نظرة عامة حول أنظمة الطاقة الشمسية الضوئية والتشريعات والجدوى الاقتصادية

كتبه

م. سامي حامد العلوني

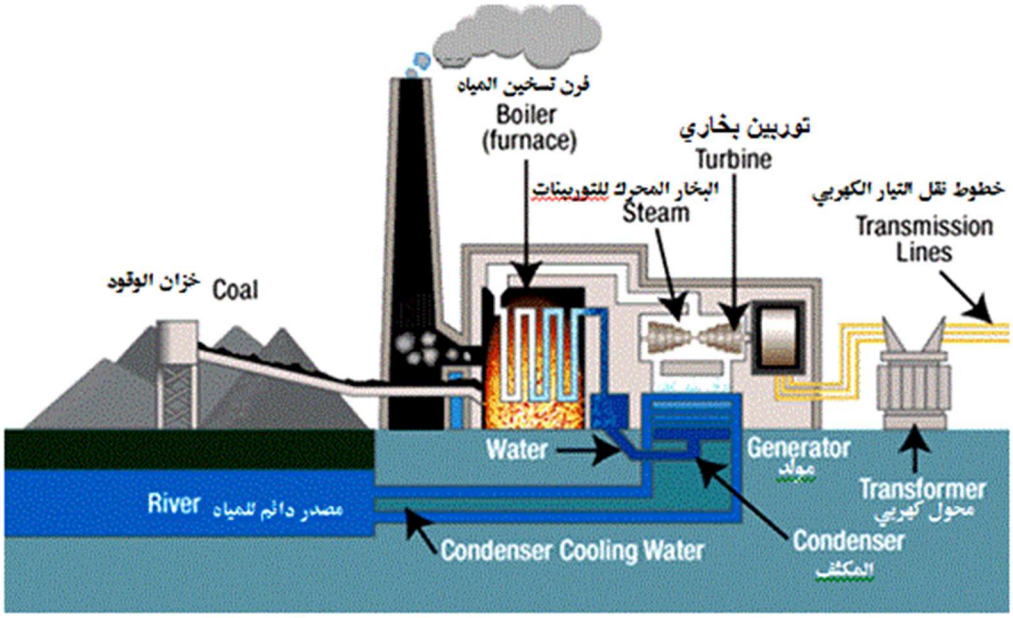
حقوق الطبع محفوظة لدى المؤلف

الطاقة الكهربائية

مقدمه

لا يخفى على القارئ الكريم أهمية الكهرباء في عصرنا الحديث وأنها المحرك الأساسي للحضارة المادية اليوم في كل مناحي الحياة الاجتماعية والصحية والصناعية وغيرها. فلذلك من المهم التحول الى توليد الطاقة الكهربائية بواسطة تقنيات نظيفة غير ضارة للبيئة والانسان والتي تعتمد على قوى الطبيعة التي سخرها الله بهذه الأرض مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة امواج البحر والطاقة الكهرومائية وغيرها.

منذ البدء بتوليد الكهرباء وبيعها بشكل تجاري في اواخر القرن التاسع عشر الى اليوم والوقود الأحفوري من فحم وبترول وغاز مازال يعتبر المصدر والمادة الأساسية التي تحرق لتوليد الطاقة الكهربائية كما في الشكل (1). حيث يتم حرق الوقود الأحفوري لتحويل الماء من شكله السائل الى بخار والذي يعمل على تحريك التوربينات البخارية التي يتصل بها مولد كهربائي يحول طاقة التوربين الحركية الى طاقة كهربائية. بعد ذلك وتحديدا في سبعينيات القرن العشرون تم التوسع باستخدام الطاقة النووية لتوليد الطاقة الكهربائية. نتيجة لذلك, في اواخر القرن العشرين بدأ تأثير التلوث الناجم من هذا التوجه بالظهور مثل الاحتباس الحراري وقامت الحكومات متمثلتا في الجهات والهيئات العلمية والبيئة من اقتراح الحلول للحد من الأضرار البيئة الناتجة من الملوثات المنبعثة من المحطات الكهربائية. من هذه الحلول استخدام الطاقة المتجددة لإنتاج الكهرباء كمصدر نظيف ومستدام غير قابل للنفاد.

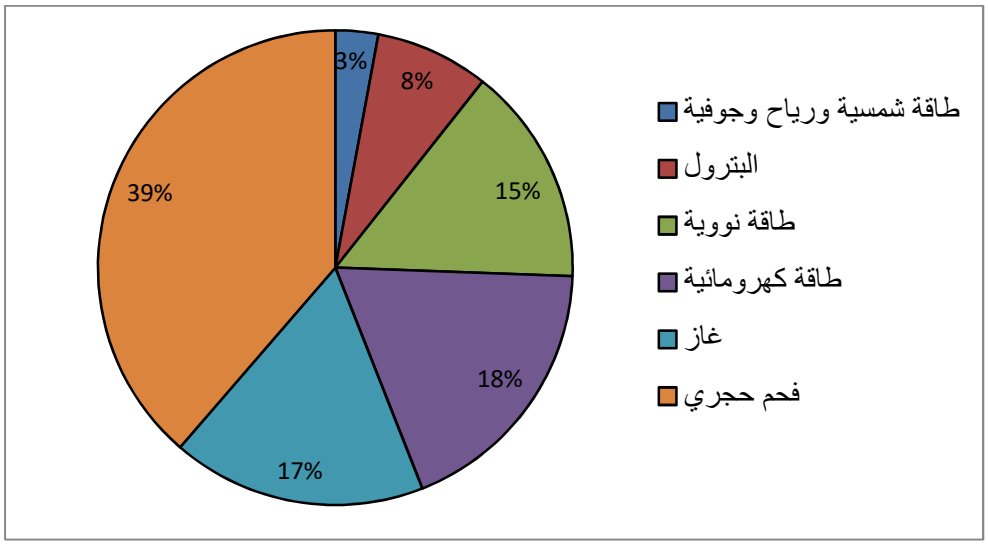


شكل رقم (1): يوضح مكونات إحدى المحطات البخارية الشائعة لتوليد الطاقة الكهربائية

بناء على ما سبق ذكره , من الممكن تقسيم انتاج الكهرباء الى قسمين أساسية:

1- الطرق التقليدية لتوليد الطاقة الكهربائية ويدخل في ذلك الفحم الحجري والبترول والغاز والطاقة النووية
2- الطرق الغير تقليدية (الطاقة المتجددة) ويدخل في ذلك كل من الطاقة الكهرومائية والطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المد والجزر وطاقة امواج البحر والطاقة الجوفية.

في الرسمة التالية (شكل 2) يتضح معنا نسب توليد الطاقة الكهربائية عالميا من كل نوع من أنواع طرق توليد الطاقة الكهربائية لعام 2014. فالفحم والغاز والبترول يمثل ما يعادل 64% والطاقة النووية 15% بينما الطاقة المتجددة سواء الطاقة الشمسية والرياح والطاقة الجوفية والطاقة الكهرومائية فتبلغ مجتمعة حوالي 21%. (1)



شكل(2) نسب انتاج الكهرباء من الطرق المختلفة

مميزات الطاقة الكهربائية

تتميز الطاقة الكهربائية بمميزات تقنية جعلت البشرية تتبناها كمصدر أساسي للطاقة التي نعتمد عليها في حياتنا اليومية بشكل كبير. وهذه المميزات ممكن تلخيصها في التالي:

1- من الممكن توليد الطاقة الكهربائية بطرق مختلفة.
يمكن تحويل كل من الطاقة الحركية والكيميائية والضوئية والحرارية وغيرها الى كهرباء بواسطه أجهزة التحويل المناسبة. فعلى سبيل المثال حركة الرياح وحركة امواج البحار وحركة مياه الأنهار والحرارة الجوفية بباطن الارض واشعة الشمس وحرارتها كل ذلك من الممكن تحويله لطاقة كهربائية.
2- إمكانية تحويل الطاقة الكهربائية الى كل صور الطاقة الاخرى بكفاءة عالية. فالمحركات الكهربائية تحول الكهرباء الى حركة والمصابيح تحول الكهرباء الى ضوء وأجهزة التدفئة تحول الكهرباء الى حراره وأجهزة الصوت تحول الكهرباء الى طاقة صوتية وغيرها من اجهزة التحويل الكهربائية الاخرى.

3- سهولة نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة وبكفاءة عالية باستخدام الموصلات الكهربائية كأسلاك النحاس والالمنيوم. كذلك الطاقة الكهربائية من حين توليدها تصل للمستهلك عبر الاسلاك بشكل لحظي.

4- من أهم مميزات الطاقة الكهربائية هو أنه من السهل التحكم بها بدقة عالية عن طريق الاجهزة الكهربائية والالكترونية المختلفة ومجال الابتكار في ذلك كبير جدا.

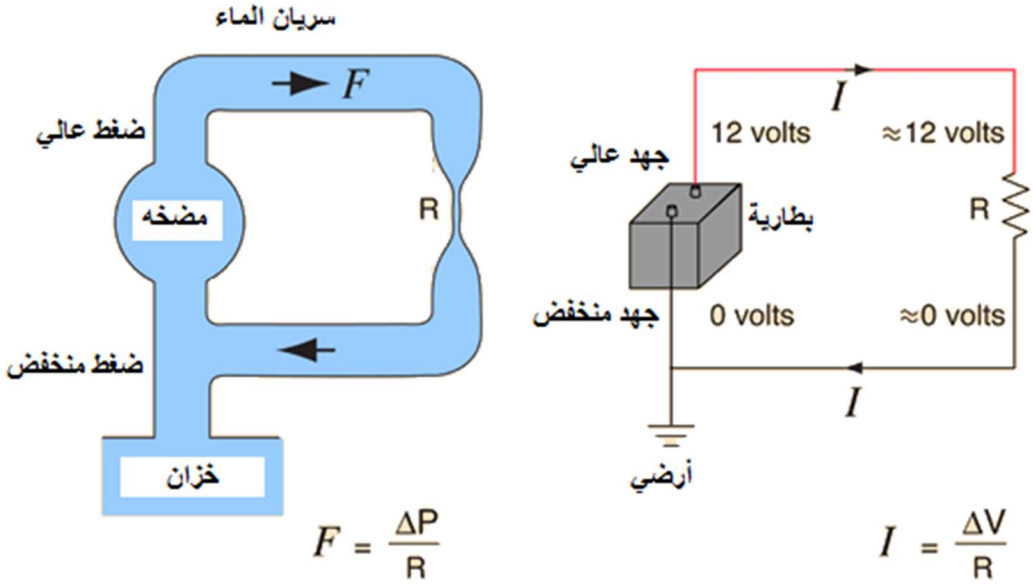
سيكون التركيز في هذا الكتيب على الطاقة الشمسية من ناحية تطبيقية تستهدف القراء الذين ليس لديهم أي خلفيه مسبقه وكذلك الهواه في مجال الطاقة الشمسية. في الفصل الأول سيتم مناقشة اساسيات الطاقة الكهربائية بشكل مبسط. ثم سيتم مناقشة الطاقة الشمسية الضوئية وطرق قياسها وحسابها في فصول السنه المختلفة ومستوى طاقة الأشعة الشمسية بمختلف مناطق المملكة العربية السعودية. يلي ذلك في الفصل الثالث سيتم التفصيل في أنواع الخلايا الشمسية الضوئية والألواح الشمسية الضوئية بالإضافة الى مناقشة أنظمة الطاقة الشمسية الضوئية المختلفة ومكوناتها. بعد ذلك, في الفصل الخامس سيتم التركيز على تصميم أنظمة الطاقة الشمسية للأحمال الكهربائية المعزولة عن الشبكة الكهربائية. والفصل السادس والأخير سيتم التطرق لأنظمة الطاقة الشمسية الضوئية المرتبطة بالشبكة والحسابات الخاصة بها.

الفصل الأول: أساسيات في الطاقة الكهربائية

يطلب من الشخص الذي يريد أن يعمل كمصمم ومنفذ لمشاريع الطاقة الشمسية الضوئية معرفه عامه واساسية بالمصطلحات والمفاهيم الخاصة بالهندسة الكهربائية وكيفية تطبيقها. سيتم في هذا الفصل التطرق لأهم هذه المفاهيم والمصطلحات بشكل مفصل ومبسط للقارئ العادي. كذلك سيتم إعطاء أمثله متعددة لتأصيل هذه المفاهيم التطبيقية بالإضافة الى التطرق لوحدات القياس الهندسية الخاصة بهذه المصطلحات وطرق تحويلها.

الجهد والتيار والمقاومة الكهربائية

إن هذه المتغيرات الثلاث تعتبر من أساسيات الدوائر الكهربائية ومن المهم معرفتها. لتبسيط هذه المصطلحات سيتم شرحها بواسطة تشابه المفاهيم بنظام مضخة لنظام مائي مغلق كما في الشكل (3). حيث مضخة الماء تدفع الماء بضغط ثابت وهذا الضغط يشابه تأثير الجهد الكهربائي (Voltage,V) في الدائرة الكهربائية في دفع التيار الكهربائي (Current,I) والذي يماثل سريان الماء في النظام المائي. بينما المقاومة (Resistance,R) الخاصة بالجهاز الكهربائي هي للحد من مرور التيار الكهربائي من تجاوز قيمة معينة بالدائرة الكهربائية وهي تشبه مقاومة الأنبوب من تجاوز كمية سريان الماء قيمه معينه كذلك.



شكل (3) يوضح التشابه الجزئي ما بين النظام المائي والنظام الكهربائي

العلاقة الرياضية التي تربط الجهد بالتيار والمقاومة هي باستخدام قانون أوم التالي:

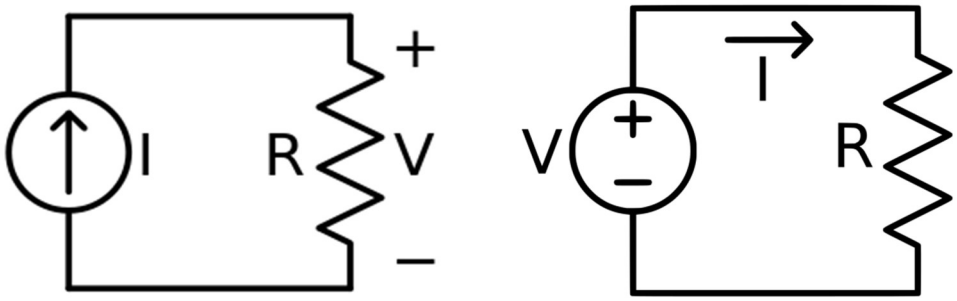
$$I = \frac{V}{R}$$

حيث التيار يساوي الجهد قسمة المقاومة. ويرمز له بالرمز I و وحدة قياسه هي أمبير (A). بينما الجهد الكهربائي يرمز له بالرمز V و وحدة قياسه هي فولت (Volt أو V). و المقاومة الكهربائية يرمز لها بالرمز R و وحدة قياسها هو أوم (Ω).

من الممكن تقسيم المصدر الكهربائي الى قسمين أساسية:

1- مصدر جهد كهربائي
2- مصدر تيار كهربائي

حيث مصدر الجهد الكهربائي مثل البطاريات والمولدات الكهربائية تعطي جهد ذا قيمة ثابته بغض النظر عن التيار الذي يغذي الأحمال الكهربائية المتصلة. بينما مصدر التيار الكهربائي مثل الخلايا والألواح الشمسية فتعطي تيار كهربائي ذا قيمة ثابته بغض النظر عن الجهد الكهربائي الذي تحتاجه الأحمال الكهربائية المتصلة. أنظر الشكل (4).



(ب) **(أ)**

شكل (4) الشكل (أ) يمثل دائرة كهربائية بمصدر جهد و (ب) يمثل دائرة كهربائية بمصدر تيار

ولشرح ذلك, نضرب الأمثلة التالية:

في حال استخدام مصدر جهد كهربائي بطارية وقيمة الجهد يساوي 12 فولت بينما قيمة المقاومة للحمل الكهربائي تساوي 10 أوم فكم قيمة التيار؟ كم قيمة التيار الكهربائي إذا تغيرت المقاومة الكهربائية الى 5 أوم؟

نستخدم قانون أوم للإجابة على هذا السؤال:

$$\boldsymbol{I = \frac{V}{R} = \frac{12}{10} = 1.2\ A}$$

في حال المقاومة 10 أوم فإن التيار الكهربائي يساوي 1.2 أمبير. أما في حال انخفاض المقاومة الى 5 أوم فالنتيجة ستكون الضعف كما يتبين من استخدام قانون أوم.

$$\boldsymbol{I = \frac{V}{R} = \frac{12}{5} = 2.4\ A}$$

فالجهد من المصدر وهي البطارية ثابت ويساوي 12 فولت بغض النظر عن مقاومة الحمل الكهربائي المتصل بها. رغم أنه من ناحية عملية في الواقع يكون هناك انخفاض بسيط كلما زاد التيار الذي توفره البطارية للحمل الكهربائي.

ماذا لو تم توصيل الحمل الكهربائي ذو المقاومة 10 أوم الى مصدر تيار كهربائي ويبلغ تيار المصدر 5 أمبير، كم سيكون الجهد الكهربائي؟ ثم اذا تغيرت المقاومة الى 5 أوم، كم قيمة الجهد الجديد؟

باستخدام قانون أوم فإن المتغير الذي نود إيجاده هو الجهد على النحو التالي:

$$\boldsymbol{I = \frac{V}{R}}$$

$$\boldsymbol{V = I \times R}$$

$$\boldsymbol{V = 5 \times 10 = 50\ V}$$

$$\boldsymbol{V = 5 \times 5 = 25\ V}$$

كما نلاحظ فإن التيار الذي يتم تغذيت الحمل الكهربائي به بواسطة المصدر ثابت عند 5 أمبير والذي يحدد الجهد للدائرة الكهربائية هي مقاومة الحمل الكهربائي.

القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية

تعتبر القدرة والطاقة الكهربائية من أهم المفاهيم المتعلقة بالهندسة الكهربائية و التي تعتمد عليها تصميم نظم الطاقة الكهربائية بشكل عام ونظم الطاقة الشمسية الضوئية بشكل خاص. دائما ما يحتوي كل جهاز كهربائي بالسوق على معلومات عن قدرته الكهربائية وفي بعض الأحيان معلومات الاستهلاك من الطاقة الكهربائية.

القدرة الكهربائية Power ويرمز لها بالرمز P وهي حاصل ضرب الجهد بالتيار وتقاس بالوات (Watt).

$$\boldsymbol{P = I \times V}$$

بينما الطاقة الكهربائية Energy ويرمز لها بالرمز E عبارة عن حاصل ضرب القدرة الكهربائية في الزمن بالساعة وتقاس بالوات-ساعه (Wh).

$$E = \boldsymbol{P \times t}$$

حيث t عباره عن الزمن بالساعة.

سنضرب هنا مثالا يوضح هاذين المفهومين:

التلفاز الموضح في الشكل (5) موصل لمصدر جهد 12 فولت ويسحب 10 أمبير. كم القدرة الكهربائية التي يستهلكها بشكل لحظي؟ إذا تم تشغيله لمدة 5 ساعات، كم الطاقة المستهلكه؟

القدرة الكهربائية : $\boldsymbol{P = I \times V = 12 \times 10 = 120\ Watt}$

الطاقة الكهربائية: $\boldsymbol{E = P \times t = 120 \times 5 = 600\ Wh}$

شكل (5)

في جميع الأحيان يتم إعطاء بيانات عن قدرة الجهاز الكهربائي من المصنع.

بينما في بعض الأحيان يتم كذلك إعطاء رقم تقريبي عن استهلاكه للطاقة في السنه.

من الممكن حساب التيار الكهربائي الذي سيسحبه الجهاز عند معرفة قيمة الجهد والقدرة الكهربائية للجهاز.

فمثلا لدينا مصباح كهربائي كما في الشكل (6) ومصنع المصباح ذكر من ضمن مواصفاته أنه يعمل على جهد 12 و 24 فولت وقدرة المصباح تساوي 12 وات. كم قيمة التيار الذي يسحبه المصباح من مصدر الجهد في حال توصيلة ببطارية 12 فولت ؟ كم سيكون قيمة التيار اذا كان جهد البطارية 24 فولت؟

نستخدم قانون القدرة :

$$P = I \times V$$

اذن لمعرفة التيار :

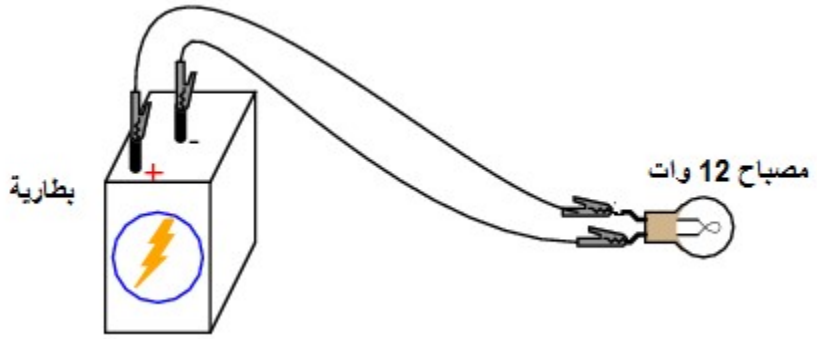
$I = \frac{P}{V}$ فإذا كان الجهد للبطارية يساوي 12 فولت:

$$I = \frac{12}{12} = 1\ A$$

وإذا كان الجهد للبطارية يساوي 24 فولت:

$$I = \frac{12}{24} = 0.5\ A$$

كما لاحظنا بالمثال السابق أن عند مضاعفة الجهد الكهربائي من 12 الى 24 فولت فسنحصل على تيار كهربائي يعادل النصف. بينما في كلا الحالتين المصباح سيستهلك 12 وات في الساعة. لكن الميزة التي نحصل عليها من تقليل التيار الكهربائي هو أنه من الممكن تقليل حجم الأسلاك الكهربائية التي تربط البطارية بالمصباح والذي سيتم تفصيله لاحقا بالكتاب.



شكل (6) مصباح كهربائي موصل لبطارية

أنواع التيار الكهربائي لمصادر الطاقة الكهربائية

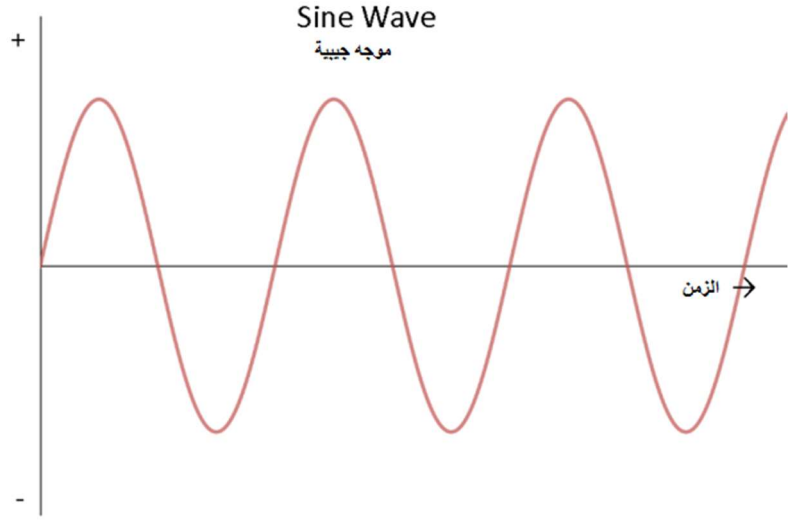
من الممكن تقسيم مصادر التيار الكهربائي الى نوعين أساسية وهي:

1- مصدر كهربائي لتيار مستمر Direct Current (DC)
2- مصدر كهربائي لتيار متردد Alternating Current (AC)

نوعي التيار هذه ممكن توضيحها كما في الشكل (7) حيث التيار المستمر عبارة عن تيار ذا اتجاه واحد بقيمة ثابته ومثال ذلك التيار الكهربائي من بطاريات التخزين (شكل 8) أو الألواح الشمسية. بينما التيار المتردد هو تيار يأخذ شكل موجه بحيث يتغير قيمة التيار واتجاهه ما بين طرفي المصدر الكهربائي ومثال ذلك المولدات الكهربائية كما في الشكل (9). التيار بالشبكة الكهربائية

عبارة عن تيار متردد وقيمة هذا التردد بشبكة المملكة العربية السعودية هو 60 دورة بالثانية وهو ما يسمى Frequency ووحدة قياسه الهرتز (*Hz*). هناك دول أخرى التردد يكون 50 هرتز. لذلك من المهم عند شراء الأجهزة الكهربائية أن يكون التردد الذي يعمل عليه الجهاز متوافق مع تردد جهد الشبكة بالمملكة العربية السعودية.

الاتجاه الاصطلاحي الذي تم الاتفاق عليه من قبل الفيزيائيين هو أن التيار يخرج من الطرف الموجب بالبطارية ويعود للطرف السالب.



(أ) جهد أو تيار متردد

(ب) جهد مستمر

شكل (7) تمثيل بياني حول شكل التيار أو الجهد المتردد في (أ) بينما الشكل (ب) يمثل التيار المستمر

شكل (8) أنواع مختلفة من بطاريات التخزين

شكل (9) مولدات كهربائية لتوليد تيار متردد. من اليمين مولد متصل بتوربين بخاري بمحطة كهربائية واليسار مولد كهربائي متصل بمحرك ديزل

الفصل الثاني – الألواح الشمسية الضوئية

سيتم التطرق في هذا الفصل للمواضيع التالية:

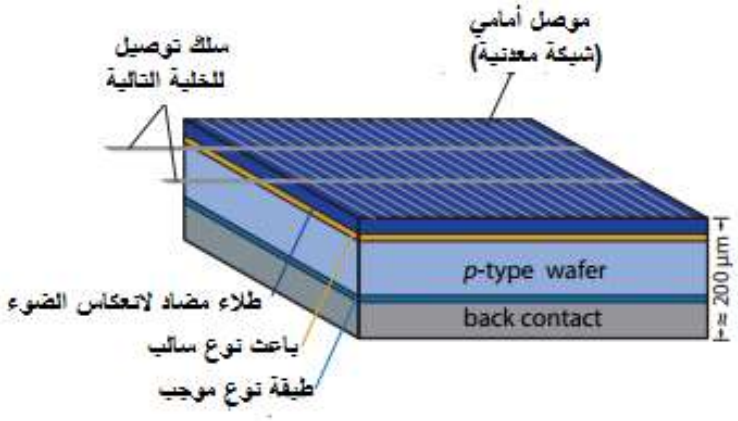
1- **مبدأ عمل الخلايا الشمسية**
2- **الألواح الشمسية: أنواعها وخصائصها**
3- **تكوينات أنظمة الطاقة الشمسية المختلفة**

مبدأ عمل الخلايا الشمسية

يعتمد مبدأ عمل الخلايا الشمسية على تحويل الضوء بشكل مباشر الى تيار كهربائي مستمر. التركيبة الأساسية للخلايا الشمسية الضوئية تعتمد بالغالب على أشباه الموصلات مثل السيليكون. اشباه الموصلات لها خاصية فيزيائية تتمثل أنها ليست موصل جيد وفي نفس ليست عازل جيد للتيار الكهربائي. فيتم معالجتها صناعيا حتى نحصل على خلية شمسية تتميز بكفاءه واداء عملي عند الظروف البيئية المختلفة لتحويل طاقة الضوء لكهرباء مباشره. أشهر أنواع الخلايا الشمسية هي خلايا كرستالات السيليكون و خلايا الرقائق الدقيقة (انظر الشكل 2.2).

أ. خلايا كرستالات السيليكون

العنصر الاساسي لتكوين خلية كرستال السيليكون هي مادة السيليكون وتعتبر ثاني مادة في الترتيب من ناحية الوفرة في القشرة الأرضية كما في الشكل (2.1).



الشكل (2.1) التركيبة الأساسية لخلية كرستال السيليكون

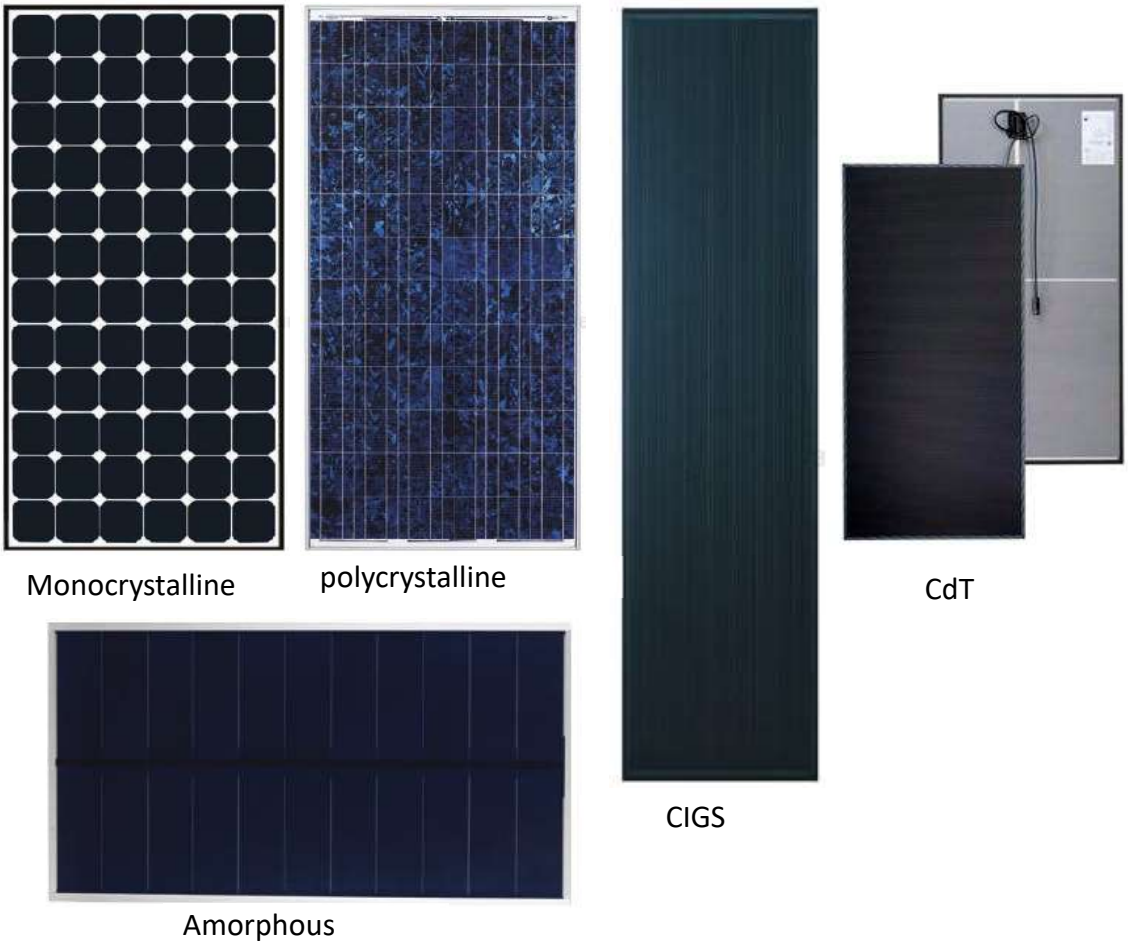
تنقسم خلايا السيليكون الى نوعين رئيسيين وهما:

- خلايا السيليكون متعدد الخلية (Polycrystaline Silicon, Poly-Si) وهو النوع الأكثر شيوعا والأكثر استخداما بالعالم حيث يزيد حصة هذا النوع من السوق العالمي عن 70%. يتميز بتكاليف تصنيع أقل وبكفاءة نسبيا جيدة مقارنة بالأنواع الاخرى.
- خلايا السيليكون أحادي الخلية (Monocrystaline Silicon,Mon-Si) ويأتي بالمرتبة الثانية عالميا من نسبة الاستحواذ على السوق العالمي. يتفوق على خلايا السيليكون متعددة الخلايا من ناحية الكفاءة ولكن تكاليف تصنيعه أكبر.

ب. خلايا الرقائق الدقيقة

سميت بخلايا الرقائق الدقيقة لان سمك الخلية الواحدة أقل بكثير من خلايا كرستالات السيليكون مما يجعل بعض أنواعها مرنة كما في الشكل 2.2. المرونة التي تختص بها بعض أنواع الخلايا الرقيقة جعلها خيار مفضل وعملي لتطبيقات معينة أنواع مقارنة بالانواع الاخرى من الخلايا الشمسية. وتتفرع خلايا الرقائق الدقيقة إلى الأنواع التالية:

- كاديميوم تيليرايد (Cadimum Telluride,CdTe) – وهو أكثر نوع مستخدم من انواع الخلايا الرقيقة. تحتوي هذه الخلايا على مادة الكاديميوم وهي مادة سمية. ونجد هذا النوع يستخدم في الغالب في المحطات الشمسية الكبيرة.
- أمورفورس سيسلكون (Amorphrous Silicon, a-Si) وهي ثاني أكثر نوع شيوعا من أنواع الخلايا الرقيقة وهي الاقرب من ناحية التركيب لخلايا السيليكون التقليدية. كذلك، هي أقل سمية وأكثر تحمل من انواع الخلايا الرقيقة الاخرى.
- سيلينيد الجاليوم إنديوم النحاس (Copper Indium Gallium Selenide, CIGS) وهي تقنية ما تزال غير منتشرة مثل الانواع الاخرى
- جاليوم ارسينايد (Gallium Arsenide, GaAs) وهي تقنية مكلفة جدا ولكن تتصدر القائمة كأعلى كفاءة بين أنواع الخلايا الشمسية أحادية المقطع (single Junction) مما يجعل استخدامها محدود في المركبات الفضائية.



الشكل (2.2) أنواع الخلايا الشمسية الأكثر شيوعا

كفاءة تحويل الخلايا الشمسية الضوئية

كما تقدم معنا فإن الاشعاع الشمسي الساقط على السطح يحتوي على طاقة ممكن تحويلها من طاقة ضوئية الى طاقة كهربائية بشكل مباشر عن طريق الخلايا الشمسية الضوئية. وذكرنا أن الاشعاع الشمسي بالمتر المربع يصل في منتصف ساعات النهار الى ذروته عند 1000 واط/م^2. فكفاءة تحويل الخلايا الشمسية الضوئية هي عبارة عن القدرة الكهربائية الناتجة من الخلية الشمسية إلى القدرة الكهربائية الضوئية الساطعة على الخلية الشمسية كما في المعادلة التالية:

$$\eta = \frac{Ir}{Pdc} \times 100\%$$

Ir: هو الاشعاع الشمسي الساقط على مساحة الخلية الشمسية الضوئية ووحدة قياسه واط/م^2.

Pdc: هي القدرة الكهربائية الناتجة من الخلية الشمسية الضوئية ووحدة قياسها واط.

مثال: إذا لدينا خلية شمسية ضوئية مربعة الشكل بطول 15.6 سم وعرض 15.6 سم وقدرتها الكهربائية تساوي 5 واط عند ظروف التشغيل المثالية (اشعاع شمسي 1000 واط/م^2 ودرجة حرارة 25 درجة مئوية). كم هي كفاءة التحويل لهذه الخلية؟

أولا يجب حساب مساحة الخلية الشمسية وتحويلها الى م^2:

$$\text{المساحة} = \frac{15.6 \times 15.6}{10,000} = 0.024336 \text{ م}^2$$

ثم يتم حساب الاشعاع الشمسي الساطع على مساحة الخلية الشمسية :

$$\text{قدرة الاشعاع} = 0.024336 \times 1000 = 24.336 \text{ واط}$$

قدرة الخلية الشمسية = 5 واط

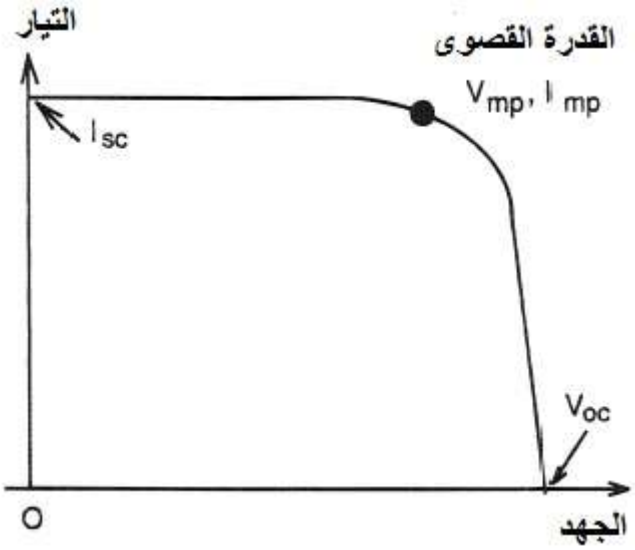
$$\text{الكفاءة} = \frac{5}{24.336} \times 100\% = 20.54\%$$

معنى ذلك أن الخلية الشمسية تحول فقط 20% الى كهرباء مباشره من مقدار طاقة الاشعاع الشمسي الساطع عليها عند ظروف التشغيل المثالية.

الفائدة من زيادة كفاءة الخلية الشمسية هي لتقليل حجم المساحة المطلوبة لإنتاج كمية معينة من الطاقة عن طريق الخلايا الشمسية وكذلك تقليل المواد الخام المستخدمة لتصنيعها. الكفاءة النظرية القصوى للخلايا الشمسية تساوي 33.7% ومخبريا تم تحقيق 26.3% بواسطة باحثين يابانيين في عام 2016.

الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية الضوئية: خصائص الجهد والتيار I-V Characteristics

تعتبر الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية الضوئية من أهم المواضيع التي تعتمد عليها كثير من حسابات القدرة والطاقة الكهربائية وتصميم أنظمة الشمسية الضوئية. كذلك، معرفة مقدار تأثير المتغيرات البيئة كدرجة الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية. الرسمة (2.1) توضح لنا العلاقة بين الجهد والتيار لخلية ضوئية عند ظروف التشغيل المثالية وهي اشعاع شمسي 1000 واط/م^2 ودرجة حرارة الخلية 25 درجة مئوية.



الرسمة (2.1) خصائص الجهد والتيار بالخلية الضوئية

حيث المتغيرات المشار اليها بالرسمة كالأتي:

Isc هو تيار دائرة القصر للخلية وهو أقصى تيار ممكن للخلية توليده. ومن الممكن قياسه عند ايصال اطراف اسلاك الخلية الموجب والسالب ببعض.

Voc هو جهد الخلية عند عدم توصيلها لأي أحمال كهربائية

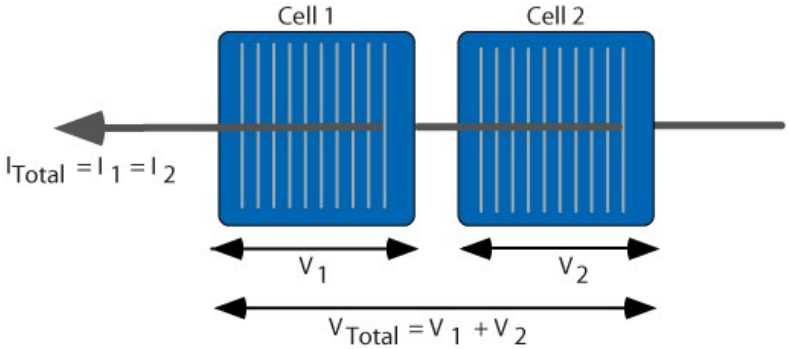
Vmp هو جهد الخلية عند نقطة أقصى قدرة كهربائية ممكن توليدها عند الظروف التشغيل المثلى

Imp هو تيار الخلية عند نقطة أقصى قدرة كهربائية ممكن توليدها عند الظروف التشغيل المثلى

توصيل الخلايا الشمسية ببعض لزيادة القدرة الكهربائية

من الممكن توصيل الخلايا الشمسية ببعض لزيادة الجهد أو التيار والذي يؤدي إلى زيادة القدرة الكهربائية. وهناك طريقتين لتوصيل الخلايا الشمسية:

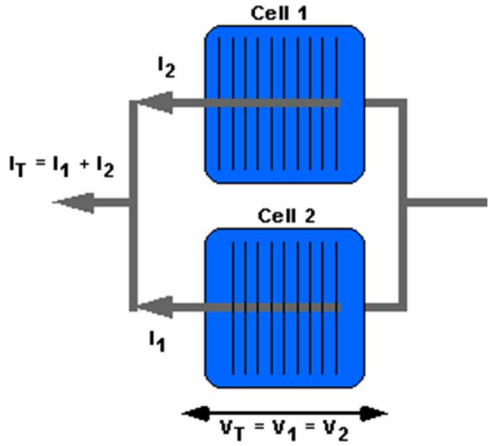
1- **توصيل الخلايا الشمسية على التوالي**



إن توصيل الخلايا الشمسية على التوالي كما في الرسمة 2.2 يؤدي الى زيادة الجهد الكهربائي وكذلك الى زيادة القدرة الكهربائية. فمثلا خليتين شمسية ضوئية ذات قدرة كهربائية 5 واط عندما يتم توصيلها على التوالي يؤدي الى زيادة القدرة الكهربائية الى 10 واط ومضاعفة الجهد

2- توصيل الخلايا الشمسية على التوازي

إن توصيل الخلايا على التوازي يزيد التيار الكهربائي ولكن لا يزيد الجهد. كذلك سيتضاعف لدينا القدرة الكهربائية.



تكوين الصفائح الشمسية

لتكوين صفيحة شمسية ذات قدرة عالية يتطلب توصيل عدد كبير من الخلايا الشمسية بشكل متوالي وربما بشكل متوازي. حيث الشكل ((2.5,(b) يوضح صفيحة شمسية مكونة من 36 خلية متصلة على التوالي. وفي الصناعة تم التوصل لعدد متعارف عليه من الخلايا الشمسية لتكوين الصفائح الشمسية. حيث الجدول (2.1) يوضح اكثر التوصيلات انتشارا.

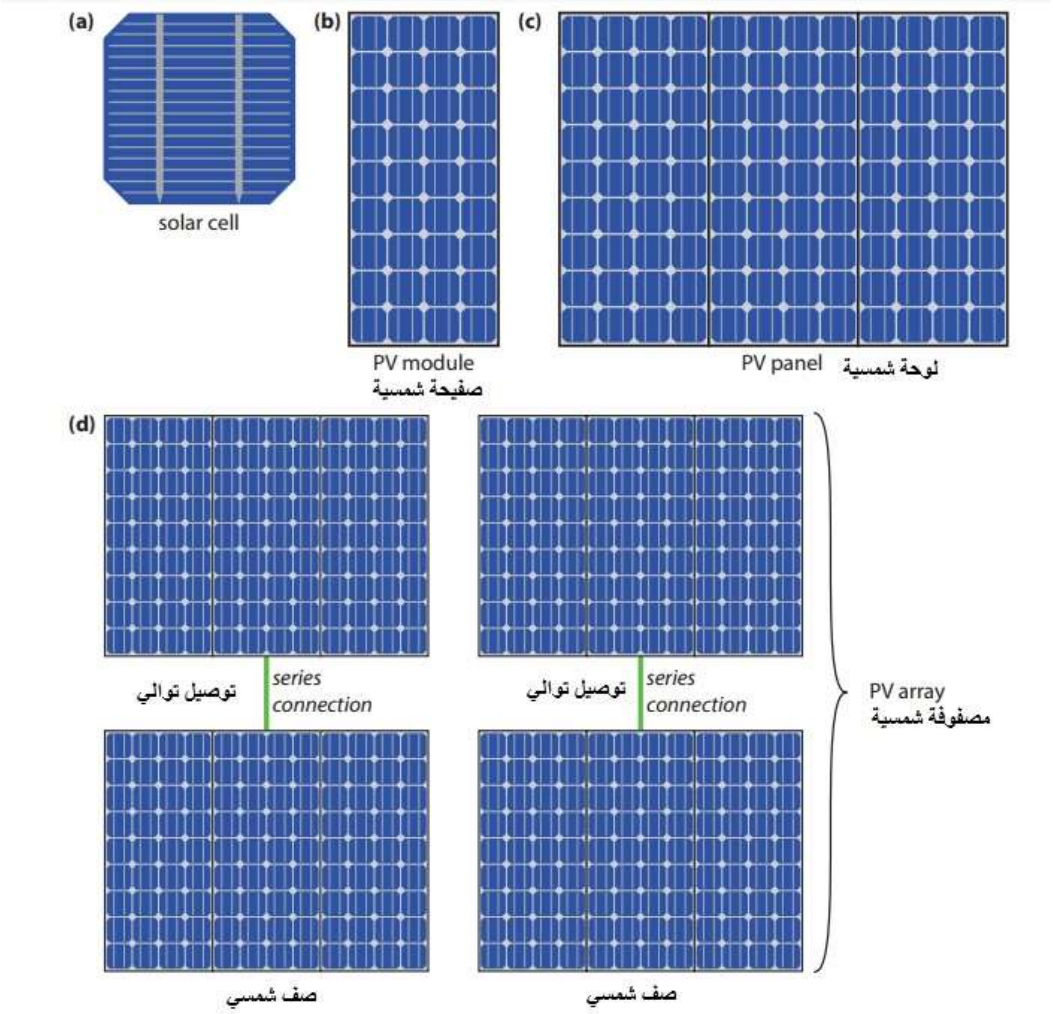
الجدول (2.1)

عدد الخلايا الشمسية وطرق توصيلها	أمثله على جهد الصفيحة الشمسية Voc	مثال لقدرة الصفائح الشمسية الكهربائية
36 خلية شمسية متصلة على التوالي	22 فولت	60 وات الى 150 وات
60 خلية شمسية متصلة على التوالي	36 فولت الى 42 فولت	190 وات الى 360 وات
72 خلية شمسية متصلة على التوالي	45 فولت	270 وات الى 345 وات

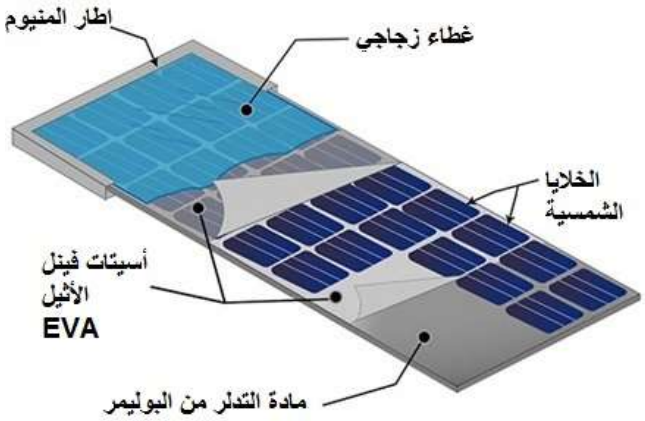
كما نلاحظ بالشكل 2.5 (c) فإن اللوحة الشمسية تطلق على صفيحتين شمسية أو أكثر متصلة على التوازي. بينما عند توصيل أكثر من لوحين شمسية بالتوالي كما في (d) فإنه يطلق عليها مصفوفة شمسية.

مكونات الصفيحة الشمسية نجدها كما في الشكل 2.6، هي:

- الألمنيوم المؤين: وهو الاطار المعدني الذي يحمل ويحمي الخلايا الشمسية والعناصر الأخرى.
- التدلر وهو القطعة الخلفية الصلبة المصنوعة من البولمر لحمل الخلايا الشمسية
- ورقة مصنوعة من البوليمر ويطلق عليها EVA (أسيتات فينيل الأثيل ethyl vinyl acetate) والتي تغلف الخلايا الشمسية من الاعلى والأسفل وتتميز بشفافيتها العالية للإشعاع الشمسي ومقاومتها المنخفضة للحرارة. تستخدم لمنع الماء والشوائب من الدخول للصفيحة الشمسية بالإضافة لتخفيف الأثر على الخلية الذي يسببه أي اهتزاز او ضربة للصفيحة.



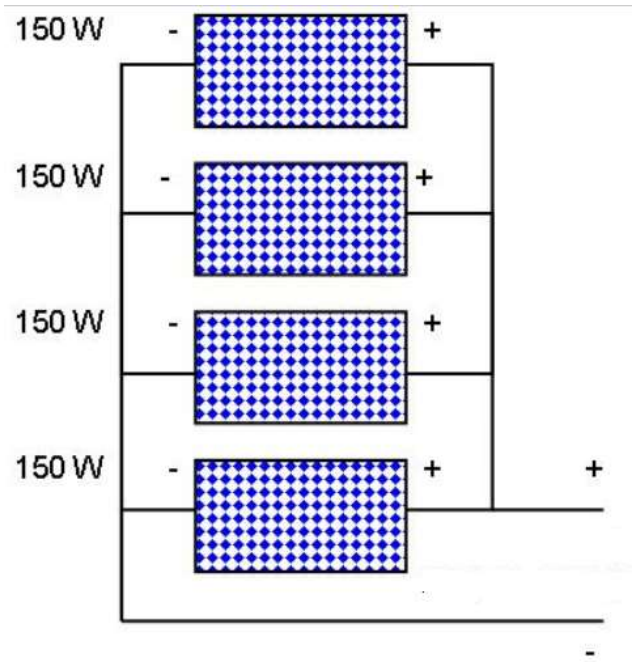
الشكل 2.5 : يوضح عدت مسميات تستخدم لتوصيلات الخلايا الشمسية (a) خلية شمسية (b) صفيحة شمسية (c) لوحة شمسية (d) مصفوفة شمسية



الشكل (2.6) مكونات الصفيحة الشمسية

مثال (1) لتوصيل الألواح الشمسية الضوئية

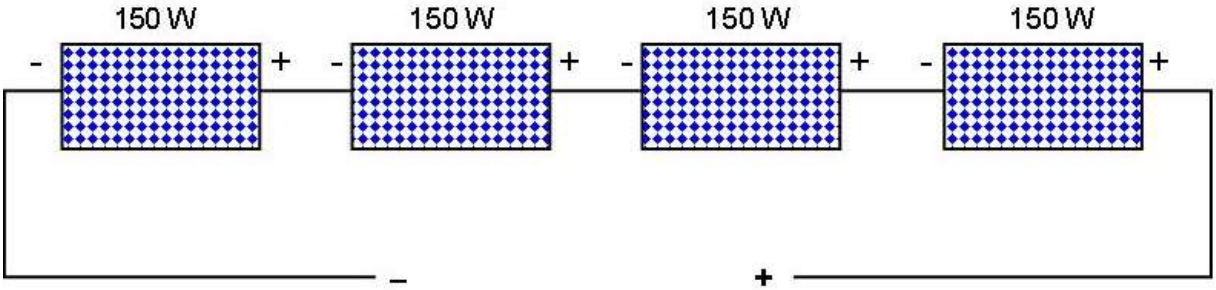
ما هو جهد الدائرة المفتوحة وتيار القصر والقدرة الكهربائية الكلية للتوصيل التالي من الألواح الشمسية؟



حيث كل لوحة شمسية تتصف بالمواصفات الكهربائية التالية:

$$V_{o.c} = 22\ V$$
$$I_{sc} = 8.7\ A$$
$$P_{mp} = 150\ W$$

$V_{o.c} =$ ……V, $I_{sc} =$ ……A, $P_{mp} =$ ……W



$V_{o.c} =$ ……V, $I_{sc} =$ ……A, $P_{mp} =$ ……W

الفصل الثاني – الطاقة الشمسية الضوئية

سيتم التطرق في هذا الفصل للمواضيع التالية:

4- **الضوء كمصدر للطاقة**
5- **موقع الشمس وتأثيره على قيمة قدرة وطاقة الاشعاعات الشمسية الساقطة (Sun Position)**
6- **رسمة مسار الشمس (Sun path chart)**
7- **أنظمة التعقب لمسار الشمس**
8- **مبدأ انتاج الساعات القصوى للأشعة الشمسية (Peak Sun Hours)**
9- **الأشعة الشمسية بمدن مختلفة بالمملكة العربية السعودية**

الضوء كمصدر للطاقة

لقد سخر الله الشمس للإنسان كمصدر للضوء والحرارة واللذان يعتبران المصدران الأساسيان لكل صور الطاقة الأخرى على الأرض. فالأرض تستقبل ما يعادل 174,000,000 قيقاوات على السطح العلوي من الغلاف الجوي للأرض. ما يقارب 70% من هذه الطاقة يصل لسطح اليابسة والمحيطات بشكل مباشر كما في الشكل (1).

من الممكن تقسيم الأشعة الضوئية الساقطة لسطح المساحة بالمتر المربع الى قسمين اساسية، كما في الشكل (1)، وهما:

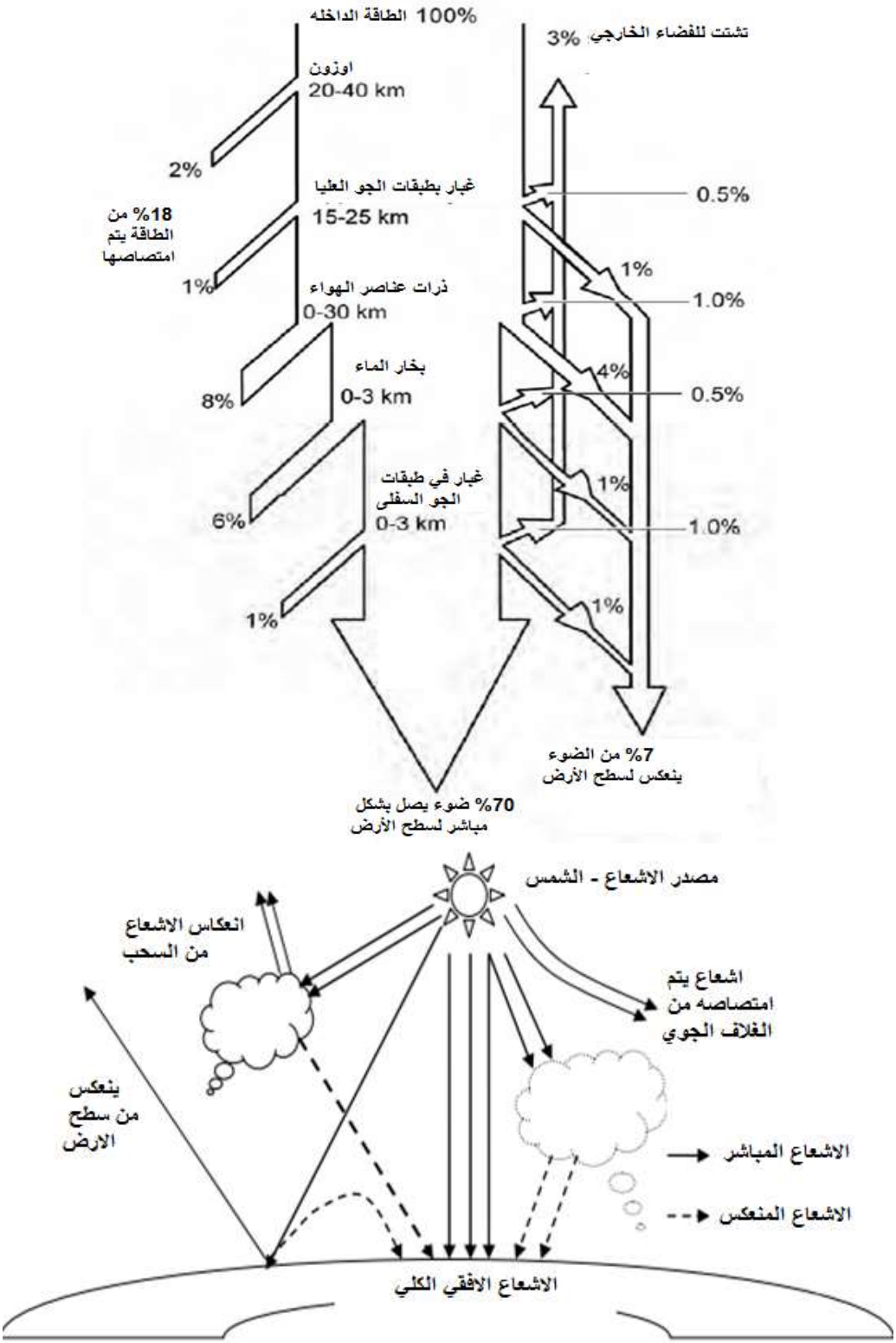
1- الأشعة الضوئية المباشرة direct normal irradiance ويرمز لها (DNI)

2- الأشعة الضوئية الافقية المنعكسة diffused horizontal irradiance ويرمز لها (DHI)

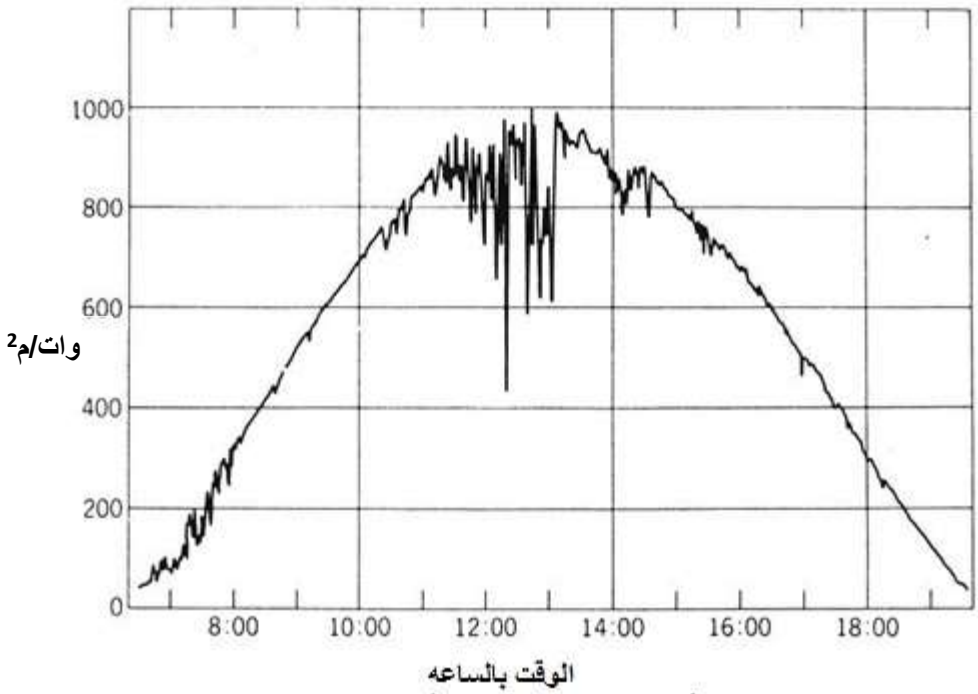
الأشعة الضوئية المباشرة هي التي تقطع الغلاف الجوي وتصل مباشرة بشكل عمودي للسطح. بينما الأشعة الضوئية الأفقسة المنعكسة فهي التي تنعكس من السحب أو من اسطح اجسام اخرى مجاورة للسطح أو من سطح الارض. مجموع الأشعة المباشرة والمنعكسة تنتج ما يطلق عليه الإشعاع الشمسي الافقي الكلي (GHI) Global Horizontal irradiance ووحدة قياسها هو وات لكل متر مربع W/m^2. من المهم وجود بيانات للإشعاع الافقي الكلي GHI والتي يتم رصدها وتسجيلها على مدى سنوات متعددة بشكل لحظي وذلك لحساب متوسط الطاقة الشمسية (irradiation) والتي وحدة قياسها هي وات-ساعه/م^2 (Wh/m^2) . يتم حساب الطاقة الشمسية في كل مدينة بشكل يومي، او متوسط يومي بالاسبوع او متوسط يومي بالشهر او في كل فصل من فصول السنه وذلك حسب طبيعة وخصائص المشروع الذي سيتم تنفيذه.

الاشعاع الشمسي الافقي الكلي، GHI، عند قياسه بأجهزة الرصد المتخصصة مثل البايرانوميتر (pyranometer) يكون بشكل لحظي ومن ثم يؤخذ متوسط إما 5 دقائق أو 15 او 30 دقيقة وغالبا في كل ساعه كما في الرسمة (1). حيث يتبين من الرسمة تزايد قيمة الاشعاع الشمسي كلما ارتفعت الشمس في الافق ويبلغ اقصى قيمة في فترة منتصف النهار الحقيقي حيث يكون قيمة الاشعاع الشمسي يساوي او يزيد قليلا عن 1000 وات/م^2 في اليوم الخالي من الغيوم والغبار كما في الرسمة (أ)، أما في حال يوم شبه غائم فسيكون شكل الاشعاع الشمسي كما في (ب). طبعا من المهم الاشارة أن أجهزة الرصد لا تعطي نتائج دقيقة 100% ولكن تعتبر من ناحية عملية كافية ومقبولة. ويجدر الاشارة أيضا أنه في حال كان اليوم صحو وخالي من الغيوم والغبار

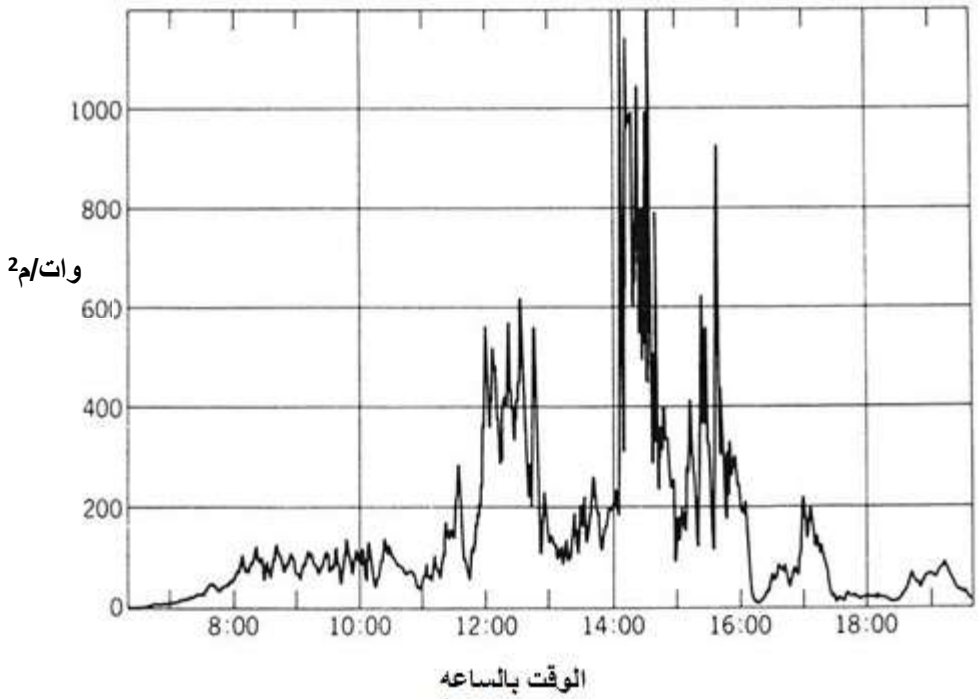
والتلوث، فإن الاشعاع الشمسي المباشر يكون أكبر بكثير من الاشعاعات الشمسية المنعكسة. بينما في الايام التي تكون فيها السماء غائمة كليا فيصل نسبة الاشعاع الشمسي المنعكس الى أكثر من 80% من قيمة الاشعاع الشمسي الافقي الكلي.



شكل (1) حيث (أ) مسار الطاقة الضوئية ونسب تشتتها بعوامل مختلفة و (ب) انواع الاشعة الشمسية



(أ) الاشعاع الشمسي الكلي في يوم صحو



(ب) الاشعاع الشمسي الكلي في يوم شبه غائم

الرسمة (1) توضح نتيجة قياس الاشعة الافقية ليومين احدهما صحو خالي من الغيوم والغبار والاخر شبه غائم

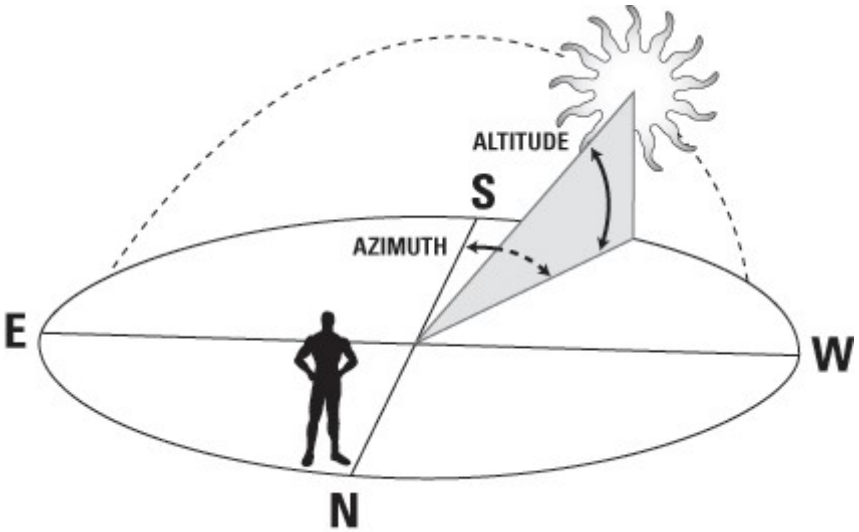
موقع الشمس وتأثيره على قيمة قدرة وطاقة الاشعاعات الشمسية الساقطة (Sun Position)

كما أننا لاحظنا في الفصل الماضي أن هناك أشعة مباشره وعكسية يتكون منها قدرة اشعاع الضوء الكهربائية الكلية، فكذلك الزاوية ما بين سطح الارض والاشعة الشمسية الساقطة تؤثر كذلك. فكل ما كان الضوء الساقط عموديا على السطح، كل ما زاد قدرة وطاقة الاشعاع الشمسي حتى يصل الى أعلى ما يمكن عند سقوط الضوء بشكل عمودي على مسطح المتر المربع. هناك ثلاث زوايا من المهم معرفتها ومعرفة تأثيرها على قيمة الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المتر مربع لمكان محدد وهي :

1- زاوية الازيموث (Ψ, *Azimuth angle*) وهي زاوية انحراف الشمس عن الجنوب الحقيقي للموقع وتبدأ من الشروق بأقل زاوية وتزيد كل ما اقتربت من الغروب حتى تصل للقيمة القصوى عند الغروب.

2- زاوية ارتفاع الشمس في الافق (θ,*Altitude angle*) وأحيانا يطلق عليها (*Elevation angle*) وترتفع الشمس من بداية الشروق فتصل زاوية ارتفاع الشمس لأقصى قيمة عند تعامد الشمس على الجنوب الحقيقي للموقع ومن ثم تبدأ بالانخفاض عند زوال الشمس لتصل الى الصفر عند الغروب مرة اخرى.

كلا من زاوية الازيموث وزاوية ارتفاع الشمس في الافق تتغير في خلال ساعات النهار باليوم الواحد من الشروق الى الغروب كما في الشكل (2).

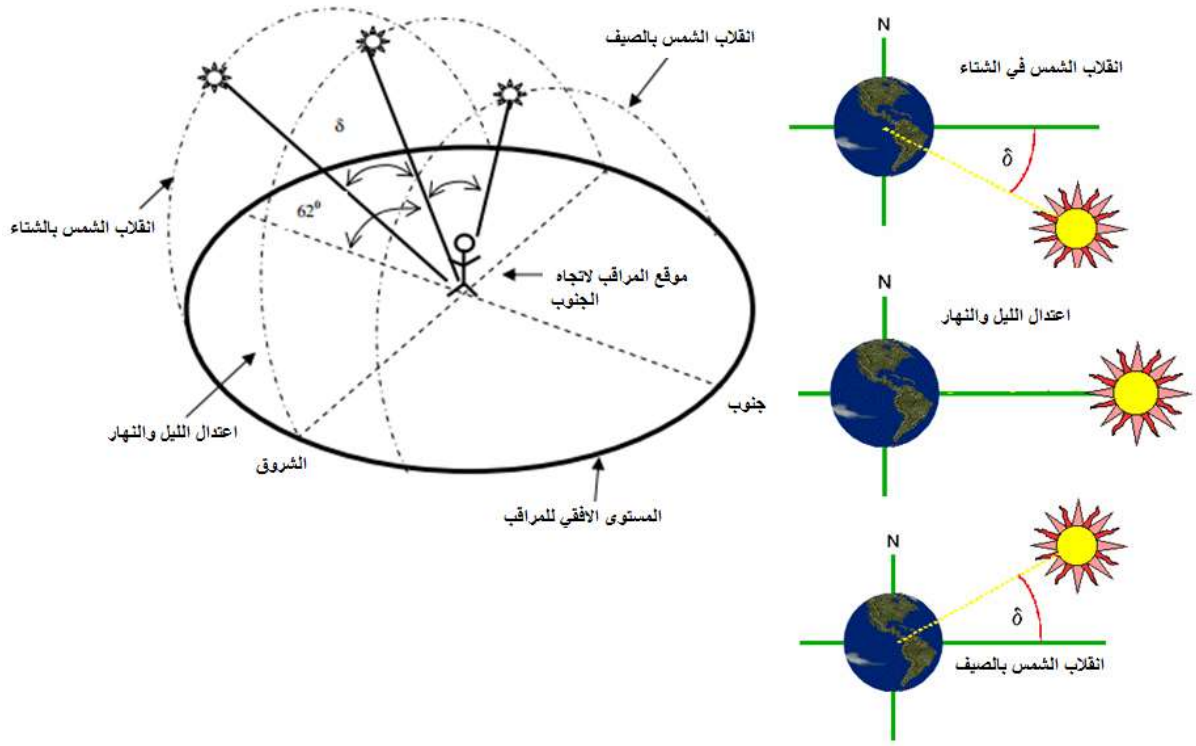


شكل (2) تغير زاوية الازيموث وزاوية ارتفاع الشمس من الشروق للغروب

3- زاوية الانحراف للشمس (δ,*declination angle*) وهي زاوية انحراف الشمس عن خط الاستواء وهي تحدد الارتفاع ما بين سطح المدينة ومسار الشمس في فصول مختلفة من السنه كما في الشكل (3). فنجد أن زاوية انحراف الشمس تكون أعلى ما يمكن في فصل الصيف وتكون الزاوية أقل ما يمكن في فصل الشتاء. ومن الممكن حساب زاوية الانحراف للشمس عن خط الاستواء بواسطة المعادلة التالية:

$$\delta = 23.4^{o} \times \sin\left[\frac{360\,(n-81)}{365}\right]$$

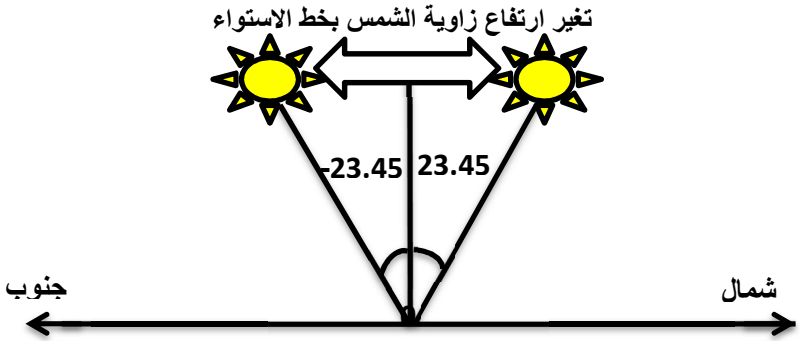
حيث n هو رقم اليوم بالسنة.



الشكل (3) يوضح انحراف الشمس في الفصول المختلفة وتأثيره على ارتفاع الشمس الأفقي عن خط الاستواء

في 1 يناير $n=1$ وعند 31 ديسمبر $n=365$

كما نلاحظ أن الشمس في فصل الربيع أي في يوم 81 من السنه تكون الشمس عمودية على خط الاستواء. بينما تصل الشمس لزاوية انحراف 23.45 درجه لجهة الشمال من خط الاستواء في فصل الصيف و تصل في فصل الشتاء في 21 ديسمبر الى 23.45- درجه أي لجهة الجنوب من خط الاستواء. الشكل (4) يوضح مدى تغير زاوية انحراف الشمس على مدى العام.



الشكل (4) يوضح كيفية مشاهدة تغير موقع الشمس بالأفق لموقع بخط الاستواء

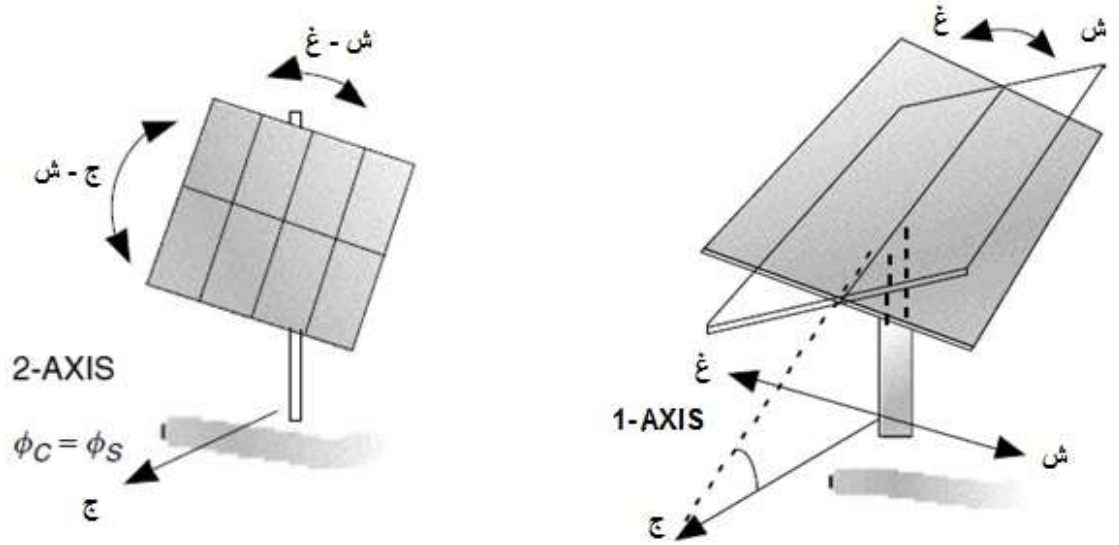
أنظمة التعقب لمسار الشمس

حساب مدى تغير زاويتي ارتفاع الشمس وزاوية الازيموث يتيح لنا تصميم نظام تعقب للشمس بحيث تكون دائما الاشعة الشمسية المباشرة عمودية على الالواح الشمسية. حيث في بعض مشاريع أنظمة الطاقة الشمسية الضوئية يكون من المستحسن وجود أنظمة تعقب للشمس والذي يؤدي الى زيادة الانتاج نظرا لتعامد ضوء الشمس على الألواح الشمسية في جميع أوقات النهار. التعقب كما في الشكل (5) ينقسم الى قسمين أساسية:

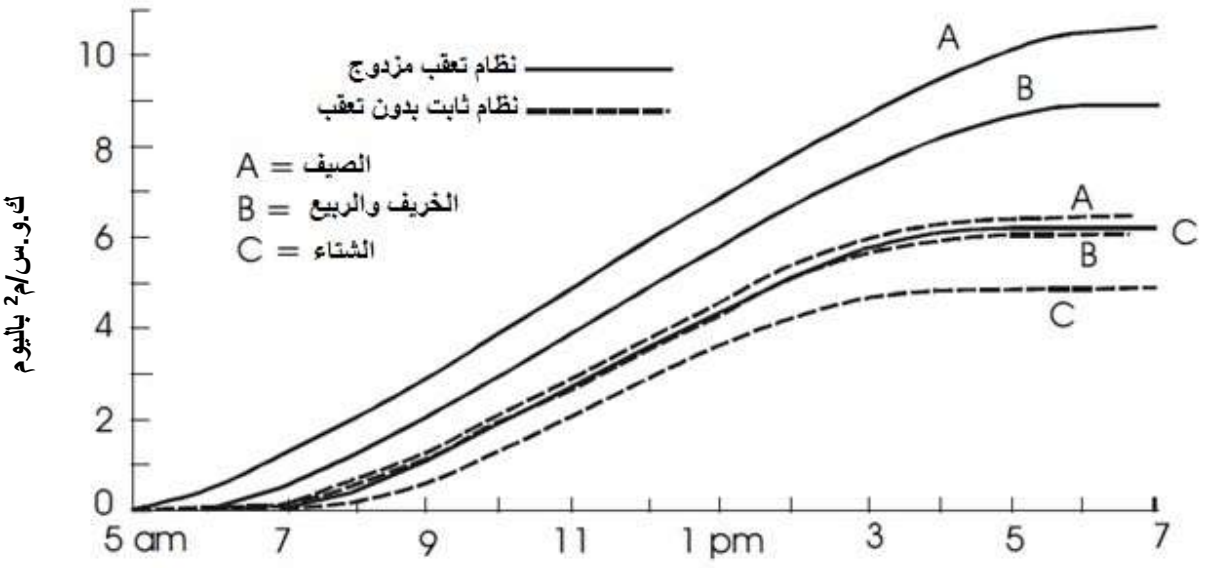
1- التعقب المزدوج (2-AXIS): وهذا النظام يقوم بالتعقب حول محورين لزاويتا الازيموث والارتفاع الافقي للشمس خلال النهار.

2- التعقب الفردي (1-AXIS): وهذا النظام يتعقب حول محور واحد وفي الغالب يكون فقط لزاوية الازيموث للشمس من الشروق الى الغروب.

التعقب المزدوج يؤدي الى انتاج أعلى من التعقب الفردي واكثر تكلفة منه من ناحية القيمة الاولية للنظام وكذلك ارتفاع تكلفة الصيانة والتشغيل. ولكن الفرق الكبير في الانتاج بين نظام طاقة شمسية بنظام تعقب مزدوج ونظام طاقة شمسية بدون تعقب يؤدي الى فوائد اقتصادية أحيانا تفوق قيمة نظام التعقب وتكاليف صيانتها خاصة بالمشاريع الكبيرة. كما نلاحظ في الرسمة (6) أن الزيادة بالإنتاج قد يتجاوز 35% لنظام ذا التعقب مزدوج عن نظام بدون تعقب في فصل الصيف وتقل الزيادة بالطاقة في فصل الشتاء الى 15%.



الشكل (5) نظامي التعقب المحورية لألواح الطاقة الشمسية الضوئية



الرسمة (6) الفرق بالإنتاج بشكل متوسط يومي لفصول السنه المختلفة ما بين نظام بتعقب مزدوج ونظام ثابت بدون تعقب

الميول الأنسب للألواح الشمسية الضوئية الثابتة

أفضل اتجاه للألواح الشمسية أن تكون مائلة لجهة الجنوب للمناطق التي تعتبر شمال خط الاستواء. ان كانت الالواح الشمسية الضوئية ستثبت طول السنه على ميول ثابت، فالميول الثابت الأمثل بمناطق المملكة لإنتاج أعلى طاقة بشكل سنوي هو زاوية ارتفاع المدينة عن خط الاستواء. فمثلا مدينة درجة ارتفاعها 26 درجه فسيكون أنسب ميول للألواح الشمسية 26 درجة لجهة الجنوب الحقيقي.

يتراوح مدى زاوية الطول لمدن المملكة العربية السعودية ما بين 16.5 درجه الى 31.6 درجه. فبناءا على موقع الالواح الشمسية يتم تحديد ميول الالواح الشمسية كما سبق ذكره.

تغيير ميول الالواح الشمسية مرتان بالسنة

من الأنسب تثبيت الألواح على قواعد ذات خاصية تمكن الشخص من تغيير ميول الألواح الشمسية بشكل مرن. ينصح بتغيير ميول الالواح الشمسية مرتين بالسنة الواحدة وذلك في شهر مارس وشهر سبتمبر على النحو التالي:

- لأفضل اداء في فصل الصيف يتم تغيير ميول الالواح الشمسية بحيث يكون زاوية ميولها تساوي زاوية طول المدينة طرح 15 درجه. يتم تغيير الميول في يوم 5 مارس من كل سنة.
- أما لأفضل انتاج في فصل الشتاء يتم تغيير ميول الالواح الشمسية بحيث يكون زاوية ميولها تساوي زاوية طول المدينة مضاف لها 15 درجه. يتم تغيير الميول في يوم 5 سبتمبر من كل سنة.

مثال (2.2)

ما هي زاويتا التغيير لفصلي الصيف والشتاء لألواح شمسية بمدينة الرياض؟

كما شاهدنا بالمثال السابق زاوية الطول لمدينة الرياض هي 24.68 درجه. لذلك الزاويتين هما:

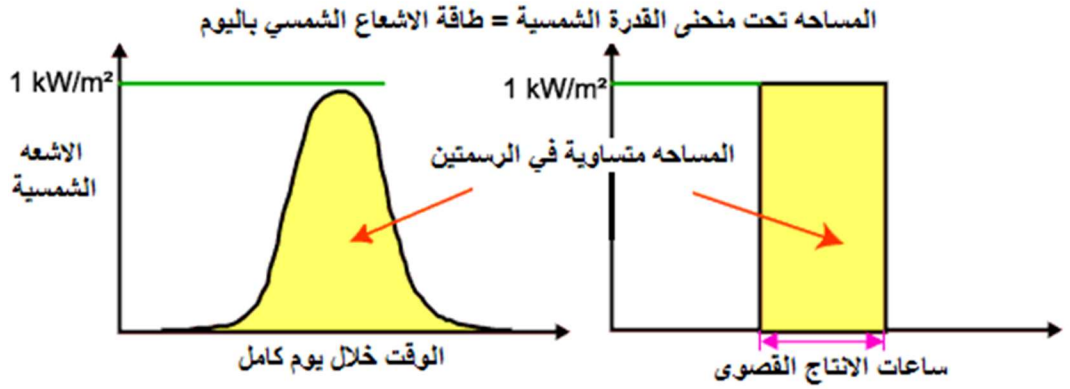
لفصل الصيف ميول الالواح الشمسية من 5 مارس الى 4 سبتمبر = $15 - 24.68 = 9.68$ درجه

لفصل الشتاء ميول الالواح الشمسية من 5 سبتمبر الى 4 مارس = 15 + 24.68 = 39.68 درجه

مبدأ انتاج الساعات القصوى للأشعة الشمسية (Peak Sun Hours)

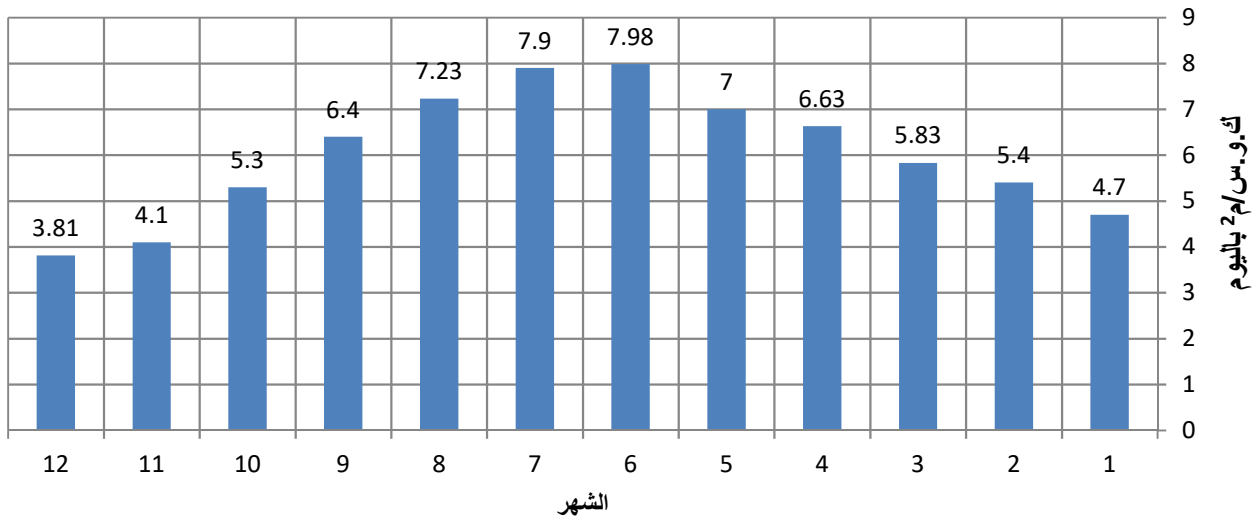
إن مبدأ انتاج الساعات القصوى (PSH) مهم لتقييم مستوى الطاقة الشمسية في كل منطقة بشكل يومي لكل يوم من ايام السنه أو متوسط يومي لكل شهر من شهور السنه. عند قياس الاشعاع الافقي الكلي في يوم ما فإنه من الممكن حساب الطاقة بال ك.و.س/م^2 في اليوم. كما لدينا بالرسمة (7) والتي تعتبر الاشعاع الافقي الكلي لاحد الايام فيتم حساب عدد ساعات الانتاج الاقصى والتي تعبر عن متوسط عدد الساعات باليوم التي سنحصل فيها على 1 ك.و.س/م^2 باليوم عن طريق عمل تكامل لقدرة الاشعاع الشمسي الافقي.

فمثلا، لدينا طاقة الاشعاع الشمسي بأحد الأيام يساوي 6200 وات – ساعه/م^2 باليوم ،فكم قيمة ساعات الانتاج القصوى في هذا اليوم؟ الإجابة تكون بقسمة العدد على 1000 وبالتالي نحصل على PSH 6.2 بهذا باليوم.



الرسمة (7) طريقة حساب ساعات الانتاج القصوى باليوم

إن توفر هذه البيانات مهم جدا لعمل التصميم الأمثل لمختلف أنظمة الطاقة الشمسية فلذلك تم توفير هذه البيانات بشكل مفصل لمدن متعددة بالمملكة العربية السعودية كما في الجدول (1). طبعا هناك تفاوت كبير في عدد ساعات الانتاج القصوى ما بين فصول السنه المختلفة خاصة ما بين الصيف والشتاء وذلك نتيجة اختلاف زاوية انحراف الشمس عن سطح الارض والتي تم التحدث عنها بالتفصيل في القسم المنصرم من هذا الفصل. في الرسمة (7) التالية يتضح معنا طاقة الاشعاعات الشمسية بمتوسط يومي لكل شهر بمدينة الرياض. فنستطيع ملاحظة انه في شهر يونيو متوسط الطاقة اليومية على مسطح المتر المربع تبلغ أكثر من ضعف متوسط الطاقة اليومية في شهر ديسمبر. جدول (1) يحتوي على متوسط الساعات القصوى اليومية لكل شهر لمدن مختلفة بالمملكة حسب بيانات الرصد من محطات مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.



الرسمة (7) متوسط طاقة الاشعاع الشمسي اليومي لشهور السنه بمدينة الرياض

الجدول (1) يتضح معنا متوسط PSH لعدد من المدن في المملكة العربية السعودية (*KaCare*)

المدينة	المتوسط اليومي لكل شهر *GHI* (كيلووات – ساعه/م^2)											
الشهر	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
الرياض	4.7	5.4	5.83	6.63	7	7.98	7.9	7.23	6.4	5.3	4.1	3.81
جده	4.62	5.37	5.79	6.55	6.97	7.3	7.34	6.45	6.1	5.37	4.61	3.77
المدينة	4.52	5.53	5.73	6.77	7.87	7.86	7.85	7.1	6.52	5.67	4.84	4.03
مكة	4.3	5.37	6.18	6.72	7.42	7.51	6.94	6.46	6	5.78	4.78	3.9
الدمام	4.22	4.9	5.13	6.52	7.1	7.93	7.4	7.16	6.28	5.2	3.97	3.58
ينبع	4.75	5.33	6.32	7	7.15	7.82	7.95	6.77	6.32	5.6	4.76	4.23
تبوك	4.12	4.98	6.21	7.63	7.91	8.5	8.3	7.2	6.33	5.37	4.13	3.9
جيزان	4.55	5.41	6.1	6.22	6.74	6.43	6.1	5.82	6.2	5.7	4.82	4.22
الجوف	3.83	4.8	5.91	7.43	7.85	8.44	8.36	7.42	6.41	5.1	3.78	3.57
ابها	4.44	6.3	7.06	5.62	6.65	6.93	5.81	6.1	6.11	6.7	5.51	4.38
عرعر	3.65	4.61	5.97	7.26	7.76	8.42	8.37	7.43	6.27	4.86	3.71	3.31
بريده	4.61	5.32	5.61	6.37	7.1	8.03	8.1	7.41	6.63	5.03	4.18	3.42

بيانات الاشعاعات الشمسية على ميول مختلف للألواح الشمسية

لكي يتم تصميم أنظمة الطاقة الشمسية بشكل دقيق، فإنه يتوجب علينا معرفة مقدار الطاقة الشمسية بالمتر المربع باليوم على ميول الالواح المعني بتثبيتها عنده. لذلك، فقد تم استخدام بيانات الطاقة الشمسية التي تم رصدها بواسطة ناسا على مدى 22 عاما وتم تحليلها احصائيا لتعطي قيمة الطاقة الشمسية عند الميول الامثل للمدينة المعنية. كما يتضح معنا بالجدول (2) التالي لمدينة الرياض. كما يتضح معنا بالجدول (2) فإن ساعات الانتاج القصوى عند ستة درجات ميول مختلفة للألواح الشمسية وهي درجة ميول 0 درجة و 9 درجات و 39 درجة و 90 درجة ودرجة الميول الأمثل لمدينة الرياض وهي 24 درجة والتي تعطي اعلى متوسط اشعاع للوح شمسي إذا كان الميول ثابت طوال السنة. كما نلاحظ درجة ميول 9 درجات هي عبارة عن درجة ارتفاع الرياض مطروح منها 15 درجة للحصول على أفضل متوسط اداء بشهور الصيف بينما 39 درجة هي درجة ارتفاع الرياض مضاف لها 15 درجة والتي تعطي افضل متوسط اداء بشهور فصل الشتاء. فلو كان صاحب المشروع لديه الواح شمسية ذات قواعد ذات مرونة بتغيير الميول من 9 الى 39 درجة، فإنه من المناسب كما اشرنا سابقا تغيير الزاوية إما بشكل فصلي أو شهري.

مثال: إذا كانت ألواح مشروعك الشمسي مثبته على قواعد قابلة لتغيير زاوية الميول من 9 الى 45 درجة فأحسب مقدار الطاقة كمتوسط يومي بالسنة عند تغييرها مرتين بالسنة كالتالي:

1- **زاوية ميل 9 درجات في الشهور: 4 الى 9**
2- **زاوية ميل 39 درجات في الشهور: 10 الى شهر *3***

الجواب:

1- لشهور الاختيار الاول لزاوية 9 درجات

$$PSH_{average} = \frac{PSH_{april} + PSH_{may} + PSH_{june} + PSH_{July} + PSH_{Aug}}{5}$$

$$= \frac{6.15 + 7.01 + 7.61 + 7.39 + 7.01 + 6.48}{6} = 6.941\ \frac{kWh}{m^2}/day$$

2- لشهور الاختيار الثاني لزاوية 39 درجة

$$PSH_{average} = \frac{PSH_{Sep} + PSH_{Oct} + PSH_{Nov} + PSH_{Dec} + PSH_{Jan} + PSH_{Feb} + PSH_{Mar}}{7}$$

$$= \frac{6.5 + 5.42 + 4.75 + 4.89 + 5.63 + 5.64}{6} = 5.471\ \frac{kWh}{m^2}/day$$

إذن المتوسط اليومي السنوي سيكون:

$$PSH_{average} = \frac{6.941 + 5.471}{2} = 6.206\frac{kWh}{m^2}/Day$$

فلو أردنا حساب الطاقة الشمسية بالمتر المربع بالسنة:

$$Irradiation = 365 \times 6.206 = 2{,}265.19\frac{kWh}{m^2}\ per\ year$$

جدول (2) الطاقة الشمسية لمدينة الرياض عند ميول متعدد للألواح الشمسية

متوسط يومي بالشهر عند توجه الالواح للجنوب الحقيقي kWh/m²/day													
ارتفاع المدينة 24.774	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط سنوي
DHI	1.22	1.41	1.74	1.98	1.95	1.75	1.8	1.71	1.56	1.28	1.19	1.15	1.56
DNI	5.05	5.69	5.76	6.2	7.49	8.8	8.33	7.92	7.33	7.12	5.84	4.9	6.71
ميول 0	3.65	4.59	5.32	6.07	7.12	7.84	7.56	6.99	6.25	5.42	4.08	3.43	5.7
ميول 9	4.08	5	5.57	6.15	7.01	7.61	7.39	7.01	6.48	5.87	4.55	3.87	5.89
ميول 24	4.61	5.46	5.75	6.04	6.54	6.92	6.79	6.76	6.59	6.36	5.12	4.43	5.95
ميول 39	4.89	5.63	5.64	5.62	5.75	5.89	5.86	6.15	6.35	6.5	5.42	4.75	5.7
ميول 90	3.89	4.03	3.31	2.49	1.95	1.71	1.79	2.26	3.27	4.39	4.2	3.9	3.09
ميول الامثل	4.94	5.63	5.76	6.15	7.12	7.84	7.56	7.02	6.6	6.5	5.45	4.82	6.28
الزاوية	47	40	26	11	0	0	0	6	21	37	46	50	23.5

نستطيع أن نستنتج من خلال المثال السابق ما يلي:

1- بتغيير الميول مرتين بالسنة سنحصل على اشعاع متوسط سنوي باليوم 6.206 ك.و.س لكل متر مربع مقارنة بطاقة شمسية 5.95 ك.و.س لكل متر مربع لو كانت الالواح ثابتة بميول 24 درجة. أي أننا سنحصل على 4.12% زيادة في الاشعاع الشمسي عند عمل ذلك.

2- كما اتضح معنا الزيادة لا تتجاوز 5% مما يجعل هذه الطريقة احيانا غير مجدية للمشاريع الصغيرة لأن تكلفة القواعد المتحركة أكبر من الثابتة.

3- نجد أنه نحتاج لتغيير الميول بشهور الشتاء الى 39 درجة مما يجعل المساحة المطلوبة للمحطة الشمسية عالية لزيادة المسافة بين صفوف الالواح الشمسية إن كانت صفيين فأكثر.

الفصل الرابع – أنواع أنظمة الطاقة الشمسية الضوئية

أنواع أنظمة الطاقة الشمسية

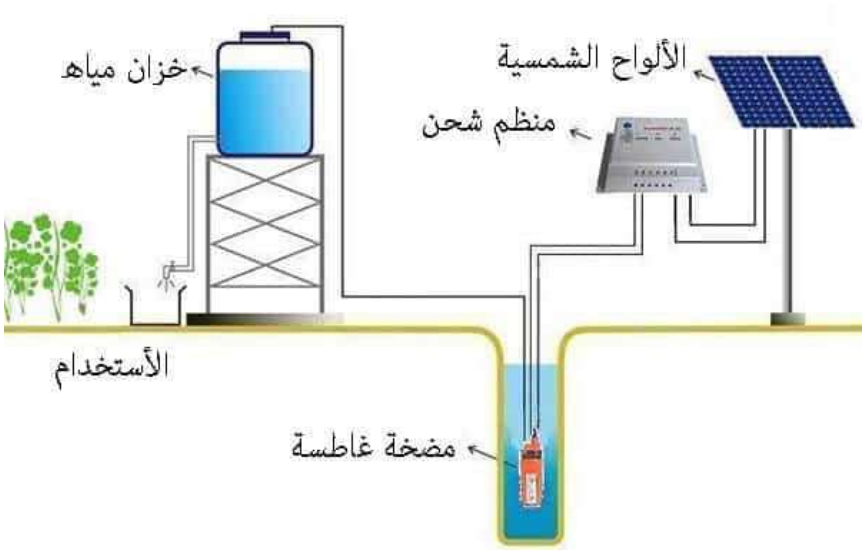
هناك عدت طرق لربط أنظمة الطاقة الشمسية الضوئية بالأحمال الكهربائية. وهنا نستعرض أشهر هذه الطرق:

أ. الأنظمة الشمسية المعزولة عن الشبكة OFF-Grid PV System

1- التوصيل المباشر بأحمال التيار المستمر PV Direct DC System

في هذا النوع يتم توصيل اللوحة الشمسية بشكل مباشر الى الأحمال الكهربائية. هذا الطريقة من أرخص الطرق اقتصاديا ولكن لا يمكن استخدامها بشكل عام لبعض العيوب التقنية:

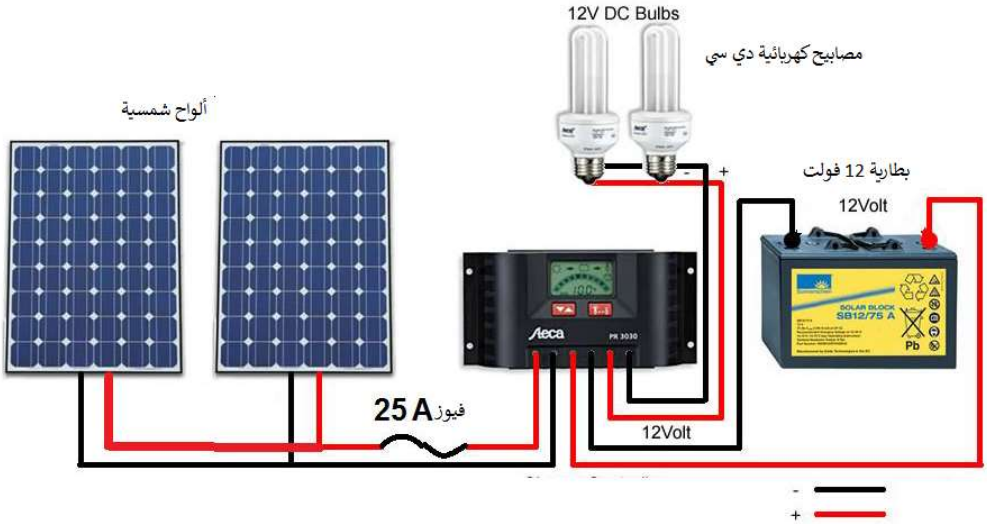
- التيار الكهربائي يتغير بتغير الاشعاع الشمسي ولذلك لا يمكن الحصول على مصدر ثابت للاحمال الكهربائية الموصلة ولهذا سيتأثر أداءها. فمثلا عند توصيل لوح شمسي بمروحة كهربائية فإن سرعة دورانها وعزمها سيتغيران بتغير الاشعاع الشمسي. ومثال اخر عند توصيلها بمضخة مياه كهربائية فإن معدل كمية دفع الماء تتغير بتغير الاشعاع الشمسي.
- في فترة الاشعاعات الضعيفة وفي فترة المساء لا يمكن للوح الشمسي تشغيل الاحمال الكهربائية. لذلك نحتاج بطاريات تخزين كما ستضح معنا في النوع الثاني من أنواع نظم الطاقة الشمسية.



تشغيل مضخة غاطسة على الطاقة الشمسية (بدون بطاريات تخزين)

2- التوصيل بأحمال التيار المستمر وبطاريات التخزين PV Direct with Energy Storage

هذا النوع من التوصيل يستخدم عندما تكون الاحمال جميعها تعمل على التيار المستمر سواء إضاءة او أجهزة كهربائية أخرى تعمل على مصدر تيار مستمر كالثلاجات او التكييف او غيرها. تتميز أجهزة التيار المستمر بأنها اعلى كفاءة وبالتالي تستهلك طاقة كهربائية أقل مقارنة بالاجهزة التي تعمل على التيار المتردد. لذلك تحتاج عدد ألواح أقل وسعة بطاريات أقل. ولكن أجهزة التيار المستمر مازالت مرتفعة تكلفتها مقارنة بأجهزة التيار المتردد ومن الصعب وجود قطع غيار بالسوق.



مصابيح دي سي موصلة لنظام طاقة شمسية ببطاريات

3- أنظمة الطاقة الشمسية لتغذية أحمال التيار المتردد AC OFF-Grid PV System

وهذا التكوين من أنظمة الطاقة الشمسية هو الأكثر انتشارا في الأنظمة المعزولة عن الشبكة والذي يتطلب عاكس لتحويل التيار المستمر من الألواح الشمسية والبطاريات الى تيار متردد كما في الشكل التالي. عواكس التيار المستمر ذات كفاءة من 85% الى 92% بالغالب مما يقلل من كفاءة النظام ككل.

أحمال كهربائية تيار متردد متصلة بنظام طاقة شمسية

4- أنظمة الطاقة الشمسية لتغذية أحمال التيار المتردد متصلة بمولد احتياطي AC OFF-Grid PV System with backup generator

هذه الأنظمة تستخدم عندما يكون هناك تفاوت كبير في الاستهلاك للطاقة الكهربائية ما بين الشتاء والصيف وذلك لوجود التكييف بالعادة. وجود المولد الكهربائي الاحتياطي والذي يعتمد على البنزين او الديزل يستخدم في أوقات الاستهلاك العالي للحفاظ على البطاريات من التفريغ الكامل. حيث يعمل المولد عادة بالصيف ساعتين او اكثر بشكل يومي بينما في الشتاء لا يكون له حاجة بالغالب. يعتبر هذا النظام أفضل من ناحية اقتصادية للمستهلك من الاعتماد فقط على الطاقة الكهربائية من النظام السابق والذي يكون الاعتماد الكلي فيه على البطاريات والالواح الشمسية. الشكل التالي يوضح التوصيل لمثل هذا النظام.

نظام شمسي معزول عن الشبكة بمولد احتياطي وبطاريات

ب. الأنظمة الشمسية المرتبطة بالشبكة العامة ON-Grid PV System (Grid Tie)

الأنظمة المرتبطة بالشبكة الكهربائية العامة هي من أكثر الأنظمة انتشارا وذلك لان معظم المستهلكين لديهم خدمة الكهرباء بمنازلهم. هذا النظام أيضا يعتبر أقل تكلفة من الأنظمة المعزولة عن الشبكة لعدم وجود بطاريات تخزين. يتم من خلال هذه الطريقة ربط العاكس مباشرة بشبكة كهرباء المنزل من خلال نقطة اتصال سواء بصندوق التوزيع الداخلي او من خلال الربط مع الكيبل الرئيسي المغذي للمنزل بعد العداد.

كيفية عمل نظام الطاقة الشمسية المرتبط بالشبكة:

- في فترة النهار ستنتج الالواح الشمسية التيار الكهربائي لتغذية المنزل حيث سيقوم العاكس بتحويل التيار المستمر الى تيار متردد متوافق مع تردد الشبكة عند نفس جهد الشبكة
- اذا كانت قيمة القدرة الكهربائية من الالواح الشمسية أعلى من الاستهلاك فإن الفائض عن استهلاك المنزل سيتم ارساله لشركة الكهرباء والتي ستبيعه لمستهلك اخر
- إذا كانت القدرة من الالواح الشمسية اقل من استهلاك المنزل فإن الأجهزة المنزلية ستستهلك كل انتاج الالواح الشمسية والباقي تستهلكه من الشبكة.
- في فترة الليل سيستهلك المنزل كل الطاقة من الشبكة الكهربائية

الفصل الخامس – سياسة صافي القياس لأنظمة الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة

مقدمة

قامت هيئة تنظيم الكهرباء والإنتاج المزدوج بالمملكة العربية السعودية باعتماد التنظيم الخاص بالقوانين والتشريعات التي تحكم العلاقة بين المستهلك الذي يرغب بتركيب نظام طاقة شمسية على منزله أو منشأته وشركة الكهرباء. حيث أن هناك شروط يجب توفرها لدى المستهلك ليكون مؤهلا لتركيب نظام طاقة شمسية وربطه بشبكة الكهرباء لمنزله أو منشأته. حسب وثيقة تنظيمات أنظمة الطاقة الشمسية الصغيرة بعض الشروط كالتالي:

٣. النطاق والتطبيق

٣ -١ تطبق هذه التنظيمات على مقدم خدمة التوزيع والمستهلك المؤهل والاستشاري/المقاول المعتمد وأي أشخاص آخرين لهم علاقة في ربط أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة بنظام التوزيع و/أو المرتبطين بترتيبات صافي القياس مع مقدم خدمة التوزيع.

٣ -٢ يحق للمستهلك المؤهل تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغير بموجب ترتيبات صافي القياس على أن تتحقق الشروط التالية :

أ) يجب أن تكون قدرة النظام ضمن القدرة المحددة والمسموح بها وفقاً للفقرة (٥ -٢) من هذه التنظيمات.

ب) يجب أن يكون موقع النظام في منشأة المستهلك المؤهل.

ج) يجب أن لا تتجاوز القدرة في المنشأة الواحدة ٢ ميغاواط.

د) يجب أن لا تتجاوز القدرة المجمعة ٥ ميغاواط والمركبة في منشآت مختلفة مملوكة للمستهلك المؤهل نفسه في منطقة إمداد تابعة لإدارة كهرباء واحدة.

ه) يجب أن لا تقل القدرة عن ١ كيلوواط.

و) يجب أن يوصل ويشغل النظام بأمان مع نظام التوزيع.

٣ -٣ لا تنطبق هذه التنظيمات على أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الذي تتجاوز قدرتها ٢ ميغاواط أو تقل عن ١ كيلوواط أو أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي لا تعمل بالتوازي مع نظام التوزيع.

٣ -٤ هذه التنظيمات لا تمنع المستثمرين من أحقية تنفيذ مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تتجاوز قدرتها أكثر من ٢ ميغاواط حيث توجد آليات بديلة أعدت لمثل هذه المشاريع من قبل المشتري الرئيس.

٣ -٥ يحق للهيئة تعديل هذه التنظيمات في أي وقت.

٤. أحكام عامة

٤ -١ يلتزم المستهلك المؤهل بجميع التنظيمات المطبقة وأي متطلبات أخرى ذات علاقة داخل المملكة العربية السعودية.

٤ -٢ يجب على مقدم خدمة التوزيع تقديم ترتيبات صافي القياس إلى المستهلك المؤهل من غير تمييز وعلى أساس من يأتي أولاً يُخدم أولاً.

٤ -٣ يستطيع المستهلك المؤهل تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة المرتبطة بنظام التوزيع داخل منطقة الإمداد لمقدم خدمة التوزيع على أن يكون ارتباطه بنظام التوزيع متوافق مع متطلبات كود التوزيع وأي تعديلات تطرأ عليه من وقت لآخر.

٤ -٤ تنطبق هذه التنظيمات على جميع فئات المستهلكين (السكني، التجاري، الصناعي، الزراعي، الحكومي).

٤ -٥ يجب على مقدم خدمة التوزيع إعطاء الأولوية في توفير ترتيبات صافي القياس لفئات المستهلكين السكنية والتجارية والحكومية والزراعية.

٥. المستهلك المؤهل وقدرة المشروع الواحد

٥ -١ بالإضافة إلى المتطلبات العامة المنصوص عليها في الفقرة (٣ -٢) من هذه التنظيمات، فيجب على المستهلك المؤهل لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة المرتبطة بترتيبات صافي القياس ما يلي:

أ) أن يكون مستهلكاً لدى مقدم خدمة التوزيع.

ب) أن يمتلك أو يكون في وضع يمكنه مالك المنشأة عن طريق عقد إيجار أو أي اتفاقية مماثلة للبناء أو التشغيل– أو يحمل حق الحيازة القانوني للمنشأة التي سيركب فيها نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغير.

ج) أن يربط نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغير على نظام التوزيع التابع لمقدم خدمة التوزيع.

٥ -٢ يجب عدم تجاوز القدرة الموصلة القصوى لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة والتي ستُركب في منشأة المستهلك المؤهل الحمل الموصل لحساب الاستهلاك.

٧ -٤ المتطلبات العامة للتوصيل

٧ -٤ -١ يتعين على المستهلك المؤهل الالتزام بالضوابط التالية:

أ) أن يقدم طلب مكتمل لتوصيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة.

ب) دفع الرسوم والتكاليف المتعلقة بالتوصيل والفحص التي تم تحديدها من قبل مقدم خدمة التوزيع واعتمدتها الهيئة.

ج) تسليم الأدلة إلى مقدم خدمة التوزيع التي تثبت مطابقة المواد المستخدمة للمعايير السعودية أو ما يكافئها من معايير عالمية (الوحدات الكهروضوئية، محولات عكس التيار، ...إلخ)

د) يجب إشراك استشاري/مقاول معتمد في عملية تصميم وتحديد مواصفات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة.

ه) يمكن تعيين استشاري/مقاول معتمد للقيام بأعمال التصميم والتركيبات الكهربائية والتواصل مع مقدم خدمة التوزيع بخصوص مخططات البناء واعتمادات التصميم وعملية الفحص.

٧ -٤ -٢ يجب على مقدم خدمة التوزيع مراجعة واعتماد التصاميم وبعد ذلك القيام بعملية الفحص للتحقق من الالتزام بتنظيمات التمديدات الكهربائية وهذه التنظيمات قبل التشغيل النهائي.

٧ -٤ -٣ يجب على مقدم خدمة التوزيع ضمان اتصال أي نظام طاقة شمسية كهروضوئية صغير يستفيد من اتفاقيات صافي القياس بنقطة التقاء واحدة فقط في منشأة واحدة.

٨. عملية توصيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة

يوضح هذا القسم الخطوات التي يجب إتباعها لربط أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة بنظام التوزيع سواء على الجهد المنخفض أو الجهد المتوسط، وعملية التوصيل متشابهة للحالتين وبالتالي فإن الخطوات الرئيسة الموضحة أدناه تطبق للحالتين، ويمكن تقسيم العملية بأكملها إلى أربع خطوات رئيسة وهي:

الخطوة الأولى: اختيار مقاول/استشاري أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

الخطوة الثانية: الاستفسار المبدئي لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

الخطوة الثالثة: اعتماد التصميم

الخطوة الرابعة: الفحص والتشغيل

٨ -١ الخطوة الأولى: اختيار مقاول/استشاري أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

٨ -١ -١ يقوم المستهلك المؤهل الراغب بتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية باختيار مقاول/استشاري مؤهل لتنفيذ أعمال التصميم والتركيبات الكهربائية المتعلقة بأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

٨ -١ -٢ يجب أن يتم اعتماد مقاول/استشاري أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية من قبل مقدم خدمة التوزيع للقيام بأعمال التصميم والتركيبات الكهربائية.

٨ -٢ الخطوة الثانية: الاستفسار المبدئي لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

٨ -٢ -١ طلب الاستفسار المبدئي لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة

أ) يجب على المستهلك المؤهل أن يقدم نموذج الطلب وفقاً للملحق (١) لتوصيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة.

ب) يجب على المستهلك المؤهل دفع رسوم الطلب الخاصة بأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة وفقا للرسوم الموجودة في الملحق (٣).

ج) ينبغي أن يوفر المستهلك المؤهل جميع المعلومات والوثائق اللازمة عن الموقع الجغرافي لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغير.

٨ -٣ -١ نموذج طلب اعتماد التصميم

أ) يحال نموذج طلب اعتماد التصميم _ كما هو محدد من قبل مقدم خدمة التوزيع _ إلى مقدم خدمة التوزيع من قبل المستهلك المؤهل كما سيطلب من المستهلك المؤهل تقديم مجموعة شاملة من الوثائق والمعلومات.

ب) الهدف الرئيس من اعتماد التصميم هو التأكد من تنفيذ أعمال التركيبات الكهربائية وفقاً لمعايير وتنظيمات التركيبات الكهربائية.

٨ -٣ -٢ التحقق من صحة الوثائق (التحقق الرسمي)

يجب على مقدم خدمة التوزيع التحقق من اكتمال وصحة طلب ربط أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة، ويجب رفض الطلب في حال وجود تناقضات، أما إذا كان الطلب مكتملاً فتستمر مرحلة مراجعة تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

٨ -٣ -٣ اعتماد تصميم الأنظمة الشمسية الكهروضوئية وإشعار المستهلك المؤهل

يتم اعتماد تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة إذا كانت نتائج دراسة الأثر حسب الفقرة (٨ -٢ -٢) إيجابية ويمكن إكمال عملية التوصيل مع الحفاظ على العناصر والمقاييس وفقا لمعايير نظام التوزيع، وفي هذه الحالة يعتمد مقدم خدمة التوزيع التصميم ويخطر المستهلك المؤهل بذلك.

٨ -٣ -٤ دفع رسوم توصيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

يقوم مقدم خدمة التوزيع حسب التصاميم المعتمدة باحتساب رسوم التوصيل التي سيتحملها المستهلك المؤهل لتوصيل لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة بنظام التوزيع، ويجري تقدير رسوم التوصيل وفقا للملحق (٣).

٨ -٣ -٥ اتفاقية توصيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة

أ) عند دفع رسوم التوصيل من قبل المستهلك المؤهل فإنه يتم توقيع اتفاقية توصيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة وفقا للملحق (٢).

ب) تحدد اتفاقية التوصيل الشروط والأحكام وفقاً لهذه التنظيمات.

ج) يقوم مقدم خدمة التوزيع بتوقيع نسختين من الاتفاقية خلال عشرة (١٠) أيام عمل من تاريخ دفع رسوم التوصيل وإرسال النسختين إلى المستهلك المؤهل ليقوم بإرجاع نسخة موقعة إلى مقدم خدمة التوزيع من أجل حفظها.

٨ -٣ -٦ بناء أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة

بمجرد توقيع اتفاقية التوصيل بين الطرفين يمكن للمستهلك المؤهل البدء ببناء أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة.

٨ -٤ الخطوة الرابعة: الفحص والتشغيل

٨ -٤ -١ إشعار بالفحص

يقوم المستهلك المؤهل بتقديم طلب فحص عند تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة والانتهاء من جميع الأعمال المدنية والكهربائية، ولابد من تقديم هذا الطلب لجميع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة، ويحتاج المستهلك المؤهل قبل تقديم طلب الفحص تجهيز عدد من الوثائق ، تشمل ما يلي:

-مواصفات المعدات الرئيسة.

-تفاصيل إعدادات الحماية وترتيباتها المشار إليها في كود التوزيع.

-نسخ من جميع قواعد السلامة والتعليمات المطبقة على معدات المستهلك المؤهل عند نقطة الالتقاء.

-المخطط الكهربائي لمعدات المستهلك المؤهل عند نقطة الالتقاء.

-مقترح لبرنامج الصيانة في حال أن قدرة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة تتجاوز ١٠٠ كيلوواط.

-إجراءات اختبار التشغيل لنقطة الالتقاء والمنشأة.

-تقارير الاختبار وجاهزية الموقع للتشغيل لنقطة الالتقاء والمعدات المقترحة.

-أي معلومات إضافية تطلب من قبل مقدم خدمة التوزيع.

٨ -٤ -٢ فحص وتركيب العدادات

في حال اجتياز الموقع لإجراءات الفحص يقوم مقدم خدمة التوزيع بتركيب العداد، وقد يشهد مقدم خدمة التوزيع اختبارات التشغيل الذي يقوم بها المهندس المسؤول عن اجراء الاختبار والمعين من قبل المقاول المعتمد، ويجري تنفيذ إجراءات التشغيل كما هو محدد في كود التوزيع وموصى بها من قبل المُصنع ومقبولة لدى مقدم خدمة التوزيع، وبعد الانتهاء من اختبارات التشغيل بنجاح يمكن تشغيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

٨ -٤ -٣ تقرير الفحص النهائي

يصدر مقدم خدمة التوزيع تقرير الفحص النهائي في حال أن كانت جميع الفحوصات والاختبارات المنصوص عليها في أعلاه ايجابية للتأكيد بأن التركيبات تعتبر متوافقة مع القواعد ويمكن البدء بإنتاج الكهرباء.

١٢. ترتيبات صافي القياس

١٢ -١ ترتيبات صافي القياس هي ترتيبات إلزامية لتبادل الكهرباء والتسوية بين المستهلك المؤهل ومقدم خدمة التوزيع.

١٢ -٢ يتم تصدير الكهرباء الفائضة والمولدة من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة إلى نظام التوزيع وتسجيلها في نظام الفوترة.

١٢ -٣ يجب أن يتم ترحيل الكهرباء الفائضة من دورة الفوترة الحالية إلى الدورة التي تليها ويتم خصمها مستقبلا من استهلاك الكهرباء لنقطة الالتقاء نفسها.

١٢ -٤ يجب أن تتم ترتيبات صافي القياس عبر نقطة التقاء واحدة مرتبطة بعداد واحد في المنشأة، ويمكن للمستهلك المؤهل الاستفادة من ترتيبات صافي القياس لأكثر من حساب استهلاك تعود إلى المستهلك المؤهل نفسه في منطقة الإمداد لإدارة كهرباء واحدة تابعة لمقدم خدمة التوزيع.

١٢ -٥ يجب على مقدم خدمة التوزيع إصدار فاتورة للمستهلك المؤهل للكهرباء المزودة له _ إن وجدت _ بعد خصم الكهرباء المصدرة من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة إلى نظام التوزيع.

١٢ -٦ يستمر ترحيل الوحدات الفائضة لمدة سنة وفي نهاية هذه الفترة، يجب على مقدم خدمة التوزيع أن يدفع إلى المستهلك المؤهل بناء على تعريفة يُعدها مقدم خدمة التوزيع ويسلمها للهيئة لاعتمادها.

١٢ -٧ يجب أن تُدفع القيمة المستحقة من رصيد كمية الطاقة الفائضة في حال تم إنهاء اتفاقية التوصيل مع مقدم خدمة التوزيع.

الفصل السادس – تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الضوئية والجدوى الاقتصادية

تصميم الأنظمة المرتبطة بالشبكة الكهربائية

إن تصميم أنظمة الطاقة الشمسية يتطلب العلم والمهارة والخبرة في تفاصيل مكونات الأنظمة الشمسية. إن ما يعطى هنا من أمثلة ما هي إلا لإعطاء صورة عامة عن إحدى طرق التصميم ولإخلاء المسؤولية فإنه يجب أن يكون المصمم والمركب للنظام مؤهل وحاصل على التدريب المتخصص. لقد تم تصميم برنامج مبسط لإعطاء فكرة عامة عن قدرة النظام الشمسي المطلوبة والتكلفة والجدوى الاقتصادية.

مثال (1): إن المثال التالي يوضح استهلاك الأجهزة الكهربائية في إحدى المنازل لمدة سنة. المستهلك يرغب بتخفيض 50% من فاتورته السنوية.

الاستهلاك السنوي للمنزل: 36000 ك.و.س.

الخطوات:

1. اختر المدينة المطلوبة 2. ادخل الاستهلاك السنوي للمنزل /المنشأه 3. غير نسبة التضخم حسب المطلوب

نسبة التضخم	3%	استهلاك المبنى السنوي (ك.و.س)	36000
نسبة تضاؤل انتاج الالواح سنويا	0.80%	الاشعاع السنوي ك.و.س/م^2	2291.835
كفاءة التحويل من تيار مستمر لمتردد	78%	نسبة التخفيض المطلوبه	50%
اختر المدينة	ينبع		
التعرفه الكهربائية	0.18	تاج من الالواح الشمسية AC out	18000

الطاقة القصوى	10.06919	كيلواط	

انتاج الألواح الشمسية على مدى 25 سنة (ك.و.س)

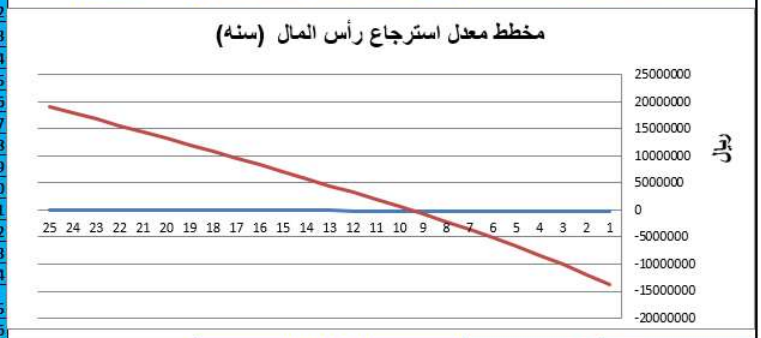
السنه	الانتاج (ك.و.س)	قيمة التوفير	القيمه الفعليه	خصم من الاستثمار
1	17,856	3,214	2,728	-36,542
2	17,712	3,188	2,612	-33,930
3	17,568	3,162	2,501	-31,428
4	17,424	3,136	2,394	-29,035
5	17,280	3,110	2,290	-26,744
6	17,136	3,084	2,191	-24,554
7	16,992	3,059	2,094	-22,459
8	16,848	3,033	2,001	-20,458
9	16,704	3,007	1,912	-18,546
10	16,560	2,981	1,825	-16,721
11	16,416	2,955	1,806	-14,915
12	16,272	2,929	1,787	-13,128
13	16,128	2,903	1,767	-11,361
14	15,984	2,877	1,748	-9,613
15	15,840	2,851	1,729	-13,884
16	15,696	2,825	1,710	-12,174
17	15,552	2,799	1,690	-10,484
18	15,408	2,773	1,671	-8,813
19	15,264	2,748	1,652	-7,161
20	15,120	2,722	1,632	-5,529
21	14,976	2,696	1,613	-3,916
22	14,832	2,670	1,594	-2,322
23	14,688	2,644	1,575	-747
24	14,544	2,618	1,555	808
25	14,400	2,592	1,536	2,344

سعر الألواح	17621.08327
سعر القواعد	9062.271398
سعر العاكس للتيار	7551.892832
التكلفة الإجمالية مع التركيب والحماية	39269.84272

نلاحظ من البرنامج أن قدرة الألواح الشمسية هي 10 كيلواط وتكلفت النظام مع التركيب تساوي 39269 ريال وستوفر سنويا 50% من الفاتورة تقريبا. كما يتبين لنا أيضا أن النظام لن يسترجع قيمته الا بعد 23 سنه عند نسبة تضخم 3% متوسطه للقطاع السكني حسب سياسة صافي القياس وذلك على اعتبار تعرفة ثابته طول مدة المشروع.

مثال (2) مول تجاري يستهلك سنويا 10,400,0000 كيلواط ساعه ويرغب المستثمر بتغطية 70% من الفاتورة السنوية.

نسبة التضخم	3%	استهلاك المبنى السنوي (ك.و.س)	10400000
نسبة تضاؤل انتاج الالواح سنويا	0.80%	الاشعاع السنوي ك.و.س/م^2	2318.48
كفاءة التحويل من تيار مستمر لمتردد	78%	نسبة التخفيض المطلوبه	70%
اختر المدينة	مط الرياض		
التعرفه الكهربائية	0.3	الإنتاج من الالواح الشمسية AC out	7280000



سعر الألواح	7044845.473
سعر القواعد	3623063.386
سعر العاكس للتيار	3019219.489
التكلفة الإجمالية مع التركيب والحماية	15699941.34

الطاقة القصوى	4025.626	كيلواط	
انتاج الألواح الشمسية على مدى 25 سنة (ك.و.س)			
السنه	الانتاج (ك.و.س)	قيمة التوفير	القيمه الفعليه	خصم من الاستثمار
1	7,221,760	2,166,528	1,946,426	-13,753,516
2	7,163,520	2,149,056	1,868,692	-11,884,824
3	7,105,280	2,131,584	1,793,702	-10,091,122
4	7,047,040	2,114,112	1,721,362	-8,369,760
5	6,988,800	2,096,640	1,651,581	-6,718,179
6	6,930,560	2,079,168	1,584,271	-5,133,908
7	6,872,320	2,061,696	1,519,348	-3,614,560
8	6,814,080	2,044,224	1,456,730	-2,157,830
9	6,755,840	2,026,752	1,396,337	-761,493
10	6,697,600	2,009,280	1,338,094	576,601
11	6,639,360	1,991,808	1,325,093	1,901,693
12	6,581,120	1,974,336	1,312,092	3,213,785
13	6,522,880	1,956,864	1,299,091	4,512,877
14	6,464,640	1,939,392	1,286,090	5,798,967
15	6,406,400	1,921,920	1,273,090	7,066,057
16	6,348,160	1,904,448	1,260,089	8,326,145
17	6,289,920	1,886,976	1,247,088	9,573,233
18	6,231,680	1,869,504	1,234,087	10,807,320
19	6,173,440	1,852,032	1,221,086	12,028,407
20	6,115,200	1,834,560	1,208,086	13,236,492
21	6,056,960	1,817,088	1,195,085	14,431,577
22	5,998,720	1,799,616	1,182,084	15,613,661
23	5,940,480	1,782,144	1,169,083	16,782,744
24	5,882,240	1,764,672	1,156,082	17,938,826
25	5,824,000	1,747,200	1,143,081	19,081,908

نلاحظ أن المطلوب هو نظام شمسي بقدرة 4.025 ميقاواط لتغطية 70% من الاستهلاك وبتكلفة تجاوزت 15.7 مليون ريال. ولأن المستهلك تجاري فإن التعرفة 30 هلله مما يؤدي أن النظام يسترجع قيمته في 9 سنوات تقريبا.

لذلك يتبين لنا أن الجدوى الاقتصادية للنظام تعتمد بالأساس على تكلفة الكهرباء من الشبكة بالإضافة لسعر المنظومة الشمسية. اذا كانت التعرفة تتجاوز 30 هلله فإن النظام في هذه الحالة مجدي من ناحية اقتصادية ونشجع للاستثمار به. بينما للقطاع السكني فإنه غير مجدي ومن المستحسن انتظار دعم حكومي أو الى ارتفاع أسعار الكهرباء.

المراجع:

[1] U.S. Energy Information Administration (EIA), 'Saudi Arabia - Analysis - U.S. Energy Information Administration (EIA)', 2015. [Online]. Available: http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=SA. [Accessed: 20- Feb- 2015].
[2] Middle East Economic Survey, "Saudi Arabia in Power Generation Efficiency Drive" (April 4, 2014), page 8.
[3] A. Alshehry and M. Belloumi, 'Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 237-247, 2015.
[4] Saudi Electricity Company, 'Saudi Electricity Company Annual Report 2013', 2014. [Online]. Available: https://www.se.com.sa/en-us/Pages/AnnualReports.aspx. [Accessed: 03- Feb- 2015].
[5] Middle East Economic Survey, "KACARE Outlines Saudi Electricity Energy Source Scenario" (May 3, 2013), page 7.
[6] Alghanim. M.H, Mallick. P.K,“ Utilization of Smart Grid and Renewable Energy toward a Sustainable Future in Saudi Arabia.” International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’15), March, 2015.
[7] Saudi Arabia energy efficiency report, ABB global, April, 2012. (Online, 2015)
[8] The Electricity & Cogeneration Regulatory Authority (ECRA) 'Activities and Achievements of the Authority 2013', 2014. [Online]. Available: http://www.ecra.gov.sa/reports.aspx. [Accessed: 05- Feb- 2015].
[9] I. Mahtab, 'Global Markets: Solar in Saudi Arabia', Saudi Arabia Solar Industry Association, 2014.
[10] The Electricity & Cogeneration Regulatory Authority (ECRA) 'Activities and Achievements of the Authority 2013', 2014. [Online]. Available: http://www.ecra.gov.sa/reports.aspx. [Accessed: 05- Feb- 2015].
74
[11] Ecra.gov.sa, 'The electricity & cogeneration Regulatory Authority', 2015. [Online]. Available: http://www.ecra.gov.sa/home.aspx. [Accessed: 07- Mar- 2015].
[12] Middle East Economic Survey, "KACARE Outlines Saudi Electricity Energy Source Scenario" (May 3, 2013), page 7
[13] Deaves, M. “Solar achieves grid parity in Saudi Arabia – Significant developments expected”, ClearSky Advisors, Feb. 2015 [online]
[14] S. Rehman, M. Bader and S. Al-Moallem, 'Cost of solar energy generated using PV panels',*Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 8, pp. 1843-1857, 2007.
[15] A. Almasoud and H. Gandayh, 'Future of solar energy in Saudi Arabia', *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 27, no. 2, pp. 153-157, 2015.
[16] State University of New York/ Albany, March 1999 – February 2013; DeLorme World Base Map 2010, DeLorme Publishing Company. Inc.
[17] S. Alawaji, 'Evaluation of solar energy research and its applications in Saudi Arabia — 20 years of experience', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 5, no. 1, pp. 59-77, 2001.
[18] M. Amin and M. El-Samanoudy, 'Feasibility study of wind energy utilization in

Saudi Arabia',*Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 18, no. 2, pp. 153-163, 1985.
[19] Ansari J, Madni IK, Bakhsh H. Saudi Arabian wind energy atlas. Riyadh, Saudi Arabia: KACST; 1986, p. 1-27.
[20] S. Rehman, T. Halawani and T. Husain, 'Weibull parameters for wind speed distribution in Saudi Arabia', *Solar Energy*, vol. 53, no. 6, pp. 473-479, 1994.
[21] S. Rehman, T. Halawani and M. Mohandes, 'Wind power cost assessment at twenty locations in the kingdom of Saudi Arabia', *Renewable Energy*, vol. 28, no. 4, pp. 573-583, 2003.

[22] Said SAM, El-Amin IM, Al-Shehri AM. Renewable energy potentials in Saudi Arabia. In: Beirut regional collaboration workshop on energy efficiency and renewable energy technology. American University of Beirut; April 2004. p.76-82.
[23] S. Rehman, 'Prospects of wind farm development in Saudi Arabia', *Renewable Energy*, vol. 30, no. 3, pp. 447-463, 2005.
[24] Rahman F, Rehman S, Arif M, Majeed A., “Overview of energy storage systems for storing electricity from renewable energy sources in Saudi Arabia.” Renew Sustain Energy Rev, Vol. 16, pp.274–283, 2012.
[25] International Energy Agency, 'World Energy Outlook 2014', 2015. [Online]. Available: http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energydevelopment/. [Accessed: 06- Apr- 2015].
[26] The Department of Energy, "Summary Report: 2012 DOE Microgrid Workshop," DOE EERE, Chicago, 2012.
[27] T. Glenwright, "http://www.smartgrid-live.com/wpcontent/ uploads/2012/12/Introduction to-Microgrids-by-Tristan-Glenwright.pdf.," December 2012. [Online].
[28] R. Luna-Rubio, M. Trejo-Perea, D. Vargas-Vázquez and G. Ríos-Moreno, 'Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies', *Solar Energy*, vol. 86, no. 4, pp. 1077-1088, 2012.
[29] A. Chauhan and R. Saini, 'A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 99-120, 2014.
[30] S. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi and A. Louche, 'Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island', *Energy Policy*, vol. 36, no. 2, pp. 743-754, 2008.
[31] A. Prasad and E. Natarajan, 'Optimization of integrated photovoltaic–wind power generation systems with battery storage', *Energy*, vol. 31, no. 12, pp. 1943-1954, 2006.

[32] H. Yang, L. Lu and W. Zhou, 'A novel optimization sizing model for hybrid solarwind power generation system', *Solar Energy*, vol. 81, no. 1, pp. 76-84, 2007.
[33] H. Yang, W. Zhou, L. Lu and Z. Fang, 'Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm', *Solar Energy*, vol. 82, no. 4, pp. 354-367, 2008.
[34] Hongxing Yang , Lin Lu, Wei Zhou. A novel optimization sizing model for hybrid

solar-wind power generation system, Solar Energy 81 (2007) 76–84.
[35] A. Askarzadeh, 'A discrete chaotic harmony search-based simulated annealing algorithm for optimum design of PV/wind hybrid system', *Solar Energy*, vol. 97, pp. 93-101, 2013.
[36] R. Kumar, R. Gupta and A. Bansal, 'Economic analysis and power management of a stand-alone wind/photovoltaic hybrid energy system using biogeography based optimization algorithm', *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 8, pp. 33-43, 2013.
[37] O. Ekren and B. Ekren, 'Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using response surface methodology', *Applied Energy*, vol. 85, no. 11, pp. 1086-1101, 2008.
[38] A. Arabali, M. Ghofrani, M. Etezadi-Amoli, M. Fadali and Y. Baghzouz, 'Genetic-Algorithm-Based Optimization Approach for Energy Management', *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 28, no. 1, pp. 162-170, 2013.
[39] A. Kashefi Kaviani, G. Riahy and S. Kouhsari, 'Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages', *Renewable Energy*, vol. 34, no. 11, pp. 2380-2390, 2009.
[40] Y. Katsigiannis, P. Georgilakis and E. Karapidakis, 'Multiobjective genetic algorithm solution to the optimum economic and environmental performance problem of small autonomous hybrid power systems with renewables', *IET Renew. Power Gener.*, vol. 4, no. 5, p. 404, 2010.
[41] P. Moura and A. de Almeida, 'Multi-objective optimization of a mixed renewable system with demand-side management', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 5, pp. 1461-1468, 2010.

[42] B. Ould Bilal, V. Sambou, P. Ndiaye, C. Kébé and M. Ndongo, 'Optimal design of a hybrid solar–wind-battery system using the minimization of the annualized cost system and the minimization of the loss of power supply probability (LPSP)', *Renewable Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 2388-2390, 2010.
[43] D. Abbes, A. Martinez and G. Champenois, 'Life cycle cost, embodied energy and loss of power supply probability for the optimal design of hybrid power systems', *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 98, pp. 46-62, 2014.
[44] S. Karaki, R. Chedid and R. Ramadan, 'Probabilistic performance assessment of autonomous solar-wind energy conversion systems', *IEEE Trans. On energy Conversion*, vol. 14, no. 3, pp. 766-772, 1999.
[45] H. Yang, L. Lu and J. Burnett, 'Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems in Hong Kong', *Renewable Energy*, vol. 28, no. 11, pp. 1813-1824, 2003.
[46] G. Tina and S. Gagliano, 'Probabilistic analysis of weather data for a hybrid solar/wind energy system', *International Journal of Energy Research*, vol. 35, no. 3, pp. 221-232, 2011.
[47] G. Tina, S. Gagliano and S. Raiti, 'Hybrid solar/wind power system probabilistic modelling for long-term performance assessment', *Solar Energy*, vol. 80, no. 5, pp. 578-588, 2006.
[48] D. Khatod, V. Pant and J. Sharma, 'Analytical Approach for Well-Being Assessment of Small Autonomous Power Systems With Solar and Wind Energy

Sources', *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 2, pp. 535-545, 2010.
[49] N. Mohammad, M. Quamruzzaman, M. Hossain and M. Alam, 'Parasitic Effects on the Performance of DC-DC SEPIC in Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Applications', *SGRE*, vol. 04, no. 01, pp. 113-121, 2013.
[50] R. Francisco and D. Cruz, 'An Optimized Maximum Power Point Tracking Method Based on PV Surface Temperature Measurement', *Sustainable Energy - Recent Studies*, 2012.