التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية:

تُعدُّ الخلايا الكهروشمسية أحد أهم الأساليب المعروفة والأكثر تفضيلاً لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية في المستقبل القريب ، ويتصف هذا الأسلوب بمزايا عديدة مقارنة مع الأسلوب الترموديناميكي أهمها :

1- عدم الحاجة إلى تنظيم المراحل والعمليات الحرارية اللازمة .

2- تُعدُّ بنية محطات القدرة العاملة بهذا الأسلوب أبسط بكثير، حيث إنها تحتوي ألواحاً ثابتة مما يعطي إمكانية إنقاص وأحياناً الاستغناء كلياً عن صيانة مثل هذه المحطات ، وبالتالي: سيكون استثمارها سهلاً في المناطق البعيدة حيث لا يتوفر الكادر الفني المختص، وبالتالي: فإن مصاريف التشغيل والصيانة قليلة.

3- إمكانية تصميم خلايا كهروشمسية بحجوم مختلفة ومهام متنوعة و يمكن أن تتألف من أقسام مستقلة، وبمردود عمل يتطابق مع مردود الخلية بكاملها.

4- وجود إمكانية كبيرة لتطوير وتصنيع الخلايا الكهروشمسية (العنصر الرئيس في المحطات الكهروشمسية) وذلك بهدف إنقاص حجمها وكلفتها وزيادة استطاعتها.

5- تُعدُّ الخلايا الكهروشمسية ذو موثوقية عمل عالية.

وبالإضافة لذلك فإن الخلايا الكهروشمسية قادرة على العمل بكفاءة وجودة عالية ولمدة طويلة غير محدودة .

تُعدُّ مادة السيليكون أحد أهم أنصاف النواقل المستخدمة في تصنيع الخلايا الكهروشمسية التي تُعدَّ بسيطة التركيب وأصبحت مدروسة بشكل جيد ، ففي عام 1954 تمت صناعة أول خلية كهروشمسية سيليكونية في معهد بل لابس Bell labs في الولايات المتحدة الأمريكية بمردود (6 %) .

ومن الجدير بالذكر أن السيليكون كمادة نقية لا يوجد في الطبيعة على حالة منفردة بل في صورة متحدة، وهو من أكثر العناصر انتشاراً على سطح الأرض بعد الأوكسجين، وهو موجود في الطبقات الخارجية للأرض ويوجد في الطبيعة في صورة أكسيد سيليكا.

تعريف الخلايا الكهروشمسية:

الخلايا الكهروشمسية محولات تأخذ الطاقة من أشعة الشمس وتحولها إلى نوع آخر من الطاقة حيث تقوم الخلايا الشمسية بتحويل نور الشمس إلى كهرباء وتطرد كمية كبيرة من الحرارة بدون أية إجراءات مؤثرة (ضوضاء أو تلوث أو إشعاع أو صيانة ..).

توجه ألواح الخلايا الكهروشمسية بزاوية ميل مناسبة في مواجهة الشمس كي تسقط أشعة الشمس عمودياً عليها. تحوّل الخلايا الشمسية الطاقة الشمسية مباشرة إلى قدرة كهربائية بدون عمليات وسيطية، فهي تمتص معظم الطيف الشمسي وتحول جزءاً من هذه الإشعاعات إلى طاقة كهربائية و يمكن استخدامها في الحال أو تخزينها .

وتصمم المنظومات من هذا النوع أساساً لأجل المنشآت في المواقع البعيدة لفترات طويلة حيث تتصف مثل هذه المواقع عادة بقساوة عالية في طقسها، لذلك يجب أن تكون هذه المنظومات ذات مقاومة عالية للرياح والرطوبة والبرد والعواصف الرملية، وأن تحاط بتصميم ضد هجمات الطيور والحيوانات والتآكل ، لهذا فإن المواد الأساسية التي تثبت بها الخلايا يجب أن تقاوم هذه الأشياء المحيطة ومعدن هذه الخلايا لا يتعرض للتآكل، وهذه نقطة مهمة جداً حيث تصنع غالبية الخلايا الكهروشمسية من السيليكون وهو نصف معدن وقد يكون عازلاً وناقلاً. في حالته كناقل لا تكون إلكترونات ذراته مرتبطة بإحكام مما يؤدي إلى جريانها بسهولة عندما يطبق عليها جهد كهربائي ، بينما تكون إلكترونات ذراته في حالة العازل مرتبطة بشدة ولا يحدث جريان للإلكترونات عندما يطبق عليها الجهد الكهربائي.

ومن أسباب اختيار السليكون أنه:

1- عالي التوصيل الحراري.

2- الثبات الجيد مع الطقس المحيط.

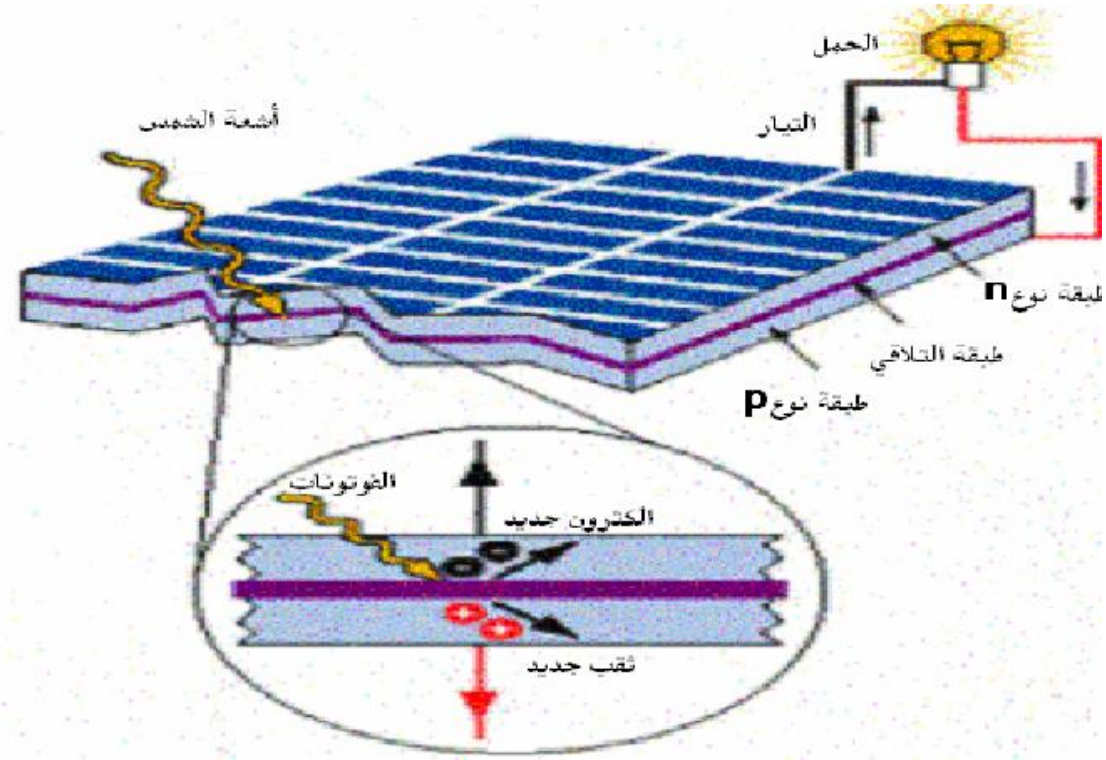
3- عازل ممتاز للكهرباء.

4- عالي القدرة.

طريقة عمل الخلية الكهروشمسية:

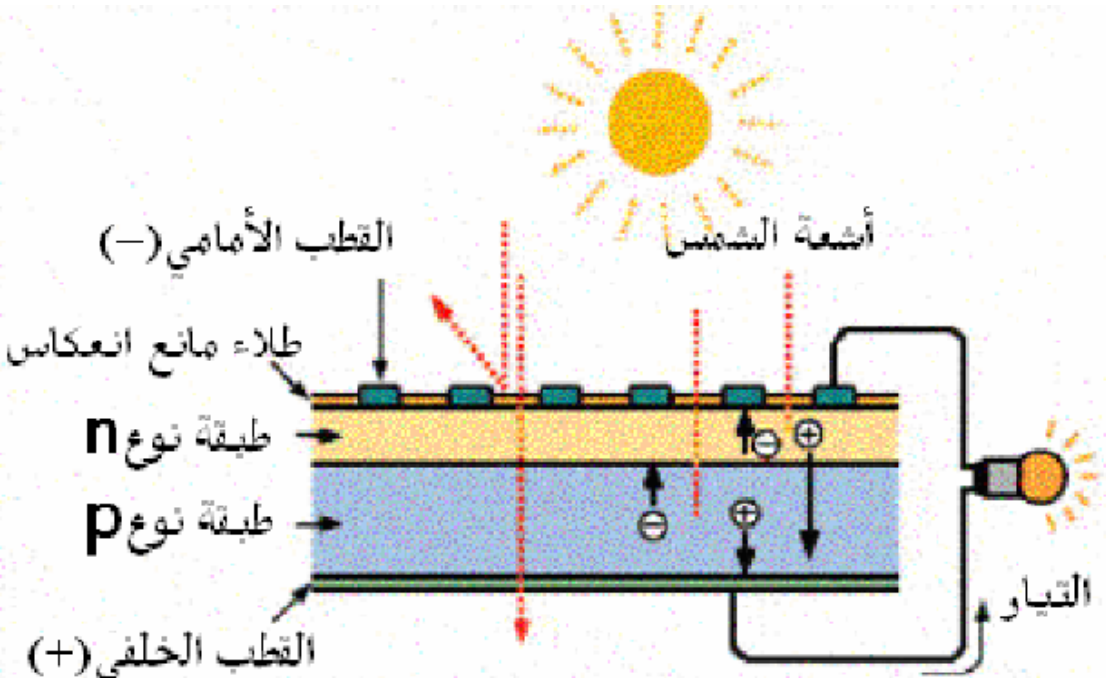
من الشكل (١) نلاحظ أنه عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية، ويُمتص جزء منه بواسطة الطبقة الأولى للخلية وهي الطبقة التي تحتوي على الفوسفور، أما أغلبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك أي الطبقة التي تحتوي على خليط السيليكون بالبورون.

يتكون من خلال هذه العملية إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي في أطراف الخلية، وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية, وبالتالي: يتشكل التيار الكهربائي المستمر. من هنا يمكننا توصيل حمل كهربائي على أطراف هذه الخلية والاستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس على الخلية .



الشكل (١) ميدأ عمل الخلية الكهروضوئية

يبين الشكل (2) مكونات خلية كهروشمسية.



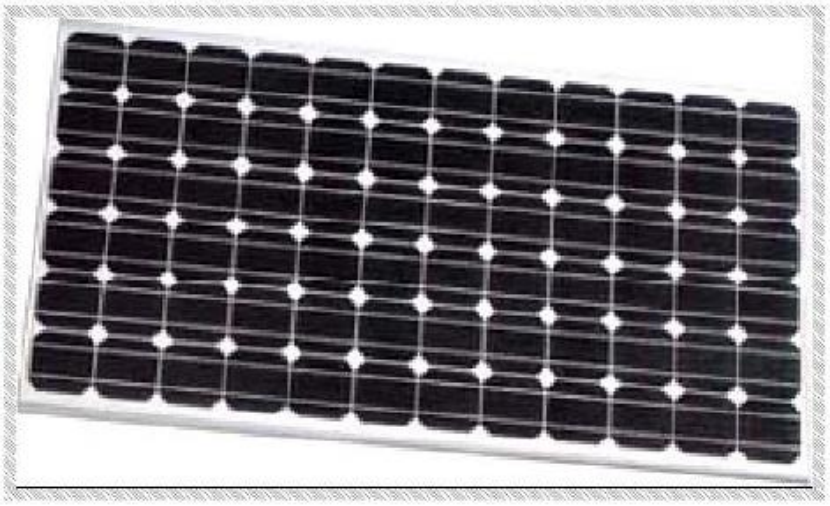
الشكل (٢) مكونات الخلية الكهروضوئية

أنواع الخلايا الكهروشمسية:

1 الخلايا السليكونية:

أ-الخلايا السليكونية أحادية البلورة (monocrystalline silicon sells):

معظم الخلايا السليكونية الأحادية البلورية المتوفرة في الأسواق ذات كفاءة تقارب 15%, وتعرف الكفاءة بأنها النسبة المئوية من الطاقة الشمسية الساقطة على اللوح الكهروشمسي التي يتم تحويلها إلى كهرباء. وبالرغم من ميزة الكفاءة العالية التي تختص بها الخلية الكهروشمسية الأحادية البلورة فإن سعرها مرتفع جداً لكونها مصنعة من سليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة حيث طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة. الشكل (3) يبين لوحاً كهروشمسياً مصنوعاً من خلايا كهروشمسية أحادية .



الشكل (٣) لوح كهروشمسي مصنوع من خلايا كهروشمسية أحادية

ويتم حالياً تصنيع بعض الخلايا من سليكون أقل نقاوة، وهذه الخلايا تكون أرخص سعراً وتنتج بكلفة أرخص باستخدام عمليات مختلفة قليلة الكلفة لكنها ذات كفاءة أقل وعمر زمني أقل.

ب-الخلايا السليكونية المتعددة البلورات (polycrystalline silicon cells):

بالرغم من كون الخلايا الكهروشمسية المتعددة البلورات أرخص وأسهل تصنيعاً من الخلايا الأحادية البلورة بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة، وذلك كون حاملات الشحنة (الإلكترونات

والثقوب) المولّدة من قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السليكون المتعدد البلورات, وقد وُجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السليكون المذاب ببطئ ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل، وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات.

تصل كفاءة الخلايا السليكونية المتعددة البلورات إلى 12% أو أكثر بقليل.

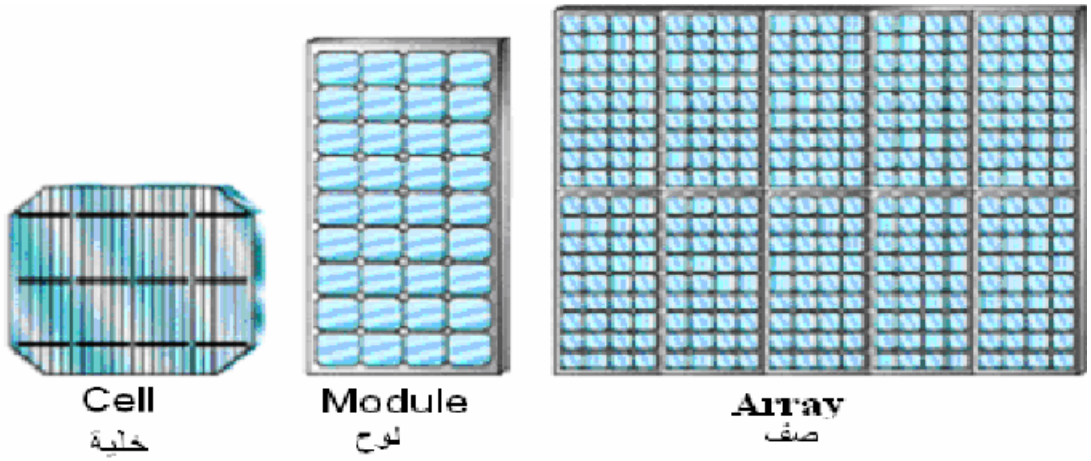
ج- **الخلايا السليكونية العشوائية** (amorphous silicon sells):

يمكن تصنيع الخلايا الكهروشمسية بطريقة أرخص من طرق تصنيع الخلايا السليكونية الأحادية والمتعددة البلورات، وهذه الخلايا تسمى بالخلايا السليكونية العشوائية (A-Si) حيث تكون ذرات السليكون فيها أقل ترتيباً من النوع البلوري. ففي السليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباطاً كاملاً مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرباط المتدلي، وتستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء.

<u>الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروشمسية:</u>

يتألف اللوح الكهروشمسي (Module) من عدد من الخلايا التي تكون موصولة على التسلسل والتفرع مع بعضها البعض ضمن لوحة واحدة، ويجب أن تكون محمية من الماء والرطوبة والحرارة والسقوط حيث توضع الخلايا الكهروشمسية في غلاف محكم مصنوع من الزجاج المسطح المفرد أو المضاعف، ويصل الإشعاع الشمسي إلى هذه الخلايا من خلال الزجاج ويمكن تجميع الألواح مع بعضها لتشكيل الصف (Array) الذي يكون بحجم معين.

تركب الصفوف الكهروشمسية لزيادة مساحة التعرض المباشر للشمس، وتوضع عادة في منطقة خالية من ظل الأبنية والأشجار باتجاه الشمس وبزاوية مناسبة. الشكل (٤) يبين خلية كهروشمسية ولوحاً كهروشمسياً وصفاً كهروشمسياً .

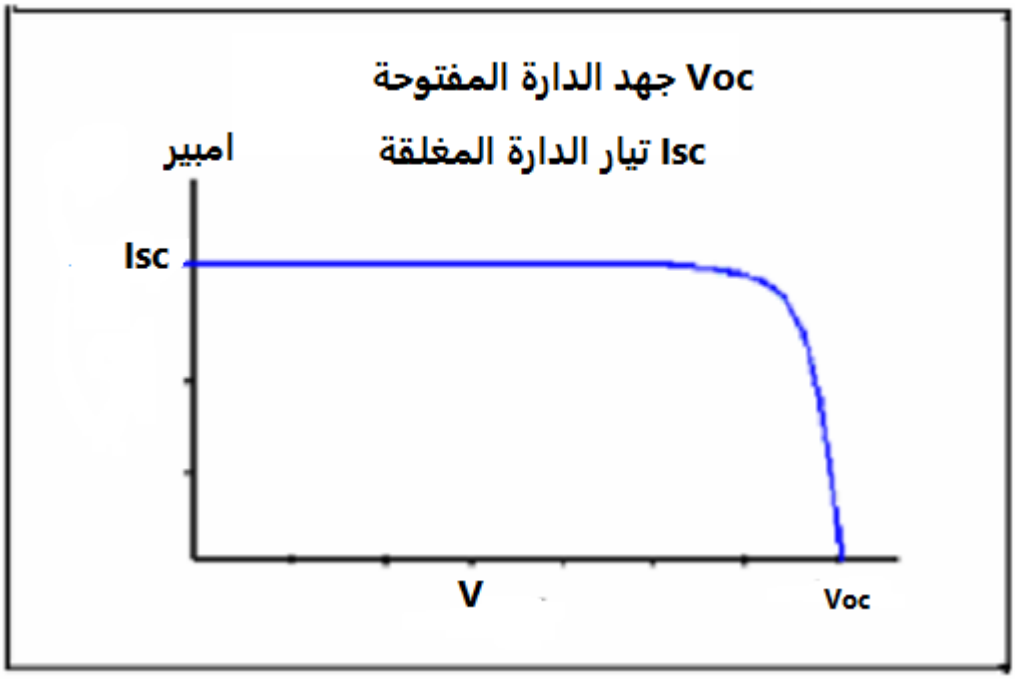


الشكل (٤) : خلية كهروضئية ولوح و صف

تكون الطاقة الكهربائية المتولدة من الخلية الكهروشمسية بشكل تيار مستمر (DC) وتعتمد شـــدة هـــذا التيار على بارامترين: الأول هو الأشعة الشمسية الساقطة، والثاني هو التيار والفولط المطلوب للحمل. ويعتمد مردود اللوح الكهروشمسي على مردود هذه الخلايا.

وتعرف الخلية الشمسية ذات المساحة ($100cm^2$) بأنها بطارية شمسية تقوم بإنتاج فولطية مقـــدارها (0.5v) وتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره مـــابين (2.5-3 A) فـــي حالـــة شـــدة الإشعاع الشمسي القصوى.

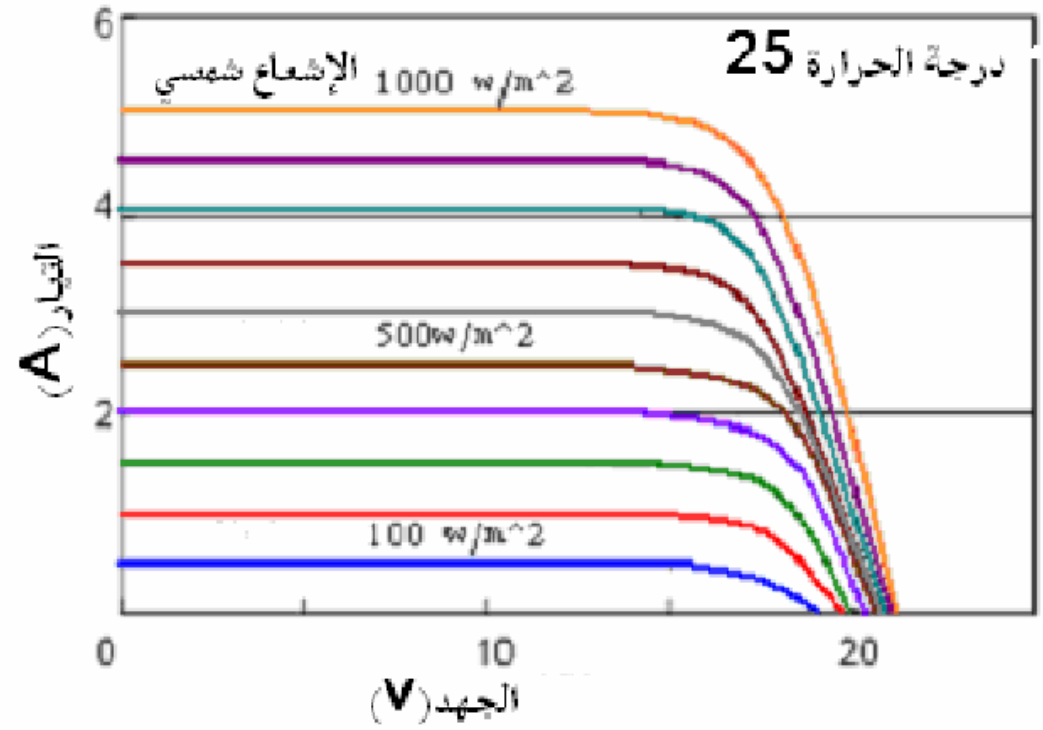
تتحدد الخلية الكهروشمسية بفرق جهد دارتها المفتوحة وتيار دارتها المغلقة والشكل(٥) يوضـــح مخطط (I-V) لخلية كهروشمسية مثالية .



الشكل (٥) مخطط(I-V) لخلية كهروشمسية مثالية

فرق جهد الدارة المفتوحة هو الفولط الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية عندما لا يمر في الدارة أي تيار، وهو الفولط الأعظمي الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية من الإشعاع الشمسي. أما تيار الدارة المغلقـــة فهو التيار المار في الخلية الكهروشمسية إلى دارة خارجية بدون حمل أو مقاومة، وهو التيار الأعظمي الذي تستطيع الخلية الكهروشمسية توليده من الإشعاع الشمسي(تيار القصر).

إن فرق الجهد المتولد من الخلية الكهروشمسية يبقى ثابتاً عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الســـاقط لكن التيار المتولد يتغير بشكل مباشر تبعاً لقيم الإشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية كما فـــي الشكل(٦) .



الشكل (٦) تغير قيم الجهد والتيار تبعا للاشعاع الشمسي

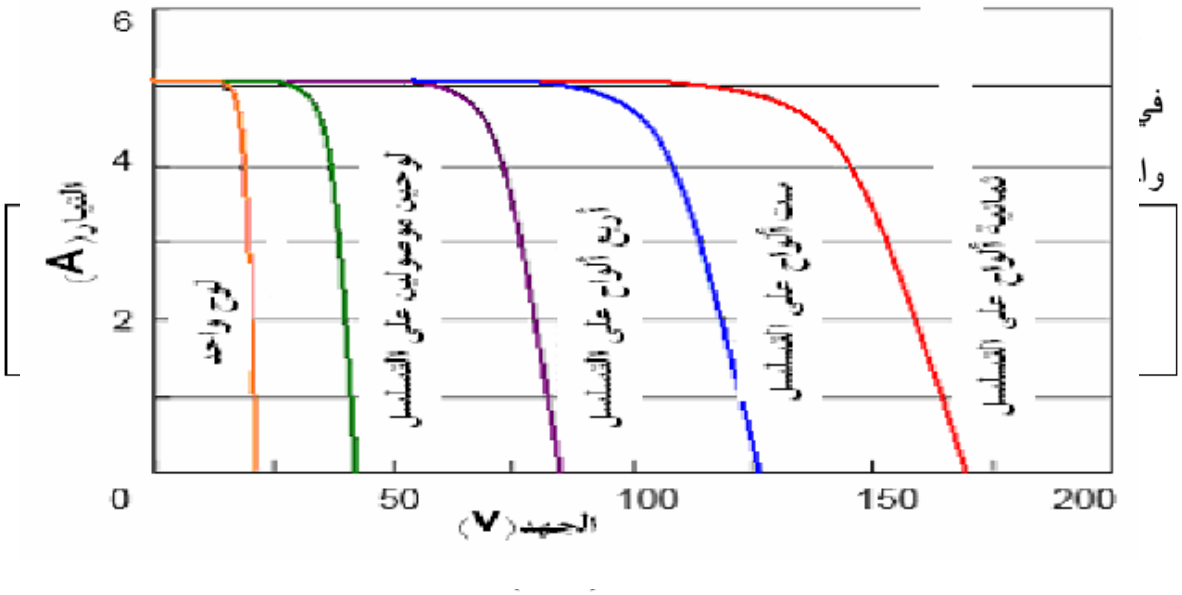
ربط الألواح الكهروشمسية على التسلسل: Modules in Series

في الحالة المثالية عند ربط مجموعة من الألواح الكهروشمسية المتماثلة عددها (n) على التسلسل فإن فرق جهد الدارة المفتوحة يساوي عدد الألواح مضروباً بفولط لوح واحد:

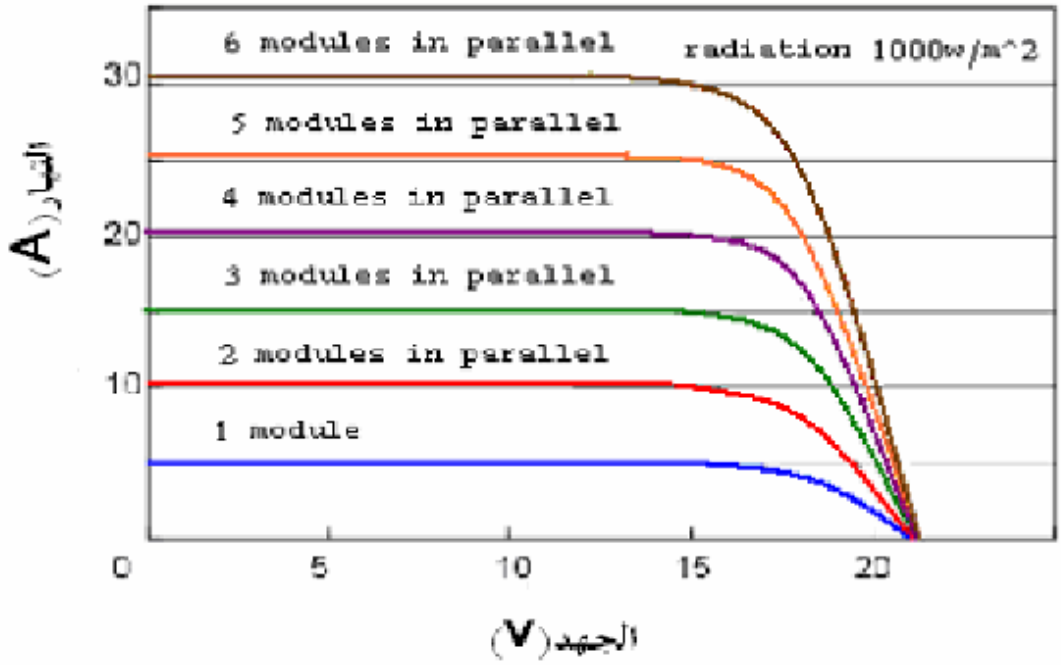
$$V_{sg} = n \cdot V_{oc1} = n \cdot V_{oc2} = n \cdot V_{oc3} = --- = n \cdot V_{ocn} \rightarrow \ (I = 0)$$

$$V_{sg} = \sum V_n = V_1 + V_2 + V_3 + --- + V_n \quad \rightarrow (I > 0)$$

الشكل(٧) يوضح الخاصية المثالية لـ (n) لوح شمسي متماثل مربوط على التسلسل .



الخاصية المثالية للألواح الكهروشمسية المربوطة على التسلسل

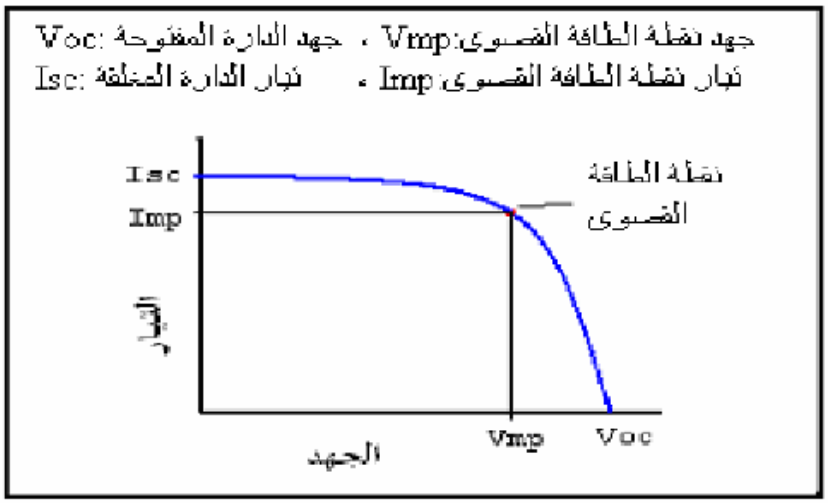


الخاصة المثالية للألواح الكهروشمسية المربوطة على التفرع

الشكل (٧)

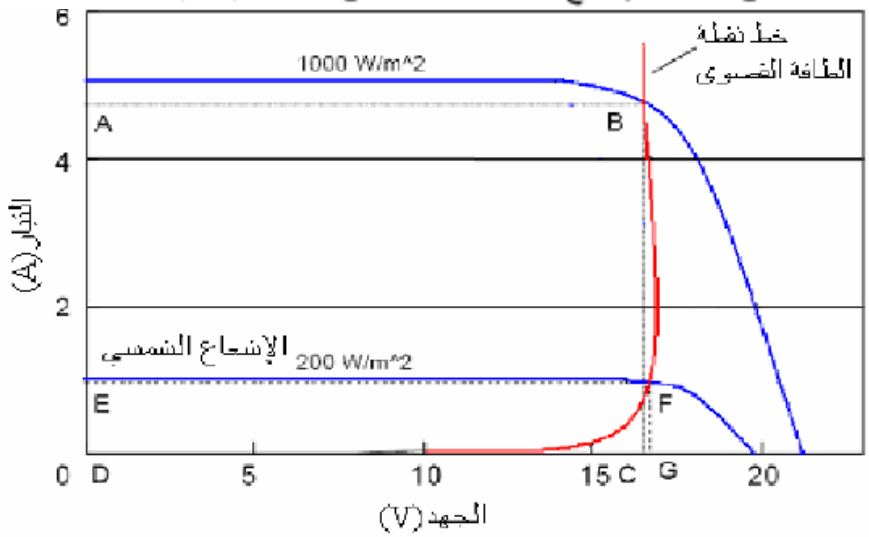
نقطة القدرة العظمى: Maximum Power Point

هي النقطة التي تكون عندها القدرة المتولدة من الخلية الكهروشمسية أكبر ما يمكن، أي إن نقطة القدرة العظمى (MPP) هي نقطة القمة بين خط التيار وخط الجهد على مخطط (I-V) التي تعطي أكبر مساحة على هذا المخطط, كما في الشكل(٨) .



الشكل(٨) نقطة القدرة العظمى (MPP)

إن التغيّر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط ودرجة حرارة الخلية الكهروشمسية يؤدي إلى تغيير موقع نقطة القدرة العظمى (MPP)، والشكل(٩) يبين خط تغيّر نقطة القدرة العظمى ابتداءاً من شدة إشعاع $100W/m^2$ حتى من شدة إشعاع $1000W/m^2$ على مخطط (I-V) .



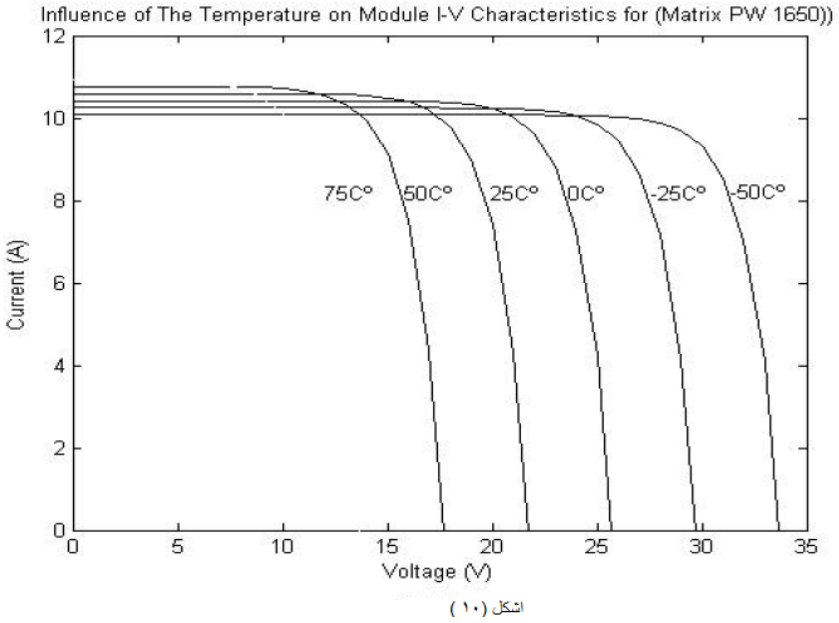
الشكل(٩) خط تغيّر نقطة القدرة العظمى

يستفاد من قيم جهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة المغلقة لتصميم المنظومة الشمسية كما تستخدم في مقارنة جودة الالواح من خلال معامل الامتلاء الذي كل ما ارتفعت قيمته كلما يكون اللوح أفضل

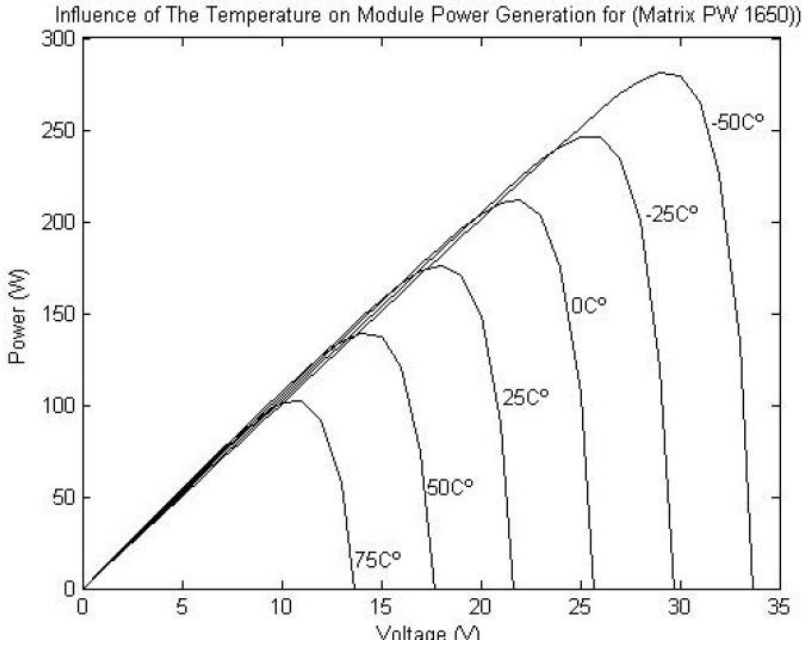
Ff= (Imp*Vmp)/(Isc*Voc)

تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية:

تتفاوت كفاءة أداء الخلية الكهروضوئية عادة عكسيا بدرجة حرارة التشغيل بمعني آخر ينخفض أداء الخلية بارتفاع درجة حرارة الجو المحيط للخلية ، هذا يعني أن الطاقة الكهربائية الناتجة من الخلية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة.
الشكل(١٠)يوضح تأثير درجة الحرارة على منحني خواص الجهد و التيار وكيف يكون لدرجة الحرارة التأثير المباشر في الطاقة الكهربائية المتولدة.
و الشكل ١١ يعزز هذا التأثير في كمية الطاقة الكهربائية المتولدة.



اشكل (١٠)



الشكل (١١)

مثال/ احسب كمية القدرة المستحصله من موقع شمسي يحتوي على 500 لوح شمسي , كل لوح مكون من 100 خلية شمسيه واحسب كفاءة التحويل للمنتجة اذا علمت ان مقدار الطاقة الشمسية التي تسقط على اللوح الواحد تعادل 1000 واط.

القدرة المنتجة من اللوح الواحد= عدد الخلايا * فولتية الخلية الواحدة* تيار الخلية الواحدة

$= 100 \times 0.5 \times 2.5$

$= 125$ واط

القدرة الكلية المنتجة = عدد الالواح × الطاقة المنتجة من كل لوح

$= 125 \times 500$

$= 62500$ واط

$= 62.5$ كيلو واط

كفاءة التحويل=القدرة الخارجة / القدرة الداخلة *100%

$$= \frac{62000}{1000 * 500} \times 100\% \approx 12\%$$

مثال/ اوجد عدد الخلايا المطلوبة لتوليد طاقة مجهزة لمنتج مساوي 50 كيلو واط والمساحة المطلوبة للمحطة الشمسية اذا علمت ان اللوح الواحد يحتوي على 50 خلية شمسية ومساحته 1 متر مربع .

الحل/ القدرة الكلية = عدد الخلايا × قدرة الخلية الواحدة

$C \times 1.25 = 50000$

$$\therefore C = \frac{50000}{1.25} = 40000 \text{ خلية}$$

اما مقدار الطاقة لكل لوح فهي =عدد الخلايا الكلي/ عدد الخلايا في اللوح الواحد

$$= \frac{40000}{50} = 80 \text{ لوح}$$

وبما ان مساحة اللوح الواحد 1 متر مربع فتكون المساحة المطلوبة هي $80\ m^2$

مثال : أحسب القدرة التوليدية للوح شمسي استطاعته 400 w و كان معامل درجة الحرارة 35% عندما كانت درجة حرارة سطح الخلية 40 c°

الحل:

نسبة الخسارة في قدرة الخلية = معامل درجة الحرارة * فرق درجات الحرارة

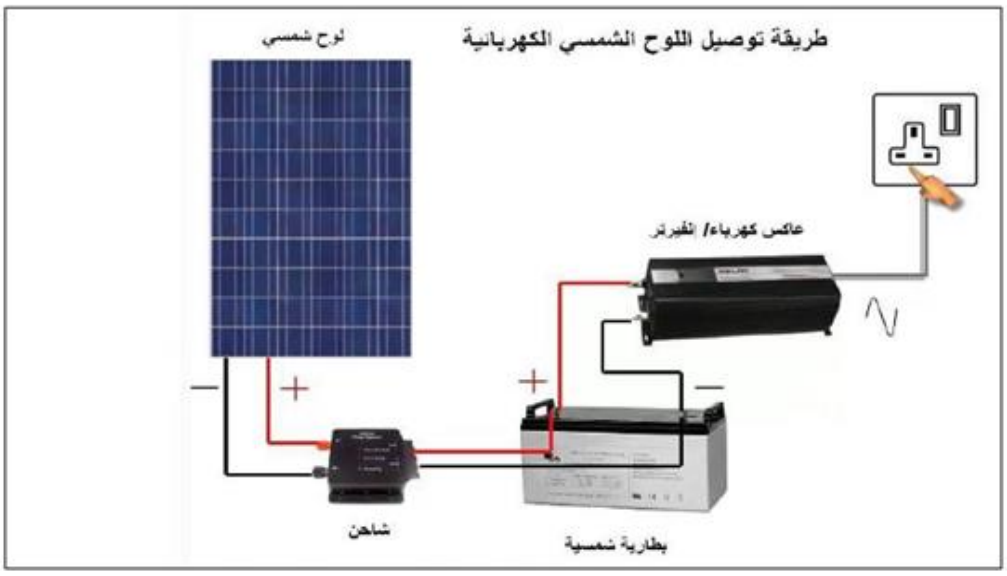
= 0.35 * (40-25) = 5.25 %

مقدار الخسارة في قدرة اللوح = 400 / 100 *5.25 = 21 w

القدرة التوليدية للوح الواحد = 400- 21 = 379 w

يوجد نوعين من الأنظمة الكهروضوئية وهما الموصولة مع الشبكة والتي تغذي الشبكة الكهربائية في حالة القدرة الفائضة والأنظمة المعزولة عن الشبكة ولنتناول هنا الأنظمة المعزولة عن الشبكة

المحطة الكهروضوئية : تتكون المحطة الكهروضوئية من **الالواح الشمسية :** وهي عدة انواع منها خلايا شمسية وسليكون ومركب شبه موصل وخلية غريشل وعضوي وبلورة. **منظم الشحن :** حيث يجب ان يكون الجهد الخارج من الالواح مطابقا لجهد البطارية والذي قد يكون 12 او 24 او 48 فولت، لذلك كان لابد من وجود منظم للجهد للمحافظة على الجهد الداخل الى البطارية لان جهد الالواح يتغير بحسب الاحوال الجوية، كما يعمل ايضا منظم الجهد على حماية البطارية من الشحن الزائد او التفريغ التام للبطارية. **البطارية :** تلعب البطارية دورا مهما في النظام المستقل حيث نحتاج الى تخزين الطاقة، وتعتبر بطاريات الرصاص الحمضية القابلة لإعادة الشحن الاكثر استخداما كما ان سعرها معتدل مقارنة مع غيرها. **العاكس :** يعمل على تحويل التيار المستمر الى تيار متردد كما يعمل على تنظيم الجهد والتردد، يوجد له نوعين هما احادي الطور، ثلاثي الطور.



المحطة الكهروضوئية

مثال: يحتوي منزل في حمص على الأجهزة التالية : براد استطاعته 300 w يعمل 24 h و مكيف 1200w يعمل 6 h غسالة 500 w تعمل 1h و تلفاز 170 w يعمل 4 h لابتوب 75 w يعمل 3h وسبع لمبات استطاعة الواحدة 13 w تعمل 10 h والمطلوب حسابات المنظومة الشمسية لهذا المنزل

الحل :

بشكل عام تتم الخطوات التالية في الحساب : ١- تحديد الموقع ٢- تحديد الاستهلاك الكهربائي ٣- تحديد جهد النظام ٤- عدد البطاريات ٥- عدد الالواح ٦- حساب وتحديد منظم الشحن ٧- حساب واختيار الأنفيرتر ٨- تحديد زاوية ميل الالواح ٨- وضع المخطط العام

١- الموقع حمص درجة خط العرض° 34
٢- حساب الاستهلاك الكهربائي اليومي (تحدد استطاعات الأجهزة من خلال اللوحة الأسمية لكل جهاز)

الاستطاعة الكلية = 300+1200+500+170+75+52 = 2297 w

الاستهلاك اليومي = عدد الساعات * استطاعة الجهاز

اللمبات : 52*10= 520 w.h , التلفاز : 170*4= 680 w.h و براد: 300*24= 7200 w.h و المكيف: 1200*6= 7200 w.h و الغسالة : 500 w.h و اللابتوب 75* 3= 225 w.h

فتكون الاستطاعة الساعية في اليوم الواحد =

16.3 kw.h/d =16325 w h / d=520+680+7200+7200+500+225

نظرا لكل من الاجهزة المستخدمة لها ضياعات مثل الواح الطاقة لا تعطي الاستطاعة الاسمية والانفيرتر و المنظم تستهلك قدرة في عملها لذلك نأخذ عامل الضياعات والذي يتراوح ما بين (10-30 %) لذلك نفرض عامل الضياعات = 0.2

فتكون الاستطاعة المطلوبة = 16.3+(16.3*0.2) = 19.56 kw.h /d

٣- تحديد جهد المنظومة: عادة تحدد جهد المنظومة حسب الطاقة الكلية الكلية : فتكزن جهد المنظومة 12 v للاستطاعة الكلية أقل من 1000 w و جهد 24 v للاستطاعة أقل من 2000w و جهد 48 v للاستطاعة الأكبر من 2000 w

لذلك تكون جهد المنظومة 48v

٤- عدد البطاريات : يحسب أولا الامبير الساعي الكلي كما يلي :

$$Aha = \frac{Ahd * Tc * DA * DM}{DoD}$$

Aha: الامبير الساعي الكلي الذي تزوده البطاريات , Ahd: الامبير الساعي اليومي , Tc: عامل تصحيح درجة الحرارة . افترضت 25 c° في البلاد العربية لذلك Tc=1, DA: عدد الأيام المستقلة (وهو عدد الأيام المتوالية المغيمة) وتؤخذ DA= 1 ويمكن وضع DA= 2-3

بينما في البلاد الاوربية قد تصل عدد الايام الغائمة الى ثمانية أيام , DM: عامل هامش تصميمي, DoD: عمق التفريغ وهو نسبة السحب من البطارية وعادة يقاس عمر البطارية حسب نسبة السحب ويقدرالعمر بعدد مرات التفريغ المسموح بها فمثلا اذا كانت نسبة التفريغ 100% يكون عمر البطارية 400 دورة تفريغ وإذ كانت نسبة السحب 20% تكون عمر البطارية 3800 دورة وهكذا

وبفرض DM= 1

$$Ahd = \frac{\text{المطلوبة الاستطاعة}}{\text{جهد المنظومة}} = \frac{19560}{48} = 407.5\ Ah/d$$

$$Aha = \frac{407.5 * 1 * 1 * 1}{100\%} = 407.5\ Ah \cong 400\ Ah$$

حساب عدد سلاسل البطاريات على التوازي :

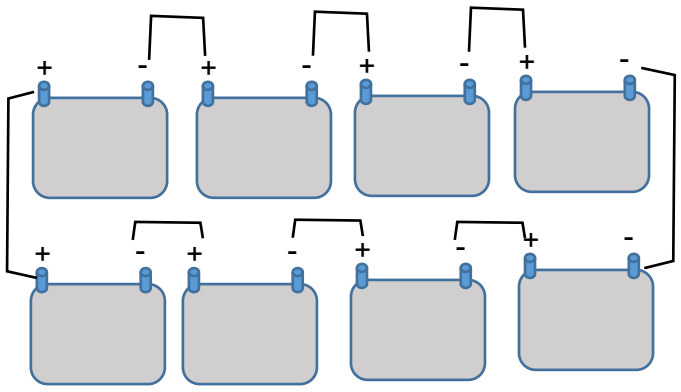
$$\frac{\text{الامبير الكلي الساعي}}{\text{امبير البطارية}} = \frac{400}{200} = 2$$

حيث تم أختيار بطاريات ذات جهد 12 v و 200 A

حساب عدد البطاريات على التسلسل :

$$\frac{\text{جهدالمنظومة}}{\text{جهد البطارية}} = \frac{48}{12} = 4$$

وبالتالي عدد البطاريات =2*4 = 8



٥- حساب عدد الالواح الشمسية المطلوبة:

يجب معرفة المتوسط اليومي الاشعاعي في شهر كانون الأول لانه الأسوأ ويؤخذ من خرائط الاشعاع الشمسي للمنطقة المطلوبة Solar Gis...حيث تم تحديدها PSH= 5.5 وهي عدد ساعات الاشراق المفيدة

ويتم حساب القدرة المطلوبة للالواح الشمسية :

$$\text{الاستطاعة المطلوبة} = \frac{\text{الاستهلاك اليومي}}{PSH} = \frac{19.56}{5.5} = 3.556\ kw$$

يتم اختيار لوح مناسب *325 w*

فيكون عدد الالواح المطلوبة :

$$\text{عدد الالواح} = \frac{\text{الاستطاعة المطلوبة}}{\text{استطاعة اللوح}} = \frac{3556}{325} = 11$$

فتكون استطاعة الالواح =*5.5*11 *325 = 19662 wh/d*

٦- نحتار منظم شحن مركب يحتوي شاحن و انفيرتر مواصفاته:

يجب حساب قدرة الانفيرتر =مجموع الاحمال للاجهزة *عامل امان

عامل الأمان = *% 25-30*

مع مراعاة في حساب احمال الأجهزة التي تتطلب تيار اقلاع العالي في بداية الإقلاع أي في زمن حوالي *4 sec*

تيار الإقلاع = (*3-4*) * تيار العمل المستقر

لذلك في حساب الاحمال يجب ضرب الاستطاعة للجهاز *4* للأجهزة المتطلبة لتيار الاقلاع

أي يصبح مجموع الاحمال = *1200+52+4800+75+170+2000= 8297w* هذا اذا كان الإقلاع لجميع الأجهزة بنفس الوقت لذلك الانفيرتر المختار يجب ان يعطي الاستطاعة المطلوبة

٧-من خرائط الموقع يعطي حمص تقع على خط عرض *34°* لذلك يجب امالة الالواح بزاوية *34* درجة ويتجه الى الجنوب