. القياسات الخاصة باللوح مع وجود طبقة الفلين	III
57	.....	6. مقارنة النتائج	III
57	.....	7. الخلاصة العامة	III

المراجع

الملاحق

## الفصل الأول

### الطاقة وأشكالها

- الشكل (1. I): يوضح كيفية استخراج الفحم الحجري ..... 7
- الشكل (2. I): يوضح مصنع النفط..... 7
- الشكل (3. I): يوضح مصنع الغاز الطبيعي ..... 8
- الشكل (4. I): يوضح كوكب الشمس وأشعاعاته..... 12
- الشكل (5. I): طبيعة الإشعاع الشمسي..... 14
- الشكل (6. I): يوضح طيف الإشعاع الشمسي..... 14
- الشكل (7. I): يُظهر الطيف الكهرومغناطيسي للإشعاع..... 15
- الشكل (8. I): يبين أنواع الإشعاع الشمسي الوارد إلى الأرض..... 16
- الشكل (9. I): تعريف كتلة الهواء..... 18
- الشكل (10. I): يمثل الزوايا الشمسية ..... 19
- الشكل (11. I): يوضح وحدات مرتبة من التوربينات في حقل الرياح ..... 20

## الفصل الثاني

### الخلايا الشمسية ومبدأ عملها

- الشكل (1. II): مستوى فيرمي لشبه الموصل النقي..... 25
- الشكل (2. II): طبقات الخلية الكهروضوئية..... 27
- الشكل (3. II): مكونات الخلية الكهروضوئية..... 28
- الشكل (4. II): ارتباط ذرات السيليكون مع بعضها البعض مشكلة شبكة بلورية منتظمة..... 29
- الشكل (5. II): شبكة من ذرات السيليكون أضيفت إليها ذرة فوسفور..... 29
- الشكل (6. II): شبكة من ذرات السيليكون أضيفت إليها ذرة البورون..... 30
- الشكل (7. II): تشكل الوصلة الثنائية بعد تجميع النوع السالب والموجب..... 31
- الشكل (8. II): تشكل المجال الكهربائي..... 32
- الشكل (9. II): علاقة التيار بالجهد لخلية كهروضوئية مثالية..... 33
- الشكل (10. II): تغير قيم الجهد والتيار تبعًا للإشعاع الشمس ..... 34
- الشكل (11. II): علاقة الإستطاعة القصوى للوح مع الجهد والتيار ..... 34
- الشكل (12. II): أنواع الخلايا الشمسية السيليكونية ..... 38
- الشكل (13. II): التوصيل على التوالي (التسلسل) للخلايا الشمسية ..... 39

- الشكل (14. II): التوصيل على التفرع (التوازي) للخلايا الشمسية..... 39
- الشكل (15. II): طريقة توصيل الألواح الشمسية على التوالي والتوازي..... 40
- الشكل (16. II): تأثير الحرارة على إنتاجية اللوح الشمسي..... 41
- الشكل (17. II): تأثير الإشعاع الشمسي على إنتاجية اللوح الشمسي..... 41

## الفصل الثالث

### نتائج الدراسة والمناقشة

- الشكل (1. III): يوضح التركيبة الكهروضوئية المدروسة..... 46
- الشكل (2. III): يوضح منحنى تغيرات التوتر الكهربائي بدلالة درجة الحرارة..... 47
- الشكل (3. III): يوضح منحنى تغيرات التيار الكهربائي بدلالة درجة الحرارة..... 49
- الشكل (4. III): يوضح منحنى تغيرات الاستطاعة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة..... 50
- الشكل (5. III): يوضح التركيبة الكهروضوئية المدروسة مرفقة بلوح الفلين..... 52
- الشكل (6. III): يوضح منحنى تغيرات التوتر الكهربائي بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين..... 53
- الشكل (7. III): يوضح منحنى تغيرات التيار الكهربائي بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين..... 55
- الشكل (8. III): يبين منحنى تغيرات الاستطاعة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين..... 56

## فهرس المجداول

- الجدول (1. III): مواصفات اللوح السيليكوني المستعمل..... 44
- الجدول (2. III): تغير التوتر الكهربائي بدلالة درجة الحرارة..... 47
- الجدول (3. III): تغير التيار الكهربائي بدلالة درجة الحرارة..... 48
- الجدول (4. III): تغير الاستطاعة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة..... 50
- الجدول (5. III): تغير التوتر الكهربائي بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين..... 53
- الجدول (6. III): تغير التيار الكهربائي بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين..... 54
- الجدول (7. III): تغير الاستطاعة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين..... 56



# مقدمة عامة



## مقدمة عامة

تُعد الطاقة الشمسية أهم مصدر من مصادر الطاقة البديلة المتجددة ، بحيث تصلنا بكميات هائلة يوميًا من خلال الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض. وتشير الدراسات العلمية إلى أن كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى الأرض خلال ساعة واحدة فقط، تكفي لتغطية الإحتياجات البشرية من الطاقة لمدة عام كامل. ولإستغلال هذه الطاقة، تم تطوير تقنيات متعددة أهمها الخلايا الشمسية، والتي تعمل على تحويل الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس إلى طاقة كهربائية. وفي سنة 1945، تم تطوير أولى الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون بكفاءة بلغت حوالي 6% فقط ، هذه الخطوة شجعت العلماء والباحثين على العمل المستمر لتحسين كفاءة هذه الخلايا، حتى أصبحت اليوم أكثر تطورًا وفعالية. لكن أداء الخلايا الشمسية لا يتأثر فقط بتكنولوجيا التصنيع، بل أيضًا بعدة عوامل خارجية، من أبرزها درجة الحرارة. فقد لوحظ أن ارتفاع درجة حرارة الخلية يمكن أن يؤدي إلى انخفاض في كفاءتها وأدائها الكهربائي. ولذلك، كان هدفنا من هذا البحث هو التطرق إلى مشكلة تأثير درجة الحرارة على أداء الخلايا الشمسية السيليكونية، ودراسة الطرق الممكنة لتحسين أدائها في ظل الظروف الطبيعية . ونظرًا لما يحمله الموضوع من أهمية علمية و تطبيقية قمنا بصياغة هذا الموضوع في ثلاث فصول على النحو التالي :

الفصل الأول : تم التطرق فيه إلى مفهوم الطاقة وبقية المفاهيم المرتبطة بها مثل العمل والاستطاعة مع التركيز على أهمية الشمس باعتبارها المصدر الرئيسي للطاقات المتجددة .

الفصل الثاني: خُصص لدراسة الوحدات الكهروضوئية من ناحية مكوناتها ومبدأ عملها وأنواعها وكيفية تركيبها .

الفصل الثالث: تضمن الجزء العملي(استخدام طبقة الفلين)، وتوضيح البرتوكول التجريبي من أجهزة وأدوات مستخدمة وطريقة العمل ثم نتائج القياسات التي تم إجراؤها على اللوح

الكهروضوئي تحت تأثير درجة الحرارة قبل وبعد الحل العملي لتحسين أدائه والمقارنة بينها ثم خلاصة في شكل فوائد علمية يمكن إستغلالها في الدراسات المستقبلية .



---

# الفصل الأول

الطاقة وأشكالها



## 1. I مقدمة

لا جدال في أن الطاقة عصب الحياة، فالحياة لا يمكن أن تستمر من دونها، بل هي العنصر الذي يتحكم بمقدرات الأمم والدول في عصرنا الحالي، وهي التي تقف وراء كثير من النزاعات الدولية والاتفاقيات والتحالفات التي نراها ماثلة أمامنا في عالم اليوم. فإذا أمعنا النظر في أسباب كثير من الحروب التي اندلعت في مختلف أنحاء العالم في العصر الحديث وجدنا أن الطاقة هي اليد الخفية التي تحركها وتوجج أوارها.

ومع التقدم العلمي و نتيجة ارتفاع أسعار النفط في سبعينيات القرن الماضي بدأت الدول الصناعية في تخصيص الأموال لأعمال البحث وتطوير مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية و تطوير تقنيات جديدة مثل الخلايا الشمسية، البطاريات القابلة للشحن، والمركبات الكهربائية

وعليه انتقل مفهوم الطاقة عند الإنسان من الاستغلال البسيط للقوى الطبيعية إلى استخدام أشكال معقدة من الطاقة. اليوم، يتوجه العالم نحو تطوير مصادر مستدامة وصديقة للبيئة، وهذا يعكس فهماً عميقاً للطاقة كعنصر حيوي في تطور البشرية .

## 2. I تعريف الطاقة

إن العثور على تعريف مناسب، رغم بساطته الظاهرية، أمر بالغ التعقيد.

فكثير من مشاهير العلماء، ومنهم أينشتاين أقر بصعوبة وصف الطاقة لأننا بكل بساطة نجهل حقيقتها , لكن اذا أردنا تبسيط مفهوم الطاقة فيمكننا شرحه كالتالي :

الطاقة دالة حالة تميز حال الجملة المدروسة من حركات الجسيمات أو العناصر المكونة بكل أنواعها إلى أوضاعهم النسبية و أوضاعهم بالنسبة لوسط خارجي يؤثر عليهم، يمتاز هذا المقدار بالنسبة لجملة معزولة طاقياً بمبدأ انحفاظ الطاقة حيث يمكن للطاقة أن تأخذ أشكالاً مختلفة مع بقاء قيمتها الكلية ثابتة وفي حالة جملة غير معزولة طاقياً فكل  $\Delta E$  لقيمة طاقتها ترافقه  $-\Delta E$  لطاقة الوسط الخارجي.

يمكن للطاقة أن تأخذ أشكالاً مختلفة تتغير من شكل إلى آخر وفق سبل مختلفة (عمل ، حرارة ، إشعاع) وتتقهر خلال كل تغير في شكلها ولا يمكن معرفة قيمتها وإنما يمكن قياس تغيراتها وفق نظريات مختلفة ووحدتها في النظام الدولي SI هو الجول  $J$ .

### 1.2.1 تعريف العمل

هو الجهد الذي تبدله قوة ما كي تنقل جسم ما من موضع ما نحو آخر على طول مسار كفي (مستقيم , مائل , دائري ...)

نعرف العمل العنصري  $dW$  للقوة  $\vec{F}$  لنقل المتحرك النقطة خلال الفاصل الزمني  $dt$  على أنه :

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} \dots \dots \dots (1.1)$$

الجداء السلمي لشعاع القوة  $\vec{F}$  وشعاع الانتقال  $d\vec{r}$  وبالتالي :

$$dW = F \cdot dr \cdot \cos\theta \dots \dots \dots (2.1)$$

• وحدة العمل (سواءً الكلي أو العنصري) هي الجول (Joule) حيث :

$1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$  وهي نفسها وحدة الطاقة. وترجع لفظة "جول" إلي العالم البريطاني "جيمس بريسكوت جول James Joule Prescott" ، أول من اكتشف أن الحرارة هي أحد صور الطاقة وعبر عنها بوحدة الجول.

يكون العمل الكلي لانتقال الجسم من الموضع A إلى الموضع B على طول المسار

(AB) المجموع المستمر للأعمال العنصرية  $dW$  على طول هذا المسار : [1]

$$\int_A^B dW = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = W_{AB}(\vec{F}) \dots \dots \dots (3.1)$$

### 2.2.1 الإستطاعة

هي سرعة العمل المنجز من قبل قوة ما  $\vec{F}$  على جسم ما (تغير العمل بالنسبة للزمن)

نرمز لها بالرمز  $P$  وهي مقدار جبري، حيث :

$$P = \frac{dW}{dt} \dots \dots \dots (4. I)$$

- وحدة الاستطاعة هي الواط  $Watt$  رمزه  $W$
- وعليه وحدة العمل هي  $1Joule = 1s \cdot 1W$
- ونعلم أن وحدة الطاقة هي نفسها وحدة العمل وعليه الواط الساعي  $Wh$  من وحدات الطاقة أيضا .

و الاستطاعة المتوسطة لنقل جسم بين موضعين خلال  $\Delta t$  هي [1]:

$$P_{moy} = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{dt} \dots \dots \dots (5. I)$$

### 3. I أشكال الطاقة حسب مستوى دراسة الجملة

للطاقة أشكال عديدة : نصنفها حسب :

#### 1. 3. I المستوى الماكروسكوبي

##### • الطاقة الكامنة

وتشمل الطاقة الكامنة المرونية و الطاقة الكامنة الثقلية .

- لتكن قوة مشتقة من دالة سلمية تابعة للموضع  $\phi(x; y; z)$  حيث :

$$\vec{F} = -\overrightarrow{grad} \phi = -\vec{\nabla} \phi \dots \dots \dots (6. I)$$

نختار الإحداثيات الديكارتية :

$$\vec{F} = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \vec{i} - \frac{\partial \phi}{\partial y} \vec{j} - \frac{\partial \phi}{\partial z} \vec{k}$$

بحساب العمل الذي تقوم به القوة  $\vec{F}$  كي تنقل الجسم من الموضع A إلى الموضع B

$$W_{AB}(\vec{F}) = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B -\vec{\nabla} \phi \cdot d\vec{r} \dots \dots \dots (7. I)$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = \phi_A(x_A; y_A; z_A) - \phi_B(x_B; y_B; z_B) = \phi_A - \phi_B$$

- نلاحظ أن الدالة  $\emptyset$  لها نفس بعد العمل  $W$ , إذن فهي تمثل طاقة , تسمى بطاقة الوضع أو الطاقة الكامنة نرسم لها بـ:  $E_p$  .
- نلاحظ من آخر علاقة توصلنا إليها أن  $W_{AB}$  لا يتعلق بالمسار بل يتعلق بالموضع الابتدائي  $A$  والموضع النهائي  $B$  فقط .
- تسمى الطاقة الكامنة بطاقة الوضع لأنها تتعلق بوضع الجسم . [1].

### الطاقة الحركية

عندما ينتقل جسم نقطي من موضع  $A$  إلى  $B$  تحت تأثير مجموعة من القوى محصلتها  $\vec{F}$  حسب القانون الاساسي للتحريك فإن :

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt} \dots \dots \dots (8. I)$$

إذن :

$$dW_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot d\vec{r} = m \frac{d\vec{V}}{dt} \cdot d\vec{r}$$

$$\Rightarrow dW_{AB}(\vec{F}) = m \cdot d\vec{V} \cdot \vec{V}$$

$$\Rightarrow dW_{AB}(\vec{F}) = m \cdot d\vec{V} \cdot \vec{V} = m \cdot \frac{1}{2} d(\vec{V})^2$$

$$\Rightarrow dW_{AB}(\vec{F}) = d\left(\frac{1}{2} mV^2\right) \dots \dots \dots (9. I)$$

إذن العمل العنصري  $dW$  للقوة  $\vec{F}$  من أجل إنتقال عنصري  $d\vec{r}$  خلال الفاصل الزمني  $dt$  يساوي إلى تقاضل الكمية الفيزيائية  $\frac{1}{2} mV^2$

- وحدة هذه الكمية هي نفسها وحدة العمل وهي الجول  $J$  وبالتالي فهي طاقة .
- هذه الكمية مرتبطة بحركة الجسم سرعته  $V$  لذلك يطلق عليها اسم الطاقة الحركية للمتحرك . [1].

### الطاقة الميكانيكية

الطاقة الميكانيكية لجملة ما هي عند لحظة ما تساوي إلى مجموع طاقتها الحركية وطاقتها الكامنة في هذه اللحظة نرسم لها بـ  $E_M$  ونكتب [1] :

$$E_M = E_C + E_P \dots \dots \dots (10. I)$$

### I. 3. 2. المستوى الميكروسكوبي

#### الطاقة الداخلية

نفترض أن لدينا نظامًا عند درجة حرارة معينة، حيث يتكون النظام من عدد كبير من الجسيمات (ذرات أو جزيئات)، وهذه الجسيمات تمتلك أشكالًا مختلفة من الطاقة، تشمل:

- طاقة حركة انتقالية ترتبط بسرعة الجسيمات.
- طاقة حركة دورانية تعتمد على دوران الذرات في الجزيئات باتجاه واحد أو أكثر.
- طاقة حركة اهتزازية تنتج عن اهتزاز الذرات الداخلية في تركيب الجزيئات.
- طاقة كامنة ناتجة عن الفعل المتبادل بين الجزيئات، مثل طاقة الربط الثنائي القطب أو الرابطة الهيدروجينية.
- الطاقة النووية والإلكترونية ضمن تركيب الذرات والجزيئات.

يُطلق على مجموع هذه الطاقات بالطاقة الداخلية، ويرمز لها بالرمز  $U$

➤ تقاس الطاقة الداخلية بنفس واحدة قياس الطاقة أي بـ  $J$  أو  $kJ$ . [2]

### I. 4. اشكال الطاقة حسب المصادر

#### I. 4. 1. الطاقة التقليدية او الطاقة غير المتجددة

##### I. 4. 1. 1. الفحم الحجري

لقد كان الفحم المحرك الاساسي لعجلة الانتاج إبان الثورة الصناعية وقد استخدم في مجالات واسعة وخصوصا بعد اكتشاف المحرك البخاري في النقل والمواصلات وتدفئة المنازل وجوانب عديدة اخرى التي تستخدم فيها الطاقة، وقد ساعد المستوى التقني السائد انذاك ووفرة هذا المصدر في الطبيعة وانخفاض اسعاره على تزايد الاعتماد عليه كمصدر للطاقة بشكله

الصلب انظر الشكل (1.1). [3].



الشكل (1.I) : يوضح كيفية استخراج الفحم الحجري

#### 2.1.4.I النفط

النفط الخام او البترول ويسمى ايضا الزيت الخام، يعتبر النفط من أهم مصادر الطاقة وأكثرها استخداماً. وهو عبارة عن سائل أسود كثيف سريع الاشتعال ويكون من خليط من المركبات العضوية والتي تتكون أساساً من عنصري الكربون والهيدروجين وتعرف باسم الهيدروكربونات، بني مخضر او غامق يتواجد في الطبقات العليا من القشرة الارضية، ويختلف مظهره ونقاوته وتركيبه بحسب اماكن استخراجة. يعد النفط مادة اولية لعديد من الصناعات الكيماوية بما فيها الاسمدة والمبيدات واللدائن انظر الشكل (2.I). ، وتكاد لا تخلو اي صناعة من مادة النفط بشكله الخام او عبر مشتقاته المتعددة. [3]



الشكل (2.I) : يوضح مصنع النفط

## 3.1.4.I الغاز الطبيعي

يعتبر الغاز الطبيعي من أنظف المصادر الإحفورية للطاقة؛ ويحتوي على وحدات حرارية عالية، ويوجد في باطن الأرض منفرداً أو مختلطاً مع النفط، ويتكون من غازات عديدة، أهمها غاز الميثان  $CH_4$  وهو العنصر الأساسي في تركيبه، يستخرج الغاز الطبيعي من مستودعات طبيعية تحت الأرض ويطلق على الغاز الذي يتم الحصول عليه مصاحباً للنفط اسم الغاز المصاحب، وأما الغاز الذي يستخرج من التكوينات الطبيعية فيسمى الغاز الحر. ويعد الغاز الطبيعي من المصادر النظيفة نسبياً للطاقة التي تحتل موقعا مهما في ميزان الطاقة العالمي بعد النفط. ويتميز الغاز الطبيعي بسرعة الاشتعال ومساهمته الضئيلة نسبياً في تلويث البيئة، ولذلك يعد وقوداً مثالياً من الناحية البيئية. انظر الشكل (3.I). [3]



الشكل (3.I): يوضح مصنع الغاز الطبيعي

- نجد أيضاً الغاز الصخري كمصدر للطاقة البديلة، حيث تعد الجزائر أكبر منتج للغاز الطبيعي في أفريقيا، و إن الغاز والنفط الصخريان فرصة للخروج من الازمة الاقتصادية الخانقة التي ألقت بظلالها على الجزائر بعد انخفاض الانتاج المعد للتصدير، وارتفاع الطلب المحلي بسبب النمو السكاني، في ماي 2014 شرع مجلس الوزراء الجزائري في تطبيق قانون المحروقات الذي يسمح باستكشاف الغاز الصخري واستغلاله، وبحفر آبار عدة خلال فترة 12 سنة المقبلة، بوصفها مرحلة تمهيدية لمعرفة القدرات الباطنية للجزائر في هذا المجال في آفاق عام 2026، وعلى إثر هذا اعلنت شركة سوناطراك الجزائرية عن حفر أول بئر للغاز الصخري بحوض أحنات بعين صالح في ديسمبر 2014.

الا انه ظهرت احتجاجات بيئية في البلاد تهدف الى وقف عمليات التنقيب عن الغاز الصخري، وفي ظل تصاعد هذه الاحتجاجات قررت سوناطراك بعد تدخل من رئاسة الجمهورية تعليق انتاج الغاز الصخري مؤقتا الى ان تعود الاسعار الى مستوى 80 دولارا للبرميل، وهذا يدل على تصميم رسمي على العودة الى استغلال الغاز الصخري في البلاد.

#### 2.4.1 مصادر الطاقة البديلة المتجددة

الطاقة المتجددة يقصد بها المصادر الطبيعية التي لا تستنفذ والتي يمكن ان تستخدم لانتاج الطاقة بشكل متكرر، على سبيل المثال طاقة الشمس وطاقة الرياح. [4]

#### 1.2.4.1 الطاقة الشمسية

يمكننا الاعتماد على الشمس واشعاعاتها في امدادنا بالطاقة المتجددة، فنجد الطاقة الشمسية المصدر الرئيسي والاساسي الذي يمد كوكب الارض بالطاقة.

تصل الطاقة التي يُحصَل عليها من الاشعاع الشمسي لمدة لا تتجاوز ساعتين ما يكفي احتياجات واستهلاك العالم لمدة عام، التي تتمثل في الضوء والحرارة المنبعثان من الشمس واللذان قام الانسان بتسخيرهما لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من الوسائل التكنولوجية المتطورة باستمرار. [5]

#### 2.2.4.1 كيفية تحويل الطاقة الشمسية

ويتم هذا التحويل من خلال آليتي التحويل الكهروضوئي والتحويل الحراري للطاقة الشمسية، نقصد بالتحويل الكهروضوئي تحويل الاشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة الى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية (الكهروضوئية). [5] أين نستخدم الخلايا الشمسية للتحويل المباشر لجزء من الاشعة الشمسية الواصلة إلى الارض، وتعتبر احد تطبيقات الاثر الكهروضوئي. [6]

اما التحويل الحراري للطاقة الشمسية يعتمد على تحويل الاشعاع الشمسي الى طاقة حرارية.

## 3.2.4.I استخدامات الطاقة الشمسية

تتوفر الجزائر على مخزون هائل من الطاقة الشمسية، اذ يعتبر من اعلى الاحتياطات في العالم واكبرها على مستوى دول الحوض المتوسط، وتعتبر الصحراء الجزائرية من اكبر واحسن 3 حقول شمسية في العالم. و اكثرها تشميسا بنسبة 3900 ساعة تشميس سنويا واشعاع شمسي يتراوح بين 4 و 7 كيلوواط/ ساعة في اليوم الواحد. ومن بين استخداماتها:

- **استخدامات حرارية :** يستفاد من هذه الحرارة في التدفئة وتسخين المياه وتوليد الكهرباء وغيرها، وتعد تطبيقات سخانات الشمسية هي الاكثر انتشارا في مجال التحويل الحراري للطاقة الشمسية، كما تستخدم حرارة الشمس في التبريد حيث تعد الطاقة الشمسية افضل وسيلة للتبريد فكلما زاد الاشعاع الشمسي حصلنا على تبريد افضل وكانت أجهزة التبريد أكثر كفاءة.
- **استخدامات كهربائية:** لقد تم تصنيع نماذج كثيرة من الخلايا الكهروضوئية التي تستطيع انتاج الكهرباء بصورة عملية فهي لا تستهلك وقودا ولا تلوث جوا، حياتها طويلة ولا تتطلب الا القليل من الصيانة، كما ان المجهودات متواصلة خاصة مع التقدم العلمي لتخفيض التكاليف وتوير تقنيات العمل مع او بدون اتصال بالشبكة. [5] .

➤ **مثال عن استخدام الطاقة الشمسية في ميدان الزراعة:**

يعد استخدام الطاقة الشمسية في الزراعة من اهم المجالات حيث تساهم اساسا في انتاج الكهرباء، ضخ المياه والري واستخدامات اخرى يمكن ايجازها فيما يلي:  
ضخ المياه الجوفية الى الاراضي الزراعية . الحرث . تجفيف الخضروات والفواكه .

➤ **استخدام الطاقة الشمسية في قطاع الزراعة في الجزائر:**

يعتبر البرنامج الوطني للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية 2011/2030 استراتيجية طاقوية واقتصادية اتبعتها الجزائر بهدف ادماج ما يقارب 40 بالمئة من الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الوطنية من اجل الحفاظ على الموارد الاحفورية واستدامتها.

كما سيتم تثبيت قدرات الطاقة المتجددة وفقا لخصوصيات كل منطقة: مثلا منطقة الجنوب لتجهين المراكز الموجودة وتغذية المواقع المتفرقة، منطقة الهضاب العليا حسب قدراتها من اشعة الشمس والرياح مع امكانية اقتناء قطع الاراضي، والمناطق الساحلية حسب امكانية توفر الارعية

العقارية مع استغلال كل الفضاءات مثل الاسطح والشرفات والبنائيات والمساحات الاخرى غير المستعملة. [7]

#### 4.2.4.I الشمس

خلق الله الشمس والقمر كآيات دالة على كمال قدرته وعظيم سلطانه، وجعل شعاع الشمس مصدرا للضياء على الارض ، وجعل الشعاع المنعكس من سطح القمر نورا، فالشمس تجري في الفضاء الخارجي بحساب دقيق، فقدره الله تعالى وحدها جعلت الشمس الحارقة رحمة ودفئا ومصدرا دائما للطاقة المتجددة. [5]

فالشمس تكونت منذ حوالي 4500 مليون سنة، وهي جسم كروي ذاتي الجاذبية كنجم متوهج يتكون بشكل اساسي من الهيدروجين، يقع في مركز النظام الشمسي، على مسافة متوسطة حوالي  $1,5 \times 10^{11} km$  من الارض. [8]

بحيث كانت توجد سحابة عملاقة من الغاز والغبار تدور بسرعة مثل عجلة ضخمة يبلغ قطرها ملايين الكيلومترات تعرف باسم "السديم" وكان معظم الغاز فيها عبارة عن هيدروجين، تغير شكل السديم مع مرور آلاف السنين حيث انجذب الغبار والغاز نحو المركز في كتلة كثيفة بفعل قوة تدعى الجاذبية، وبالتالي اصبحت هذه الكتلة متماسكة على شكل كرة تدعى بداية النجم، عندما كبر هذا النجم اصبحت اكثر تماسكا واصبح الغاز الموجود عند المركز ساخنا جدا مما جعل هذا النجم مضياء وهنا تكونت الشمس الساطعة. [5]

للشمس بنية فيزيائية معقدة وتتكون من عدة مناطق، من النواة الداخلية الكثيفة إلى طبقة الغلاف الجوي الخارجي إلى الهالة. كل من الهالة والقلب ساخنان للغاية، في حدود  $10^7$  -  $10^7$  كلفن، بينما تكون المناطق المتوسطة التي تنقل الطاقة وتبعثها كإشعاع صادر أكثر برودة (على الرغم من كونها ساخنة بالمعايير الأرضية). حيث نجد في النواة الداخلية للشمس، تخلق قوة الجاذبية ضغطا يولد اندماجا نوويا يحول الهيدروجين الى هيليوم. في هذه العملية يتم

تحويل جزء من الكتلة الى كمية وفيرة من الاشعاع الكهرومغناطيسي، الذي يجعل الشمس المصدر الدائم للطاقة الاشعاعية في النظام الشمسي والشكل (4. I) يوضح الشمس واشعاعاتها. [9]



الشكل (4. I): الشمس واشعاعاته

تم نقل الطاقة من تفاعلات الاندماج داخل الشمس من خلال توالي عمليات الحمل الحراري والإشعاع والامتصاص والانبعاث وإعادة الإشعاع إلى ما يعادل سطح الشمس، وهو الغلاف الضوئي أو الفوتوسفير، الذي يمتص ويشع طيفاً مستمراً من الإشعاع. الغلاف الضوئي هو مصدر معظم الإشعاع المرئي الذي يصل إلى الأرض. له درجة حرارة سطحية، أو بشكل أكثر دقة درجة حرارة جسم أسود فعالة تبلغ 5777 كلفن (وهي درجة حرارة الجسم الأسود الذي يشع نفس القدر من الطاقة مثل الشمس). على الرغم من أنها تتكون من عدة طبقات امتصاص وانبعاث ولها تدرج كبير في درجة الحرارة عبر نصف قطرها، تشبه الشمس إلى حد كبير الجسم الأسود المثالي. [9]

#### 5. 2. 4. I طبيعة الإشعاع الشمسي

عبارة عن مجموع الموجات الكهرومغناطيسية، يمكن للإنسان رؤية جزء منها ويسمى الضوء المرئي والجزء الآخر لا يرى بالعين المجردة، وتحمل الأشعة الشمسية طاقة تختلف على حساب طول موجتها، فكلما زاد طول موجة الضوء كلما انخفضت طاقته، وهي ناتجة عن التفاعلات النووية في باطن الشمس بفعل تحول الهيدروجين إلى هليوم حيث تؤدي هذه التفاعلات الحاصلة في مركز الشمس لإصدار الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي عالي التردد، ويصدر هذا

الإشعاع بجميع الأطوال الموجية ابتداء من الموجات الراديوية ذات طول الموجة الطويلة إلى غاية أشعة ذات أطوال موجية قصيرة جداً، وأشعة غاما. وجميع هذه الأشعة الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الفضاء بمعدل ثابت [5]

يعبر الإشعاع الشمسي عن مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة والقادرة على توليد طاقة كهربائية، حيث لا يصيب إلا حوالي جزء من ألفي مليون من الأشعة التي تقدر بنحو 130 ميغاوات لكل متر مربع من سطح الأرض، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول على كل الطاقة الواردة لسطح والغلاف الجوي [5]

من أجل فهم خصائص الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض، من المفيد مراجعة بعض مفاهيم الإشعاع الكهرومغناطيسي وخصائص الأجسام السوداء. يمكن اعتبار الإشعاع الكهرومغناطيسي كموجة تتميز بطول موجي محدد ينتقل بسرعة ضوء  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  في الفراغ (أو  $\frac{c}{n}$  في مادة لها معامل انكسار  $n$ ) وله تردد  $\nu$  حيث

$$c = \lambda \nu \dots \dots \dots (11. I)$$

باستخدام ميكانيكا الكم، يمكن كذلك اعتبار الإشعاع الكهرومغناطيسي سيل من الفوتونات، حيث تعتمد طاقة كل فوتون على التردد. في الإشعاع الكهرومغناطيسي يمتلك الفوتون ذو الطول الموجي المحدد  $\lambda$  طاقة.

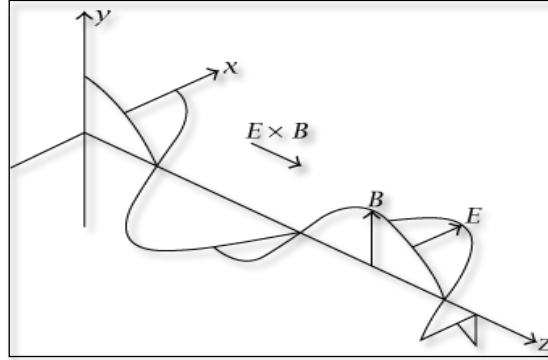
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots \dots \dots (12. I)$$

حيث  $h$  هو ثابت بلانك :

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ js}$$

يتم توزيع الإشعاع المنبعث من جسم ساخن مثل الشمس، أو ما يشبهها، على نطاق من الأطوال الموجية وبالتالي، يتكون من تدفق من الفوتونات ذات محتوى طاقة مختلف [9].

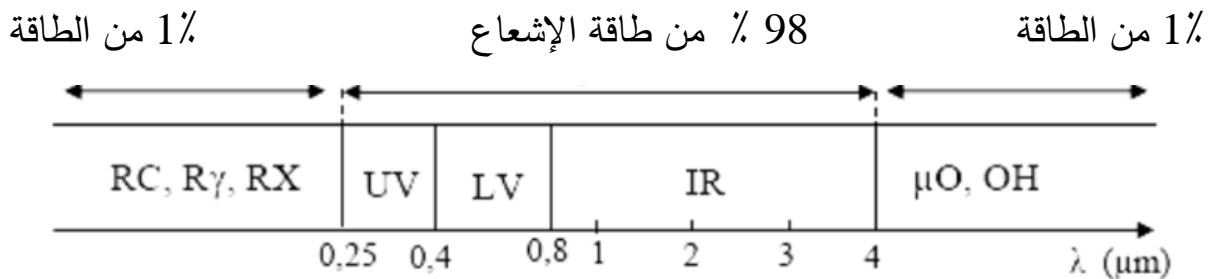
يتشكل الإشعاع الكهرومغناطيسي من حقل كهربائي وحقل مغناطيسي ويكون للحقل الكهربائي منحى عمودي على اتجاه انتشار الإشعاع المبين في الشكل (5. I) ، في حين توجه الحقل المغناطيسي عموديا على الحقل الكهربائي وكلا الحقلين ينتقلان في الفراغ بسرعة الضوء [10]



الشكل (5. I): طبيعة الإشعاع الشمسي

#### 6. 2. 4. I التوزيع الطيفي للإشعاع الشمس

إن الإشعاع الشمسي الصادر عن الشمس على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتوزع طاقته على طيف الإشعاع حيث تكون 98% من طاقة الإشعاع ضمن أطوال الموجات  $\lambda \in [0.25, 4]\mu m$  بينما نجد 1% من الطاقة لما  $\lambda > 4\mu m$  كما هو مبين في الشكل (6. I)

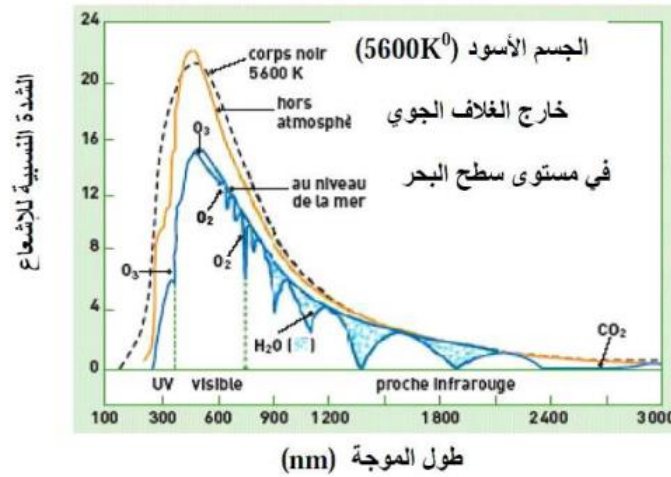


الشكل (6. I) : طيف الإشعاع الشمسي

يمثل توزيع الإشعاع الشمسي كما يلي:

- $\lambda \in [0.25 ; 0.4] \mu m$  المجال فوق بنفسجي ويمثل 7% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس .
- $\lambda \in [0.4 ; 0.8] \mu m$  المجال المرئي ويمثل 47.5% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس .
- $\lambda \in [0.8 ; 4] \mu m$  المجال تحت الأحمر و يمثل 45.5% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس .

إن طيف الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة حرارة  $T = 5777K$  في مجال الطيف  $\lambda \in [0.25, 4] \mu m$  بينما يصل إلى سطح الأرض بعد عدة امتصاصات من قبل مختلف الغازات وبخار الماء داخل الغلاف الجوي [11], كما هو مبين في الشكل (7. I)



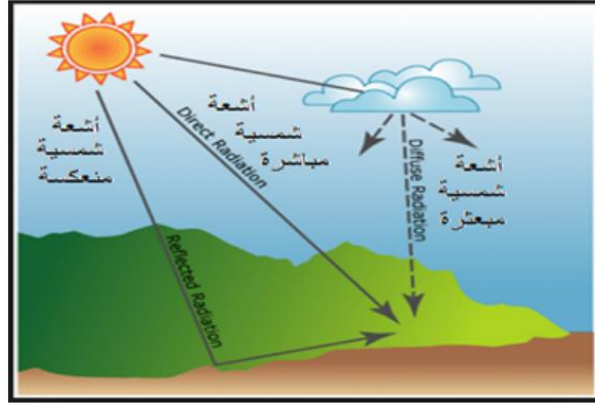
الشكل (7. I) : الطيف الكهرومغناطيسي للإشعاع

#### 7.2.4. I أنواع الإشعاع الشمسي الوارد إلى الأرض

بسبب التشتت، يتكون الإشعاع على سطح الأرض من مكونين: جزء من الإشعاع القادم يظل كإشعاع مباشر، بينما يتم تشتت الباقي في الغلاف الجوي فينعكس للخلف عائداً للفضاء أو يصل إلى الأرض كإشعاع مشتت. بعكس الإشعاع المباشر، الذي له اتجاه محدد جيداً، ينشأ الإشعاع المشتت من كل القبة السماوية. على الرغم من أن الإشعاع المشتت يكون

أكثر كثافة بالقرب من الشمس، إلا أن التقريب الجيد هو افتراض أنه متجانس الخواص أي، موزع بشكل موحد في جميع الاتجاهات، انظر الشكل (8.1) .

يجب الأخذ في الاعتبار مكون إشعاعي ثالث في تطبيقات الإشعاع الشمسي وهو الإشعاع المنعكس إلى السطح المائل من سطح الأرض ومن أجسام أخرى محيطة. وهو يتوقف على الانعكاسية لسطح الأرض (ما يسمى بالألبيدو) [12] .



الشكل (8.1) : أنواع الإشعاع الشمسي الوارد إلى الأرض

عند عبور الإشعاع الغلاف الجوي، يعاني الإشعاع الشمسي الساقط عموديا نوعين من التوهين (attenuation أو الإضعاف): التشتت والامتصاص. يحدث التشتت عندما يتفاعل الإشعاع مع جزيئات الهواء والماء والمعلقات في الغلاف الجوي. تتوقف درجة التشتت على علاقة الطول الموجي للإشعاع بحجم الجزيئات وتركيز الجزيئات في الغلاف الجوي والكتلة الكلية للهواء التي يجب على الإشعاع عبورها. العملية الأهم هي تشتت رايلي scattering Rayleigh وفيها يشتت الضوء بواسطة جزيئات الهواء، يكون هذا النوع من التشتت أكثر فعالية في الأطوال الموجية الأقصر في النهاية الزرقاء للطيف، وبصورة أساسية تلك التي أقصر من  $0.6\mu m$ ، تفسر عملية التشتت هذه اللون الأزرق للسماء خلال النهار واللون الأصفر للشمس واحمرار السماء ليلا. [10]

الثابت الشمسي

هو كمية الاشعة الشمسية التي تسقط عموديا على وحدة المساحة في وحدة الزمن، والمقاسة مباشرة خارج الغلاف الارضي عندما تكون الارض على مسافة متوسطة من الشمس وتقدر قيمتها خلال سنة واحدة ب  $1,5 \times 10^{11} \text{ km}$  وتبلغ القيمة المتوسطة للثابت الشمسي  $1367 \text{ w/m}^2$ . يمكن قياس الثابت الشمسي بجهاز دقيق جدا يسمى مقياس التجويف المطلق للاشعاع ويحمل هذا الجهاز على المركبات الفضائية او الاقمار الصناعية حيث يندعم تقريبا تاثير الغلاف الجوي . [5]

الكتلة الهوائية

يعتمد توهين الإشعاع الشمسي على المدى الذي يقطعه الشعاع في الغلاف الجوي. كلما زاد طول المسار، زاد عدد الجزيئات التي يتفاعل معها الشعاع. يتغير ذلك على مدار العام وعلى مدار اليوم. يحدث المسار الأطول في أواخر النهار، حيث تكون الشمس قريبة من الأفق [12]. يوصف طول المسار بالكتلة الهوائية air mass, يُعبر عنها بالرمز  $AM_x$  إن تموضع الشمس في الأفق له علاقة بسماكة الغلاف الجوي الذي يجتازه الشعاع الشمسي، إذ أنه كلما مالت الشمس عن وضع التعامد مع سطح الأرض كلما زادت سماكة الغلاف الجوي. يعرف معامل كتلة الهواء بأنه النسبة بين سمك الغلاف الجوي في حالة ميل الشمس عن وضع التعامد و سمك الغلاف الجوي في حالة التعامد مع سطح الأرض , كما هو موضح في الشكل (3. I). [10].

بالنسبة لنقطة مع مستوى سطح البحر  $O$  تكون كتلة الهواء كالتالي :

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \dots \dots \dots (13. I)$$

إذن معامل كتلة الهواء هو :

$$m = \frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin h} \dots \dots \dots (14. I)$$

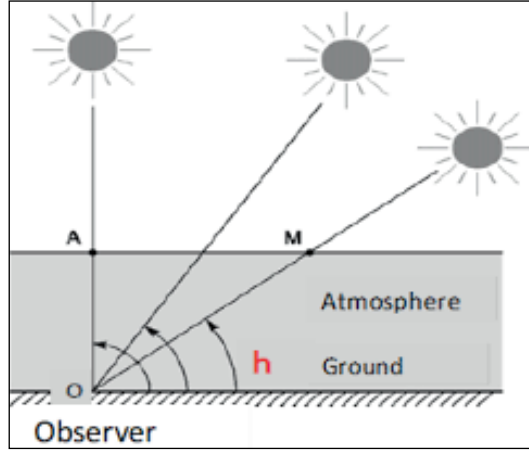
و منه عبارة كتلة الهواء تتغير بدلالة معامل كتلة الهواء :

$OM$  1 : عندما تكون الشمس عمودية على سطح الأرض (زاوية زينية).

OM 2 : زاوية الشمس  $30^\circ$

OM 1.5 : زاوية الشمس  $40^\circ$

OM 0 : أشعة الشمس خارج مجال الغلاف الجوي .



الشكل (9. I) : كتلة الهواء

#### 8. 2. 4. I العوامل المؤثرة في الاشعاع الشمسي

تتأثر شدة الاشعاع الشمسي قبل وصوله الى الارض بعدة عوامل اهمها الغلاف الجوي والزاوية التي يسقط بها على الارض، وتتخذ اكثر المتغيرات التي تحدد هذين العاملين اسلوبا متناسقا يمكن به توقع شدة الاشعاع في موقع معين من الارض اعتمادا على مكانه من الكرة الارضية والزمن (اليوم، الشهر والسنة) فمثلا اذا استبعدنا تأثير الغلاف الجوي فان شدة الاشعاع تعتمد على زاوية ميل الشمس عن الراصد في فترة زمنية محددة. وتأتي التغيرات غير متوقعة في شدة الاشعاع في موقع معين من الارض بسبب عوامل يصعب التحكم فيها مثلا الطقس وخصائصه من الحرارة وسحب ورياح وامطار...الخ.

#### • الغلاف الجوي

يتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات يصل سمكها لعدة كيلومترات فوق سطح الارض، وعندما تخترق الاشعة الشمسية هذه الطبقات فان مسارها وكميتها ستتغير حسب مكونات كل طبقة وسمكها، فغاز الاوزون مثلا الموجود في الطبقة العليا من الغلاف الجوي على ارتفاع 48 كلم من سطح الارض يمتص تقريبا جميع الاشعة فوق البنفسجية.

كما تلعب مكونات الغلاف الجوي مثل النتروجين والاكسجين وبخار الماء، ثاني اكسيد الكربون وذرات الغبار دورا كبير في تقليص الاشعاع الشمسي الذي يسقط على سطح الارض، وذلك عن طريق الامتصاص والتشتت والانعكاس.

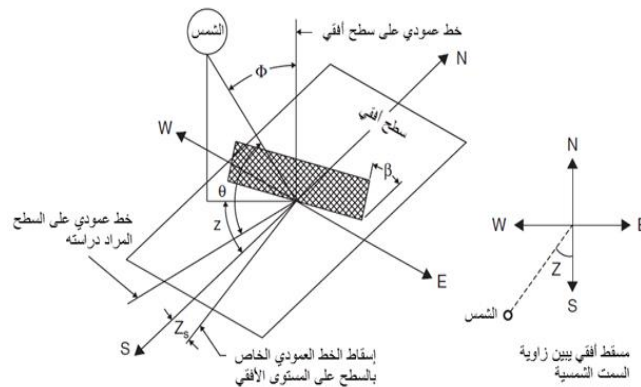
### • زوايا السقوط

يتاثر مستوى سقوط الاشعاع الشمسي الذي يصل الى الارض بحركة دوران الارض اليومية حول محورها وحركة دورانها السنوية حول الشمس حيث ان هاتين الحركتين يحددان الزاوية التي يسقط بها الاشعاع الشمسي على موقع معين من الارض.

زاوية السميت  $\theta_z$  هي الزاوية ما بين الخط المار في النقطة على سطح الارض والمتجه جنوبا وبين المسقط الافقي للخط الواصل بين النقطة والشمس هذه الزاوية تكون موجبة اذا كانت متجهة نحو الغرب.

زاوية الارتفاع الشمسي  $\beta$  هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الارض ومركز الشمس الافقي الذي تمر فيه النقطة على الارض، هذه الزاوية تساوي الصفر عند شروق وغروب الشمس وتأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال الشمسي.

زاوية ميل الشمس  $\delta$  هي زاوية ميلان محور دوران الارض عن المحور العمودي على مستوى مدار الارض حول الشمس، او هي الزاوية التي يصنعها الخط الواصل من مركز الارض الى مركز الشمس مع مستوى خط الاستواء.



الشكل (10. I): تمثيل الزوايا الشمسية

- إضافة الى العوامل السابقة يوجد عوامل اخرى تتحكم في شدة الاشعاع الشمسي الواصل الى سطح الارض والخلايا الشمسية واهمها:
- الموقع الجغرافي: المناطق الواقعة على خطوط العرض قريبة من خط الاستواء يتوفر فيها الاشعاع الشمسي أكثر من غيرها.
- موقع الخلايا: ان تواجد الخلايا الشمسية في مكان مزدحم بالعمران والاشجار قد يحول دون وصول الاشعاع المباشر.
- حالة السماء من حيث صفائها وتلبدها بالغيوم.
- الارتفاع فوق منسوب البحر. [5].

#### 9.2.4.1 طاقة الرياح

عند سقوط أشعة الشمس على الارض نظرا لاختلاف التضاريس على سطحها فنلاحظ اختلاف في درجات الحرارة، ففي المناطق ذات حرارة عالية يكون الضغط منخفض وهواء ذو كثافة اقل، اما في المناطق ذات درجة حرارة اقل وباردة يكون الضغط مرتفع وهواء ذو كثافة اكثر وباعتبار الهواء ينتقل من مناطق ذات ضغط مرتفع للمناطق ذات ضغط منخفض تتشكل الرياح. وقد اظهرت الرياح بانها أكثر المصادر قدرة على إنتاج الطاقة البديلة وتساعد في ردم الفجوة بين الطلب والعرض، هذه الطاقة ممكن ان تستخدم لإنجاز العمل الميكانيكي والكهربائي التي يستفاد منها لرفع المياه من الآبار والضخ المباشر للمياه. تطورت منظومات طاقة الرياح إما بنصب وحدات بشكل منفرد او بشكل مجموعة وحدات مرتبة من التوربينات في حقول الرياح وذلك لتوفير طاقة كبيرة لشبكة الكهرباء كما موضحة في الشكل (11. I)، أول حقل رياح اسيوي تم أنشائه في منطقة كوجرات .



الشكل (11. I): وحدات مرتبة من التوربينات في حقل الرياح

## 10.2.4.I طاقة موجات المد الجزر

تتولد طاقة الموجات باستمرار من ارتفاع وانخفاض الموجة او من الجريان المنظم لمد وجزر المياه الناتج عن جاذبية الشمس والقمر وخاصة عندما يكون الفرق بين المد المنخفض والعالي كبير جدا , فيمكن تسخيرها لتوليد الكهرباء بتشغيل التوربينات بالماء [4] .

## 11.2.4.I طاقة حرارة الأرض

هي تلك الطاقة الناتجة من عمليات طبيعية تحصل في الأرض، المصدر الرئيسي لهذه الطاقة (بشكل حرارة) هي الصخور المتوهجة أو المصهورة تحت الأرض التي تسمى الـ Magma، يمكن الإستفادة منها للتسخين وتوليد الطاقة الكهربائية من البخار الطبيعي [4] .

## 5.I خاتمة

في هذا الفصل تطرقنا لمفهوم الطاقة وبقية المفاهيم المرتبطة بها مثل العمل والاستطاعة، حاولنا تصنيفها حسب معيارين: المعيار الاول (المستوى الماكروسكوبي والمستوى الميكروسكوبي) والمعيار الثاني (حسب المصدر). مع التركيز على أهمية الشمس واشعاعها باعتبارها المصدر الرئيسي للطاقات المتجددة وكون ان استغلالها يتطلب تقنيات فعالة وهذا ما سوف نتطرق إليه في فصلنا الثاني.



---

# الفصل الثاني

الخلايا الشمسية وآلية عملها



## 1.II مقدمة

تعتبر الخلايا الكهروضوئية (الشمسية)، إحدى أهم الاختراعات في العصور الحديثة، والتي تمكن الانسان بفضلها من تأمين جزء لا بأس به من احتياجاته اليومية للطاقة عن طريق تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية سواء بشكل مباشر او غير مباشر.

وتعود فكرة الخلايا الشمسية الى عام 1839م، عند اكتشاف العالم الفرنسي ادموند بكاريل انه في حال تعرض قطب كهربائي للضوء ومغموس في محلول موصل ينتج تيار كهربائي، وفي عام 1875م قدم فيرنزفون سيمز مقالا عن تاثير الضوئية في اشباه الموصلات في اكااديمية برلين للعلوم.

وفي عام 1954 م قام ثلاث باحثين امريكيين هما:تشابين وبيرسون وبيرنس بتطوير الخلية الضوئية من السيليكون في مختبرات بيل، كما بين لنا امكانية توليد الكهرباء من الفضاء الناشئة عن حلول جديدة (بخلاف العملية النووية)، اما في عام 1957 م تم ارسال الاقمار الصناعية الاولى مع الألواح الشمسية في نفس الوقت الى الفضاء مع تطوير خلية بمردود 9%. و في عام 1983م، كانت اول سيارة مدعمة بالطاقة الشمسية تسافر مسافة 4000 كلم في استراليا. وفي عام 1985 تمكنت جامعة ساوت ويلز من انتاج خلية شمسية من السيليكون تصل كفاءتها الى 20%. والان تطورت الخلايا الشمسية والانظمة المختلفة التي تستخدم فيها بشكل كبير لا يكاد يحصى بصورها التي نلاحظها في مجالات كثيرة اليوم.

في هذا الفصل سنقدم معلومات عامة عن مكونات الخلايا الشمسية وتصنيفها مع توضيح آلية ومبدأ عملها .

## 2.II تصنيف المواد

يمكن تصنيف المواد المتواجدة في الطبيعة انطلاقا من قابليتها لنقل الكهرباء إلى ثلاث مجموعات و التي تتمثل في مواد ناقلة ، مواد عازلة و مواد نصف ناقلة و عليه سنتطرق لهاته الأصناف الثلاثة بناءً على حزم الطاقة .[12]

## 3.II حزم الطاقة

إن مستويات الطاقة تصل إلى عدد  $n$  مستوى وتكون هذه المستويات ما يسمى بحزم الطاقة ، ومن هذه الحزم، حزمتان الكترونيان تحددان الخواص الالكترونية للمادة إلى جانب حزمة ثالثة تفصل بينهما كما يلي:

### 1.3.II حزمة التكافؤ

تتميز بارتباط الإلكترونات مع الذرة و حركتها بسرعة كبيرة حول أنويتها و تخص المستويات العالية لطاقة الإلكترونات التي تحوم حول المدارات الخارجية و لا تكون أبدا فارغة و تمثل المستوى ( $E_v$ ).

### 2.3.II حزمة التوصيل

تتميز بوجود الكترونات حرة وهي ذات مستويات طاقة أعلى من تلك التي في حزمة التكافؤ و تمثل آخر حزمة تتواجد بها الإلكترونات و يمكن أن تكون فارغة من الإلكترونات و تمثل المستوى ( $E_c$ )

### 3.3.II الحزمة الممنوعة

تفصل بين حزمة التوصيل والتكافؤ يقل، و يزداد اتساعها حسب خصائص المادة (ناقلة، عازلة، نصف ناقلة) و بالاعتماد على أساس تركيب الحزم للمادة و كذا مقدار فجوة الطاقة الممنوعة ( $E_g$ ) و التي تفصل بين حزمة النقل ( $E_c$ ) وحزمة التكافؤ ( $E_v$ )، وبالإضافة إلى الخواص الالكتروفيزيائية تم تصنيف هذه المواد الى :

- المواد العازلة عند درجة: ( $OK$ ) يكون شريط التوصيل فارغا تماما من الإلكترونات بينما شريط التكافؤ يكون ممتلئ ، و حتى عند رفع درجة حرارتها تبقى هذه الخاصية في العوازل ، و ذلك لأن الطاقة الحرارية غير كافية لنقل إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل وجعله حرا، و هذا راجع إلى كبر الفاصل الطاقوي ( $E_g$ ) حيث تقدر قيمة هذه الطاقة بـ  $9 eV$ .
- النواقل: فتمتيز بتراكب حزمة التوصيل و حزمة التكافؤ فوق بعضها البعض لذا فليس هناك فاصل طاقي ( $E_g$ ) وحزمة التوصيل تكون مشغولة جزئيا حتى عند درجات الحرارة المنخفضة ، مما يؤدي إلى ناقلية كهربائية عالية جدا [12].
- اشباه النواقل.

### 4.II اشباه النواقل

بين المواد العازلة و المواد الموصلة يوجد مادة في غاية الاهمية هي اشباه الموصلات: وتعرف بانها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ولكنها تمتلك قدرا معينا من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع حرارتها.

و تتأثر توصيلية شبه الموصل بالحرارة و الضوء و المجال المغناطيسي و تؤثر فيها وجود كميات ضئيلة من الذرات الشائبة وان حساسية شبه الموصل تجاه هذه العوامل تجعل منه مادة بالغة الاهمية في التطبيقات الالكترونية.

ان أكثر المواد المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات هما عنصرى السليكون والجرمانيون.[11]

## 1.4.II المواد شبه الموصلة النقية

هي المواد التي تكون عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق ولكنها تمتلك قدرا من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع درجة حرارتها أو بإضافة شوائب أو أحداث عيوب في تركيبها البلوري وتمتلك هذه المواد حزمتين من الطاقة تبعا لنظرية الحزم في المواد الصلبة أحدهما مملوءة تماما بالالكترونات وتمثل حزمة التكافؤ (Valence band) الأخرى فارغة من الالكترونات وتمثل حزمة التوصيل (Conduction band) وعند رفع درجة حرارة شبه الموصل الى حرارة أعلى من الصفر المطلق فإن عددا من الالكترونات سوف تنتقل بعد اكتسابها طاقة كافية تكون مساوية أو أكبر من طاقة الفجوة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل. اما حزمة التكافؤ فإن الالكترونات التي غادرتها سوف تترك مكانها فارغا تسمى بالفجوات مثل هذه المواد تدعى بأشباه الموصلات الذاتية أو النقية والتي تملك أعدادا متساوية من حاملات الشحنة السالبة والموجبة (الالكترونات والفجوات) أي ان كثافة الالكترونات في حزمة التوصيل تساوي كثافة الفجوات في حزمة التكافؤ. [11]

### 1.1.4.II مستوى فيرمي في شبه الموصل النقي

يعرف بأنه ذلك المستوى الذي تكون احتمالية وجود الالكترونات فيه عند درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق تساوي نصفاً انظر الشكل (1. II) ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$E_f = \frac{E_c + E_v}{2} + K_b \ln\left(\frac{m_h}{m_e}\right) \dots \dots \dots (1. II)$$

إذ إن:

$E_c$ : مستوى الطاقة عند حافة حزمة التكافؤ

$E_v$ : مستوى الطاقة عند حافة حزمة التوصيل.

$K_b$ : ثابت بولتزمان

$m_h$ : الكتلة الفعالة للفجوات

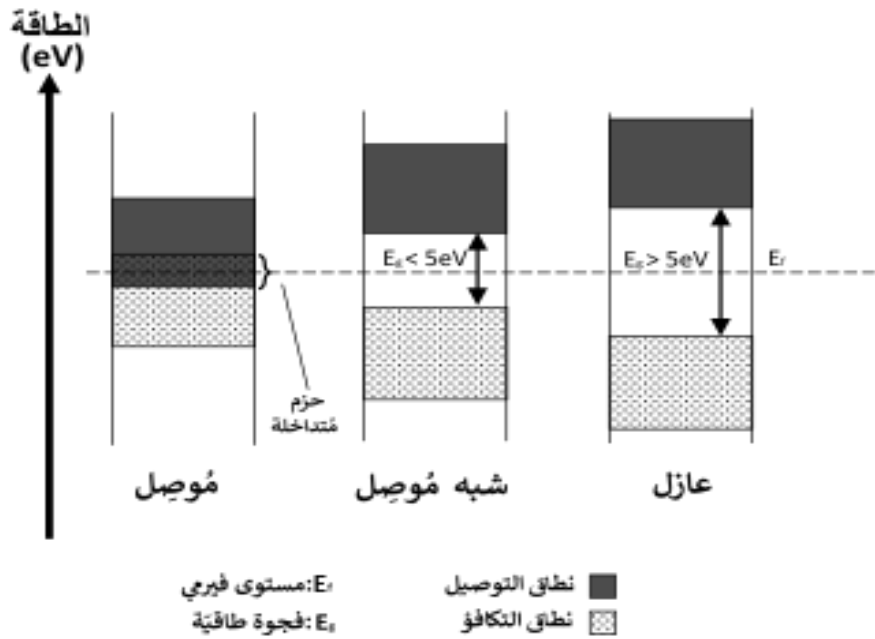
$m_e$ : الكتلة الفعالة للالكترونات.

وعندما تكون  $m_e = m_h$  فإن مستوى فيرمي يكون في وسط فجوة الطاقة الممنوعة.

$$E_f = \frac{E_c + E_v}{2} \dots \dots \dots (2. II)$$

$$E_f = \frac{E_g}{2} \dots \dots \dots (3. II)$$

إذا:  $E_g$  فجوة الطاقة. [11]



الشكل (1. II): مستوى فيرمي لشبه الموصل النقي.

## 2.4. II المواد شبه الموصلة غير النقية

هي عبارة عن مواد شبه موصلة نقية مطعمة بذرات مادة اخرى تسمى (الشوائب)، حيث يعرف التطعيم على انه اضافة ذرات معينة وبنسب قليلة الي المادة شبه الموصلة النقية لزيادة توصيليتها [11].

### 1.2.4. II انواع المواد شبه الموصلة الغير النقية

#### اشباه الموصلات نوع السالب $N - type semiconductor$

اذا اضيفت كميات معلومة من العناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري، كالفسفور او الزرنيخ او الانتيومون الي اشباه الموصلات النقية كالسليكون مثلا، فان الذرات الشائبة التي لها خمسة الكترونات تكافؤ تدخل في تركيب السليكون وتكون روابط التساهمية مع الذرات الاربعة المحيطة بكل منها، ويبقى الالكترن واحد معلق بذرة الام، ان فصل هذا الالكترن عن الذرة لا يحتاج الي طاقة كبيرة حيث ان هذه الطاقة اقل بكثير من الطاقة اللازمة لنقل الالكترن من الحزمة التكافؤ الي حزمة التوصيل في حالة اشباه الموصلات النقية، يوجد في هذا النوع عدد كبير من حاملات الشحنة السالبة ولهذا سمي بالنوع  $N$ . [11]

### شبه الموصل نوع موجب *P – type semiconductor*

إذا اضيفت كميات معلومة من العناصر المجموعة الثالثة في الجدول الدوري، كالبرون أو الألمنيوم أو الانديوم الي اشباه الموصلات النقية كالسليكون مثلاً، فسوف ينتج عن ذلك نوع جديد من اشباه الموصلات تكثر فيها الفجوات بدلاً من الإلكترونات، ان ذرات الشوائب سترتبط مع السليكون وتكون مع الذرات الأربعة المحيطة بكل واحدة فيها روابط تساهمية، ولما كانت ذرات الشوائب تحتوي على ثلاثة إلكترونات فقط في غلافها الخارجي و عليه سوف تبقى الرابطة تساهمية واحدة تحتوي إلكترونات وتحتاج الي إلكترون لاستكمال البنية البلورية الاعتيادية لشبه الموصل، ( ان الذرة الشائبة في هذه الحالة يمكن ان تكتسب بسهولة إلكترونات من الروابط المجاورة فعندئذ تكتمل روابطها)، ان هذا النوع نجد فيه فجوة موجبة (الأغلبية)، لهذا سمي هذا النوع p. [11]

## II.5 تعريف الخلايا الشمسية

وتسمى أيضا الخلايا الكهروضوئية وهي عبارة عن عنصر إلكتروني يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية دون عمليات وسيطة، حيث يمتص الفوتونات الساقطة من أشعة الشمس ويحولها إلى تيار كهربائي وذلك من خلال خصائص المواد المكونة لها. [13]

## II.6 مكونات الخلية الشمسية

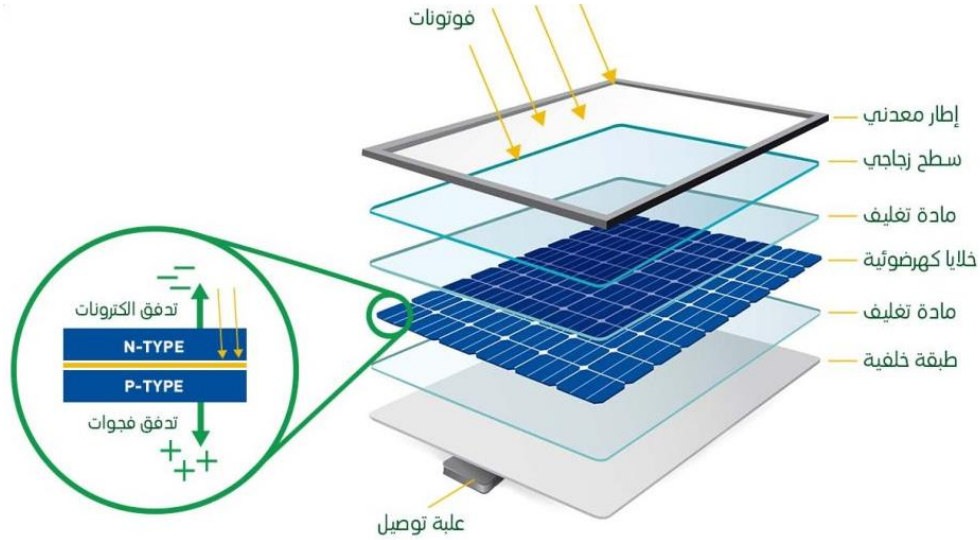
تتكون الخلايا الشمسية من مواد شبه ناقلة، تمتلك القدرة على امتصاص الضوء وتحويل جزء من الطاقة الضوئية الممتصة الي حوامل التيار الكهربائي (ثقوب وإلكترونات)، بشكل صمام ثنائي مصمم ومنتج بعناية ليمتص طاقة الضوء بكفاءة من الشمس ويحولها الي طاقة كهربائية.

ترتبط الخلايا الشمسية مع بعضها البعض لنحصل على لوح كهروضوئي، وبتجميعها نحصل على منظومة كهروضوئية (مصفوفة) ، ترتبط على التسلسل، التفرع او مختلط حسب الحاجة. [14]

تتكون الخلايا الشمسية كما هو موضح في الشكل (2. II) اسفله من:

- طبقة الأساس.
- الطبقة الموجبة P-Type Layer مصنوعة من السيلكون الصافي و يضاف له البورون بكمية قليلة و محسوبة بدقة.
- المنطقة المستنزفة من الشحنات.
- الطبقة السالبة N-Type layer تصنع من السيلكون و يضاف لها كمية قليلة و محسوبة بدقة من الفسفور.

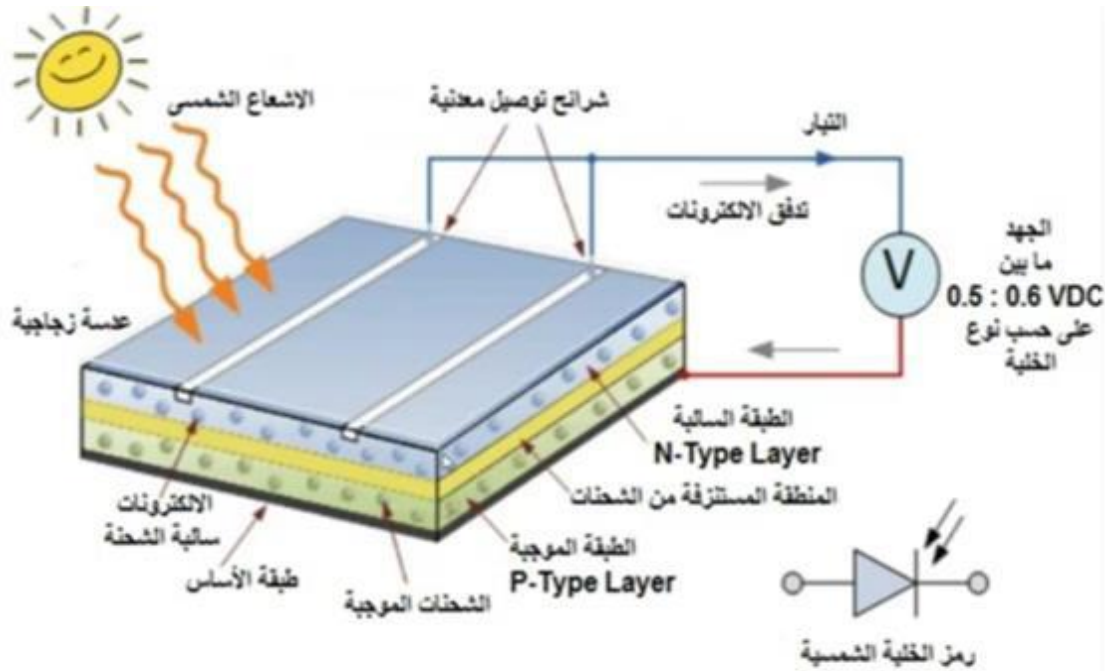
- عدسة زجاجية تدهن بمادة مضادة للانعكاس.
- شرائح توصيل معدنية. [12]



الشكل (2. II): طبقات الخلية الكهروضوئية.

و منه تتكون الخلية الشمسية بشكل رئيسي من طبقتين من السيلكون الطبقة العليا سالبة، وهذا بسبب وجود الإلكترونات حرة بها جاهزة للتدفق عند سقوط أشعة الشمس عليها، والطبقة السفلى موجبة تحتوي على فجوات. يوجد أيضا مجموعة من الأسلاك الموصلة للكهرباء بالأعلى وطبقة موصلة بالأسفل، وتعلو كل هذه الطبقات طبقة من الزجاج مغطى بمادة غير عاكسة، أي أنها تسمح للضوء بالدخول ولا تسمح له بالخروج، حتى تستطيع استغلال أكبر كمية من الضوء الساقط عليها ولا يرتد جزء منه للخارج كما هو

موضح في الشكل (3. II). [12]



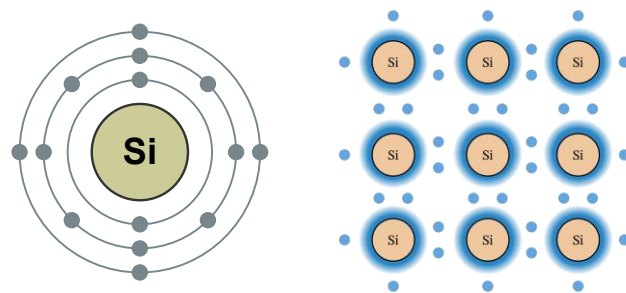
الشكل (3. II): مكونات الخلية الشمسية.

## 7.II مبدأ عمل الخلايا الشمسية

الخلية الشمسية عنصر الكتروني يحول ضوء الشمس على هيئة تدفق من الفوتونات إلى طاقة كهربائية، حيث تتكون قاعدة الخلية الشمسية من السيليكون من النوع  $P$  المشوب بقليل من البورون، ويكون سمكها أقل من  $1mm$ ، وتوضع فوقها طبقة من السيليكون من النوع  $N$  بسمك أقل من  $1\mu m$ . الطبقة الانتقالية تتشكل بفعل فرق التركيز في الوصلة  $P - N$ . تنتشر الإلكترونات في المنطقة  $N$  والفجوات في المنطقة  $P$ ، مما يسبب انحيازاً كهربائياً داخلياً في الخلية الشمسية. وعند تعرض الخلية الشمسية للفوتونات، يتم تحويل طاقتها إلى طاقة كهربائية تمر عبر مراحل هي:

1. امتصاص الفوتون (في حالة ما إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من طاقة الفجوة).
2. تحويل طاقة الفوتون إلى طاقة كهربائية بإنشاء الأزواج (الإلكترون - الفجوة) في أشباه الموصلات.
3. جمع الإلكترونات المتحررة في الخلية. [15]

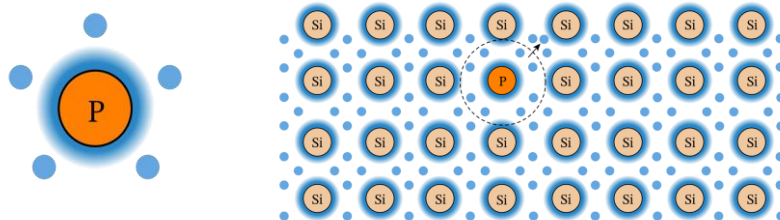
يمتلك السيليكون بعض الخواص الكيميائية في تركيبه البلوري ، فذرة السيليكون تحتوي على 14 إلكترون موزعة على ثلاث مستويات طاقة .المستويين الأول والثاني الأقرب للنواة يكونان ممتلآن تماماً بالإلكترونات والمستوى الخارجي (الثالث) يحتوي على أربعة إلكترونات فقط ، وتسعى ذرة السيليكون لأن تكمل النقص في عدد الإلكترونات في المستوى الخارجي ولتفعيل ذلك فإنها تشارك أربع إلكترونات من ذرات السيليكون المجاورة وبهذا ترتبط ذرات السيليكون ببعضها البعض في شكل شبكة بلورية .هذا التركيب البلوري له أهمية كبيرة في الخلية الشمسية الكهروضوئية كما سيأتي في الشرح لاحقاً . انظر الشكل (4. II)



الشكل (4. II): ارتباط ذرات السيليكون مع بعضها البعض مشكلة شبكة بلورية منتظمة.

إن بلورة السيليكون النقية لا توصل التيار الكهربائي بكفاءة لأنه لا توجد إلكترونات حرة تنتقل التيار الكهربائي ، وعليه لكي يتسنى لنا استخدام السيليكون في الخلية الشمسية فإننا بحاجة إلى إجراء تعديل بسيط في التركيب البلوري لذرة السيليكون ، هذا التعديل هو عبارة عن إضافة ذرات عناصر أخرى وتسمى بعملية التطعيم .

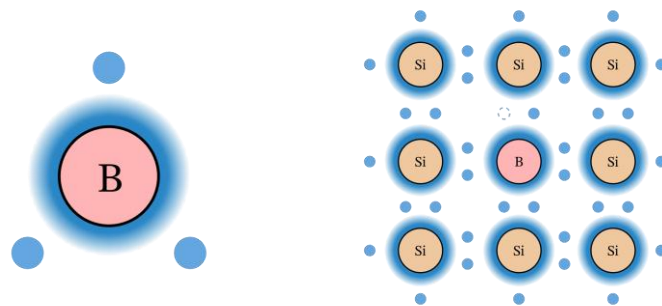
يتم تطعيم ذرات السيليكون بذرات الفوسفور فيصبح لدينا شبه موصل من النوع  $N - Type$  أي النوع السالب لأنه أضاف إلكترون للشبكة البلورية للذرات . انظر الشكل (5. II).



الشكل (5. II): شبكة من ذرات السيليكون أضيفت إليها ذرة فوسفور.

يوضح الشكل ذرة داخلية محاطة مباشرة بأربع ذرات أخرى: واحدة في الأعلى، وواحدة في الأسفل، وواحدة على اليسار، وواحدة على اليمين. ومن ثم، يمكن أن تشارك ذرة داخلية في الشبكة، مثل ذرة الفوسفور الموضحة أعلاه، بأربع مجموعات من الروابط التساهمية مع الذرات المجاورة. تذكر أن كل رابطة تساهمية تتكوّن من إلكترونين، وهذا يجعل ثمانية إلكترونات في المجمل تحيط بالذرة، وهو ما يكمل الغلاف الإلكتروني الخارجي. ومن ثم، تُكوّن ذرة الفوسفور أربع روابط تساهمية مع ذرات السليكون المجاورة.

كما يمكن التطعيم بذرات توفر الفجوة وهي ذرات لها عدد أقل من الإلكترونات كالبورون حيث يحتوي على 3 إلكترونات في مداره الخارجي لذلك ستشارك في ارتباطها مع سيليكون في الشبكة البلورية، فتتكون الفجوة ويبقى إلكترون حر يحتاج إلى إلكترون آخر ليكوّن رابطة تساهمية وتسمى المواد الناتجة عن هذا التطعيم بالنوع الموجب  $P - Type$

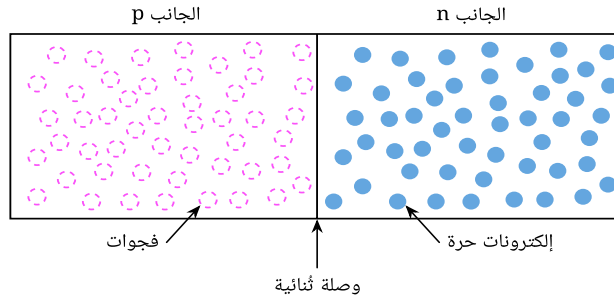


الشكل (6. II): شبكة من ذرات السليكون أضيفت إليها ذرة البورون.

يوضح الشكل أن ذرة البورون في شبكة السليكون تحتوي على سبعة إلكترونات من أصل ثمانية يمكن أن تحيط بها، من خلال الروابط التساهمية. وبما أنها لا تحتوي على الإلكترونات الثمانية كاملة التي تجعل الغلاف مكتملاً، يمكننا أن نقول إن هناك فجوة واحدة في الغلاف. ووجود هذه الفجوة يعني أنه من المرجح للغاية أن «تستقبل» ذرة البورون إلكترونًا حرًا مجاورًا في غلافها الخارجي .

والخلايا الشمسية تحتوي على كلا النوعين من التطعيم ، الموجب والسالب.

إن لأشباه الموصلات المطعّمة هذه خواصٌ مثيرةً عند تجميعها. في الشكل الآتي، لدينا شبه موصل من النوع P على اليسار، وشبه موصل من النوع N على اليمين. عند تجميعهما، نحصل على وصلة نسميها الوصلة الثنائية كما في الشكل (7. II).

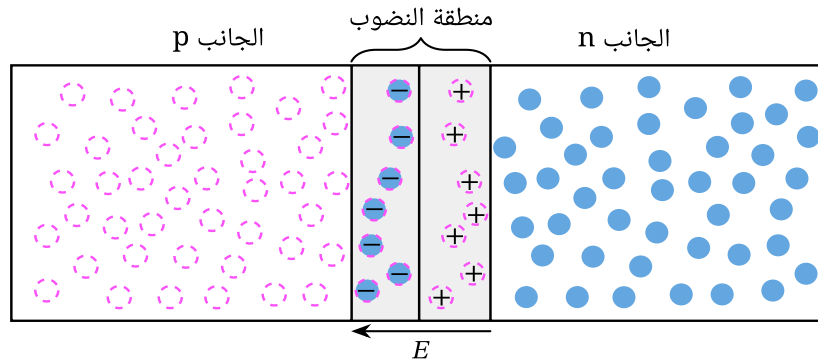


الشكل (7. II): تشكل الوصلة الثنائية بعد تجميع النوع السالب والموجب.

يكتسب الجانب P ، الذي كان متعادلاً من قبل، إلكترونًا إضافيًا؛ ومن ثم، أصبح سالب الشحنة. وبالمثل، فقدّ الجانب N إلكترونًا؛ وبذلك أصبح عدد البروتونات فيه يزيد عن عدد الإلكترونات، وأصبح موجب الشحنة. في الشكل الآتي، نمثّل الفجوة المملوءة بأنها شحنة سالبة، ونمثّل غياب الإلكترون من الجانب N بأنه شحنة موجبة.

يُعبر عدد أكبر من الإلكترونات القريبة من الحد الفاصل لملء الفجوات في الجانب p

ينتهي المطاف بتراكم شحنات سالبة بالقرب من الحد الفاصل على الجانب p ، وتراكم شحنات موجبة بالقرب من الحد الفاصل على الجانب N. هذه المنطقة حيث توجد شحنة سالبة على أحد طرفيها وشحنة موجبة على الطرف الآخر تُعرف باسم منطقة النضوب (تسمى أيضًا المنطقة القاحلة). يوّد تراكم الشحنات هذا مجالاً كهربائياً عبر منطقة النضوب، يُرمز له بالرمز E في الشكل (8. II).



الشكل (8. II): يوضح تشكل المجال الكهربائي.

تُمثّل الوصلات الثنائية أساساً لمكوّن يُعرف باسم Diode. ويعمل الدايدود في الدائرة عمل الصمام؛ فعندما يوصل الدايدود توصيلاً أمامياً، يستطيع التيار المرور عبّره، وعندما يوصل توصيلاً عكسياً، فلا يستطيع التيار المرور عبّره. [16]

إن سريان الإلكترونات إلى الجهة N والفجوات في الإتجاه المعاكس هو مايسمى بالتيار الكهربائي ، فإذا كانت هناك دارة خارجية تسمح بمرور التيار فيها فإن الإلكترونات المتحركة تترك الشبه الموصل إلى أحد الأسلاك الخارجية في أعلى الخلية وفي نفس الوقت تتجه الفجوات إلى الإتجاه المعاكس خلال المادة إلى أن تصل إلى السلك الخارجي الآخر في قاع الخلية وعندها ستملئ بواسطة الإلكترونات القادمة من نصف الدارة الخارجية الآخر [11], [17].

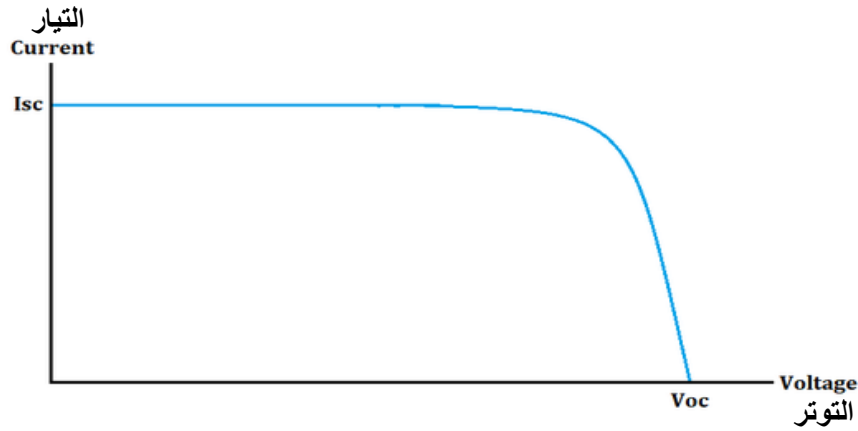
## 8. II منحني تيار - جهد المميز للخلية الكهروضوئية المثالية:

كفاءة الخلية الكهروضوئية (%) تمثل النسبة المئوية لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء مباشرة، وترتبط قيمتها بالخصائص الفيزيائية والإلكترونية للخلية. من أهم القياسات المعروفة التي تساعد على حساب كفاءة الخلية الكهروضوئية هي إيجاد تغير شدة التيار مع الجهد. [18]

و تسمى العلاقة بين الجهد المطبق على أقطاب الخلية والتيار المار بها بميزة تيار-جهد.

حيث تعرف الخلايا الشمسية ذات مساحة  $100 \text{ cm}^2$  ببطارية شمسية تقوم بإنتاج جهد مقداره 0.5 فولت يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي، حيث يتراوح تيارها ما بين  $(2.5 - 3)A$  أمبير في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى.

تحدد الخلايا الشمسية بفَرْق جهد الدارة المفتوحة وتيار دارتها المغلقة [10], كما هو موضح في الشكل (9. II).



الشكل (9. II): علاقة التيار بالجهد لخلية كهروضوئية مثالية.

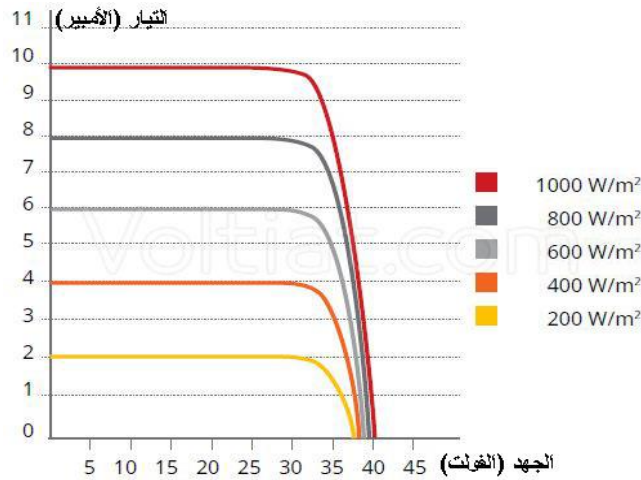
## 9. II الخصائص الكهربائية للخلية الكهروضوئية

### 1. 9. II فرق جهد الدارة المفتوحة $V_{OC}$

هو التوتر الذي تعطيه الخلية الكهروضوئية عندما لا يمر في الدارة أي تيار، وهو التوتر بين طرفي الخلية الكهروضوئية في الدارة المفتوحة أي بدون حمولة .

### 2. 9. II تيار الدارة المغلقة $I_{SC}$

هو التيار المار في الخلية الكهروضوئية إلى دارة خارجية بدون حمل أو مقاومة . إن فرق الجهد المتولد من الخلية الكهروضوئية يبقى ثابتاً عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الساقط، لكن التيار المتولد يزداد بشكل يتناسب طردياً مع الإشعاع الشمسي الساقط على مجموعة من الألواح الكهروضوئية عددها ( $n$ ) عند كل لحظة زمنية , وهذا ما يوضحه الشكل (10. II).

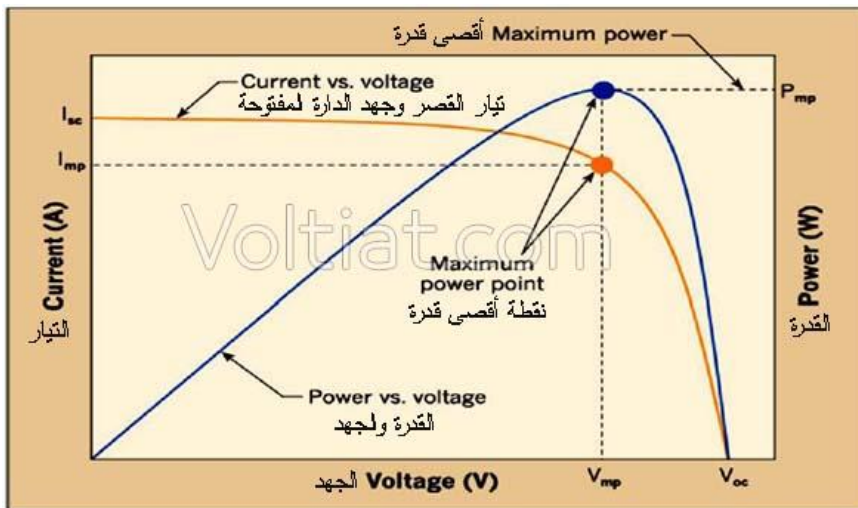


الشكل (10. II): تغير قيم الجهد والتيار تبعًا للإشعاع الشمسي.

### 3.9. II الإستطاعة الأعظمية $P_{max}$ :

تُعرف بأنها الناتج الأعلى من حاصل الضرب بين النقطة القصوى للتيار  $I_{max}$  والنقطة القصوى للجهد  $V_{max}$  أي عند نقطة التشغيل وتُعطى بالعلاقة :

$$V_{max} \times I_{max} = P_{max} \dots\dots\dots (4. II)$$



الشكل (11. II):علاقة الإستطاعة القصوى للوح مع الجهد والتيار.

### 4.9. II معامل الشكل $FF$

يُعرف بأنه بين الطاقة القصوى والمُنْتِجة ويُعطى بالعلاقة :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (5. II)$$

## 5.9.II كفاءة الخلية الكهروضوئية

تُعرف بأنها النسبة بين الطاقة القصوى التي تُنتجها الخلية وطاقة الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الخلية , ويتم قياسها في الشروط النظامية وهي :

$$H_{ins} = 1000 \text{ W/m}^2 \text{ شدة الإشعاع الشمسي}$$

$$25^\circ\text{C} \text{ حرارة الخلية}$$

$$AM = 1.5 \text{ كتلة الهواء}$$

حيث  $S$  هو سطح الخلية و  $H_{ins}$  شدة الإشعاع الشمسي. وتُعطى الكفاءة بالعلاقة [12] :

$$\eta = \frac{P_{max}}{H_{ins} \times S} \dots \dots \dots (6. II).$$

## 10.II أنواع الخلايا الشمسية

يتم تصنيف الخلايا الشمسية وفق الأجيال التالية :

### 1. 10. II الجيل الأول

يتمثل في الخلايا البلورية، والتي تتكون عادة من السيليكون، الذي يعد ثاني أكثر العناصر وفرةً على الأرض. يتشكل السيليكون أساساً من إنتاج رقائق، يتراوح سمكها بين 200 إلى 300 ميكرومتر، مما يجعلها كبيرة وغير مرنة. يتم إنتاج السيليكون على شكل قضبان نقية عن طريق الذوبان و القولبة، يكون المقطع على شكل أسطواني أو متوازي المستطيلات، ثم يتم تقطيعه إلى رقائق. وبالاعتماد على التكنولوجيا المتبعة، يمكن أن يكون السيليكون البلوري :

### 1. 1. 10. II سيليكون أحادي التبلور

هي خلايا مصنوعة من السيليكون النقي ذات شكل مستمر أحادي البلورة، ويكون لونها أزرق أو أسود. [19]

✓ مميزاتها

1. كفاءة عالية.

2. يحتاج إلى مساحة كبيرة.

3. تستمر مدة طويلة تصل إلى 25 سنة مع الصيانة الدورية.

4. عند الإضاءة المنخفضة أداؤها أفضل.

#### عيوبها

1. غالي الثمن.
2. عند تغطية جزء من الخلية تفقد أداؤها.
3. عند إنتاجها تصدر نسبة عالية من العوامل التي تسبب احتباس حراري.
4. كفاءتها عالية في الطقس الدافئ وتفقد كفاءتها في المدن ذو درجات الحرارة العالية.

### II. 10. 2. 1. سيليكون متعددة البلورات

السيليكون مكوناً من بلورات صغيرة متجاورة، وهي أقل كفاءة من الخلايا أحادية البلورة. ويمكن التعرف على هذه الخلايا من خلال أشكالها الغير منتظمة للبلورات التي تعطيها مظهرًا غير متجانس. [19]

#### مميزاتها

1. تصنيعه غير مكلف وبسيط.
2. أداؤه أفضل من لوح أحادي البلورة في طقس درجات حرارته عالية.

#### عيوبها

1. كفاءتها قليلة.
2. تحتاج لمساحة أكبر من الخلايا السيليكونية أحادية البلورة .
3. شكلها الهندسي أقل جمالاً من الخلايا السيليكونية أحادية البلورة.

### II. 10. 2. الجيل الثاني

وهي خلايا مكونة من كمية صغيرة جدًا من السيليكون، تتميز بشمكٍ رفيع ومرونة وسهولة التركيب (عملية أكثر)، لهذا سُميت بخلايا الطبقات الرقيقة لأن منطقة الامتصاص من الضوء تصنع الميكرومترات، ويبقى مبدأ عملها نفسه بالنسبة للخلايا البلورية. تعتمد طريقة صنعها على ترسيب الأبخرة الكيميائية، والتي تُستخدم في تصنيع أغشية رقيقة من مواد شبه موصلة مترسبة على قواعد زجاجية أو بلاستيكية لتكوين وحدة الخلية الكهروضوئية، ومن أمثلتها :

**1. 2. 10. II السيليكون البلوري**

حيث يكون توزيع ذرات السيليكون فيها غير متبلور. [20]

- مميزاتها وعيوبها

الأغشية الرقيقة أرخص ولكنها أقل كفاءة، تحتاج لمساحة صغيرة، تصميمها الهندسي سهل تستخدم في التطبيقات الصغيرة مثل الساعات الحاسبة والآلات الحاسبة. [14]

**3. 10. II الجيل الثالث**

يعد هذا الجيل من ألواح الطاقة الشمسية قفزة علمية، حيث أن الخلايا السابقة مصنوعة من عناصر غير عضوية مما يجعلها مستقرة وقوية، وتفتقر بشدة الألوان حيث تقتصر في اللون الأزرق والرمادي، بينما خلايا الجيل الثالث وبفضل إدراج البوليمرات في صنعها يمكن للألواح الكهروضوئية عرض هياكلها ذات ألوان مختلفة حمراء أو صفراء، أو حتى وردية. إضافة لكونها جد رقيقة، وأكثر مرونة من الخلايا السابقة، كما تتميز هذه التقنية بانخفاض استهلاك الطاقة أثناء التصنيع، و لكن لا يزال يتعين تحسين كفاءة الخلايا و تمديد عمرها. ومن هذه الخلايا:

**1. 3. 10. II خلايا CZTS**

يتكون هذا النوع من الخلايا من النحاس، القصدير، الكبريت و الزنك، حيث تتشكل هذه العناصر معاً بشكل موصل جيد، نظراً لكون هذه العناصر شائعة و غير سامة، كما أن تكلفتها أقل. إلا أن العيب الوحيد يتعلق في أدائها الضعيف مقارنة بالخلايا الأخرى حيث يقدر بـ 11.1%.

**2. 3. 10. II الخلايا الكهروضوئية العضوية**

هي خلايا ذات طبقات تتكون من مادة عضوية يتم صنعها عن طريق تقنيات متعددة أهمها الطباعة السريعة التي تعتبر أقل تكلفة، فضلاً عن سرعتها في عملية التصنيع ولكن كفاءتها في هذه الحالة تكون أقل مقارنة مع تلك المصنعة عن طريق التبخير. يتميز هذا النوع بالمرونة وسمك صغير جدا و سهولة التركيب والتصنيع بالإضافة لانخفاض تكلفة انتاجها ، إلا أن مردودها لا يتعدى 11%.



الشكل (12. II): يوضح أنواع الخلايا الشمسية السيليكونية .

## 11. II تجميع الخلايا الكهروضوئية

يمكن ربط الألواح الشمسية بعدة طرق وذلك تبعا لحجم الشبكة ومقدار كل من التيار والتوتر المراد تحصيله والذي يحدده الحمل .

### 1. 11. II تجميع الخلايا على التسلسل

عند ربط مجموعة من الخلايا  $n_s$  على التسلسل يصبح من الممكن زيادة توتر الخلية الشمسية ويتم ذلك بربط طرف اللوح الموجب مع طرف سالب اللوح اللاحق ,وبالتالي فإن فرق جهد الدارة المفتوحة هو عدد الخلايا مضروب في جهد الخلية الواحدة ولكن التيار يكون تيار خلية واحدة ويكون التوصيل كما في انظر الشكل (13. II) [12].حيث :

$$V_{CONS} = V_{CO} \times n_s \dots \dots \dots (7. II)$$

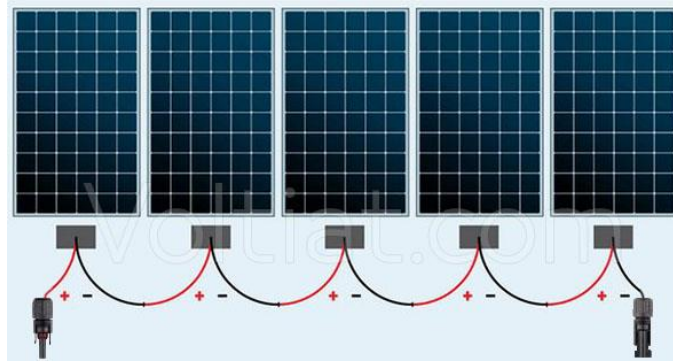
$$I_{CC} = I_C \dots \dots \dots (8. II)$$

$V_{CONS}$  : مجموع الجهد في دارة مفتوحة لعدد من الخلايا المتسلسلة

$V_{CO}$  : جهد خلية واحدة

$I_C$  : تيار خلية واحدة

$I_{CC}$  : تيار في دارة مغلقة لعدد من الخلايا المتسلسلة



الشكل (13. II): يوضح التوصيل على التوالي (التسلسل) للخلايا الشمسية.

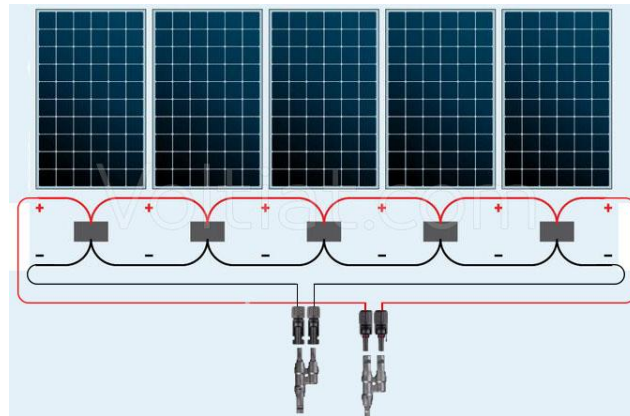
### 2. 11. II التجميع على التفرع

عند ربط مجموعة من الخلايا  $n_p$  على التوازي يسمح بزيادة إنتاج تيار الخلية الشمسية وذلك بربط الاطراف السالبة جميعها مع بعض وكذلك الموجبة. فيكون الجهد مساوياً لجهد الخلية الواحد والتيار يكون مجموع التيارات الموصولة على التفرع. انظر الشكل (14. II) .

$$I_{CONP} = I_{SC} \times n_p \dots \dots \dots (9. II)$$

$$V_{CONP} = V_{CO} \dots \dots \dots (10. II)$$

$V_{CONP}$  : جهد دائرة مفتوحة لخلايا على التوازي (التفرع)

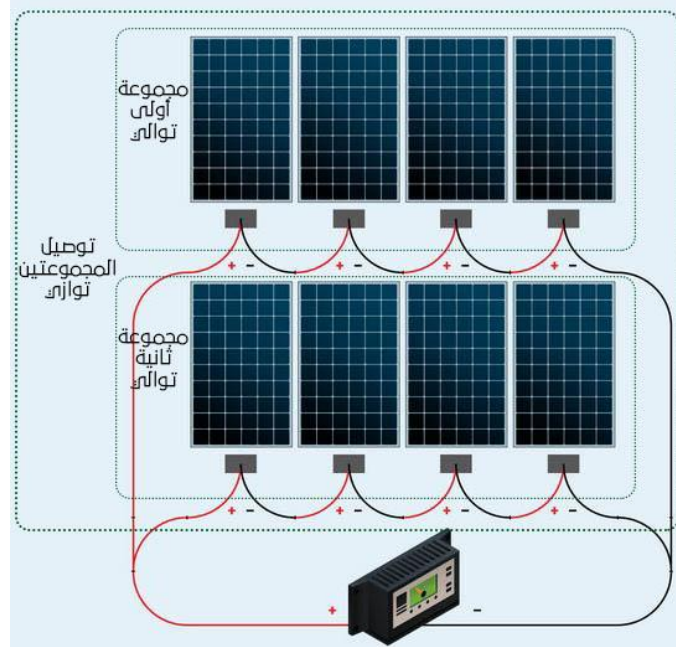


الشكل (14. II): التوصيل على التفرع (التوازي) للخلايا الشمسية.

### 3.11. II التجميع المشترك (التوازي-التسلسل)

يتم تجميع الخلايا في آن واحد للحصول على قدرة أكبر (أعلى جهد وأعلى تيار نسبيا)

يكون التوصيل كما في الشكل (15. II). [17].



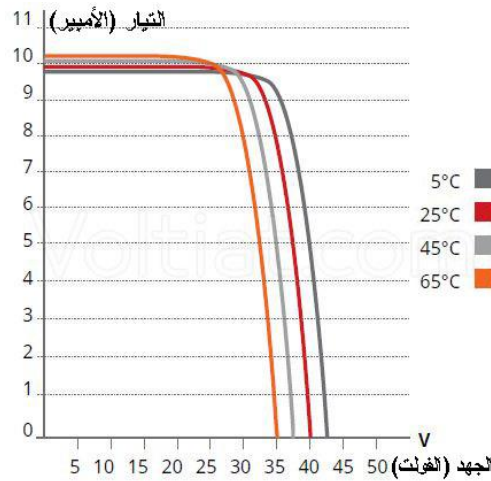
الشكل (15. II): طريقة توصيل الألواح الشمسية على التوالي والتوازي.

## 12. II العوامل المؤثرة على أداء الخلايا الشمسية

### 1. 12. II تأثير درجة الحرارة

إن الزيادة في درجة حرارة الطقس يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة اللوح الشمسي فتتخفص قيمة جهد اللوح بمقدار يعتمد على الارتفاع في درجة الحرارة ويرتفع تيار القصر للخلية ارتفاعاً

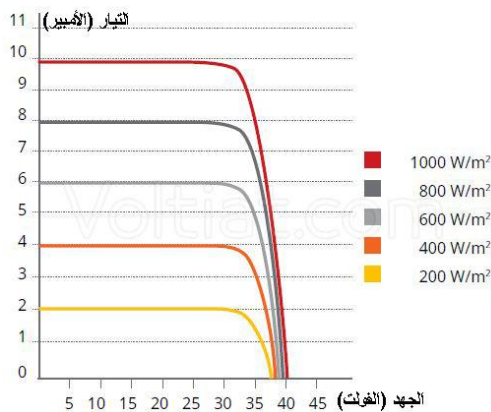
طفيفاً وهذا ما يوضحه الشكل (16. II). [17].



الشكل (16. II): تأثير الحرارة على إنتاجية اللوح الشمسي.

## 2. 12. II تأثير الإشعاع الشمسي

المقصود من الإشعاع الشمسي هو كمية الطاقة القادمة من الشمس والتي تسقط على سطح الخلايا الشمسية (اللوح الشمسي)، وعند وجود غيوم تغطي السماء فإن الإشعاع الشمسي ينخفض إلى  $100 W/m^2$  أو  $400 W/m^2$  كما هو موضح في منحنى الشكل (17. II). فنلاحظ من المخطط البياني بأنه عند  $200 W/m^2$  يكون إنتاجية اللوح للتيار منخفض جداً في حدود  $2 A$ ، في المقابل ينخفض الجهد بمقدار بسيط جداً. وبالتالي فإن الزيادة في مقدار الواط لكل متر مربع يؤدي إلى زيادة إنتاجية اللوح، وانخفاضها يؤدي إلى تدني إنتاجية اللوح الشمسي. [17]



الشكل (17. II): تأثير الإشعاع الشمسي على إنتاجية اللوح الشمسي.

### II 3.12 تأثير التظليل

إن الظل الذي قد يتكون على الألواح الشمسية يعتبر من أهم العوامل التي لا بد من أن تُؤخذ بعين الاعتبار بناء الأنظمة الشمسية، حيث أن الظل المتشكل على سطح اللوح الشمسي يؤدي إلى التقليل من كمية الإشعاع الساقط على اللوح الشمسي وبالتالي تؤدي إلى انخفاض الطاقة الكهربائية المنتجة. [22]

### II 4.12 كفاءة محول التيار الشمسي (Solar Inverter)

هو احد الأجهزة الهامة التي تستخدم في تشغيل نظام الطاقة الشمسية لتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب; من الطبيعي أن الانفرتر لا يمكنه تحويل كامل طاقة الألواح الشمسية DC إلى تيار متردد AC بنسبة 100% بل أقل من ذلك، وتتراوح كفاءة الانفرترات المستخدمة في أنظمة الطاقة الشمسية بين 95 % إلى 99 % .

### II 5.12 التوجيه والإمالة

عامل مهم يؤثر على إنتاجية الألواح الشمسية، بالتالي يجب أن نوجه الألواح الشمسية بالشكل المعتمد لكل بلد، وإمالاته بزواوية مثالية حتى تستفيد من زيادة الإنتاجية للألواح الشمسية .

### II 6.12 نسبة تدهور الألواح الشمسية

تضع كل شركة نسبة تدهور الألواح الشمسية خلال سنوات الاستخدام لها، مع انخفاض 0.5% إلى 1% من السنة الأولى لها، بالتالي تنخفض أداء إنتاجية الألواح أكثر فأكثر على مدار 25 سنة إلى 30 سنة. [17]

### II 7.12 تأثير الرياح

الرياح القوية قد تؤدي إلى تبريد الألواح الشمسية، مما يعزز كفاءتها في الطقس الحار. كما أن الرياح قد تتسبب في تعريض الألواح لأحمال ميكانيكية قد تؤثر على استقرار الهيكل أو على الألواح نفسها إذا كانت غير مصممة لتحمل تلك القوى.

## 12. II خلاصة

تطرقنا في هذا الفصل إلى دراسة مبدأ عمل الخلايا الكهروضوئية ، كما تناولنا كيفية تركيب الخلايا، مع توضيح مكوناتها الأساسية وكذا أنواع الخلايا، كذلك الخصائص الكهربائية للخلية الضوئية، مثل التيار الكهربائي الناتج ( $I$ ) ، التوتر ( $V$ ) ، نقطة الاستطاعة العظمى ( $MPP$ ) ، وجهد الدارة المفتوحة ( $VOC$ ) ، والتيار الدارة القصيرة ( $ISC$ ) ، وهي خصائص تلعب دوراً مهماً في تقييم أداء الخلية. بالإضافة إلى ذلك، تم التطرق إلى كيفية حساب كفاءة الخلية وقد تبين أن هذه الكفاءة تتأثر بعدة عوامل، حيث يُعد فهم هذه الجوانب ضرورياً لتحسين مردود الخلايا الكهروضوئية وتطوير استخدامها في مجال الطاقات المتجددة.



---

# الفصل الثالث

نتائج الدراسة والمناقشة



### III. 1. مقدمة

يتضمن هذا الفصل الجزء العملي، وتوضيح البرتوكول التجريبي من أجهزة وأدوات مستخدمة وطريقة العمل ثم النتائج والمناقشة. من خلال التجربة التي أقيمت بالمدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي بسكيكدة على مستوى الطابق الثاني وفق الشروط النظامية لوضعية الخلايا الشمسية من أجل دراسة تأثير درجة الحرارة على كل من التيار والجهد والإستطاعة، بغية تحسين كفاءة الخلية الكهروضوئية، وذلك بإدخال طبقة من الفلين نظرا لمواصفاته الصديقة للبيئة والإقتصادية والعازلة للحرارة ولسهولة تركيبها وخفة وزنها.

### III. 2. البروتوكول التجريبي

في هذه التجربة تم إستعمال الأدوات والوسائل التالية:

1. لوح شمسي من السيليكون متعدد البلورات و الجدول ( III. 1 ) يوضح مواصفات هذا اللوح (انظر الملحق 01).

#### جدول ( III. 1 ) : مواصفات اللوح السيلكوني المستعمل

المقدار والمواصفات	
أقصى استطاعة	maximum Power (Pmax): 100W
أقصى تيار	Maximum Power Current (Imp) : 8.7A
أقصى توتر	Maximum Power Voltage(Vmp) : 17.5V
توتر الدارة المفتوحة	Open Circuit Voltage(Voc) : 21.5V
تيار الدارة القصيرة	Short Circuit Current(Isc) : 6.46A

2. متعدد القياسات

3. مقياس درجة حرارة

4. أسلاك توصيل
5. منظم الشحن
6. محول
7. بطارية
8. طبقة الفلين أبعادها متناسبة مع اللوح المدروس (انظر الملحق 02)

### III. 3. طريقة العمل

لمعرفة خواص اللوح الشمسي, تم تعريضه إلى الإشعاع الشمسي الشكل ( 1.III ) خلال الفترة الزمنية التالية : (الثامنة صباحا -الرابعة مساء) يومي 28 و 29 ماي 2025 بتوجيهه نحو الجنوب بزاوية  $18^\circ$  (تناسبا مع موقع عزابة) [5] , أين قمنا في البداية بإجراء التجارب باللوح لوحده ثم كمرحلة ثانية ارفقنا طبقة الفلين كعازل خلف اللوح الشمسي . وإعادة نفس القياسات السابقة وتسجيل النتائج المتحصل عليها



الشكل ( 1.iii ) :التركيبه الكهروضوئية المدروسة

### iii 4. القياسات الخاصة باللوح لوحده

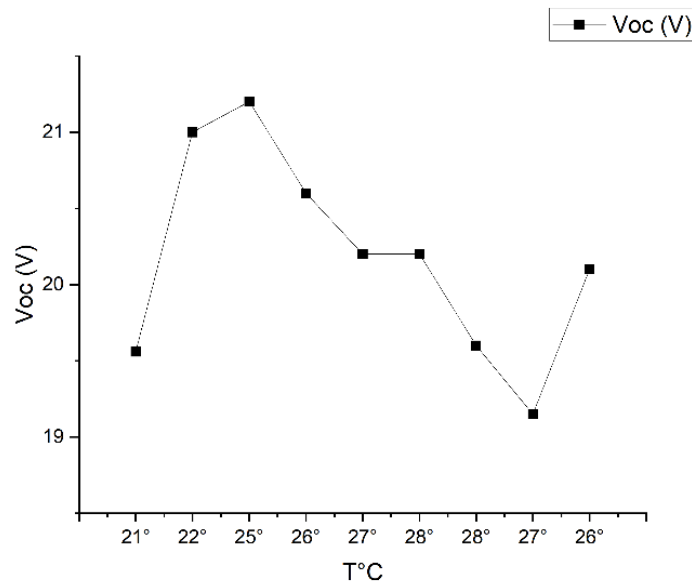
#### iii 1.4. دراسة تغير التوتر بدلالة درجة الحرارة

من خلال القياسات المجراة على اللوح في الفترة ( 8:00 سا - 16:00 سا) وأخذ قيم كل من التوتر ودرجة الحرارة بواسطة مقياس متعددة القياسات والمحرار على التوالي , كانت النتائج وفق الجدول ( 2. iii ):

جدول ( 2. III ) : جدول يوضح تغير التوتر بدلالة درجة الحرارة

$V_{oc}(V)$	$T(^{\circ}C)$	الساعة (H)
19.56	21	8
21	22	9
21.2	25	10
20.6	26	11
20.2	27	12
20.2	28	13
19.6	28	14
19.15	27	15
20.1	26	16

من خلال النتائج المتحصل, عليها تم رسم منحنى تغيرات التوتر بدلالة درجة الحرارة الشكل ( 2. III ) .



الشكل ( 2. III ) : يوضح تغيرات التوتر الكهربائي بدلالة درجة الحرارة

يتضح من الشكل ( III. 2 ) أن التوتر الكهربائي يتزايد بزيادة درجة الحرارة من القيمة  $19.56V$  إلى القيمة  $21.2 V$  بين الدرجتين ( $21^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) ثم يثبت عند القيمة  $20.2 V$  في الفترة ( 12:00سا-13:00سا ) وكمرحلة الثالثة ينزل بشكل طفيف إلى القيمة  $19.15V$  ابتداء من الساعة الثانية مساءً , ليستقر عند القيمة  $20.1V$  على الساعة الرابعة مساءً , وتفسير ذلك أن زيادة الإشعاع مع زيادة درجة الحرارة تؤثر على أداء الخلية الشمسية وبالتالي زيادة التوتر كمرحلة أولى ثم نقصانه في فترة الظهيرة بسبب التأثير السلبى لدرجة الحرارة على نشاط الخلايا الشمسية داخل اللوح ليزداد من جديد في الفترة المسائية .

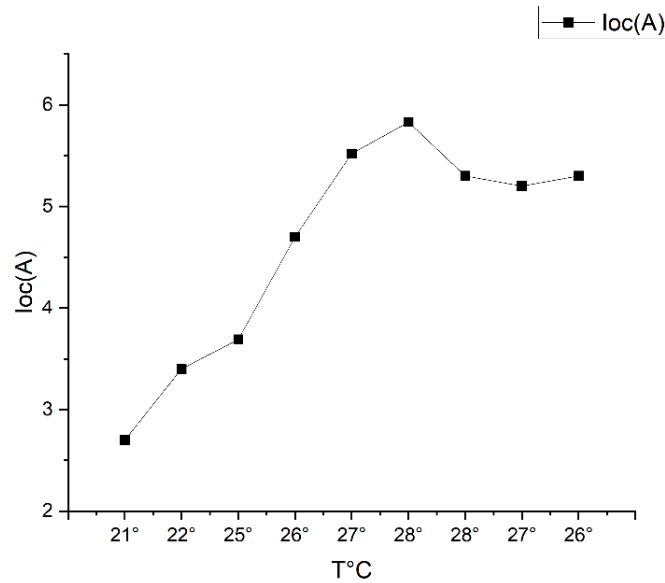
### III. 2.4 دراسة تغير التيار بدلالة درجة الحرارة

من خلال القياسات المجرىة على اللوح في الفترة ( 8:00 سا - 16:00سا ) وأخذ قيم كل من التيار ودرجة الحرارة بواسطة مقياس متعددة القياسات والمحرار على التوالي , كانت النتائج وفق الجدول (3. III):

جدول ( III. 3 ) : جدول يوضح تغير التيار بدلالة درجة الحرارة

الساعة (H)	$T(^{\circ}C)$	$I_{sc}(A)$
8	21	2.7
9	22	3.4
10	25	3.69
11	26	4.7
12	27	5.52
13	28	5.83
14	28	5.3
15	27	5.2
16	26	5.3

النتائج المتحصل عليها تم رسمها مبينة على منحنى تغيرات التيار بدلالة درجة الحرارة  
الشكل ( 3. III )



الشكل ( 3. III ) : يوضح تغيرات التيار الكهربائي بدلالة درجة الحرارة

الشكل ( 3. III ) يوضح زيادة تدفق التيار الكهربائي بزيادة درجة الحرارة من القيمة  $2.7 A$  إلى القيمة  $5.83 A$  بين الدرجتين ( $28^{\circ}-21^{\circ}$ ) في الفترة الصباحية ليستقر تقريبا تدفق التيار في حدود القيمة  $5.3 A$ , وتفسير ذلك راجع إلى تأثير درجة الحرارة التي تعيق تدفق التيار داخل الخلية الشمسية بسبب انخفاض في مراكز إعادة التركيب لحوامل الشحنة P و N .

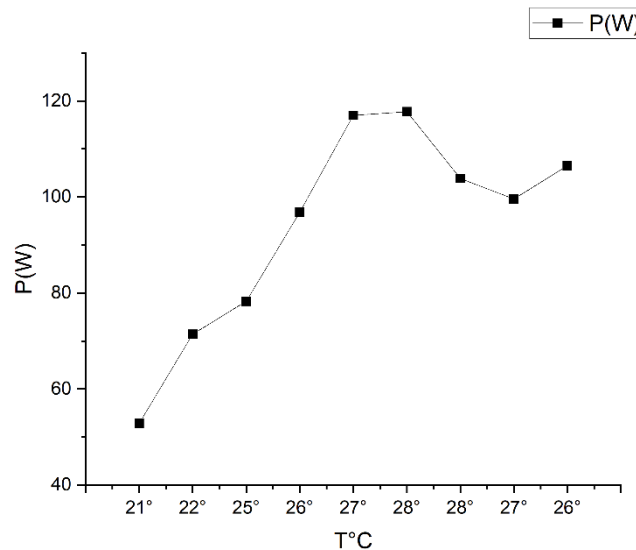
### III 3.4 دراسة تغير الإستطاعة بدلالة درجة الحرارة

لمعرفة الحصيلة النهائية لإستطاعة اللوح مع تغير درجة الحرارة. سجلنا النتائج التالية في الجدول ( 4. III ) :

الجدول ( III . 4 ) : جدول يوضح تغير الإستطاعة بدلالة درجة الحرارة

$P(W)$	$T(^{\circ}C)$	الساعة (H)
52.812	21	8
71.4	22	9
78.288	25	10
96.82	26	11
117.024	27	12
117.766	28	13
103.88	28	14
99.58	27	15
106.53	26	16

من خلال النتائج المتحصل, عليها تم رسم منحنى تغيرات الإستطاعة بدلالة درجة الحرارة  
الشكل: ( III . 4 )



الشكل ( III . 4 ) : يوضح تغيرات الإستطاعة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة

نلاحظ من خلال الشكل ( 4. III ) زيادة واضحة في الإستطاعة بدء من القيمة  $w 52.81$  إلى غاية  $w 117.76$  بين الدرجتين  $21^\circ$  و  $28^\circ$  ليحدث نزول واضح قدره  $w 18.18$  عند الدرجة  $27^\circ$ . ليستعيد الزيادة من جديد بإنخفاض درجة الحرارة واستقرارها. ويعود هذا التغير إلى نشاط حاملات الشحنة داخل الخلية بزيادة درجة الحرارة لكن مع تناقص جهد الدارة يحدث إنخفاض للإستطاعة في فترة الظهيرة ثم يرجع في التزايد من جديد بزيادة جهد الدارة مع انخفاض درجة الحرارة .

### III. 4.4. الخلاصة الأولى

في هذه الدراسة الأولى اقتصر عملنا على اللوح الكهروضوئي فقط أين قمنا بدراسة العلاقة بين درجة الحرارة وتوتر والتيار وبالتالي الإستطاعة . حيث نجد تأثير واضح لعامل درجة الحرارة على تدفق التيار الكهربائي , كذلك على جهد الدارة ومنه على الإستطاعة أي على كفاءة اللوح الكهروضوئي وهذا ما يدعونا إلى وضع حل يقلل من هذه الإشكالية وكان الخيار على طبقة الفلين المُختارة التي تحمل المواصفات المناسبة لتحسين أداء اللوح الكهروضوئي والخلايا الشمسية بوجه عام .

### III. 5 القياسات الخاصة باللوح مع وجود طبقة الفلين

القياسات في هذه المرحلة تتم بوضع طبقة الفلين خلف اللوح الكهروضوئي كما يبينه الشكل , وإعادة نفس القياسات السابقة المُجرات على اللوح لوحده وفي نفس الشروط النظامية .



الشكل ( III. 5 ) : التركيبة الكهروضوئية المدروسة مرفقة بلوح الفلين

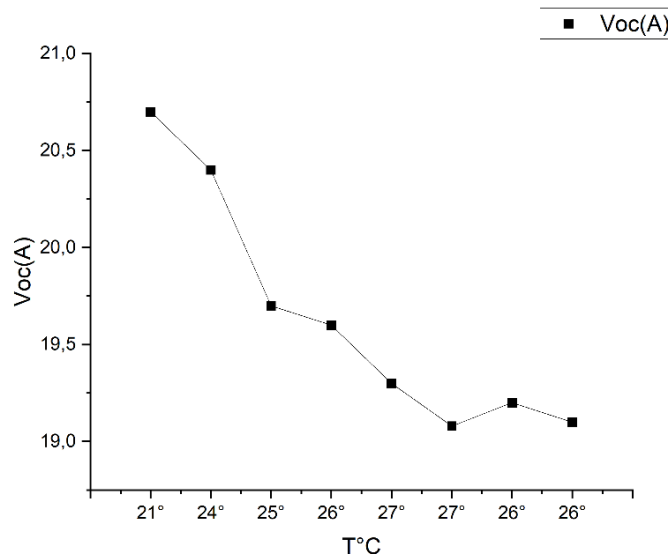
#### III. 5.1 دراسة تغير التوتر بدلالة درجة الحرارة

من خلال القياسات المجرية على اللوح في الفترة (9:00 سا - 16:00 سا) وأخذ قيم كل من التوتر ودرجة الحرارة بواسطة مقياس متعددة القياسات والمحرار على التوالي , كانت النتائج وفق الجدول ( III. 5 ):

الجدول ( 5. III ) : جدول يوضح تغير التوتر بدلالة درجة الحرارة

$V_{oc}(V)$	$T(^{\circ}C)$	الساعة (H)
20,7	21	9
20,4	24	10
19,7	25	11
19,6	26	12
19,3	27	13
19,08	27	14
19,20	26	15
19,10	26	16

تم رسم منحنى تغيرات التوتر بدلالة درجة الحرارة إعتمادا على النتائج المتحصل عليها أعلاه  
( 6. III )



الشكل ( 6. III ) : يوضح تغيرات التوتر الكهربائي بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة

الفلين

نلاحظ من بيانات الشكل ( III. 6 ) نقصان في قيم التوتر بزيادة درجة الحرارة في الفترة الصباحية وتصل الى اصغر قيمة  $V = 19:08$  عند الساعة 14:00 لتزداد من جديد مع نقصان درجة الحرارة، ويرجع ذلك الى التغير في تدفق التيار الذي يتحكم فيه التوتر العكسي الذي ينشا داخل الوصلة  $PN$  في منطقة تجمع الالكترونات والثقوب، اي هناك علاقة مباشرة بين حركة حوامل الشحنة والتوتر العكسي.

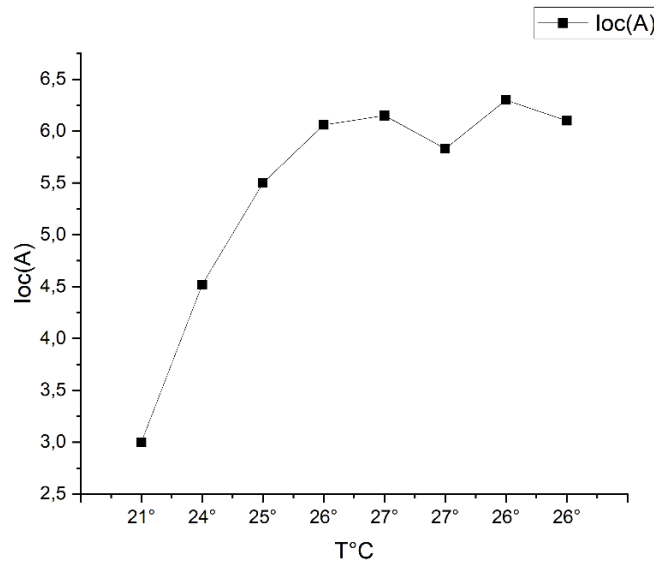
### III. 2.5. دراسة تغير التيار بدلالة درجة الحرارة

من خلال القياسات المجراة على اللوح في الفترة (9:00 سا - 16:00 سا) وأخذ قيم كل من التيار ودرجة الحرارة بواسطة مقياس متعددة القياسات والمحرار على التوالي , كانت النتائج وفق الجدول التالي: (انظر الجدول ( III. 6 ))

الجدول ( III. 6 ) : جدول يوضح تغير التيار بدلالة درجة الحرارة

الساعة (H)	$T(^{\circ}C)$	$I_{oc}(A)$
9	21	3
10	24	4,52
11	25	5,5
12	26	6,06
13	27	6,15
14	27	5.83
15	26	6,3
16	26	6,1

من خلال النتائج المتحصل, عليها تم رسم منحنى تغيرات التيار بدلالة درجة الحرارة الشكل ( III. 7 ):



الشكل (7. III) : يوضح تغيرات التيار الكهربائي بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة الفلين

نلاحظ من البيان الشكل ( 7. III ) زيادة واضحة في قيم شدة التيار الكهربائي مع تزايد درجة الحرارة، وهذا راجع الى زيادة الاشعاع الشمسي في الفترة الصباحية الا انه عند الساعة 14:00 تنخفض الشدة الى القيمة  $5,83 A$  بسبب ارتفاع درجة الحرارة كقيمة عظمى في هذا اليوم. لتصعد من جديد مع تناقص درجة الحرارة، وتستقر عند القيمة  $6,1 A$ .

### III 3.5. دراسة تغير الإستطاعة بدلالة درجة الحرارة

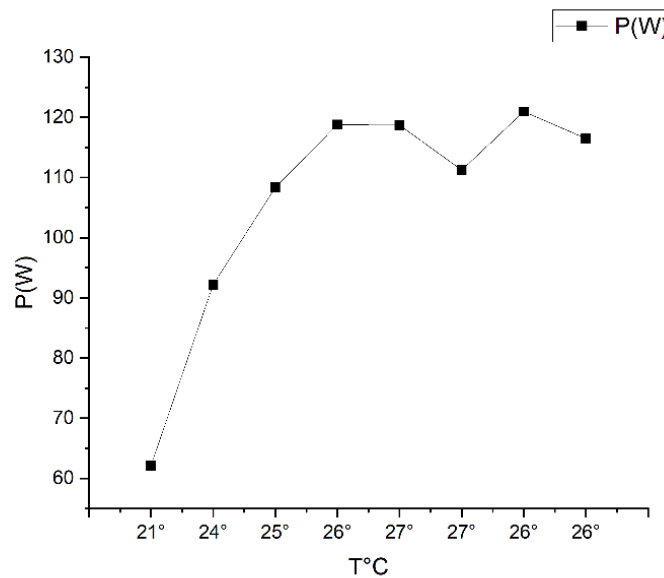
لمعرفة الحصيلة النهائية لإستطاعة اللوح مع تغير درجة الحرارة. سجلنا النتائج التالية:(انظر الجدول ( 7. III )):

الجدول (7. III) : جدول يوضح تغير الإستطاعة بدلالة درجة الحرارة:

$P(W)$	$T(^{\circ}C)$	الساعة (H)
62.1	21	9
92.208	24	10
108.35	25	11
118.776	26	12
118.695	27	13
111.236	27	14
120.96	26	15
116.51	26	16

من خلال النتائج المتحصل, عليها تم رسم منحنى تغيرات الإستطاعة بدلالة درجة الحرارة

الشكل (8. III)



الشكل (8. III): يوضح تغيرات الإستطاعة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة في وجود طبقة

الفلين

من خلال نتائج التوتر وشدة التيار يبين المنحنى التأثير الملحوظ لقيمة شدة التيار بسبب زيادة التدفق مع استقرار اللوح بسبب وجود طبقة الفلين التي عزلت الحرارة الخلفية المؤثرة على اللوح وبالتالي زيادة في الاستطاعة ومنه تحسين كفاءة الخلية.

### III. 5.5. الخلاصة الثانية

كمرحلة ثانية في دراستنا هذه اضفنا طبقة فلين على الوجه الخلفي للوح الكهروضوئي، وقمنا بدراسة تأثير درجة الحرارة على ادائه، اين نجد اثر واضح لطبقة الفلين في عزلها للحرارة وبالتالي المساهمة في زيادة تدفق التيار الكهربائي ، ومنه على الإستطاعة أي على كفاءة اللوح الكهروضوئي.

### III. 6. مقارنة النتائج

بالرجوع الى قيم الجداول السابقة الخاصة بالاستطاعة (اللوحة مفرد ; اللوح /الفلين) يمكننا الملاحظة بصورة واضحة دور طبقة الفلين في زيادة استطاعة اللوح وبالتالي زيادة كفاءة الخلية الشمسية، اين عملت على السماح لحاملات الشحنة بزيادة الحركة في الاتجاه العكسي للتوتر العكسي داخل الوصلة PN بمنعها ومنه زيادة انتاج التوتر الكهربائي خلال كامل اليوم في نفس الوقت تمنع ضياع الطاقة.

### III. 7. الخلاصة العامة

من خلال هذه الدراسة والتي كان هدفها البحث عن طرق لتحسين اداء الخلية الشمسية وبالتالي الألواح الكهروضوئية، قمنا بهذا العمل والمتمثل في دراسة تأثير درجة الحرارة على اداء لوح كهروضوئي من السيليكون، واخترنا مادة الفلين كحل مناسب لهذه الاشكالية نظرا لمواصفاتها وخصائصها الفيزيائية المحفزة في المحافظة على درجة حرارة اللوح اي منع زيادة الحرارة التي تعمل على عرقلة حركة حوامل الشحنة داخل الخلية الشمسية، وبهذا يزداد اداء اللوح الشمسي وهو ما نلاحظه من خلال قيم الاستطاعة المنتجة في التجريبتين. والفارق في قيم الاستطاعة يتضح عند الدرجات العليا للحرارة اي انه باستعمال طبقة الفلين في المناطق الساخنة فاننا نتفادى ضياع الطاقة وبالتالي زيادة في عمر اللوح اي اقتصاد في التجهيز.

### III. 8. توصيات وآفاق

كل دراسة منجزة إلا وتحمل بين طياتها إيجابيات ونقائص، وفي موضوعنا هذا تطرقنا إلى أحد المشاكل التي يواجهها الباحثون في مجال الطاقة الشمسية، ألا وهي مشكلة تأثير درجة الحرارة على أداء اللوح الكهروضوئي وخلصنا إلى إدماج مادة الفلين كعازل خلفي للحرارة لخصائصه المناسبة لجميع الظروف الطبيعية. غير أنه تبقى بعض العوائق التي تحتاج إلى دواعم أخرى تساهم في تحسين أداء الخلايا الشمسية وزيادة عمرها الافتراضي ويمكن اقتراح حلول عملية في هذا الشأن نلخصها في التوصيات التالية:

- ادخال الماء بين طبقة الفلين واللّوح الكهروضوئي ومنه إستغلال الماء الناتج.
  - إضافة مراوح لتبريد اللّوح الكهروضوئي.
  - وضع طلاء أبيض لخلفية الأرضية الموضوع عليها اللّوح الكهروضوئي.
- عملنا هذا هو خطوة وسد ثغرة في البحوث العلمية وآفاقنا في عمل أرقى وأملنا في الدفعات القادمة لمواصلة المسيرة وإثراء هذا العمل الميداني الطاقوي الهام ومنه دعم الإقتصاد وإستغلال الموارد الطبيعية إستغلالاً عقلانياً وهادفاً.

## المراجع

- [1] أ.د.بونقجة بلال , "محاضرة العمل والطاقة في مقياس الميكانيك " ,المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي (2022)
- [2] د.كوثر شباح , " ماضرة أساسيات الديناميكا الحرارية الكيميائية " ,المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي (2021)
- [2] د.محمد مصطفى محمد الخياط , "تبسيط العلوم" , القاهرة يوليو(2006) .
- [3] أ.م.د.لورنس يحي صالح , " بدائل الطاقة وامكانية الاحلال " , كلية الادارة والاقتصاد/ جامعة بغداد. الباحث , مجلة العلوم الاقتصادية والادارية العدد98 المجلد 23 الصفحات 308 . 329 (2016)
- [4] أ.م.د.قاسم مهدي وادي ,طالب زيدان الموسوي , أ.م.د.ثامر عبد الجبار جمعة , أ.م.د.حكمت نجيب عبد الكريم , "الطاقة المتجددة الآفاق والمستقبل " وزارة التعليم العالي والبحث العلمي كلية الكوت الجامعة مركز البحوث والدراسات والنشر بالتعاون مع جمعية ليزر العراقية .
- [5] زعروري شيماء , قريوة ريان , " المنظومات الكهروضوئية "مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي (2019)
- [6] كريمة واشك , فاطمة بوهوي , فرحات حميران , "الخلايا الشمسية" , مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي المدرسة العليا للأساتذة القبة (2004)
- [7] د.عثمان زكي مبارك علي,مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية,"تحسين عمل الخلايا الشمسية السيليكونية" , تم النشر بتاريخ 2022/02/01: ص 708 .
- [8] مدقن حفصة، " تأثير الاشعاع الشمسي على الخلايا الكهروضوئية " مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر اكاديمي، مجال علوم المادة، فرع فيزياء 2015/2014
- [9]Joakim Widén and Joakim Munkhammar, ” Solar Radiation Theory” , Department of Civil and Industrial Engineering Uppsala University
- [10] موساوي بثينة ,مدفوني هادية , تيبوب راضية , " محاكاة حاسوبية لخلية شمسية  $CuZnSn (S_xSe_{1-x})_4$  باستخدام برنامج SCAPS – 1D " مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي (2021)
- [11] سماحي سهيلة , "فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الإشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها " ,مذكرة ماستر أكاديمي جامعة قاصدي مرياح ورقلة (2016)
- [12] تاتي أسماء ,بسملة رجا , " تأثير الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية " ,مذكرة تخرج ماستر أكاديمي جامعة قاصدي مرياح ورقلة (2019)
- [13] جوهر حمزة , عياشي هارون, " دراسة تأثير الإشعاع ودرجة الحرارة على أداء الألواح الشمسية" مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي (2022)
- [14] د.عثمان زكي مبارك علي,مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية,"تحسين عمل الخلايا الشمسية السيليكونية" , تم النشر بتاريخ 2022/02/01: ص 708 .
- [15] مجلة فصلية تصدرها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم التقنية , ص34 , سبتمبر (1995)
- [16] منشور إلكتروني متاح عبر الرابط <https://www.nagwa.com/ar/explainers/128152463062>
- [17] منشور إلكتروني متاح عبر الموقع [voltiat.com](http://voltiat.com)
- [18] بن جريو اسمهان , مناصرية نور الإيمان,"محاكاة لخلية شمسية من النوع CZTS مع طبقة نانوية  $TiO_2$  بواسطة برنامج SCAPS" , مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم متوسط -تربية تكنولوجية ,المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي -سكيكدة- (2018) .

## المراجع

[19]IBRAHIM TAHRAOUI et AMINE HALIL « Dimensionnement et Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique » Mémoire de MASTER – Université Abou-BEKR BELKAID de Tlemcen Faculté de Technologie 2016 – 2017.

[20] MAKHLOUFI SALIM – « CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DE INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES PAR DES COMMANDES INTELLIGENTES » THESE DE DOCTORAT Université de Béjaïa 2013.

الملاحق

الملحق 01

1. مواصفات اللوح السيلكوني المستعمل



2. منظم الشحن



3. المحول



## الملحق 02

### 1. المواصفات و الخواص الفيزيائية للوح الفلين

Volume mass appearing	الكثافة الحجمية الظاهرية	Pa	Min= 108 Max= 120 kg/m <sup>3</sup>
Class of fire reaction	رد فعل النار	/	E
Length tolerance class	طول طبقات التسامح	L <sub>1</sub>	±3 mm
Width tolerance class	عرض طبقات التسامح	W <sub>1</sub>	±2 mm
Thickness tolerance class	سمك طبقات التسامح	T <sub>1</sub>	≤20 mm ≥50 mm ±1 mm
Thermal conductivity	الناقلية الحرارية	λ	0.0375 W/(m.k)
Thermal resistance	المقاومة الحرارية	R <sub>0</sub>	1.0667 m <sup>2</sup> .k/w
Compression solicitation	ضغط التماس	δ <sub>10</sub>	≥105 k Pa ≥10 k Pa
Absorption Water	الإمتصاص المائي	W <sub>1</sub>	Wit<0.45% ±0.11%
Emission dangerous substances	الانبعاثات الخطيرة للعناصر	/	ABSENCE
Nominal length	الطول الرمزي	mm	1000
Nominal width	العرض الرمزي	mm	500
Nominal thickness	السمك الرمزي	mm	De 20 mm A 300 mm



BP. 88, Route de Bejaia, Jijel, 18000 Algérie  
Tél.: 034 49 54 52/ 034 47 19 40 .Fax : 034 49 76 76  
E-mail: jle@jle.com.dz / epejle@gmail.com  
www.jle.com.dz

## الملخص

الهدف الرئيسي من خلال هذه المذكرة هو تحسين أداء اللوحة الكهروضوئية سيليكونية، ومن أجل هذا قمنا بدراسة عامل تأثير درجة الحرارة على أدائها بارفاق اللوح بطبقة فلين نظرا لمواصفاتها وخصائصها الفيزيائية المحفزة في المحافظة على درجة حرارة اللوح . وخلصنا إلى مساهمة طبقة الفلين في عزل الحرارة الخارجية وبالتالي تخفيض درجة الحرارة ومنه زيادة كفاءة عمل اللوح .

**الكلمات المفتاحية:** اللوح الكهروضوئي , الفلين , الطاقة الشمسية, درجة الحرارة , السيليكون  
**Abstract**

The main objective of this work is to improve the performance of the silicon photovoltaic panel, and for this we studied the effect of temperature on its performance by attaching a cork layer to the panel due to its characteristics and physical properties to maintain the temperature of the panel. We concluded that the cork layer contributes to the insulation of the external heat, thus reducing the temperature and thus increasing the efficiency of the board's work.

**Keywords:** Photovoltaic panel, cork, solar energy, temperature, silicon.

## Résumé

L'objectif principal de ce mémoire est d'améliorer les performances du panneau photovoltaïque en silicium, et pour cela nous avons étudié l'effet de la température sur ses performances en attachant une couche de liège au panneau en raison de ses caractéristiques et propriétés physiques pour maintenir la température du panneau. Nous avons conclu que la couche de liège contribue à l'isolation de la chaleur externe, réduisant ainsi la température et augmentant ainsi l'efficacité du travail du panneau.

**Mots clés :** Panneau photovoltaïque, liège, énergie solaire, température, silici

