جـامعة قـاصدي مـرباح ورقلـــة

كليـة الرياضيـات وعلـوم المـــادة

قســم الفيزيــاء

مذكرة تخرج لنيل شهادة **ماستر أكاديمي**

ميدان: علوم المادة

تخصص: فيزياء طاقويةوطاقات متجددة

من إعداد الطالبتين:- جعرون فاطمة
-جوغي إكرام

الموضوع:

تغذية منزل عن طريق لوح شمسي فوتوضوئي

نوقشت يوم:2018/06/05

أمام اللجنة:

محسن حسين	**أستاذ محاضر (أ)**	**رئيسا**	**جامعة ورقلة**
بشكي جمال	**أستاذ محاضر (أ)**	**ممتحنا**	**جامعة ورقلة**
بوغالي سليمان	**أستاذ محاضر (أ)**	**مؤطرا**	**جامعة ورقلة**

الموسم الجامعي: 2017 / 2018

إهداء

إهداء إلى روح قلبي وحياتي، إلى من كانت لي قدوة إلى من لم أكن سأصل إلى ما أنا عليه اليوم من دونها، إلى من عانت وضحت وكافحت من أجلي وأجل تعليمي: أمي حبيبتي رحمها الله

إلى من كان لي سندا و صديقا و علمني كيف اجابه الحياة ، معلمي الكبير في الحياة ، إلى من له فضل كبير علي : والدي حبيبي رحمه الله

إلى توأم روحي، إلى من ساندتني خطوة بخطوة في الحياة ، من شاركتني ألامي و أحزاني، من مسكت بيدي حتى نرتقي في الحياة : أختي حبيبتي حفظها الله لي .

إلى إخوتي وحبيبات قلبي بنات خالتي : فراح ، ماجدة ، هناء ، ريحانة .

إلى الجميلات التي كانوا عونا لنا خالاتي : صليحة ، جميلة و ثورية حفظهن الله .

إلى كل عائلتي الكريمة جوغي و لمنيعي .

إلى من كانوا لي إخوة و رفقتي طوال حياتي الجامعية ولم يتركوني في أي مرحلة صديقاتي العزيزات : صفاء ،عفاف، مروى، وسيلة.

إلى من ساندتني و رافقتني طيلة إنجاز عملي هذا صديقتي فاطمة .

إلى من جمعتني بيهم جدران السكن الجامعي و كانوا إخوتي : رشيدة ، مروة ، جمانة ، جهاد ، أم هاني ، شيماء ، نادية ، صفاء ، مروى .

إلى من قدمت لي يد المساعدة ، الاخوة ، الصداقة : الجميلة منال .

إلى صديقاتي في الدراسة نور و منيرة .

إلى كل من راقني في مشواري الدراسي و إلى جميع طلبة الفيزياء الطاقوية دفعة 2018 .

إلى كل طالب وطالبة علم ، إلى كل محب للعلم .

أهدي جهدي و عملي المتواضع و ثمرة نجاحي .

إكرام جوغي

إهداء

إذا كان الإهداء يعبر و لو بجزء من الوفاء ، فالإهداء إلى معلم البشرية و منبع العلم نبينا محمد صلى الله عليه وسلم .

إلى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب ، إلى من كلت أنامله ليسقينا لحظة سعادة ، إلى من عمل بكد في سبيلي و علمني معنى الكفاح ، إلى من دفعني إلى العلم و به أزداد افتخارا ، والدي العزيز .

إلى من ربتني و أنارت دربي ، إلى معنى الحب و بسمة الحياة ، إلى من كان دعائها سر نجاحي ، إلى أغلى الحبايب أمي الحبيبة .

إلى من هم أقرب إلى روحي و بهم أستمد عزتي و إصراري ، إلى زينة الحياة و شموع الدرب إخوتي و أخواتي الأعزاء من كبيرهم طارق إلى صغيرهم هاني .

إلى زوجة أخي ، إلى أزواج إخوتي و أبنائهم .

إلى جدتي الحبيبة حليمة ، إلى رمز انتمائي كل أقاربي الأعزاء .

إلى رفيق درب حياتي ، إلى صاحبة القلب الطيب و النوايا الصادقة ، إلى من رافقتني منذ أن حملنا حقائب صغيرة و معك سرت الدرب خطوة بخطوة ولا تزال ترافقيني حتى الآن صديقتي عواطف .

إلى من ساندتني في هذا العمل بكل كد و جهد و إخلاص صديقتي إكرام .

إلى من كانوا معي على طريق النجاح و الخير ، إلى من عرفت كيف أجدهم و علموني أن لا أضيعهم إلى من جعلهم الله إخوتي بالله : نور الهدى ، هيثم .

إلى كل من ساعدني بغية إتمام هذا العمل : زينب ، عمي الطيب ، ياسين .

إلى كل الأحبة و الأصدقاء التي جمعتنا بهم الحياة الجامعية و العلمية وأخص بالذكر: سعيدة ، رانيا ، منيرة ، وإلى كل طلبة تخصص فيزياء طاقوية و طاقات متجددة دفعة 2018 .

إلى كل الأساتذة الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي من الابتدائي إلى الجامعة .

إلى هؤلاء جمعا أهدي ثمرة مجهودي هذا .

و الله ولي التوفيق .

فاطمة

جعرون

شكر و عرفان

قبل كل شيء نحمد الله عز وجل و نشكره الذي أنعم علينا بنعمة العلم ، و أنار طريقنا نحو سبيل النور و المعرفة

من باب الاعتراف بالجميل لا يسعنا إلا أن نتقدم ببالغ عبارات الشكر و التقدير للأستاذ بوغالي سليمان على قبول إشرافه لنا في هذا العمل ، و على المجهودات الكبيرة و نصائحه العلمية القيمة .

و نشكر الأستاذ بشكي جمال ، الأستاذ تخة محمد و الأستاذ معريف ياسين على توجيههم و نصائحهم القيمة لنا .

و نخص بالشكر الأستاذ زهير سمين من جامعة التقنية الوسطى بالعراق ، الذي مد لنا يد العون رغم ضيق الوقت و أعطانا من وقته و من علمه .

كما نتقدم بالشكر الجزيل لأعضاء اللجنة المناقشة الأستاذ محسن حسين على قبوله ترأس لجنة المناقشة ، و الأستاذ بشكي جمال لقبوله مناقشة هذه المذكرة و نتمنى أن يفيدونا بآرائهم القيمة .

كما نتقدم بالشكر إلى كل أساتذتنا الأفاضل بقسم علوم المادة و بالأخص الذين قاموا بتدريسنا طيلة التعليم الجامعي .

وإلا الذين كانوا نورا لنا يضئ الظلمة التي كانت تقف أحيانا في طريقنا لهم منا كل الشكر .

كما نشكر كل من ساهم و مد يد العون لنا لإكمال هذا العمل و أخص بالذكر زينب و منال .

و نتقدم بالشكر إلى كافة الزملاء و الزميلات بجامعة قاصدي مرباح ورقلة .

و شكرا

الملخص :

تعد الطاقة الأحفورية الركيزة الأساسية للطاقة إلا أنها طاقة غير متجددة و في طريقها إلى النفاذ ، وهذا ما أدى إلى التفكير في طاقات أخرى بديلة و متجددة و غير ناضبة منها الطاقة الشمسية ،وتتحول هذه الأخيرة إلى شكلين أساسيين حرارية و فوتونية إلا أننا نركز في دراستنا هذه على الطاقة الشمسية الفوتونية التي تستعمل لإنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة الألواح الشمسية .

ويهدف هذا العمل إلى دراسة النظام الفوتوضوئي وكيفية حساب عدد الألواح الشمسية اللازمة لتغذية منزل مكون من ثلاث غرف، مطبخ و حمام و يقع في مدينة ورقلة ، و كيفية حساب عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقة التي يحتاجها المنزل في حالة غياب الشمس لمدة ثلاث أيام .

Résumé :

Le combustible fossile est la principale base de l'énergie mondiale mais il n'est pas renouvelable et il va décliner, cette situation conduit à penser à générer de l'énergie à partir d'autres sources renouvelables comme l'énergie solaire. L'irradiation solaire peut être convertie les types de base, thermique et photonique. Le type photonique est celui sur lequel les études se concentrent et il sert à produire de l'énergie électrique en utilisant des panneaux solaires.

Cette étude vise à analyser le système photoélectrique et comment peut être calculé le nombre de panneaux solaires peuvent être mis en place à la maison avec trois chambres, cuisine et salle de bains. Les batteries économisent et livrent de l'électricité pendant trois jours dans cette maison est également calculée dans cette étude.

الـفهـــــــــرس

الإهداء1 I

الإهداء 2 II

الشكر و التقدير III

الملخص VI

الفهرس..... VI

قائمة الأشكال XI

قائمة الجداول XIII

قائمة الرموز XIV

المقدمة..... 1

الفصل الأول : الإشعـــــاع الشمســـي

I-1- تمهيد 4

I-2- الإشعاع الشمسـي 4

I-2-1- الثابت الشمسي 4

I-3- العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي 5

I-3-1- الغلاف الجوي 5

I-3-1-1- الأشعة خارج الغلاف الجوي 5

I-3-1-2- الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي 5

I-3-2- زوايا سقوط الأشعة 6

I-3-2-1- الإحداثيات الزمنية 6

I-3-2-1-1- زاويةالإنحراف الشمسي(δ)(La déclinaison) 6

I-3-2-1- 2- زاوية الساعة الشمسية (ω) (L’angle horaire) 7

I-3-2-2- الإحداثيات الأرضية 7
I-3-2-2-1- خط الطول(L) (La Longitude) 7
I-3-2-2- 2 - خط العرض(φ) (La latitude) 7
I-3-2-3- الإحداثيات الأفقية 8
I-3-2-3- 1 – زاوية الإرتفاع الشمسي (h) (la hauteur du soleil) 8
I-3-2-3-2- زاوية السمت (a) (L'azimut) 8
I-4- حركة دوران الأرض حول الشمس 9
I-5- شدة الإشعاع الشمسي على الأسطح الأفقية و المائلة 10
I-6- الإشعاع الشمسي في الجزائر 12
I-7- الموقع الجغرافي لمدينة ورقلة 12

الفصل الثاني : الخلايـــــــــــا الكهروضوئيـــــة

II-1- تمهيد 15
II-2- نبذة تاريخية 15
II-3- أشباه الموصلات (أنصاف النواقل) 15
II-3-1- المواد النقية 16
II-3-2- المواد الغير نقية 16
II-3-2-1- أشباه الموصلات السالبة نوع N 17
II-3-2- 2- أشباه الموصلات الموجبة نوع P 17
II-4- الخلية الكهروضوئية 18
II-5- أنواع الخلايا الكهروضوئية 19
II-5-1- الخلاياالسيليكونية 19
II-5-1-1- الخلاياالسيليكونية احادية التبلور 19
II-5-1-2- الخلاياالسيليكونية المتعددة التبلور 20

II-5-1-3- الخلاياالسيليكونيةالامورفية (العشوائية) 20
II-5-2- الخلايا الشريطية 21
II-5-3- خلاياالغاليومأرسنايد (GaAs) 21
II-5-4- خلاياالكوبراندیومدیسلنايد (CIS) 22
II-5-5- خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe) 22
II-5-6- الخلايا العضوية 22
II-6- مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية 22
II-7- العوامل المؤثرة على عمل الخلية 23
II-7-1- الظل 23
II-7-2- الإضاءة 23
II-7-3- درجة الحرارة 24
II-8- كيفية ربط الخلايا الكهروضوئية 26
II-8-1- ربط الخلايا على التسلسل 26
II-8-2- ربط الخلايا على التفرع 27
II-8-3- ربط الخلايا على التسلسل وعلى التفرع 27
II-9- الخصائص الكهربائية للخلية الكهروضوئية 28
II-9-1- خصائص التيار و الجهد 28
II-9-2- نقطة القدرة العظمى 29
II-10- الفعل الكهروضوئي 31
II-10- الجوانب الايجابية و السلبية لاستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية 32
II-11-1- الجوانبالإجابية 32
II-10-2- الجوانب السلبية 33

الفصل الثالث : التغذية الكهربائية لمنزل بالألواح الشمسية

III-1- تمهيد 35

III-2- المكونات الأساسية للنظام الفوتوضوئي 35

III-2-1- الألواح الشمسية 35

III-2-2- منظم الشحن 36

III-2-2-1- وظائف منظم الشحن 36

III-2-2-2- أنواع الشواحن المستخدمة في الأنظمة الكهروضوئية 36

III-2-3- البطاريات 38

III-2-3-1- أنواع بطاريات الطاقة الشمسية 38

III-2-3-3- توصيل بطاريات الطاقة الشمسية 39

III-2-3-4- مواصفات البطاريات 40

III-2-4- محول التيار (العاكس) 40

III-3- الدارة الكهربائية الموافقة للنظام الفوتوضوئي 40

III-4-وصف المنزل..... 41

III-5- حساب كمية الطاقة التي يستهلكها المنزل خلال اليوم 41

III-6- حساب الطاقة اللازمة إنتاجها من قبل كل الألواح..... 42

III-7- حساب الإستطاعة العظمى للألواح 43

III- 8- حساب عدد الألواح اللازمة لتغذية المنزل 43

III-9- حساب عدد الألواح المربوطة على التسلسل 44

III-10- حساب عدد الألواح المربوطة على التفرع 44

III-11- حساب عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقة 44

III-11-1- حساب سعة البطاريات 44

III-11-2- حساب عدد البطاريات 45

III-12- كيفية إختيار محول التيار المناسب 45

III-13- كيفيةإختيار منظم الشحن المناسب 45

الخلاصة.....48

قائمة المراجع 50

قائمة الملاحق 53

قائمـة الأشكـــال

الفصل الأول: الإشعاع الشمسي

الشكل (I-1) : أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض 6

الشكل (I-2) : خط الطول (L) و خط العرض (φ) 8

الشكل (I – 3) : زاوية الارتفاع الشمسي (h) و زاوية السمت (a) 9

الشكل (I-4) :حركة دوران الأرض حول الشمس 9

الشكل (I-5): الإشعاع المباشر الساقط على الأسطح الأفقية والمائلة.....11

الشكل (I- 6) : مختلف مناطق الطاقة في الجزائر 12

الشكل(I- 7) : خريطة ولاية ورقلة 13

الفصل الثاني : الخلايـــــــا الكهروضوئيـــــة

الشكل (II-1) : التركيب البنيوي لبلورة السيليكون.....16

الشكل (II-2): ذرات السيليكون مطعمة بذرات الفوسفور(شبه موصل نوع N) 17

الشكل (II-3) : ذرات السيليكون مطعمة بذرات البورن (شبه موصل نوع P) 18

الشكل (II-4) : الخلية الفوتوضوئية و مكوناتها 19

الشكل (II-5) : خلية سيليكونية أحادية التبلور ولوح شمسي مصنوع من خلايا أحادية التبلور 19

الشكل (II-6) : خلية سيليكونية متعددة التبلورو لوح شمسي مصنوع من خلايا متعددة التبلور 20

الشكل (II-7) : ألواح شمسية مصنوعة من خلايا أمورفية 21

الشكل (II-8) : الخلايا السيليكونيةالأمورفية 21

الشكل (II- 9) : مبدأ عمل الخلية الفوتوضوئية 23

الشكل (II-10) : منحنى تغير التيار بدلالة الجهد مع تغير شدة الإضاءة 24

الشكل (II-11) : منحنى تغير الإستطاعة بدلالة الجهد مع تغير شدة الإضاءة 24

الشكل (II-12) : منحنى التيار بدلالة الجهد مع تغير درجات الحرارة 25

الشكل (II-13) : منحنى الإستطاعة بدلالة الجهد مع تغير درجات الحرارة 25

الشكل (II-14) : الخاصية المثالية للخلايا الكهروضوئية المربوطة على التسلسل 26

الشكل (II-15) : الخاصية المثالية للخلايا الكهروضوئية المربوطة على التفرع 27

الشكل (II-16) : تجميع الخلايا على التسلسل و على التفرع 28

الشكل(II-17) : مخطط (I-V) لخلية كهروضوئية 28

الشكل (II-18) : منحنى خصائص الجهد و التيار لخلية سيليكونية و يبين نقطة القدرة العظمى (MPP) 29

الشكل (II-19) :خط تغير نقطة القدرة العظمى 30

الشكل (II-20) : خط الحمل الكهربائي و خط القدرة الذي لم يصمم 30

الشكل (II-21) : تغير موقع نقطة الطاقة العظمى تبعا للإشعاع 31

الشكل (II-22) : رسم بياني لخلية كهروضوئية 32

الفصل الثالث :التغذية الكهربائية لمنزل بالألواح الشمسية

الشكل (III -1) : اللوح الشمسي 35

الشكل (III- 2) : منظم الشحن 36

الشكل (III - 3) : منظم الشحن PWM 37

الشكل (III – 4) : منظم الشحن MPPT 37

الشكل (III – 5) : توصيل البطاريات 39

الشكل (III – 6) : محـول التيـــار 40

الشكل (III – 7) : الدارة الكهربائية للنظام الفوتوضوئي 41

قائمة الجداول

الفصل الثالث :التغذية الكهربائية لمنزل بالألواح الشمسية

الجدول (III -1) : الأجهزة الكهربائية المستعملة في المنزل 42

الجدول (III-2) : خصائص محول التيار 45

الجدول (III-2) : خصائص منظم الشحن.....46

قائمــة الرمــوز

الرمز	التعريف	الوحدة
I_0	الثابت الشمسي	W/m^2
Nj	عدد اليوم من السنة	Jours
δ	زاوية الإنحراف الشمسي	°
ω	زاوية الساعة الشمسية	°
L	زاوية خط الطول	°
φ	زاوية خط العرض	°
H	زاوية الإرتفاع الشمسي	°
A	زاوية السمت	°
i	زاوية السقوط	°
TSV	الوقت الشمسي الحقيقي	/
$H_{(Bn)}$	الشعاع المباشر عند السقوط العمودي	/
H_B	مركبة الشعاع المباشر على السطح الأفقي	/
$H_{(Bt)}$	مركبة الشعاع المباشر على السطح المائل	/
R_B	معامل الميل للإشعاع المباشر	/
$H(t)$	الأشعة الكلية الساقطة على السطح المائل	/
G	إنعكاسية سطح الأرض	/
$H(d)$	الإشعاع الشمسي المتشتت	/
H	مجموع الأشعة الساقطة على السطح الأفقي	/
$H(t)$	الأشعة الكلية الساقطة على السطح المائل	/
$Vco_{(Ns)}$	مجموع الجهد في دارة مفتوحة لعدد من الخلايا المتسلسلة	V
Vco	جهد الدارة المفتوحة	V
Icc	التيار الدارة المغلقة للوح الشمسي	A
Ns	عدد الخلايا المربوطة على التسلسل	/
Np	عدد الخلايا المربوطة على التفرع	/
N_{PV}	عدد الألواح الشمسية	/
N_B	عدد البطاريات	/
Ec	الطاقة الكلية المستهلكة من قبل المنزل	KWh/j
PV	الألواح الفوتوضوئية	/
E PV	طاقة الألواح الشمسية	KWh/j

W	قدرة اللوح الشمسي	P_{PV}
KWh/j	الاستطاعة العظمى للألواح الشمسية	P_c
W	الاستطاعة الكلية للأجهزة	P_t
W/m^2	إستطاعة الإضاءة ضمن الشروط النظامية	P_i
%	مردود محول التيار (العاكس)	η_{ond}
%	مردود منظم الشحن	η_{re}
%	مردود البطاريات	η_B
/	تيار مستمر	DC
/	تيار متناوب	AC
Ah	سعة البطاريات	C_{Ah}
Ah	سعة البطارية الواحدة	C_B
V	جهد البطارية	V_B
V	جهد محول التيار	V_{ond}
V	جهد اللوح الشمسي	V_{PV}
$KWh/m^2.j$	شدة الإشعاع المتوسطة	G_I

المقدمة

المقدمة

تعد الطاقة عصب الحياة ، حيث يرتبط تطور الاقتصاد باستغلال تلك الموارد و على رأسها الطاقة الأحفورية (البترول و الغاز) ، التي تعد الركيزة الأساسية للطاقة . إلا أنها طاقة غير متجددة وفي طريقها الى النفاذ ، مع الإرتفاع الملحوظ لأسعارها. إضافة لذلك الأضرار الكارثية التي تسببت بها على مستوى البيئة من تلوث الجو و إرتفاع درجة حرارة الأرض .

هذا ما أدى إلى التفكير في استخدام طاقات أخرى بديلة ، غير ناضبة ، نظيفة و متوفرة في الطبيعة ، ما تعرف بالطاقات المتجددة التي ستحل محل الطاقة الأحفورية في حالة نضوبها مستقبلا ، لأنها تتميز بعدة خصائص ، فهي تلعب دورا هاما في حياة الإنسان و تساهم في تلبية نسبة عالية من متطلباته من الطاقة ، وهي مصادر طويلة الأجل.

تتمثل الطاقات المتجددة في الطاقة الشمسية ، طاقة الرياح ، طاقة المياه ، الطاقة الجوفية وطاقة الكتلة الحية. إلا أن العديد من البلدان تولي أهمية بالغة للطاقة الشمسية ومن بينها الجزائر لأن الطاقة الشمسية تعتبر في الأصل مصدر الطاقات الاخرى ، كما أنها تمتاز بمواصفات و خصائص عديدة ، فهي طاقة هائلة يمكن إستثمارها في أي مكان ، نظيفة و موفرة ،و تقنيات استخدامها تعد بسيطة .

تحظى الجزائر بإمكانيات كبيرة من الطاقة الشمسية نظرا لمساحتها و موقعها الجغرافي الهام ،حيث تعتبر من أغنى الحقول الشمسية في العالم ، فهي تستقبل كميات كبيرة من أشعة الشمس ، حيث تقدر الكمية الواردة بـ 5 كيلوواط سا/م^2 وتصل إلى 7 كيلوواط سا/م^2 ، ما يعني أنها تغطي 5000 مرة من الإستهلاك الوطني من الكهرباء ، وبالتالي فإن الطاقة الشمسية تمثل أحد الحلول الممكنة في بلادنا. [1]

و يقصد بالطاقة الشمسية الضوء المنبعث و الحرارة الناتجة عن الشمس اللّذان سخرهما الإنسان لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من الوسائل التكنولوجية التي تتطور باستمرار. و تتحول الطاقة الشمسية إلى شكلين : طاقة شمسية حرارية و طاقة شمسية فوتونية.

و تم استخدامها في عدة تطبيقات منها تسخين المياه ، التدفئة ، تسيير السيارات ، توليد الكهرباء ، تشغيل إشارات المرور ، إنارة الشوارع، تشغيل الأقمار الصناعية و المركبات و المحطات الفضائية.

وبغض النظر عن شكليْ الطاقة الشمسية و استخداماتها العديدة ، إلا أننا نركز على الطاقة الشمسية الفوتونية . تستعمل الطاقة الشمسية الفوتونية لإنتاج الطاقة الكهربائية ، وذلك من خلال ظاهرة فيزيائية تدعى الفعل الفوتوضوئي ، التي تعتمد على التحويل المباشر لأشعة الشمس إلى كهرباء بواسطة الخلايا الفوتوضوئية (الألواح الشمسية) .

إن تقنية الفوتوضوئية هادئة ، نظيفة و لها عمر زمني طويل ، ولهذا فهي تعتبر أحد الحلول المثالية في استخدامها كطاقة بديلة للتموين بالكهرباء .

تعتمد دراستنا على تغذية منزل بالطاقة الكهربائية عن طريق ألواح شمسية فوتوضوئية . فكم من لوح شمسي يلزمنا لتغذية منزل بسيط ؟

و تستند هذه الأطروحة على ثلاث فصول :

- الفصل الأول :الطاقة الشمسية
- الفصل الثاني :الخلايا الفوتوضوئية
- الفصل الثالث : التغذية الكهربائية لمنزل بالألواح الشمسية

الفصل الأول
الإشعاع الشمسي

I–1– تمهيد :

إن الشمس عبارة عن نجم سماوي ملتهب مكون من غازات أهمها الهيدروجين و الهيليوم ، بحيث يبلغ قطرها 1.391.000 كم، وتفصلها عن الأرض مسافة تقدر ب 149.598.000 كم ، و تبلغ درجة حرارة سطحها 5800 كلفن [2]،[3].

الطاقة الشمسية هي مصدر كل الطاقات المتجددة و هي الطاقة الناتجة و المتولدة من الشمس حيث أن الطاقة المستلمة من الشمس خلال ساعة واحدة تعادل ما تحتاجها الكرة الأرضية من الطاقة لمدة عام تقريبا ، و المستلمة في عام واحد تعادل ضعفي المستخدم والمكتشف و المقدر من طاقة الفحم و النفط و الغاز و طاقة اليورانيوم النووية [4] . و لهذا قد خصصت معظم الدول في العالم ميزانيات كبيرة لاستغلال الطاقة الشمسية ، كما تعددت الطرق المقترحة للإستفادة منها .

و تصل هذه الطاقة إلى سطح الأرض على شكل إشعاع شمسي بواسطة تيار من الجسيمات متناهية الصغر و عديمة الوزن تسمى الفوتونات تنطلق بسرعة الضوء على شكل موجات .

تقدر ظاهرة الإشعاع الشمسي (أو التشمس) بمدة إطلالة الشمس ، فهي تتعلق بطول النهار و كذا الفصل. و إن الفرق بين ساعتي الشروق و الغروب يساعد على تقدير مدة الإشعاع (أو التشمس) .

وسنتطرق في هذا الفصل إلى دراسة عامة حول الإشعاع الشمسي ، حيث نذكر بعض العلاقات و المعادلات المتعلقة بحساب شدة الإشعاع الشمسي خلال فصول السنة .

I–2– الإشعاع الشمسي :

الإشعاع الشمسي هو الطاقة الإشعاعية التي تطلقها الشمس في كل الإتجاهات ، وهي طاقة ضخمة جدا يقدرها البعض بـ 170 ألف حصان (أي حوالي 125077.5 كيلو واط) لكل متر مربع من سطح الشمس [4] ،إلا أن معدل الإشعاع الشمسي الساقط على مستوى سطح الأرض أقل من 1367 وات لكل متر مربع ما يعرف بالثابت الشمسي . لأن الغلاف الجوي يمتص جزءا من الإشعاع الشمسي (حوالي 15٪) ويعاد بثه في كل الاتجاهات في شكل إشعاع منتشر. ويعكس الغلاف الجوي جزءا آخر من الإشعاع الشمسي نحو الفضاء (حوالي 6٪). وبالتالي فإن الإشعاع الكلي على مستوى الأرض يعرف بأنه مجموع الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر (الشكل I–1). و يصل الإشعاع الشمسي إلى أقصى شدة له عندما يكون متعامد مع السطح الساقط عليه . [5]

I–2–1– الثابت الشمسي :

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح مساحته 1 متر مربع مثبت في نهاية الغلاف الجوي الأرضي في وضع يكون عمودي على أشعة الشمس ، ولكن يعتمد على المسافة بين الأرض والشمس. وتختلف هذه المسافة بعض الشيء خلال السنة بالنظر إلى الانحراف الطفيف لمدار الأرض والقيمة المتوسطة للثابت الشمسي (I_o= 1354 W/m2) [5]

و تعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي :[17]

$$I = I_o \left(1 + 0{,}033 . COS\left(\frac{360}{365} . Nj\right)\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\mathbf{I-1})$$

I-3- العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي :

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض بعاملين هما الغلاف الجوي و الزاوية التي يسقط بها الإشعاع على الأرض . وتتخذ أكثر المتغيرات التي تحدد هذين العاملين أسلوبا متناسقا يمكن به توقع شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض اعتمادا على مكانة الكرة الأرضية و الزمن (اليوم ، الشهر و السنة) . و تأتي التغيرات غير المتوقعة في شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض بسبب عوامل يصعب التحكم فيها مثل الطقس و خصائصه من حرارة و سحب و أمطار ..... الخ . وعليه لا يمكن تقدير تأثير الطقس خلال يوم أو شهر لموقع معين إلا بعد رصد العوامل المؤثرة فيه (حرارة ، رياح ، أمطار) لعدة سنوات ومن ثم حساب متوسط هذه المعلومات لذلك اليوم أو الشهر في تلك الفترة .

I-3-1- الغلاف الجوي :

يتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات يصل سمكها إلى عدة كيلو مترات فوق سطح الأرض . و عندما تخترق الأشعة الشمسية هذه الطبقات فإن مسارها و كميتها ستتغير حسب كل طبقة و سمكها ، كما تلعب مكونات الغلاف الجوي دورا كبيرا في تقليص الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض و ذلك عن طريق : التشتت والإمتصاص بسبب جزيئات الهواء و أيضا بسبب العوالق الصلبة في الجو ، الإمتصاص بواسطة بخار الماء و غاز أول أكسيد الفحم و غاز ثاني أكسيد الفحم ، الإنعكاس و الامتصاص من طرف السحب في طبقات الجو .

I-3-1-1- الأشعة خارج الغلاف الجوي :

تنطلق الإشعاعات الشمسية على شكل حزم موجية مختلفة الأطوال ،وتنقسم إلى ثلاث أنواع رئيسية :

أ- **الأشعة الفوق البنفسجية** : و هي أشعة غير مرئية ، و تشكل حوالي 9 % من إجمالي الإشعاع و هي أشعة قصيرة الموجة .
ب- **الأشعة الضوئية** : و هي الأشعة المرئية التي تعرف بضوء النهار ، تقدر نسبتها 47 % من إجمالي الإشعاع الشمسي .
ت- **الأشعة تحت الحمراء** : هي أشعة غير مرئية ، تنتمي إلى مجموعة الأشعة ذات الموجات الطويلة و تقدر نسبتها حوالي 44 % من إجمالي الإشعاع الشمس [6] .

I-3-1-2- الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي :

ينقسم الإشعاع الشمسي إلى :

أ- الإشعاع المباشر :

الإشعاع المباشر هو الإشعاع الساقط على سطح ما مباشرة من الشمس .

ب- الإشعاع المنتشر (المبعثر) :

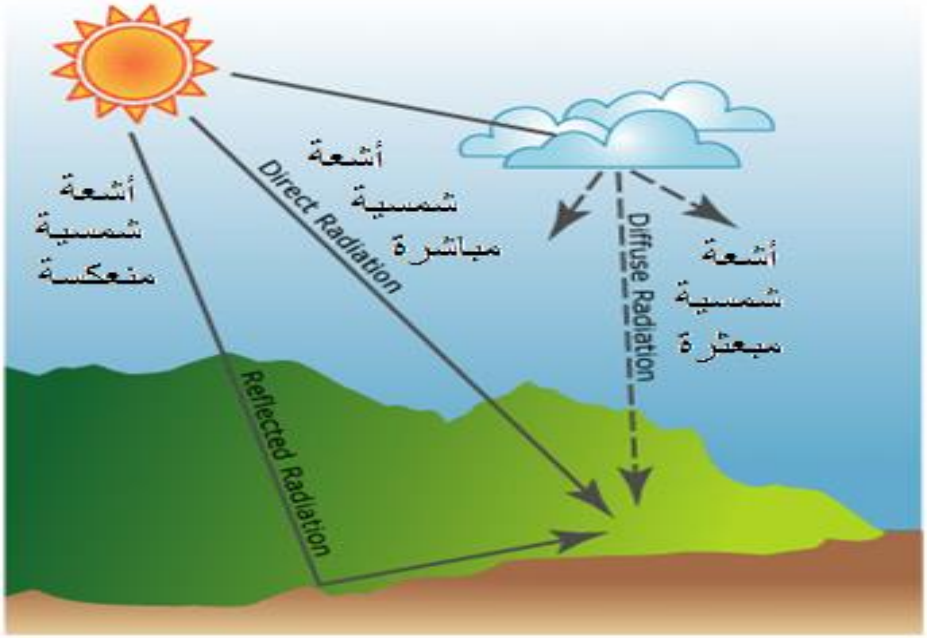
الإشعاع المنتشر هو الإشعاع الساقط على سطح ما بعد أن تشتت خلال مروره بطبقات الجو ويأتي من جميع الاتجاهات. إن جزء من الإشعاع المنتشر غير مهمل ويمكن أن يصل إلى 50٪ من الإشعاع الكلي (وفقا للوضع الجغرافي للمكان) ، أو هو الإشعاع الذي انعكس و سقط على ذلك سطح .

ت- الإشعاع المنعكس (الألبيدو) :

هو جزء الأشعة الواصلة إلى الأرض التي يمكن أن تنعكس نحو المستقبل ، ويعتمد الإشعاع المنعكس كثيرا على خصائص سطح الأرض و زاوية السقوط ، حيث أنه من الصعب جدا حسابه فإنه لا يؤخذ في الحسابات ، إلا أنه يمكن أن يكون مهم عندما تكون الأرض عاكسة بشكل خاص (الماء و الثلوج) .

ث- الإشعاع الكلي :

الإشعاع الكلي هو مجموع الإشعاع المباشر و الإشعاع المنتشر.



الشكل (I-1): أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض

I-3-2- زوايا سقوط الأشعة :

يتأثر مستوى الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض بحركة دوران الأرض اليومية حول محورها وحركة دورانها السنوية حول الشمس حيث أن هاتين الحركتين تحددان الزاوية التي يسقط بها الإشعاع الشمسي على موقع معين من الأرض وفق الإحداثيات التالية :

I-3-2-1- الإحداثيات الزمنية :

أ- زاوية الإنحراف الشمسي δ(La déclinaison):

هي الزاوية المحصورة بين أشعة الشمس و المستوي المار بخط الاستواء ، بحيث تتغير هذه الزاوية على مدار السنة ، فتنعدم في الاعتدال الربيعي و الخريفي بينما تكون أعظمية عند الانقلاب الصيفي (°23.45+) و عند الانقلاب الشتوي (°23.45-) [7].

و تعطى حسب العلاقة التالية :

$$\delta = 23,45 \cdot \sin[\frac{360}{365}(284 + Nj)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I-1)$$

حيث : $-23,45° \leq \delta \leq +23,45°$

Nj : رقم اليوم في السنة (Nj=1,2,……,365)

ب- زاوية الساعة الشمسية (ω) (L'angle horaire):

هي الزاوية المتشكلة بين الإشعاع الشمسي الوارد و خط الطول المار بالنقطة ، وهي وحدة قياس الوقت بدلالة الزاوية ، بحيث كل: 15° = 1ساعة أو 360° = 24 ساعة. و تقاس من الوقت الظهر الشمسي و يمكن حساب قيمتها لأي ساعة من ساعات النهار حسب العلاقة التالية : [5]

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I-2)$$

TSV : الوقت الشمسي الحقيقي .

تكون قيمة الزاوية الساعية معدومة عند الظهيرة ، سالبة قبل الظهر و موجبة بعد الظهر . [1]

I-3-2-2- الإحداثيات الأرضية :

أ- خط الطول L (La Longitude) :

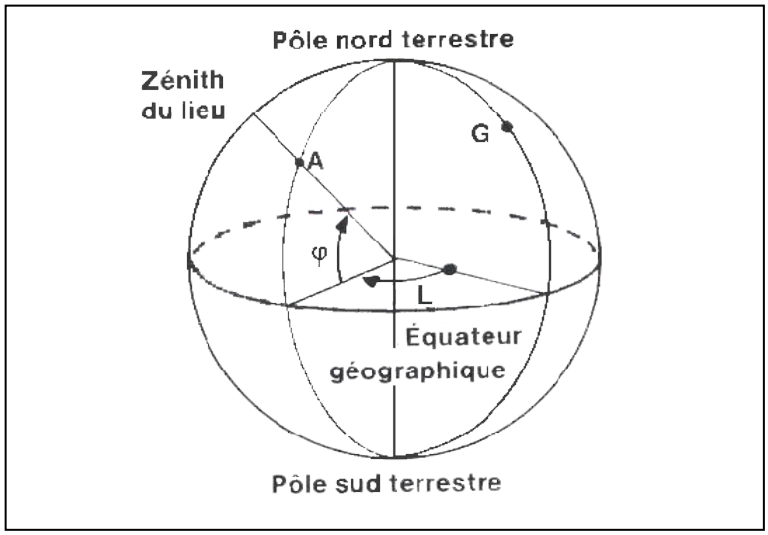
هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالنقطة مع خط الطول غرينتش، وتقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا (الشكل I-2). [17]

$$L \in [-180° , +180°]$$

ب- خط العرض(φ) (La latitude) :

هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الأرض و موضع النقطة على سطح الأرض مع خط الإستواء . تكون φ موجبة شمال خط الإستواء و سالبة جنوبه (الشكل I-2). [8]

$$\varphi \in [-90° , +90°]$$



الشكل (I- 2) : خط الطول (L) و خط العرض (φ)

I–3–2–3– الإحداثيات الأفقية :

يتم تحديد موقع الشمس في السماء من خلال زاويتين :

أ– زاوية الإرتفاع الشمسي (h)(la hauteur du soleil) :

هي الزاوية المحصورة بين اتجاه الأشعة الشمسية و خط الأفق (الشكل I–3) ، حيث

$h \in [-90° , +90°]$

تعطى وفق العلاقة التالية:

$$\sin(h) = \sin(\varphi).\sin(\delta) + \cos(\varphi).\cos(\delta).\cos(\omega) \quad \ldots\ldots \quad (I-3)$$

حيث :

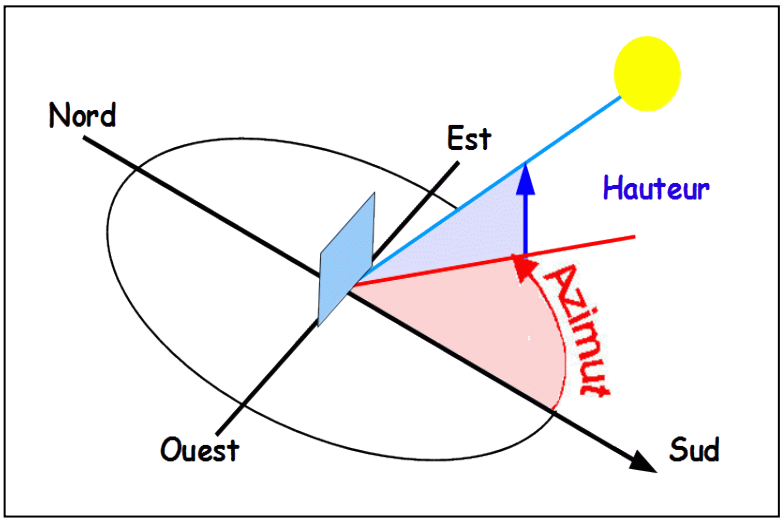
h=0: عند شروق و غروب الشمس ،**h>0**: في النهار ، **h<0** : في الليل [8]

ب– زاوية السمت (a) (L'azimut) :

هي الزاوية المحصورة بين مسقط الشعاع الشمسي و المحور المتجه جنوبا ، حيث تكون موجبة إذا كانت متجهة نحو الغرب و سالبة إذا كانت متجهة نحو الشرق (الشكل I – 3) . [17]

تعطى بالعلاقة التالية :

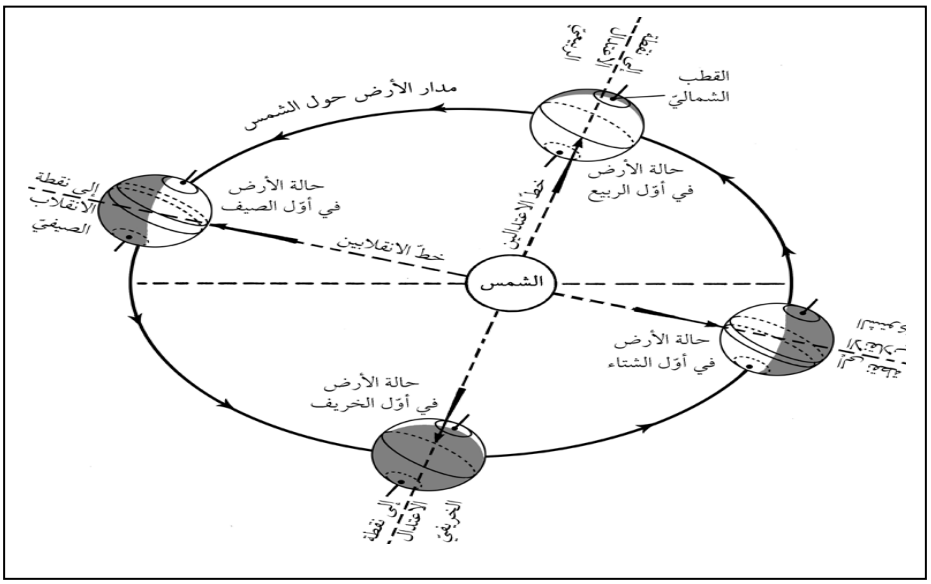
$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta).\sin(\omega)}{\cos(h)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (I-4)$$



الشكل (I–3) : زاوية الإرتفاع الشمسي (h) و زاوية السمت (a)

I–4– حركة دوران الأرض حول الشمس :

تدور الأرض حول الشمس وفق مسار بيضوي الشكل حيث تكون الشمس في إحدى بؤرتي المدار (الشكل I– 4) ، و تستغرق الدورة الواحدة 365,25 يوما [3]. ونتيجة لإنحراف محور الأرض أثناء دورانها حول نفسها بالنسبة للخط الإيهليجي تختلف زاوية سقوط أشعة الشمس من مكان إلى آخر وهذا ما يؤدي إلى تعاقب الفصول .



الشكل (I-4) : حركة دوران الأرض حول الشمس

حيث في الانقلاب الشتوي (21 ديسمبر) تكون الأرض قريبة جدا من الشمس (147 مليون كيلومتر) ، وفي الانقلاب الصيفي (22 جوان) تكون فيه الأرض بعيدة جدا عن الشمس (152 مليون كيلومتر) ، وفي الاعتدال الربيعي (21 مارس) و الاعتدال الخريفي (21 سبتمبر) يكون النهار و الليل متساويان. [7]

I–5–شدة الإشعاع الشمسي على الأسطح الأفقية و المائلة :

تعتمد كمية الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض على موقع السطح (خط العرض للمكان) محدد عند زمن ما على توجيه السطح و ميله ، علما أن السطح المتعامد مع أشعة الشمس سوف يستقبل أكبر كمية من الإشعاع الشمسي .(الشكل I- 5)

و لحساب الأشعة على السطح المائل سواء من القيم المقاسة للسطح الأفقي أو المحسوبة فلابد من تحويل هذه البيانات لكي تكون خاصة بالسطح المائل ، و في حالة الإشعاع المباشر يمكن استنتاج أن : [9]

$$\mathbf{Cos}(a) = H_B/H_{(Bn)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\mathbf{I-5})$$

$$\cos(i) = H(Bt)/H_{(Bn)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\mathbf{I-6})$$

حيث :

$\mathbf{H}_{(Bn)}$: الشعاع المباشر عند السقوط العمودي (أي أن السطح يكون متعامد مع الشعاع) .

$\mathbf{H_B}$: مركبة الشعاع المباشر على السطح الأفقي .

$\mathbf{H(Bt)}$: مركبة الشعاع المباشر على السطح المائل .

ومن ثم نجد أن :[9]

$$R_B = \frac{H(Bt)}{HB} = \frac{COS(i)}{COS(a)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\mathbf{I-7})$$

حيث :

$\mathbf{R_B}$: معامل الميل للإشعاع المباشر .

i : زاوية السقوط .

السطح المائل يستقبل الأشعة المباشرة و المشتتة و كذالك المنعكسة من سطح الأرض و الأجسام المحيطة، و يمكن حساب الأشعة الكلية الساقطة على السطح المائل من العلاقة التالية :[9]

$$H(t) = H_B * R_B + C * H_B * \left(\frac{1+COS(s)}{2}\right) + (H_B + Hd) * g * \left(1 - \frac{COS(s)}{2}\right) \quad \ldots\ldots \quad (\mathbf{I-8})$$

حيث :

$\mathbf{Ht}$:الأشعة الكلية الساقطة على السطح المائل .

$(\mathbf{H_B + Hd})^*\mathbf{g}^*(\mathbf{1-COS}s/2)$:الأشعة المنعكسة التي يستقبلها السطح المائل .

$\mathbf{g}$: تمثل إنعكاسية سطح الأرض و الأسطح الأخرى و تساوي 0.2 عندما لا يكون هناك جليد ، و قد تصل إلى 0.7 في حالة وجود جليد على سطح الأرض .

بالنسبة للسطح الأفقي فإن مجموع الأشعة الساقطة تكون مساوية للأشعة المباشرة و المتشتتة أي أن :[9]

$$H = \mathrm{H_B} + H(d) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (\mathbf{I-9})$$

حيث :

$\mathbf{H}(d)$:الإشعاع الشمسي المتشتت .

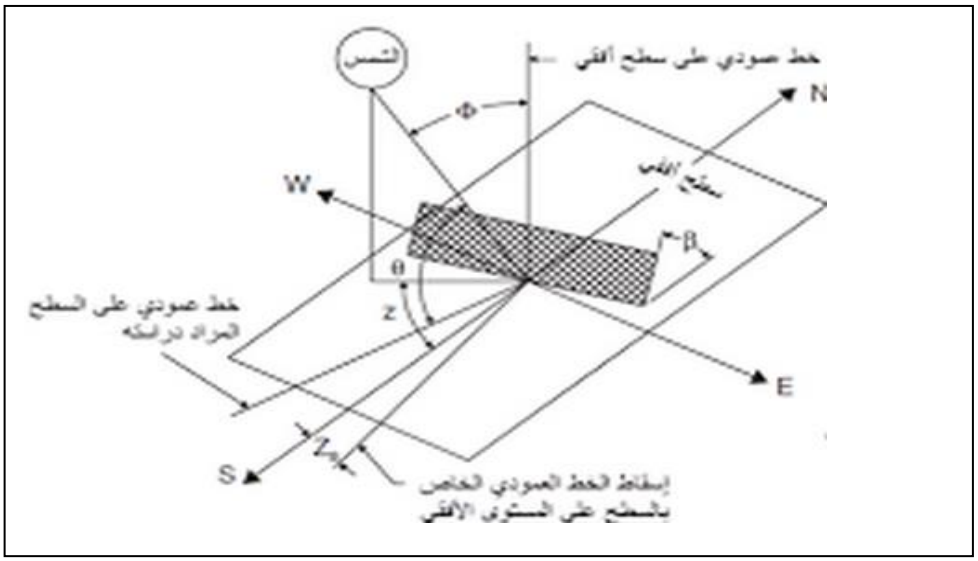
و يمكن تعريف معامل الميل للإشعاع الكلي من العلاقة التالية :[9]

$$\mathrm{R} = \frac{\mathrm{H}(t)}{H} = \left(\frac{H_{\mathbf{B}}}{H}\right) * R_{\mathbf{B}} + \left(\frac{Hd}{H}\right) * \left(1 + \frac{COSs}{2}\right) + g * (1 - \frac{COSs}{2}) \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad (\mathbf{I-10})$$

حيث :

H: مجموع الأشعة الساقطة على السطح الأفقي .

H(t): الأشعة الكلية الساقطة على السطح المائل .

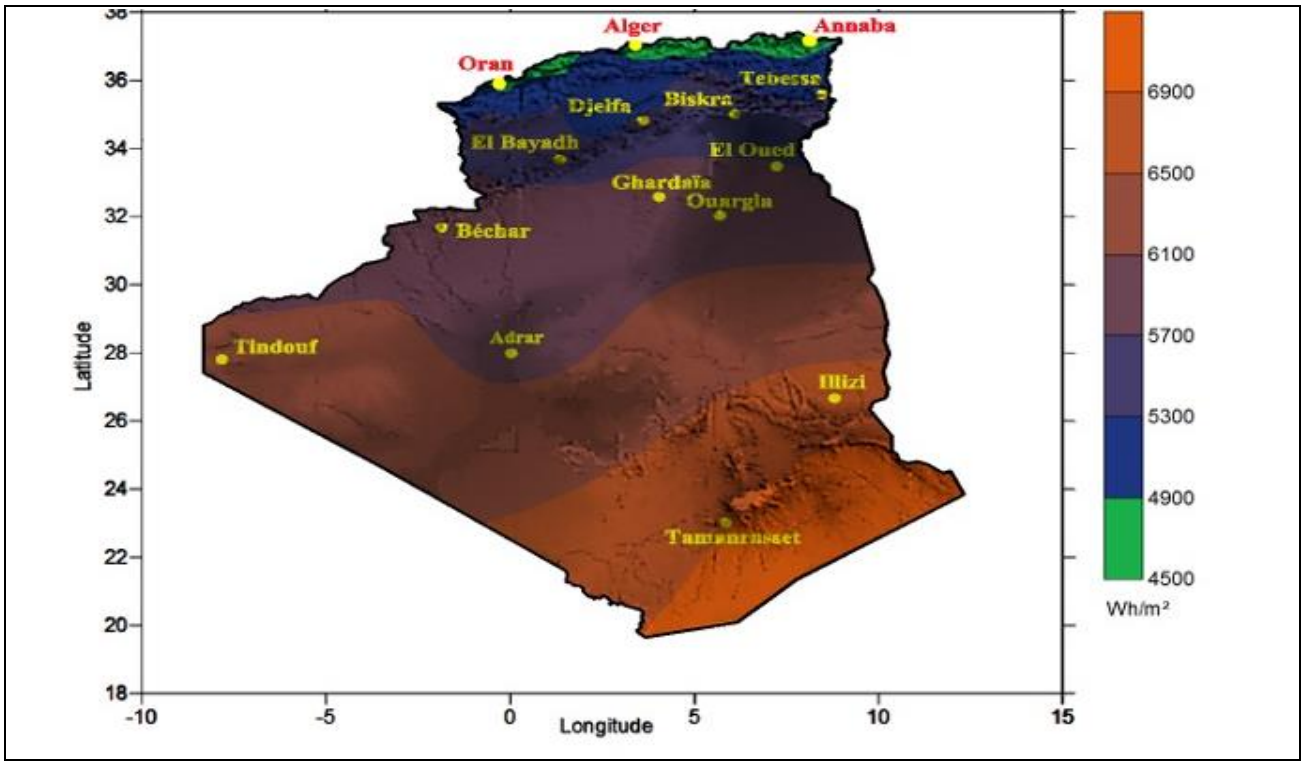


الشكل (I- 5) : الإشعاع المباشر الساقط على الأسطح الأفقية والمائلة

I–6– الإشعاع الشمسي في الجزائر :

يوجد عددا قليلا من البلدان التي تتلقى أكبر قدر من تدفق الطاقة الشمسية و منها الجزائر، التي تقع بين خطي العرض 20 و 37 درجة شمالا، وبما أن الارتفاع والمناخ مرتبطان بـ أشعة الشمس وبسبب موقعها الجغرافي، يوجد لدى الجزائر ودائع شمسية ضخمة وهامة، والطاقة الشمسية القصوى في كل نقطة من بلدنا تقدر بحوالي 1 كيلوواط لكل متر مربع . [1]

إن متوسط الطاقة اليومية القصوى (السماء صافية ، شهر جويلية) يتجاوز 6 كيلوواط ساعي لكل متر مربع ، وتبلغ الطاقة السنوية القصوى في الجزائر 2500 كيلوواط ساعي لكل متر مربع ، وتمثل الخريطة التالية مناطق الطاقة في الجزائر [1] :



الشكل (I- 6) : مختلف مناطق الطاقة في الجزائر

I–7– الموقع الجغرافي لمدينة ورقلة :

تقع ولاية ورقلة في جنوب شرق الجزائر، عند خط الطول (L) 5,24° شرقا وخط العرض (φ) 31,57° شمالا ، وتبلغ مساحتها 163.230 كم² ، ويبلغ عدد سكانها 579.608 نسمة في عام 2004 . [1] (الشكل I– 7)

الشكل(I- 7) : خريطة ولاية ورقلة

الفصل الثانـــــــي
الخلايا الكهروضوئية

II-1- تمهيد :

إن تحويل أشعة الشمس المباشرة إلى طاقة كهربائية هو أحد المنجزات العلمية الكبرى في القرن العشرين والألفية الثانية ، و يتطلب هذا المبدأ البسيط تقنيات معقدة تستخدم لبناء أجهزة فعالة تسمى الخلايا الفوتوضوئية أو الخلايا الكهروضوئية ، و هي أفضل التقنيات المستخدمة حاليا في مجال الطاقة المتجددة.

لقد بدأت هذه التقنية منذ عقود عديدة لكنها دخلت مرحلة الإستغلال الفعلي عند إستخدمها في برامج الفضاء في نهاية الخمسينيات من هذا القرن ، و لكن العائق في إستخدامها على نطاق واسع و من قبل عامة الناس هو كلفتها العالية . لقد انخفض سعر الخلايا الكهروضوئية مئات المرات في الوقت الحاضر عما كان عليه في بداية الستينيات ، و لكنها لا تزال مكلفة نسبيا إلى حد الآن ، و لا توجد أي صعوبات تقنية تمنع توسيع إنتشار هذه المنظومات ، فمدى إنتشار إستخدامها يعتمد على كلفة الإنتاج و زيادة الكفاءة .

إن معظم تقنيات الخلايا الفوتوضوئية يتم تطبيقها في المناطق النائية حيث تبقى هي الأفضل استخداما و ذلك لسهولة نصبها و عدم حاجتها إلى الصيانة المستمرة و عدم مساهمتها في تلوث البيئة .

II-2- نبذة تاريخية :

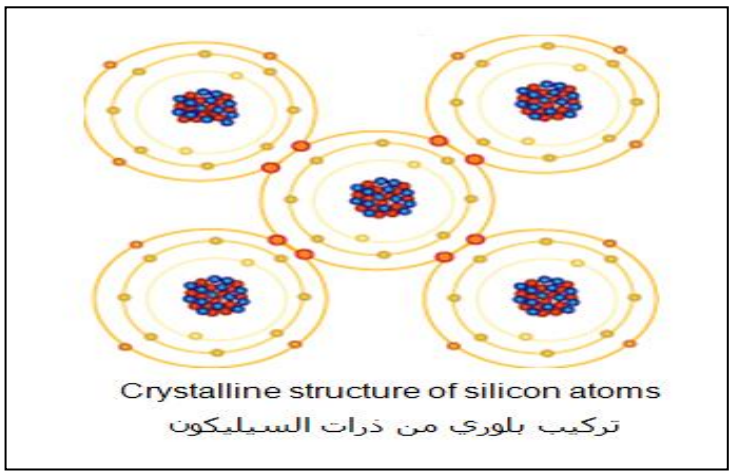
- **1839**: اكتشف الفيزيائي الفرنسي إدموند بيكريل عملية استخدام أشعة الشمس لإنتاج التيار الكهربائي في مادة صلبة ، وهو ما يعرف بالفعل الكهروضوئي . [10]
- **1885**: عرض وارنر فون سيليمنس مقالا عن الفعل الكهروضوئي في أشباه الموصلات في أكاديمية برلين للعلوم .[11]
- **1904** : شرح ألبريت أنشتاين نظرية الفعل الكهروضوئي . [10]
- **1954**: قام ثلاثة باحثين أمريكيين (د.شابن ، ك.فولر ، ج. بيرسن) بتطوير خلية كهروضوئية سيليكونية ذات كفاءة 6 %، كما بحثت صناعة الفضاء عن حلول لتشغيل الأقمار الصناعية . [10]
- **1958**: تم تطوير خلية ذات كفاءة 9٪ ، و تم إرسال الأقمار الصناعية الأولى التي تعمل بالخلايا الشمسية إلى الفضاء .[7]
- **1973**: أول منزل تم تغذيته عن طريق الخلايا الكهروضوئية.[7]
- **1985**: أول سيارة تسير بالطاقة الكهروضوئية في أستراليا.[7]

II-3- أشباه الموصلات (أنصاف النواقل) :

تعرف بأنها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة و لكنها تمتلك قدرا معينا من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع درجة حرارتها . و تتأثر توصيلية شبه الموصل بالحرارة و الضوء و المجال الكهرومغناطيسي و تؤثر فيها وجود كميات ضئيلة من الذرات الشائبة ، و إن حساسية شبه الموصل تجاه هذه العوامل تجعل منه مادة بالغة الأهمية في التطبيقات الإلكترونية .

إن أكثر المواد المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات هما عنصري السيليكون و الجرمانيوم ، و الفرق بينهم أن ذرة السيليكون تحتوي على 14 إلكترون و ذرة الجرمانيوم تحتوي على 32 إلكترون ، حيث تحتوي كل منهما على أربعة إلكترونات حرة في المدار الأخير. حتى يكتمل نطاق التكافؤ لابد أن تشارك الذرة الذرات الأربعة التي حولها بإلكتروناتها (كما في الشكل II-1)

و تسمى هذه الرابطة بالرابطة التساهمية و لعدم وجود إلكترونات حرة تكون القابلية لتوصيل التيار الكهربائي ضعيفة (أقرب إلى المواد العازلة) في صورتها النقية .



الشكل (II-1) : التركيب البنيوي لبلورة السيليكون

II-3-1- المواد شبه الموصلة النقية (الذاتية) :

إذا تم التوصيل في شبه الموصل بالإثارة الحرارية أو الضوئية للإلكترونات و كان التوصيل يعتمد على الخواص الأساسية لشبه الموصل النقي و لا يعتمد على تغيير خواصه بإضافة بعض الشوائب إليه أو إحداث عيوب في تركيبها البلوري فيسمى شبه الموصل في هذه الحالة بشبه موصل ذاتي أو حقيقي ، و التي تمتلك أعدادا متساوية من حاملات الشحنة السالبة و الموجبة (الإلكترونات و الفجوات) أي أن كثافة الإلكترونات في حزمة التوصيل تساوي كثافة الفجوات في حزمة التكافؤ ،و يعتبر كل من السيليكون (Si) و الجرمانيوم (Ge) أشهر أشباه الموصلات الذاتية .

و عند رفع درجة حرارة شبه الموصل إلى حرارة أعلى من الصفر المطلق فإن عددا من الإلكترونات سوف تنتقل بعد اكتسابها طاقة كافية تكون مساوية أو أكبر من طاقة الفجوة من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل . إن الإلكترونات التي غادرت حزمة التكافؤ سوف تترك مكانها فارغا تسمى بالفجوات .

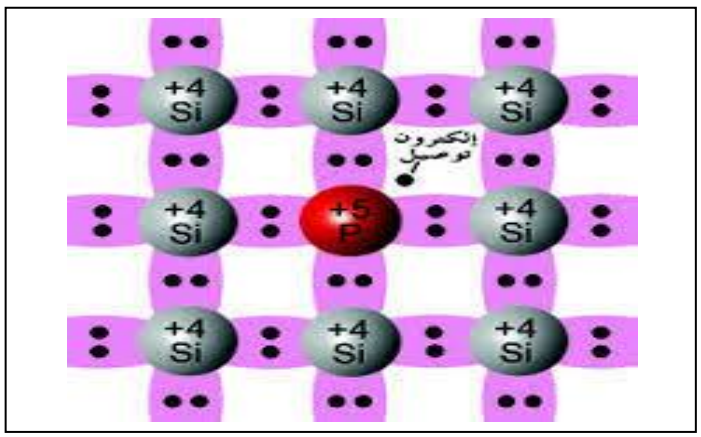
II-3-2- المواد الغير نقية (الشوائبية) :

تنتج أشباه الموصلات الغير نقية عند إضافة بعض الشوائب لأشباه الموصلات الذاتية مثل السيليكون و الجرمانيوم و لذلك يطلق عليها أحيانا إسم أشباه الموصلات الشوائبية نسبة للشوائب التي تلعب الدور الأساسي في التوصيل الكهربائي ، و تدعى هذه العملية بالتطعيم (Dopage) الذي يعرف على أنه إضافة ذرات معينة و بنسب قليلة إلى المادة شبه الموصلة النقية لزيادة توصيليتها ، وهناك نوعان من أشباه الموصلات الغير نقية :

II-3-2-1- أشباه الموصلات السالبة نوع N:

لكي نتحصل على المادة شبه الموصلة السالبة فإنه يتم تطعيم أشباه الموصلات النقية كالسيليكون بكميات معلومة بأحد المواد الشائبة كالفسفور (P) أو الزرنيخ (As) أو الأنتيمون (Sb) ، و تشترك هذه المواد الشائبة في خاصية إحتوائها على خمسة إلكترونات تكافؤ و تعرف بالعناصر المانحة .

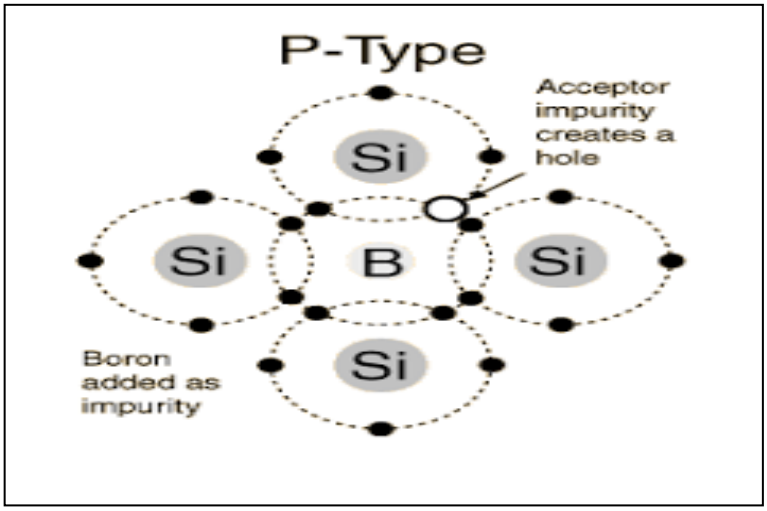
و يظهر الشكل (II-2) أسلوب تكوين البلورة السالبة (N) حيث نجد أن كل أربعة إلكترونات تكافؤ من إلكترونات المادة الشائبة (الفوسفور) ترتبط في روابط إسهامية مع ذرات السيليكون ليكتمل المدار الخارجي لذرة السيليكون ، ويتبقى إلكترون زائد من الفوسفور ليصبح حر الحركة خلال البلورة ، و بهذا الأسلوب يزداد عدد الإلكترونات السالبة الحرة و تتحول المادة إلى بلورة سالبة ويرمز لها بالرمز(N) .



الشكل (II-2) ذرات السيليكون مطعمة بذرات الفوسفور(شبه موصل نوع N)

II-3-2-2-أشباه الموصلات الموجبة نوع P:

بنفس الأسلوب يتم إضافة مادة شائبة إلى السيليكون ، ولكن في هذه الحالة يستخدم مادة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل البورن (B) أو الألمنيوم (Al) أو الأنديوم (In).إن إلكترونات التكافؤ الثلاثة للبورن ترتبط مع ذرات السيليكون برابطة تساهمية وهنا نجد أن ذرة السيليكون ينقصها إلكترون واحد حتى يكتمل البناء الترابطي التساهمي و هذا يعني وجود فجوة (Hole) و التي تمثل شحنة موجبة لها قدرة قوية على جذب الإلكترون . بهذه الصورة يزداد عدد الفجوات ، أي عدد الشحنات الموجبة و تزداد معها إيجابية المادة و تصبح هذه الفجوات الموجبة مسؤولة عن توصيل التيار في المادة و لهذا يطلق على المادة بلورة موجبة و يرمز لها بالرمز (P) . (الشكلII-3)



الشكل (II-3) : ذرات السيليكون مطعمة بذرات البورن (شبه موصل نوع P)

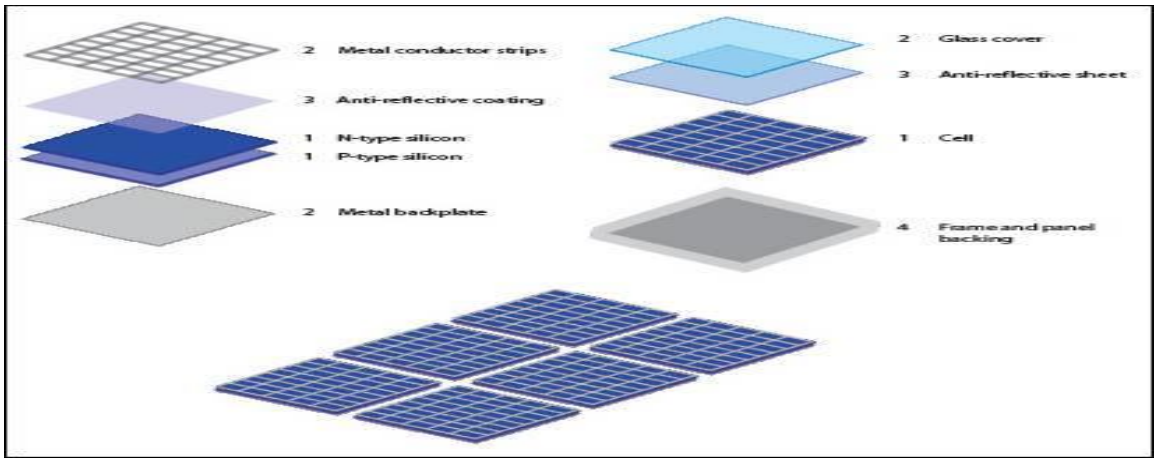
II-4- الخليـــة الكهروضوئيـــة:

الخلية الكهروضوئية ويطلق عليها أيضا بـ " الخلية الفوتوضوئية "،و هي أصغر عنصر في النظام الكهروضوئي ، و تعتبر الوحدة الأساسية فيه . مؤلفة من مواد أشباه الموصلات ، كما أنها حساسة ضوئيا و محاطة بغلاف أمامي و خلفي موصل للكهرباء ،وهي عبارة عن محولات تقوم بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية مباشرة .

و هي أيضا عبارة عن وصلة كهربائية(P-N) تتشكل عند إرتباط الطبقة شبه الموصلة السالبة (N) بالطبقة شبه الموصلة الموجبة (P) .

تتكون الخلية الشمسية من عدة طبقات وهي :

- طبقتان حساستان للضوء : و تتكون من المواد الكهروضوئية و هي عبارة عن أشباه الموصلات مثل عنصر السيليكون المضاف إليه بعض الشوائب لتكوين طبقتين مختلفتين و هما طبقة شبه الموصلة السالبة(N) و طبقة شبه الموصلة الموجبة (P) .
- طبقتان من الأسلاك : تحتوي الخلية الشمسية على طبقتين مكونتين من شبكة من الأسلاك النحاسية إحداهما في الأعلى و تسمى كاثود (الغلاف الأمامي) و الأخرى في الأسفل و تسمى أنود (الغلاف الخلفي) .
- طبقة من الزجاج : تغطى الخلايا الشمسية بطبقة من الزجاج لحمايتها من أي خدش ، كما انها تسمح بمرور الضوء من خلالها .
- طبقة مضادة للإنعكاس : لا تسمح للضوء بالارتداد ، و بالتالي يمكن إستغلال أكبر قدر من الضوء .
- الداعم المعدني



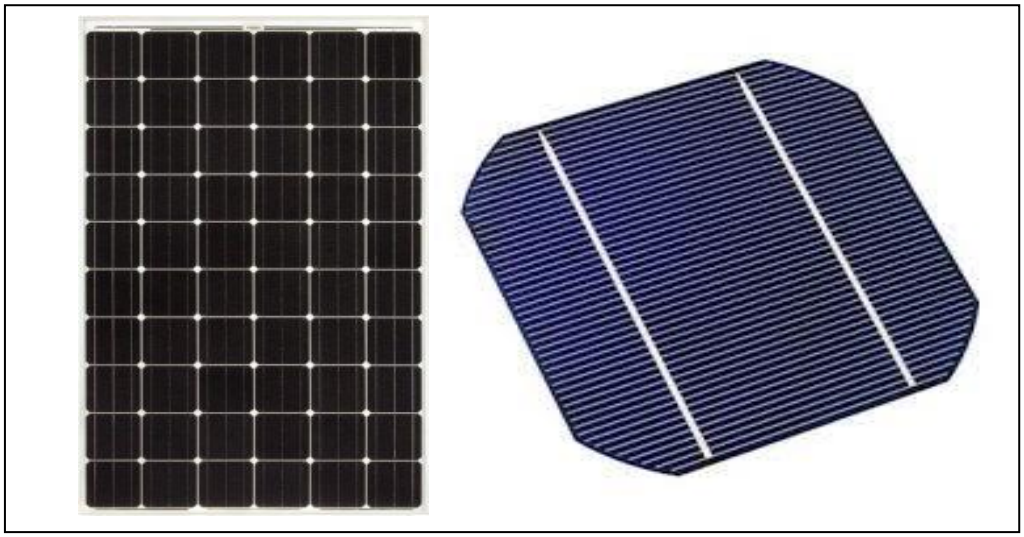
الشكل (II-4) : الخلية الفوتوضوئية و مكوناتها

II-5-أنواع الخلايا الكهروضوئية :

II-5-1 الخلايا السيليكونية :

II-5-1-1- الخلايا السيليكونية الأحادية التبلور :

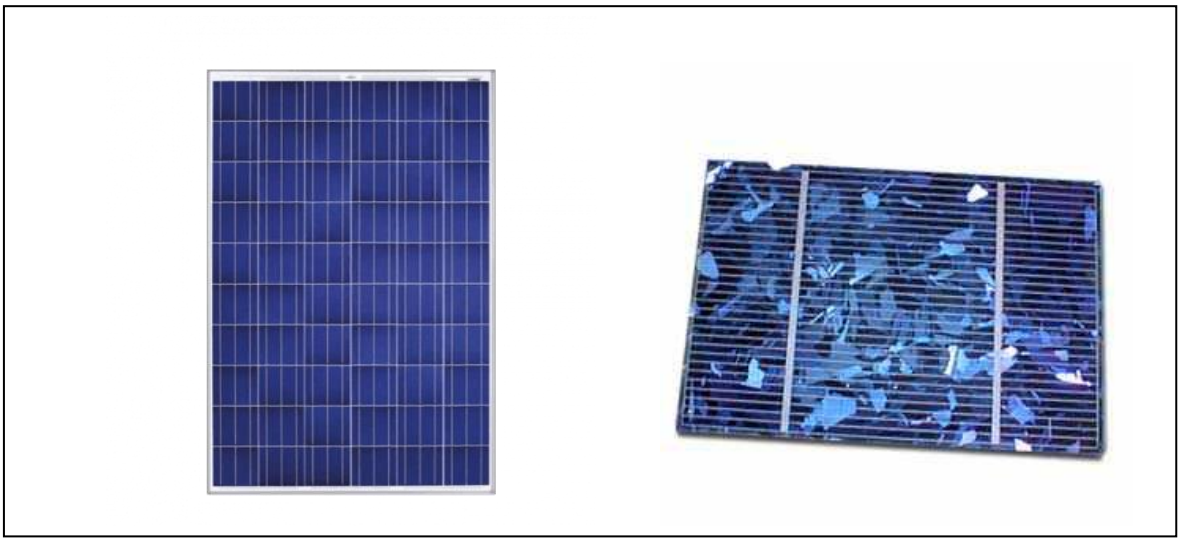
تتألف من بلورة واحدة توفر الخلية الترتيب المثالي للذرات . لديها عائد أعلى قليلا من السيليكون متعدد الكريستالات (حوالي 18٪). ومع ذلك فإنه لا يزال مكلفا للغاية بسبب متطلباته من النقاء عالية والكمية الكبيرة من الطاقة اللازمة لتصنيعها . [12]



الشكل (II-5) : خلية سيليكونية أحادية التبلور ولوح شمسي مصنوع من خلايا أحادية التبلور

II-5-1-2- الخلايا السيليكونية المتعددة التبلور:

و تتألف من عدة بلورات أحادية اللون موضوعة بجاور بعضها في إتجهات مختلفة تعطي للخلية مظهر مختلط . السيليكون متعدد الكريستالات هو التكنولوجيا الأكثر انتشارا في السوق العالمية بسبب أدائها الجيد (حوالي 15٪) [12]،و تكلفة إنتاجهم أقل من الخلايا أحادية البلورة . وقد فرضت هذه الخلايا نفسها اليوم بفضل قدراتها على تعزيز الإنتاجية . ميزة هذه الخلايا على الخلايا الأحادية هو أنها تنتج القليل من النفايات، كما أنها تتطلب 2 إلى 3 مرات طاقة أقل لتصنيعها ، ويقدر عمرها 30 عاما.



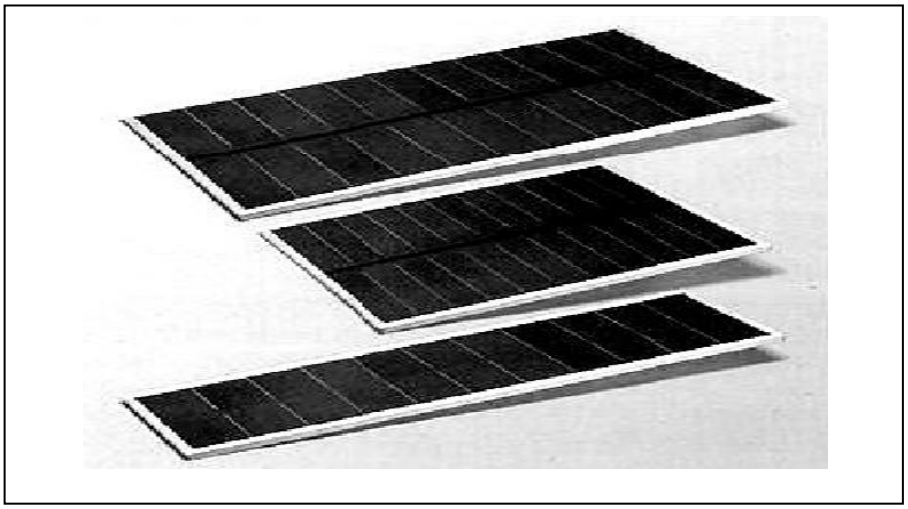
الشكل (II-6) : خلية سيليكونية متعددة التبلورو لوح شمسي مصنوع من خلايا متعددة التبلور

II-5-1-3- الخلايا السيليكونية الأمورفية (العشوائية) :

يمكن تصنيع الخلايا الكهروضوئية بطريقة أرخص من طرق تصنيع الخلايا السيليكونية الأحادية و المتعددة البلورات ، و هذه الخلايا تسمى بالخلايا السيليكونية (A-Si) حيث تكون ذرات السيليكون أقل ترتيبا من النوع البلوري ، ففي السيليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباط كاملا مع الذرات المجاورة إنما تترك ما يسمى بالرابط المتدلي ، و تستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء .

تختلف خلايا السيليكون العشوائي عن الخلايا المصنعة بطرق أخرى بالنسبة لمنطقة الإرتباط (N-P)، اذ يتكون هذا النوع من الخلايا من منطقة تسمى (N-I-P) وهي رقيقة جدا من النوع (P) من السيليكون العشوائي ، تأتي بعدها طبقة داخلية (I) أكثر سمكا من مادة السيليكون العشوائي الخالي من الشوائب ، ثم طبقة رقيقة جدا من نوع (N) من السيليكون العشوائي ، كما أنها أرخص سعرا من الخلايا السيليكونية البلورية ، و أكثر إمتصاصا للإشعاع الشمسي ، إضافة إلى أن درجة حرارة تصنيعها قليلة جدا مقارنة بالخلايا السيليكونية البلورية و لذلك فهي تحتاج لطاقة أقل .

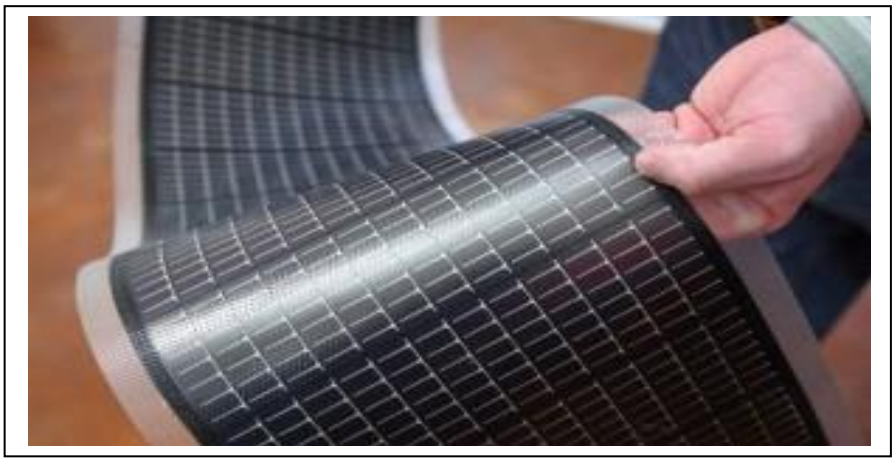
من سلبيتها أنها ذات كفاءة قليلة مقارنة بالخلايا السيليكونية البلورية ، حيث تتراوح مابين 4 % و 8%، و هي تتناقص مع مدة تعريضها للشمس و كذلك عمرها الزمني قليل ، وإن أعلى كفاءة تم الحصول عليها لا تتجاوز 12 % ، كما مخلفاتها التي تتحول الى الزرنيخ (الأرسانيد) ضارة بالبيئة . [5]



الشكل (II-7) : ألواح شمسية مصنوعة من خلايا أمورفية

II–5–2– الخلايا الشريطية :

يتم في هذه الطريقة إنتاج شريط من السيليكون الأحادي البلورة بإستخدام سيليكون متعدد البلورة أو من سيليكون أحادي مذاب .



الشكل (II-8) : الخلايا السيليكونيةالأمورفية

II–5–3– خلايا الغاليوم أرسنايد (GaAs) :

يتم تصنيع هذه الخلايا من مادة الغاليوم أرسنايد التي تمتلك هيكلا بلوريا مشابها للسيليكون ، و هي ملائمة جدا لإستخدامها في تطبيقات الخلايا الكهروضوئية لكونها ذات معامل إمتصاص عال للضوء ، كما تتمتع بكفاءة جيدة ، ويمكن أن تعمل تحت ظروف درجة حرارة عالية نوعا ما بدون تناقص في أدائها . بهذه الموصفات يمكن إستخدامها في منظومات الخلايا الشمسية المركزة ، إلا أن كلفة تصنيعها أعلى من كلفة تصنيع الخلايا السيليكونية و ذلك لكون عمليات إنتاجها غير متطورة حاليا ، و تستخدم عند الحاجة إلى خلايا ذات كفاءة عالية كما هو الحال في تطبيقات الفضاء .

II-5-4- خلايا الكوبراندیوم دیسلنايد (CIS) :

وهي مواد من أشباه الموصلات مركبة من النحاس و الأنديوم و السلينايد (CIS) ، و قد استخدمت في تصنيع خلايا وصلت كفاءتها مخبريا إلى 12 % ، لا تعاني من مشكلة نقصان الكفاءة عند الإستخدام الذي يظهر في الخلايا السيليكونية العشوائية ، ولكنها باهضة الثمن بسبب مادة الأنديوم ، رغم أن الكمية المستخدمة قليلة . من مساوئ طريقة تصنيع هذه الخلايا هو إستخدام الهيدروجين و السيلينايد و هو سام جدا و يسبب مشاكل صحية كبيرة في حالة حدوث خلل عند التصنيع .[13]

II-5-5- خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe) :

هي من مواد أشباه الموصلات مناسبة لإستخدام الخلايا الكهروضوئية تتألف من الكادميوم و التليرايد ، ومن محاسن هذه الخلايا إمكانية تصنيعها بإستخدام عملية بسيطة و رخيصة من الطلاء الكهربائي.

و قد وصلت كفاءة هذه الخلايا حوالي 10 % بدون تناقص في الكفاءة عند الإستخدام . ولكن من مساوئها أن الكادميوم مادة سامة جدا [5] .

II-5-6- الخلايا العضوية :

استطاع العلماء في جامعة بيل الأمريكية زيادة قدرة من الخلايا الشمسية الواعدة على إمتصاص الضوء و تحويله إلى طاقة كهربائية عبر إضافة صبغة عضوية متفلورة إلى طبقة الخلية الشمسية . هذه الصبغة المتفلورة (صبغة السكوارين) تزيد من امتصاص الضوء و تحرك الالكترونات ، محسنة بذلك القدرة على تحويل الضوء لطاقة كهربائية .

و تشهد هذه الخلايا الإقبال الأكبر بسبب سعرها المنخفض ، وزنها الخفيف ، مساحتها الواسعة و مرونتها ، إلا أن كفاءتها منخفضة . حيث أن حوالي 50 بالمئة من الضوء الذي تمتصه لا يتم تحويله إلى طاقة كهربائية مطلقا ، والسبب الرئيسي هو أن شبكة جزيئاتها ليست مصطفة بشكل كاف على مستوى النانوي بشكل يسمح للطاقة بأن تخرج من الخلية الشمسية .

إن أكثر الخلايا انتشارا في السوق العالمية هي الخلايا السيليكونية متعددة التبلور و ذلك بسبب أدائها الجيد ، كما أنها منخفضة التكاليف بالنسبة للخلايا الأخرى .

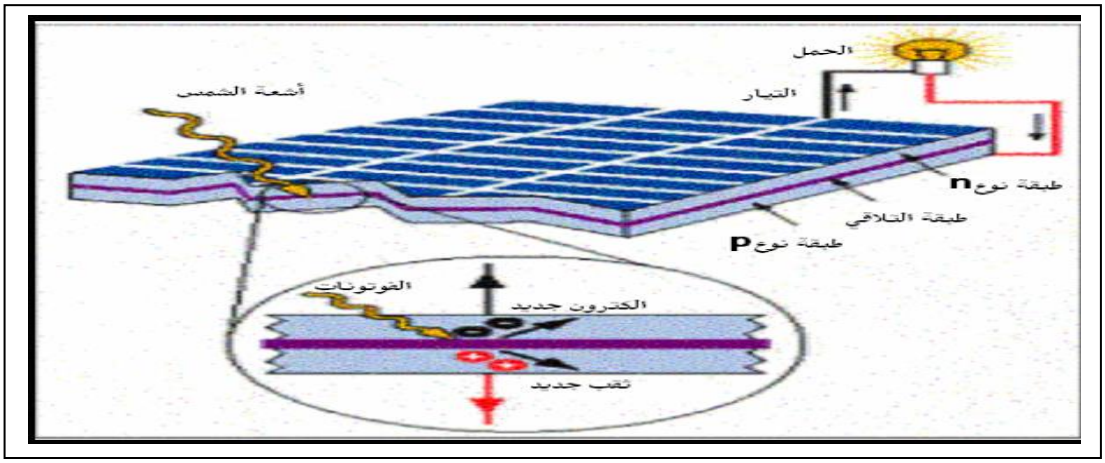
II-6- مبدأ عمل الخلية الفوتوضوئية :

عند ربط الطبقتين المختلفتين الموجبة (P) و السالبة (N) ببعضهما البعض سيتشكل بينهما خط إرتباط يدعى بالوصلة(P-N) يتكون بذلك مجال كهربائي في هذه المنطقة يقوم بتحريك الجسيمات سالبة الشحنة إلى إتجاه معين و الجسيمات موجبة الشحنة إلى إتجاه معاكس .فعند سقوط فوتونات الإشعاع الشمسي على الوصلة (P-N) ستنقل تلك الفوتونات طاقتها إلى بعض الإلكترونات في المادة مسببة رفعها إلى مستوى طاقة أعلى . ففي الظروف الإعتيادية تقوم الإلكترونات بالمساعدة على تماسك المواد مع بعضها البعض مكونة رابطا متكافئا مع الذرات القريبة و لكنها لا تستطيع الحركة . و في هذه الحالة المتحفزة و بعد سقوط الإشعاع الشمسي ، فإن الإلكترونات تكون حرة لتوليد تيار كهربائي يمر خلال المادة . و عندما تتحرك الإلكترونات تترك وراءها فجوات في المادة تتحرك أيضا ، فعند تكوّن الوصلة

(P–N) فإن بعض الإلكترونات المجاورة لها تنجذب من جهة (N) لتتحد مع الثقوب في جهة (P). و بنفس الطريقة فإن الثقوب المجاورة (الموجبة) لمنطقة الإرتباط تنجذب لتتحد مع الإلكترونات (السالبة) في جهة (N) القريبة .

و التأثير النهائي الناتج من هذا الوضع حول منطقة الإرتباط هو وجود شحنة موجبة أكثر من السابق على جهة (N) و وجود شحنة سالبة أكثر من السابق على جهة (P) . و هذا يعني وجود مجال كهربائي معاكس حول منطقة الإرتباط يكون موجب حول جهة (N) وسالب حول جهة (P) . و المنطقة التى تقع حول منطقة الإرتباط ستكون مفرغة من الشحنات (الإلكترونات و الفجوات) و تسمى بذلك منطقة التفريغ أو الإستنزاف .

وعند تهيج الإلكترونات في منطقة الإتصال بواسطة فوتونات الإشعاع الشمسي ستقفز إلى منطقة التوصيل تاركة وراءها فجوات في منطقة التكافؤ و بذلك ستتولد حوامل من الشحنة المزدوجة (زوج من إلكترون و فجوة) ، و تحت تأثير المجال الكهربائي المعاكس ستتجه الإلكترونات إلى جهة (N) و تتجه الفجوات إلى جهة (P) .



الشكل (II- 9) : مبدأ عمل الخلية الفوتوضوئية

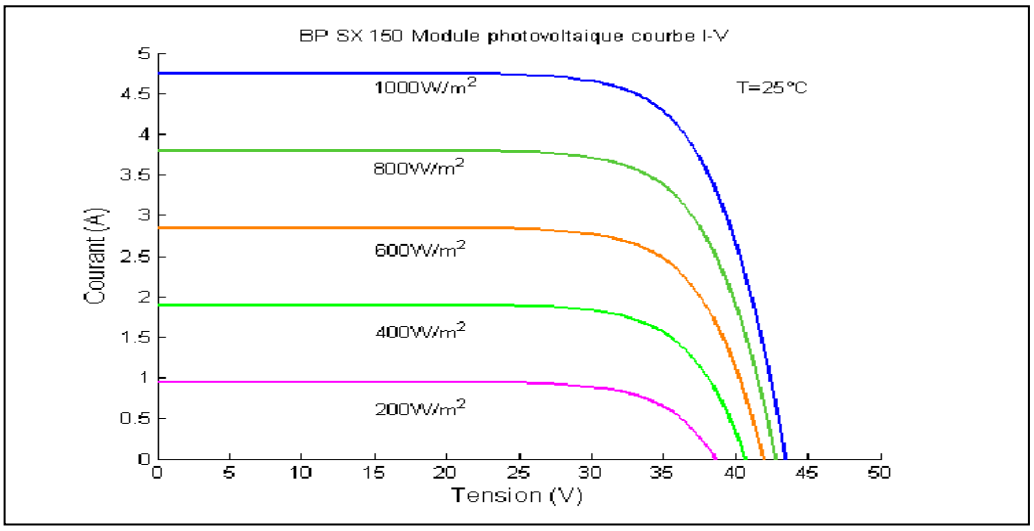
II–7– العوامل المؤثرة على عمل الخلية :

II–7–1– الظل :

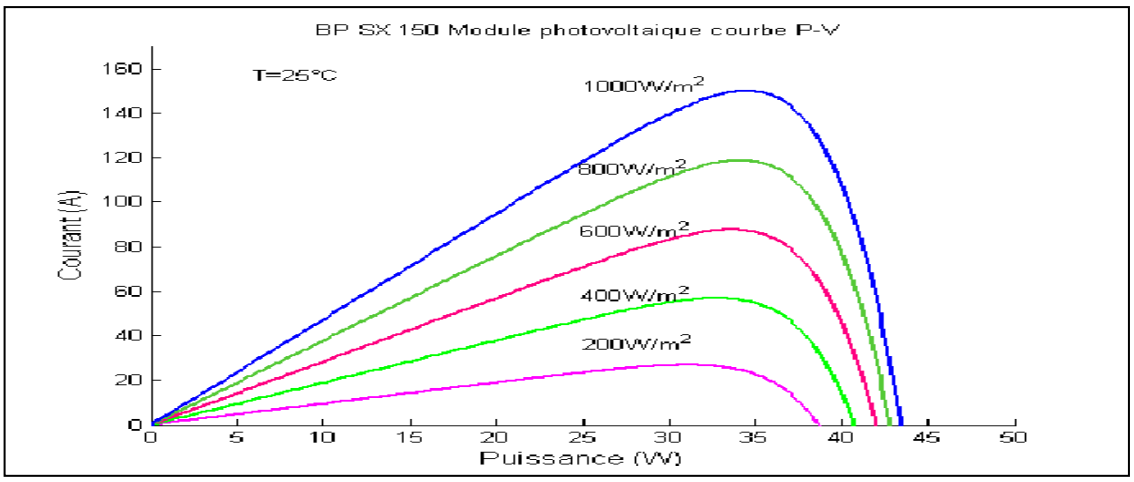
يؤثر الظل بشكل مباشر على كمية الكهرباء المنتجة ، كذلك الأتربة حيث يمكن أن تمر من الخلية مما يؤثر على كمية الطاقة الشمسية الساقطة عليها ، لذا من الضروري أن تكون نظم الخلايا خالية من الظلال حيث يؤثر على إنتاج الطاقة و لكن التأثير يكون أكثر على الخلايا ذات الشرائح الرقيقة ، فعند إسقاط الظل على خلية واحدة داخل الوحدة الكهروضوئية نجد تأثير كبير على كفاءة الوحدة الكهروضوئية.

II–7–2– الإضاءة :

يمثل الشكل (II–10)تغير التيار بدلالة الجهد (I(V)) ، و الشكل (II–11) تغير الإستطاعة بدلالة الجهد (P(V)) لمولد فوتوضوئي من أجل درجة حرارة ثابتة (T= 25°c) و شدة إشعاع متغيرة .[12]



الشكل (II-10) : منحنى تغير التيار بدلالة الجهد مع تغير شدة الإضاءة

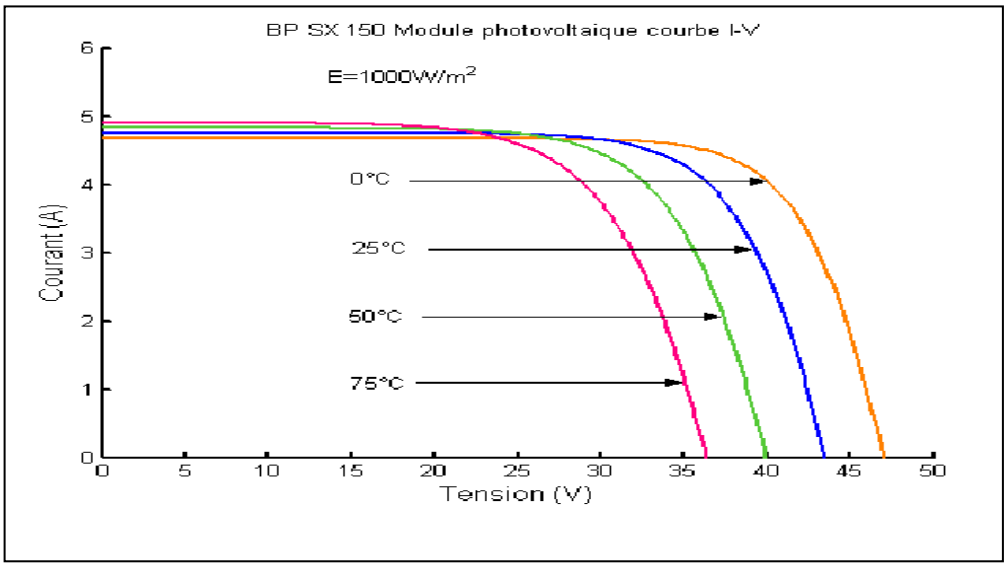


الشكل (II-11) : منحنى تغير الإستطاعة بدلالة الجهد مع تغير شدة الإضاءة

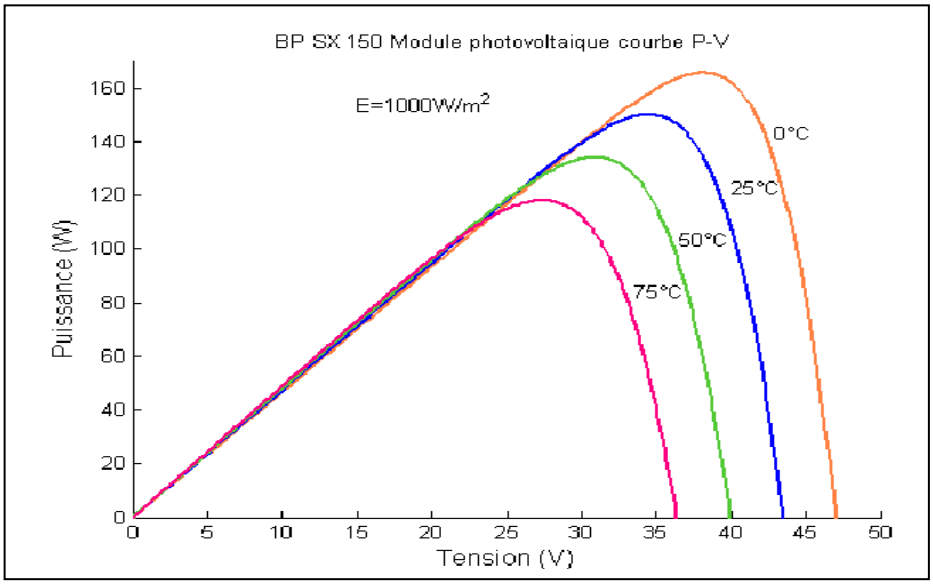
تكون الإستطاعة المثلى للخلية (P_{max}) متناسبة عمليا مع الإضاءة التي يسبب إنخفاضها تدرجا للطاقة القصوى المولدة من طرف اللوح ووفقا للشكلين السابقين نلاحظ أن تأثير التغير في الإضاءة على شدة التيار أكثر وضوحا من تأثيرها على الجهد .

II-7-3- درجة الحرارة :

يبين الشكلان (II-12) و (II-13) منحنى التيار بدلالة الجهد (I(V)) و منحنى الإستطاعة بدلالة الجهد (P(V)) لمختلف درجات حرارة التشغيل للوحدة الضوئية عند إشعاع ثابت .[12]



الشكل (II-12) :منحنى تغير التيار بدلالة الجهد مع تغير درجات الحرارة



الشكل (II-13) : منحنى تغير الإستطاعة بدلالة الجهد مع تغير درجات الحرارة

من الشكلين السابقين ، نلاحظ أن الزيادة في درجة الحرارة له تأثير سلبي على خواص الجهد والتيار (الشكل II-12) و كذا في كمية الطاقة الكهربائية المتولدة (الشكل II-13) .

و لذا فإن أداء الخلية ينخفض بإرتفاع درجة حرارة الجو المحيط بها ، هذا يعني أن الطاقة الكهربائية الناتجة من الخلية تنخفض بإرتفاع درجة الحرارة.

II-8- كيفية ربط الخلايا الكهروضوئية :

بحكم أن الجهد و تيار الخلية ضعيف جدا ، فيتم توصيل عدد كبير من الخلايا على التسلسل (التوالي) و على التفرع (التوازي) حسب الحاجة .

II-8-1- ربط الخلايا على التسلسل :

عند ربط مجموعة من الخلايا الكهروضوئية المتماثلة عددها (Ns) على التسلسل ، فإن فرق جهد الدارة المفتوحة هو مجموع جهد هذه الخلايا أو هو عدد الخلايا مضروبا في جهد الخلية الواحدة ، و لكن التيار يكون تيار الخلية الواحدة، (أي أننا بهذه الطريقة نزيد من جهد الخلية).[5]

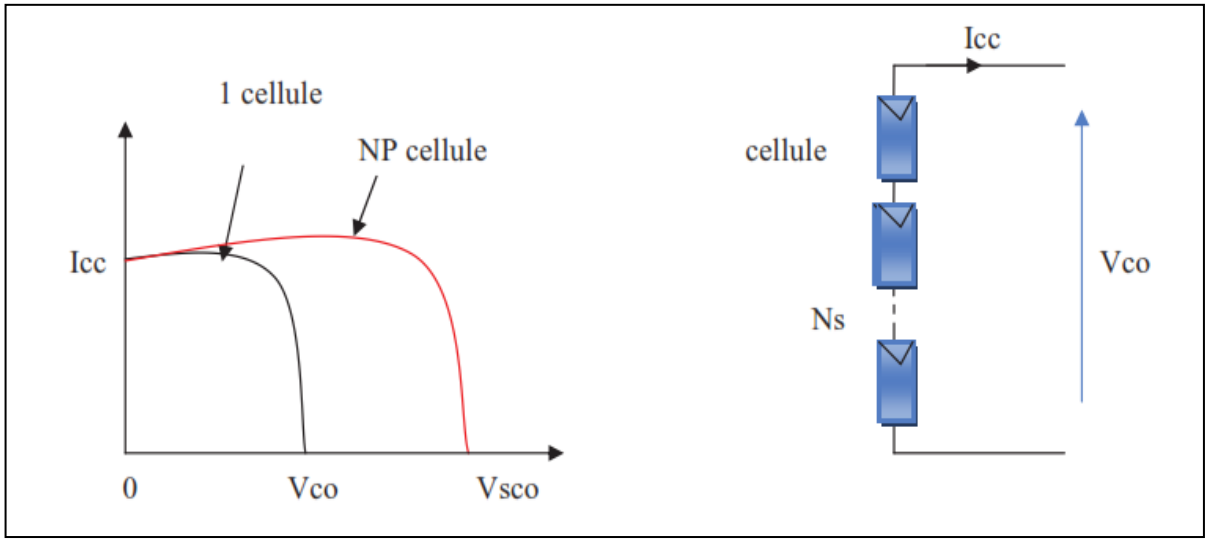
$$Vco(Ns) = Ns * Vco \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II-1)$$

$$Icc = Icc \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II-2)$$

Vco(Ns) : مجموع الجهد في دارة مفتوحة لعدد من الخلايا المتسلسلة.

Icc : التيار في دارة مغلقة لعدد من الخلايا المتسلسلة .

Ns : عدد الخلايا المربوطة على التسلسل .



الشكل (II-14) : الخاصية المثالية للخلايا الكهروضوئية المربوطة على التسلسل

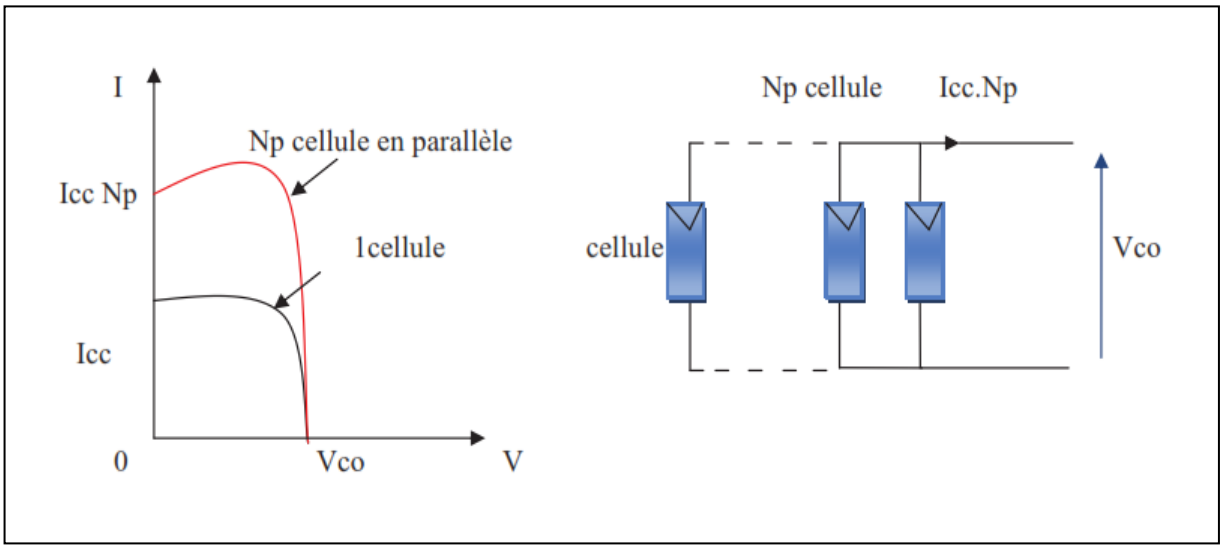
II-8-2- ربط الخلايا على التفرع :

في حال ربط عدد (Np) من الألواح الكهروضوئية المتماثلة على التفرع فإن الجهد الناتج مساويا لجهد الخلية الواحدة و التيار الناتج يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل خلية (و هنا زيادة في شدة التيار). [5]

$$\boldsymbol{Icc = \sum I(Np) = I_1 + I_2 + \cdots + I(Np)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textbf{(II-3)}$$

$$\boldsymbol{Vco = V_1 = V_2 = \cdots = V(Np)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \textbf{(II-4)}$$

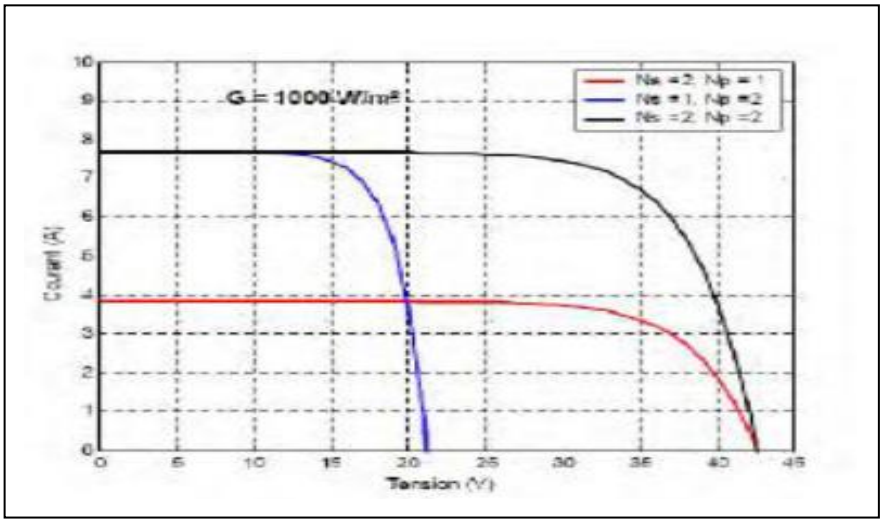
Np : عدد الخلايا المربوطة على التفرع .



الشكل (II-15) : الخاصية المثالية للخلايا الكهروضوئية المربوطة على التفرع

II-8-3- ربط الخلايا على التسلسل وعلى التفرع :

للحصول على قدرة أكبر يتم تجميع الخلايا على التسلسل و على التفرع في وقت واحد، فعند ربط الخلايا بهذه الطريقة نحصل على ميزات الوصل التسلسلي و الوصل التفرعي في نفس الوقت فبذلك نحصل على جهد مرتفع نسبيا وتيار كبير نسبيا ، وهذه الطريقة هي الأكثر إستعمالا و يكون التوصيل كما في الشكل التالي:



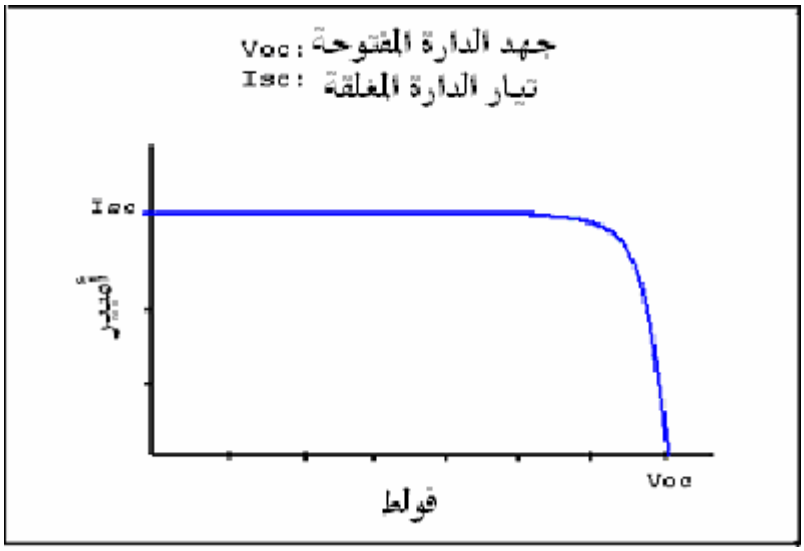
الشكل (II-16) : منحنى تجميع الخلايا على التسلسل و على التفرع

II-9- الخصائص الكهربائية للخلية الكهروضوئية :

II-9-1- خصائص التيار و الجهد :

تكون الطاقة الكهربائية المتولدة من الخلية الكهروضوئية بشكل تيار مستمر (DC) و تعتمد شدة هذا التيار على الأشعة الساقطة و على التيار و الجهد المطلوب للحمل . و يعتمد مردود اللوح الشمسي على مردود هذه الخلايا و تعرف الخلية الكهروضوئية ذات المساحة ($100cm^2$) بأنها بطارية شمسية تقوم بإنتاج جهد مقداره (0.5 V) و تيار يتماثل مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره مابين(5 A - 3) في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى .[5]

تتحد الخلية الكهروضوئية بفرق جهد دارتها المفتوحة وتيار دارتها المغلقة و الشكل (II-17) يوضح مخطط (I-V) لخلية كهروضوئية مثالية .

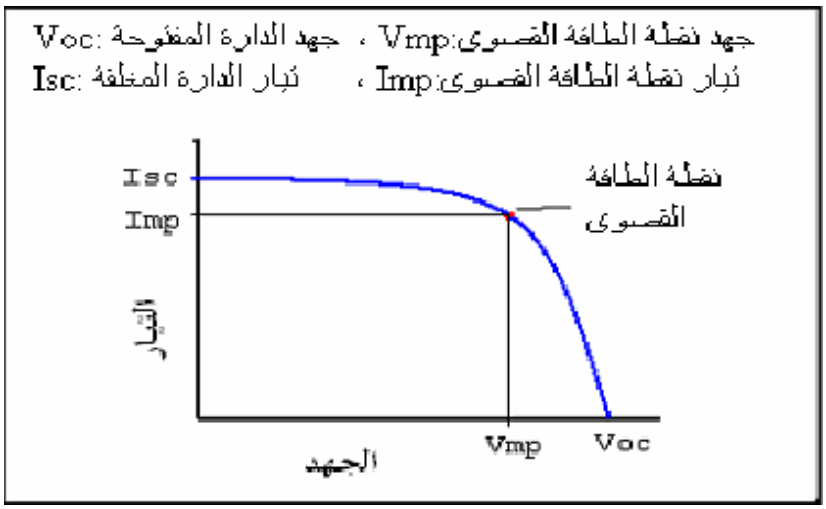


الشكل(II-17) : مخطط (I-V) لخلية كهروضوئية

فرق جهد الدارة المفتوحة هو الجهد الذي تعطيه الخلية الكهروضوئية عندما لا يمر في الدارة أي تيار ، و هو الجهد الأعظمي الذي تعطيه الخلية الكهروضوئية من الإشعاع الشمسي . أما تيار الدارة المغلقة فهو التيار المار في الخلية الكهروضوئية إلى دارة خارجية بدون حمل أو مقاومة ، و هو التيار الأعظمي الذي تستطيع الخلية توليده من الإشعاع الشمسي. [14]

II-9-2- نقطة القدرة العظمى :

وتعطى نقطة القدرة القصوى(Maximum power point) : هي النقطة التي تكون عندها القدرة المتولدة من الخلية الكهروضوئية أكبر ما يمكن ، أي أن نقطة القدرة العظمى (MPP) هي نقطة القمة بين خط التيار و خط الجهد على مخطط (I-V) التي تعطى أكبر مساحة على هذا المخطط كما في الشكل (II-18).

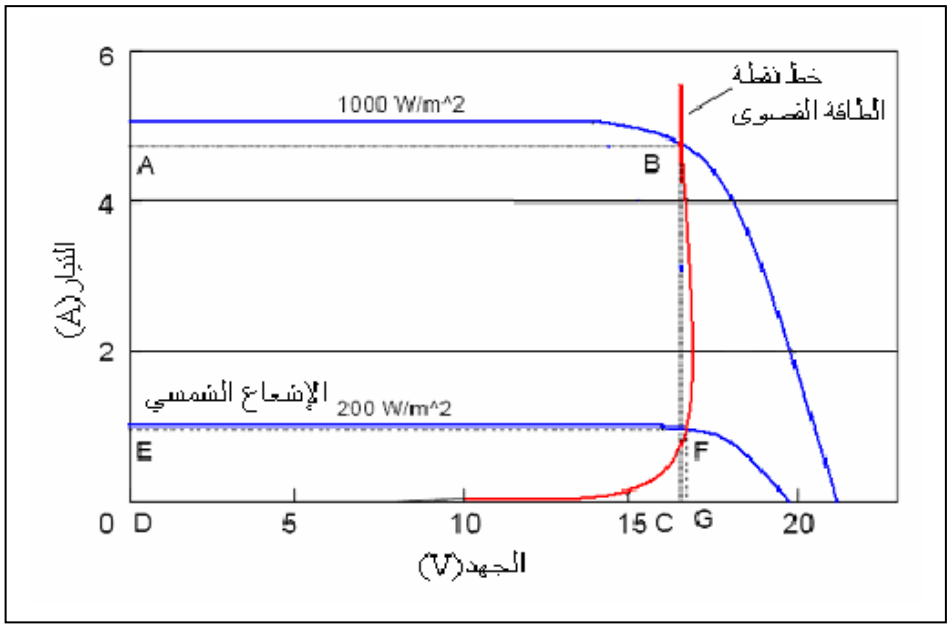


الشكل(II-18): منحنى خصائص الجهد و التيار لخلية سيليكونية و يبين نقطة القدرة العظمى (MPP)

ونحسب نقطة القدرة العظمى (MPP) بحاصل الضرب بين النقطة القصوى للتيارImp ، و النقطة القصوى للجهد Vmp : [5]

$$\boldsymbol{P(mp) = V(mp) * I(mp)} \qquad \text{.....} \qquad \textbf{(II - 5)}$$

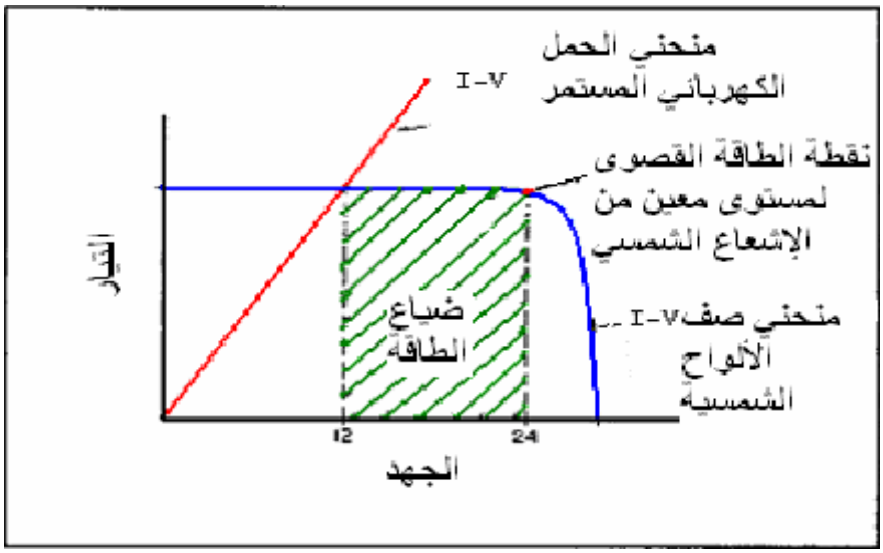
إن تغير في شدة الإشعاع الشمسي الساقط و درجة حرارة الخلية الكهروضوئية يؤدي إلى تغير موقع نقطة القدرة العظمى (MPP) و الشكل (II-19) يبين خط تغير نقطة القدرة العظمى إبتدءا من شدة إشعاع $200W/m^2$ حتى شدة إشعاع $1000W/m^2$.



الشكل (II-19) :خط تغير نقطة القدرة العظمى

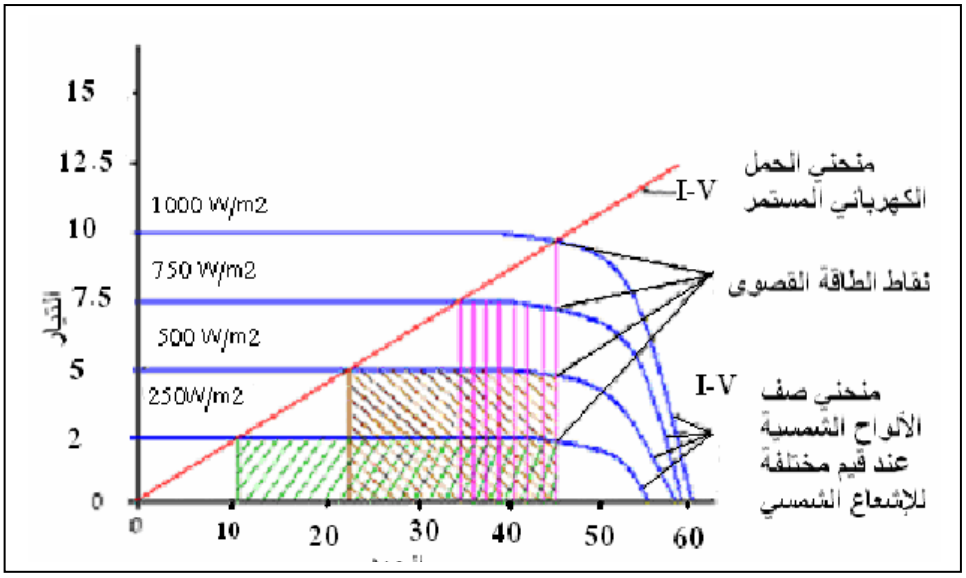
يكون تيار الحمل الكهربائي المستمر (DC) و جهده على مخطط (I–V) بشكل خط مستقيم مائل ، فعند زيادة الطاقة الكهربائية الأولية يرتفع بنسبة ثابتة للجهد .

فإذا تم تصميم المولد الكهروضوئي لتوليد (24 V) و الحمل يتطلب (12 V) فقط فإن الحمل سيستجر الطاقةالتي تقابل (12 V) و بالتالي سيكون هناك ضياع في الطاقة ، الشكل يبين خط الحمل الكهربائي و خط القدرة الذي لم يصمم بشكل صحيح .[5]



الشكل (II-20): خط الحمل الكهربائي و خط القدرة الذي لم يصمم بشكل صحيح

أيضا هناك إختلاف مستمر في مستوى تيار الطاقة الكهروضوئية الذي يتغير بدوره حسب التغير في مستوى الإشعاع الشمسي الساقط المتوفر على مدار اليوم ، و بالتالي : يتغير موقع نقطة الطاقة العظمى بشكل مستمر على المخطط (I(V)) أدت هذه التقلبات في موقع نقطة الطاقة العظمى و عدم تساوي هذه النقاط مع بعضها البعض إلى وجود عدة نقاط على طول الخط المستقيم المائل للحمل الكهربائي المستمر كما في الشكل (II-21) .



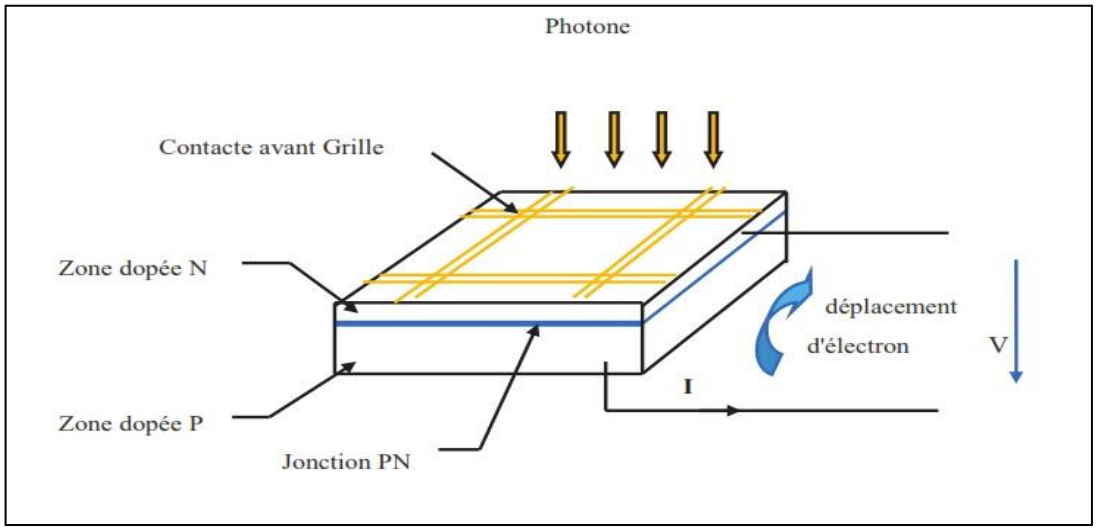
الشكل (II-21) : تغير موقع نقطة الطاقة العظمى تبعا للإشعاع الشمسي

لذلك يجب أن يؤخذ بعين الإعتبار أثناء تصميم النظام الكهروضوئي مساواة خط الحمل الكهربائي على مخطط (I(V)) مع نقاط القدرة العظمى لتصميم نظام يعمل بكفاءة عالية بشكل عام .

II-10- الفعـــل الكهروضوئـــي :

هو عملية تحويل الطاقة المنبعثة من الشمس على شكل فوتونات إلى طاقة كهربائية ، بإستخدام مكونات أشباه الموصلات تدعى الخلايا الكهروضوئية . و كلمة الكهروضوئية (photovoltaique) مشتقة من عمل الخلية فكلمة (Photo) تعني الضوء ، وكلمة (voltaique) تعني الكهرباء ، وهذا يعني تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء .

تستند الخلية الكهروضوئية على ظاهرة فيزيائية تدعى الفعل الفوتوضوئي الذي يتكون في إنشاء قوة كهرومغناطسية عند تعرض سطح الخلية إلى الضوء . الجهد المتولد يمكن أن يتغير بين (0.3 – 0.7 V) حسب وظيفة المواد المستخدمة و قواعدها ، و كذلك درجة حرارة الخلية و شيخوخة الخلية . [16]



الشكل (II-22) : رسمبياني لخلية كهروضوئية

II-11- الجوانب الإيجابية و السلبية لإستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

II-11-1- الجوانب الإيجابية :

1- الطاقة الشمسية الكهروضوئية متجددة ومجانية .

2- طاقة هائلة من حيث مخزونها .

3- متواجدة في كل مكان فلا حاجة لنقلها و توزيعها

4- تعد مصدرا نظيفا من حيث تأثيرها على البيئة و غير خطرة الإستعمال .

5- يمكن تركيبها في كل مكان، حتى في المناطق النائية .

6- تقدم حلا عمليا للحصول على الكهرباء بتكلفة أقل .

7- لها عمر زمني طويل (حوالي 25 سنة) .

II-10-2- الجوانب السلبية :

1- تكلفة صناعة الألواح الكهروضوئية عالية .

2- عندما يكون تخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات ضروريا، تزداد تكلفة النظام الكهروضوئي .

3- كفاءة التحويل الفعلي للوحدة الضوئية منخفض .

4- الكفاءة الكهربائية تنخفض مع الوقت .

5- عدم تواجد أشعة الشمس بإستمرار خلال اليوم ، حيث تتوفر فقط لساعات معينة و ذلك يسبب مشاكل عملية في إستخدامها .

6- تأثر كفاءتها بالغبار و الأتربة حيث يجب تنظيفها كل ثلاثة أيام .

الفصل الثالث
التغذية الكهربائية لمنزل بالألواح الشمسية

III–1– تمهيد :

تعتبر ألواح الطاقة الشمسة أحد الحلول البديلة في مجال إنتاج الطاقة والتي أحدثت ثورة صناعية كبيرة وتعقد عليها العديد من الآمال في المستقبل لتوليد الطاقة الكهربائية، إذ أنّ الألواح الشمسية تستفيد من الطاقة الشمسية وتقوم بتحويلها إلى طاقة كهربائية، ويمكن استخدامها بشكل مباشر في المنزل عن طريق تركيبها على سطح المنزل وهي الفكرة المدعمة من قبل الكثير من دول العالم ، بالإضافة إلى إمكانية عمل حقول من ألواح الطاقة الشمسية والتي تعمل على تغذية مدينة بأكملها أو ما شابه ، وبالإمكان بعد تحويل الطاقة الشمسية تخزينها في بطاريات خاصة وذلك لتكون الطاقة الكهربائية متوفرة في حال عدم سطوع الشمس ، وتعتبر ألواح الطاقة الشمسية من أهم المصادر التي يتم التخطيط للاعتماد عليها كمصدر متجدد وبديل لإنتاج الطاقة في الوطن العربي على وجه الخصوص وذلك لتوافر أشعة الشمس بشكل كبير جداً.

III–2– المكونات الأساسية للنظام الفوتوضوئي :

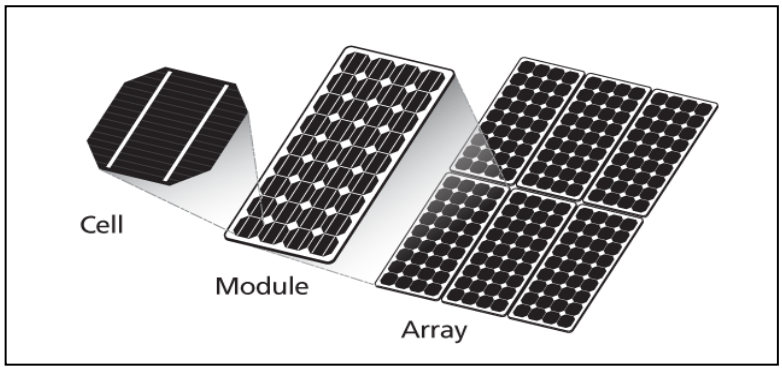
يتكون التركيب الفوتوضوئي على أربع عناصر مهمة :

III–2–1– الألواح الشمسية :

تعتبر الألواح الشمسية العنصر الرئيسي والأساسي في أنظمة الطاقة الشمسية للمنازل حيث تكمن فيها تكنولوجيا تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية. واللوح الشمسي (Module)كما هو واضح في الشكل (III –1) عبارة عن مجموعة من الخلايا الشمسية المتصلة ببعضها البعض بطريقة تسلسلية أو بالتوازي وموضوعة في إطار واحد ' أما إذا تم وضع مجموعة ألواح في إطار واحد كبير فتسمى " مصفوفة "(Array) كما في حالة المشاريع الضخمة ومحطات توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية .

إطار التثبيت له أهمية كبيرة في تحديد المساحة و المكان و زاوية الميل اعتمادا على وضع المنزل و المكان الجغرافي و عوامل أخرى كثيرة حيث يتم تثبيتها عندما يكون الإشعاع الشمسي عمودي عليها أي على حسب زاوية خط العرض φ .

معظم الألواح الشمسية الكهروضوئية المستعملة في التطبيقات الفوتوضوئية هي الألواح المصنوعة من الخلايا السيليكونية متعددة التبلور نظرا لأنها تعتبر الأرخص من ناحية السعر ولكنها أقل كفاءة من الألواح المصنوعة من الخلايا السيليكونية أحادية التبلور.



الشكل (III -1) : اللوح الشمسي

III-2-2- منظم الشحن :

منظم شحن الطاقة الشمسية أو ما يسمى كذلك المعدل الشمسي هو جهاز إلكتروني يقوم بتنظيم الجهد الكهربائي الوارد من الخلايا قبل مروره الى البطاريات و الصادر من البطارية الى الحمل الكهربائي و ذلك للمحافظة على البطاريات المستخدمة و التأكد من شحنها واستخدمها بصورة أمثل .

الشكل (III- 2) : منظم الشحن

III-2-2-1- وظائف منظم الشحن :

- تنظيم شحن البطاريات بمعنى السماح بالشحن الكامل دون الوصول إلى حالة الشحن الزائد .
- تنظيم الجهد الكهربائي الوارد من الألواح قبل مروره الى البطاريات .
- فصل التيار الكهربائي عن البطاريات عند وصولها إلى حدودها الدنيا من التخزين .
- يحمي النظام من التيارات الكهربائية الزائدة أو الناقصة أو المتقلبة بفضل إحتواءه على فيوزات و دوائر خاصة لذلك .
- يعمل كنظام مراقبة عن طريق المقاييس المستخدمة فيه بحيث يمكن أن يعطي ضوء إنذار عند حالات العمل غير النظامية

III-2-2-2- أنواع الشواحن المستخدمة في الأنظمة الكهروضوئية :

هناك نوعين أساسيين من الشواحن هوما MPPT و PWM .

أ- منظم الشحن PWM :

منظم الشحن القديم من نوع PWM و هي إختصار للكلمات(pluse-width modulation) يقوم بتقليص الجهد المتأتي من الألواح الشمسية لتحويله إلى الجهد المناسب لشحن البطاريات و هذا ما يتسبب في فقدان بعض الطاقة و تقليل كفاءة النظام . وهذه أهم عيوب منظم الشحن PWM . قيمة الكفاءة الضائعة مع هذا النوع من منظمات الشحن مرتبطة بالفرق بين قيم الجهد في الألواح الشمسية

و البطاريات و ميزة منظم الشحن PWM هي أن ثمنه رخيص مقارنة بالنوع الثاني MPPT . لذلك توجد حالات يمكن أن نختار فيها هذا النوع رغم قلة كفائته مقارنة بالنوع الأخر و هو موضح في الشكل (III- 3).

الشكل (III - 3) : منظم الشحن PWM

ب–منظم الشحن MPPT :

سميت هذه الشواحن ب MPPT إختصارا من العبارة الإنجليزية (Maximum Power Point Tarcking)، و هو متطور على منظم PWM من ناحية الكفاءة . فهو يستغل الطاقة القصوى للألواح الشمسية ، فهذا المنظم يأخد الجهد المناسب لأفضل كفاءة للنظام مهما إختلف الطقس و إختلفت قيمة الإشعاع الشمسي ، ففي الماضي كان يتوجب تقريب الجهد الذي تولده الألواح إلى جهد البطاريات لتحسين الكفاءة . كما أن سعر منظم MPPT أعلى من سعر منظم PWM و هو موضح في الشكل (III – 4).

الشكل (III–4) : منظم الشحن MPPT

III-2-3- البطاريات:

إن الطاقة الشمسية غير متوفرة على مدى فترة أداء النظام الكهروضوئي ، لذلك يفرض استخدام بطاريات لتخزين الطاقة و تفريغها عند الحاجة أي أن لها وظيفة مزدوجة. هناك العديد من أنواع البطاريات و لكن غالبية البطاريات المستخدمة في الأنظمة الشمسية تكون في حدود 12 فولط أو 24 فولط .

III-2-3-1- أنواع بطاريات الطاقة الشمسية :

أ- بطاريات الرصاص المفتوحة (FLA) :

سميت بهذا الإسم لأن فيها سائل يجب تغييره كل فترة معينة (كبطاريات السيارات) . و هذا النوع من البطاريات هو الأقدم و الأكثر إستعمالا ، وتتراوح قدرة البطاريات المفتوحة الخاصة بالطاقة الشمسية بين 100 و 500 AH ، و عمرها قد يصل إلى 10 سنوات .

ب- بطاريات الرصاص العازلة للماء (المغلقة) VRLA :

هذا النوع من بطاريات الطاقة الشمسية شبيه بالنوع الأول إلا أنه لا يستحق تغيير أي سائل أي أنه لا يستحق صيانة و ينقسم هذا النوع بحد ذاته الى أنواع أخرى و هي :Wet، Gel و Agm.

ومن محاسن بطاريات الرصاص بنوعيها كالأتي :

- طول عمرها المفترض .
- السعر جيد وجودة عالية .
- لا تستحق هذه البطاريات صيانة كبيرة أو لا تستحقها إطلاقا مع البطاريات العازلة .
- بإمكانها أن تشحن بتيار ضعيف .
- يمكنها أن تقاوم درجات الحرارة الخارجية بشكل جيد .

ت-بطاريات النيكل و الكاديوم NI-CD و بطاريات النيكل و هيدريد المعادن NI-MH :

هذان النوعان من بطاريات الطاقة الشمسية متشابهان و تتشاركان في بعض المحاسن و المساوئ.

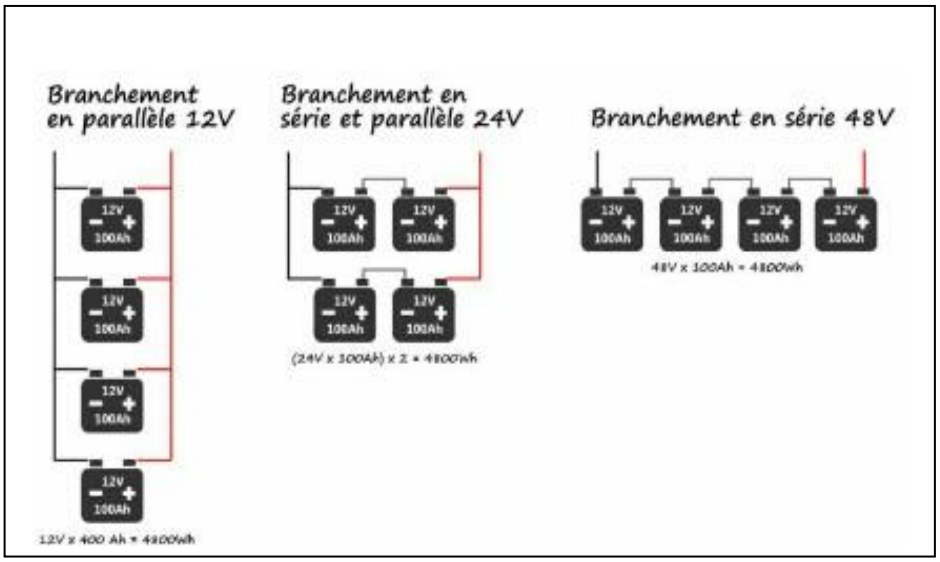
- و من محاسن هذه البطاريات المشتركة :
- توفرها بقدرات صغيرة و بأشكال مختلفة .
- حجمها أصغر من حجم بطاريات الرصاص (مقارنة بقدرة موحدة) .
- متوفرة بقيم مختلفة للجهد الكهربائي 2.4 فولط ، 3.6 فولط ، 4.8 فولط ، 12 فولط .
- تقاوم إرتفاع درجات الحرارة بكيفية جيدة جيدا .
- لكن من مساوئ هذا النوع من بطاريات :
- لديها إفراغ شحن تلقائي .
- شحنها صعب في درجات الحرارة تقل عن 0 درجة .

ث– بطاريات الليثيوم LI–ION :

تستعمل بطاريات الليثيوم اليوم في الكثير من الأجهزة المحمولة كالحواسيب المحمولة و ذلك بسبب صغر حجمها و خفة وزنها مقارنة بسعتها و من مميزات هذه البطارية كذلك أنها سريعة الشحن ، لكن رغم ذلك فإن هذا النوع من البطاريات لا يعتبر متأقلما بدرجة كبيرة مع نظام الطاقة الشمسية ، لأنها تستوجب طريقة شحن دقيقة جدا . أي أنها لا تستطيع التأقلم مع التيار المتغير بشدة الذي تولده الألواح الشمسية . بالإضافة إلى ذلك فإن بطاريات الليثيوم معروفة بالأضرار التي تسببتها في حالة تجاوزها للحد الأقصى لشحنها المسموح ، وهذا يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارتها أو إنفجارها في بعض الأحيان . لهذا السبب فإن إستعمال منظم الشحن ذو جودة عالية مع بطاريات الليثيوم في نظام الطاقة الشمسية أمر لا غنى عنه ، خاصة و أن الجهد المتأتي من الألواح عادة ما يتجاوز بكثير جهد شحن البطاريات .

III–2–3–3– توصيل بطاريات الطاقة الشمسية :

إن تركيب البطاريات شبيه تماما بتركيب الألواح الشمسية كما ذكرنا سابقا ، فإن أردنا أن نزيد من الجهد نقوم بتوصيل البطاريات على التسلسل . و إن أردنا أن نزيد من التيار أو القدرة نقوم بتوصيل البطاريات على التوازي . وإن أردنا زيادتهما معا نقوم بالتوصيل المزدوج (بالتوازي و التسلسل معا) ، أي أننا نتحكم بالجهد و القدرة كما نشاء ، الشكل (III – 5) يبين تغير الجهد (V) و القدرة (AH) مع طريقة توصيل البطاريات .



الشكل (III– 5) : توصيل البطاريات

III-2-3-4- مواصفات البطاريات :

من أجل إختيار البطاريات المناسبة لنظام الطاقة الشمسية الخاص بنا يجب أن نعرف أولا ما هي مواصفات البطاريات ، و من أهم هذه المواصفات نذكر :

- الجهد الكهربائي .
- جهد الشحن .
- قدرة البطارية أو الإستطاعة .
- معدل التفريغ .
- معدل الشحن .

III-2-4- محول التيار (العاكس) :

هو العنصر المسؤول عن تحويل الكهرباء من تيار مستمر إلى تيار متناوب . و هو عنصر ضروري في كل أنواع الأنظمة الشمسية للمنازل لأن أغلب الأجهزة المنزلية تعمل بالتيار المتناوب، و التيار الذي تنتجه الألواح الشمسية هو تيار مستمر و هو أخر مرحلة و بدونه لن تكون هناك قيمة حقيقية للألواح الشمسية .

الشكل (III – 6): محـول التيـــار

III-3- الدارة الكهربائية الموافقة للنظام الكهروضوئي :

يتم تركيب الدارة الفوتوضوئية على الشكل التالي : نقوم أولا بربط الأسلاك القادمة من الألواح الشمسية بمنظم الشحن بالمكان المخصص بالألواح ، ثم بعد ذلك نقوم بربط البطاريات بمنظم الشحن ، بعدها نربط محول التيار بالمكان المخصص له في المنظم ، و بعد ذلك نوصل الأسلاك من محول التيار إلى المنزل ، وبعدها نستطيع الإستفادة من الطاقة الكهربائية التي تنتجها الألواح . و الشكل (III – 6) يوضح طريقة ربط الأجهزة .

الشكل (III – 6) : الدارة الكهربائية للنظام الفوتوضوئي

III–4– وصف المنزل :

يقع السكن المدروس في مدينة ورقلة :

- عدد الأشخاص :4 أشخاص
- المكونات : يتكون من غرفتين للنوم ، غرفة معيشة ، مطبخ ، حمام و رواق .

III–5– حساب كمية الطاقة التي يستهلكها المنزل خلال اليوم:

- من أجل حساب الطاقة التي يستهلكها المنزل فإن علينا حساب الطاقة التي يستهلكها كل جهاز على حدة ، و تعرف بأنها إستطاعة الجهاز (P) مضروبة في مدة التشغيل (Δt) ، و يرمز لها بـ E و وحدتها هي الكيلوواط ساعي (Wh) ، و تعطى حسب العلاقة التالية [16] :

$$E_i = P_i * \Delta t_i \quad \ldots\ldots\ldots \quad (III–1)$$

- و بالتالي فإن الطاقة الكلية التي يستهلكها المنزل خلال اليوم هي مجموع الطاقات المستهلكة من قبل الأجهزة ، و تعطى بالعلاقة التالية :[16]

$$Ec = \sum E_i = E1 + E2 + \cdots + En \quad \ldots\ldots\ldots \quad (III–2)$$

يوضح لنا الجدول الأتي الأجهزة الكهربائية المستعملة في المنزل :

في هذا الجدول سنحسب الطاقة لمختلف الأجهزة التى تتوفر في هذا المنزل ثم نحسب مجموع هذه الطاقات .

المكان	الأجهزة	العدد	الإستطاعة(W)	مدة التشغيل اليومية(h)	الطاقة المحسوبة يوميا (Wh)
غرفة المعيشة	- التلفاز	1	180	3	540
	- مصباح	6	60	4	240
	- المكيف	1	586	6	3516
غرفة الأباء	- مصباح	1	15	3	45
	- تلفاز	1	35	1	35
غرفة الأطفال	- مصباح	1	15	4	60
	- حاسوب أرضي	1	100	2	200
المطبخ	- ثلاجة	1	45	24	1090
	- مصباح	1	15	3	45
الحمام	- مصباح	2	40	2	80
	- آلة غسيل	1	560	1	560
الرواق	- مصباح	2	30	2	60
المجمـــوع			**1671**		**6471**

جدول (III -1) : الأجهزة الكهربائية المستعملة في المنزل

و منه فإن الطاقة الكلية التي يستهلكها المنزل في اليوم الواحد هي :

$$Ec = 6{,}471\ KWh/j$$

III–6– حساب الطاقة اللازم إنتاجها من قبل كل الألواح :

- كما نعلم أن الألواح الشمسية تنتج تيار مستمر(DC) والذي يصل إلى المنزل تيار متناوب(AC) ، ولذا فإنه يحدث هنالك ضياع في الكمية التي تنتجها الألواح عند مرورها بمحول التيار ، كما يحدث أيضا ضياع في هذه الكمية عند مرورها بالأجهزة الأخرى (منظم الشحن و البطاريات) ، و بالتالي فإن الطاقة التي يجب أن تنتجها جميع الألواح تحسب بالطريقة التالية :

$$E_{PV} = \frac{Ec}{\eta_{ond} * \eta re * \eta_B} \quad \text{.....} \quad (\text{III} - 3)$$

$$\Rightarrow \quad E_{PV} = \frac{6{,}471}{0{,}85*0{,}88*0{,}7} = 12{,}36\ KWh$$

حيث :

E_{PV}: طاقة الألواح الشمسية .

Ec : الطاقة المستهلكة من قبل المنزل خلال اليوم .

η_{ond} : مردود محول التيار (العاكس) .

η_{re}:مردود منظم الشحن .

η_B: مردود البطاريات .

- ومنه الطاقة التى يجب أن تنتجها لنا الألواح حوالي :12,36كيلوواط ساعي .

III–7– حساب الإستطاعة العظمى للألواح :

$$P_c = \frac{E_{PV} * \eta_i}{G} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (\textbf{III– 4})$$

$$\Longrightarrow \quad P_c = \frac{12{,}36 * 1}{5{,}6} = 2{,}21 \text{ KW}$$

حيث :

P_c : الإستطاعة العظمى للألواح .

P_i: إستطاعة الإضاءة ضمن الشروط النظامية (1 KW/m^2) .

G : شدة الإشعاع المتوسطة ($\text{KWh/m}^2\text{.j}$) [18] .

III– 8– حساب عدد الألواح اللازمة لتغذية المنزل:

عدد الألواح الشمسية اللازمة لتغذية المنزل هو حاصل قسمة القدرة العظمى للألواح على قدرة اللوح الواحد:

$$N_{PV} = \frac{P_c}{P_{PV}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (\textbf{III – 5})$$

$$\Longrightarrow \quad N_{PV} = \frac{2{,}21 * 10^3}{250} = 8{,}83 \; panneaux$$

نجد أن عدد الألواح اللازمة هو 8,83 لوح أي ما يقارب إلى 9 ألواح شمسية .

III– 9–حساب عدد الألواح الشمسية المربوطة على التسلسل:

من أجل معرفة عدد الألواح المربوطة على التسلسل نقوم بقسمة جهد محول التيار على جهد اللوح [12]

$$Ns = \frac{V_{ond}}{V_{PV}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (III-6)$$

حيث :

V_{ond}: جهد محول التيار .

V_{PV}: جهد اللوح الشمسي (أنظر الملحق 1) .

$$\Longrightarrow \quad Ns = \frac{96}{29,8} = 3,22$$

و منه نستنتج أنه يجب ربط ثلاث ألواح على التسلسل (التوالي) .

III– 10–حساب عدد الألواح الشمسية المربوطة على التفرع :

هي حاصل قسمة عدد الألواح الشمسية على عدد الألواح المربوطة على التسلسل و تعطى بالعلاقة التالية :[12]

$$Np = \frac{N_{PV}}{N_S} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (III-7)$$

$$\Longrightarrow \quad Np = \frac{9}{3} = 3$$

و منه نستنتج أن هنالك ثلاث مجوعات تربط على التفرع (التوازي) .

III– 11– حساب عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقة :

لحساب عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقة يجب أن نحسب أولا سعة البطاريات بعدها نستطيع حساب عددها .

III–11–1– حساب سعة البطاريات :

لحساب سعة تخزين البطارية نطبق العلاقة التالية :[15]

$$C_{Ah} = \frac{Ec*j}{V_B* \eta_B} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (III-8)$$

حيث :

J : عدد الأيام الغائمة .

V_B: جهد البطارية .

$$\Longrightarrow \qquad C_{\text{Ah}} = \frac{6471*3}{12*0,7} = \mathbf{2311,07}\boldsymbol{Ah}$$

III-11-2- حساب عدد البطاريات :

و هو حاصل قسمة سعة البطاريات كلها على سعة البطارية الواحدة :

$$N_{\mathbf{B}} = \frac{C_{\text{Ah}}}{C_{\mathbf{B}}} \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad (\mathbf{III-9})$$

حيث :

$\mathbf{C_B}$: سعة البطارية الواحدة .

$$\Longrightarrow \qquad N_{\mathbf{B}} = \frac{2311,07}{150} = 15,41\ Batterie$$

و بالتالي فإننا نحتاج إلى 16 بطارية .

III- 12- كيفية إختيار محول التيار المناسب :

يكون إختيار محول التيار المناسب على حسب إستطاعة الأجهزة الموجودة في المنزل ، أي يجب أن تكون إستطاعته أكبر من الإستطاعة الكلية للأجهزة .

لدينا : $Pt = 1671\ W$

و عليه فإن محول التيار المناسب للنظام يجب أن يحمل المواصفات التالية :

الإستطاعة	الجهد الداخل	الجهد الخارج	المردود
1800W	96 V	220-240V	% 85

الجدول (III-2) : خصائص محول التيار

III- 13-إختيار منظم الشحن المناسب :

يكون إختيار منظم الشحن حسب تيار دارة القصر (Icc) الذي تنتجه الألواح و بالتالي يجب معرفة أولا عدد الألواح المربوطة على التفرع ، لأنه يجب أن تكون الكمية التي يتحملها المنظم أكبر من الكمية التي تنتجها الألواح .

$$Icc(Np) = Icc * Np$$

$$\Longrightarrow \qquad Icc(Np) = 8,92 * 3 = 26,76\ A$$

إذا منظم الشحن المناسب لهذا النظام يحمل الخصائص التالية :

الأمبيرية	المردود
30A	% 88

الجدول (III-3) : خصائص منظم الشحن

الخلاصة

الخلاصة

بعد إكمال دراسة المشروع تم التوصل إلى أننا نحتاج إلى 9 ألواح شمسية ، 16 بطارية ، محول تيار ذو إستطاعة 1800 واط و منظم شحن ذو أمبيرية 30 أمبير من أجل تغذية المنزل المدروس . وبهذا نكمل تركيب الدارة الكهربائية الموافقة للمنزل ليتم تشغيلها باستغلال الطاقة الكهربائية الناتجة من الألواح الشمسية .

إلاّ أنه يجب مراعاة بعض الأمور عند نصب المنظومة الفوتوضوئية منها ، نصب الخلايا في مكان لا تتعرض فيه للظل ، الصيانة الدائمة والمتمثلة في تنظيفها من الأغبرة ، فهذه الأسباب تنقص في كفاءة عمل الألواح .

وقد وجد أن الطاقة الشمسية طاقة هائلة و غير ملوثة للبيئة ، وهذا ما سيؤدي إلى نقص استعمال الطاقة الأحفورية بشكل كبير جدا من أجل الحفاظ على البيئة . لكن للأسف أن الطاقة الشمسية تواجه بعض المشاكل ألا وهي ، نقص في كفاءة الخلايا ، فهي تتراوح مابين 10% إلى 15% ، كما أن درجة الحرارة المرتفعة تؤثر سلبيا في الكفاءة .

لكن الدراسات في تطور مستمر لزيادة نسبة كفاءة الخلايا و لتخفيض كلفة النظام لكي تصبح الطاقة الشمسية تحتل المركز الأول في تغذية المنازل أو مدينة بأكملها بالطاقة الكهربائية ، فهي تعتبر عملية جد رائعة ، اقتصادية ،هادئة و نظيفة ، لهذا السبب فإن البعض من البلدان تعتمد على الطاقة الشمسية الفوتوضوئية .

قائمة المراجع

قائمـــة المراجـع

- **المراجع باللّغة العربية :**

[2]- سوداني محمد البار، "دراسة نظرية المجمع الشمسي إسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي " ، مذكرة لنيل شهادة الماجستر، جامعة ورقلة 2009

[4]-عيوانة لامية ، " الطاقات المتجددة ودورها في الإقتصاد الجزائري ، دراسة حالة مركز الطاقات المتجددة وحدة البحث التطبيقي في الطاقات المتجددة – غرداية – " ، مذكرة لنيل شهادة الماستر في الاقتصاد و التسيير البترولي ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2014

[5]- سماحي سهيلة ، " فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة و تأثير شدة الإشعاع الشمسي و العوامل المناخية عليها " ، مذكرة لنيل شهادة الماستر في فيزياء الإشعاعات و بصريات إلكترونية ، جامعة ورقلة 2016

[6] أسعد رحمان سعيد الحلفي ، "كتاب هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية " ، البصرة 2010 .

[8] أولاد سالم حليمة، " تقدير الإشعاع الشمسي في منطقة ورقلة و تأثير طرق التتبع الشمسي و زوايا توجيه اللاقط على شدة الإشعاع " ، مذكرة لنيل شهادة الماستر في فيزياء الإشعاع ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2016

[13]- محمد رأفت سيد خليل ، "كتاب الطاقة الشمسية و استخدماتها " ، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع ، القاهرة 2009 .

[14]- علي ناجي حمودي ، " دراسة و تنفيذ و تحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية " ، مطروحة نيل شهادة الماجستر في هندسة القوى الميكانكية ، جامعة تشرين اللاذقية ، 2008-2009

[15]-مدقن حفصة ، " تأثير الإشعاع الشمسي على الخلايا الكهروضوئية " ، أطروحة لنيل شهادة الماستر في فيزياء الإشعاعات كاشف و بصريات إلكترونية ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، 2015 .

[16]-ستيفان.ك.و.كراوتر ، "كتاب توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية " ، ترجمة الدكتور عبد الباسط علي صالح ، الطبعة الأولى 2011

[18]- وزارة الطاقة والمناجم .

- **المراجع باللّغة الأجنبية :**

[1] - Khoudrane Ismail , « Etude d'un systéme de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaiques, mémoire de Master en Energétique , Université KasdiMerbah Ouargla , 2014 .

[3] -Missoum Mohammed , " Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie" , mémoire de Magistère en énergie renouvlables , Université de Chlef , 2011 .

[7] -MatallahSorya ,« dimentionnement et simulation d'un systémephotovoltaique pour alimenter un habitat dans la wilaya d'ouargla » , mémoire de master en énergie renouvelable , U .K.M OUARGLA .2015 .

[9]- ViorelBadescu ," Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface ", Reccent Advances 2008th Edition .

[10]-Mekemeche Abdelkader; " Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n. Etude de quelques cas particuliers de cellules innovantes" , thèse de doctorat en conversions photovoltaiques ; université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem , 2017 .

[11]-Djicknoum Diouf ; " Cellules photovoltaiques silicium à hétérojonctions et à structure interdigitée en face arriére " ; thèse de doctorat en physique ; Université Paris-Sud 11 , 2010

[12]-BENKHELIFA Zahia; DEROUICHEWafa; " Etude de l'irrigation d'un champ agricole par le pompage photovoltaique dans la région de hassi ben Abdallah Ouargla " , mémoire de master en physique énergitique ; université KasdiMerbah Ouargla , 2017

[17] –Benguessoumibrahim ,BarakatNourelisslam , « dimensionnement d'un système hybride pour alimenter une maison isolée » , mémoire de master en energie renouvelables ; U.K.M.Ouargla , 2016

قائمة الملاحق

قائمة الملاحق

الملحق 1 :خصائص اللوح الشمسي المستعمل

نوع اللوح	YL250P-29b
الإستطاعة العظمى	250 W
الجهد المقاس	29,8 V
التيار المقاس	8,39 A
جهد الدارة المفتوحة (Vco)	37,6 V
تيار الدارة المغلقة (Icc)	8,92 A
درجة الحرارة (T)	25 °c
شدة الإشعاع	1000 W/m²

الملحق 2 :خصائص البطاريات المستعملة في هذا النظام