

## الباب الأول

### استخدام الخلايا الشمسية في ضخ المياه

#### 1-1 مقدمة:

الشمس هي مصدر الحياة ومصدر الطاقة على الأرض، فالطاقة الشمسية الواصلة الى سطح الأرض تتحول الى شكلين رئيسيين: طاقة كيميائية وطاقة حرارية، وكل منها يتجلى بعدة مظاهر تؤدي لنشوء عدد من الطاقات. فعند سقوط اشعة الشمس على أوراق النباتات تدخل في النبات على شكل طاقة كيميائية عضوية، وتشكل هيكلًا للنباتات ومصدرًا لغذائه ولغذاء الكائنات الحية بشكل عام.

ان تراكم الكميات الكبيرة من هذه العضويات الحية عبر السنين، وخضوعها لظروف مناسبة من الأكسدة والارجاع، حولت الطاقة الكيميائية المختزنة فيها الى طاقة كيميائية تشكل مصدر الوقود الحضوري من النفط والغاز الخام.

اما الأثر الحراري للطاقة الشمسية فيتجلى ظاهرا عند سقوط الأشعة الشمسية على الغلاف الجوي فيؤدي لتسخينه تسخينًا متفاوتًا، وبالتالي: حدوث التيارات الهوائية، وبالنتيجة ظهور طاقة الرياح ويشكل تبخر كميات هائلة من مياه البحار والمحيطات مصدرًا للطاقة المائية على الأرض.

ان التسخين المباشر لسطح البحار والمحيطات يؤدي الى لارتفاع درجة حرارة السطح مع المحافظة على درجة حرارة منخفضة في القاع وتعرف الطاقة الناتجة من هذه الظاهرة بالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات.

تربط طاقة المد والجزر مباشرة مع الشمس ولو بشكل ضئيل إي بمدى قربها او بعدها على الأرض ويعتقد ان الطاقة الكامنة الجوفية في باطن الأرض هي الطاقة مستمدة من الشمس؛ لان معظم النظريات الحديثة تؤكد ان الأرض تعود نشأتها الى الشمس اذ انها انفصلت عنها (الكوكب الام) وبردت قشرتها الخارجية اما أعماقها زالت ملتهبة تشع الحرارة الى الجهات كافة.

#### 1-2 أهمية المشروع:

ان استخدام الخلايا الشمسية يلعب دورا هاما في الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية وبما ان الطاقات الأخرى كالطاقة الكهربائية والبتروول ومشقاتها ليست متوفرة لكل الناس، فان الخلايا الشمسية يمكن ان تكون البديل لها حيث انها تعتمد في عملها على الطاقة الشمسية وهي طاقة طبيعية متجددة، وبالتالي فان الشمس تعوض مصادر الطاقة المكلفة وخاصة للفقراء والأشخاص الذين يسكنون بعيدا عن شبكات المياه والكهرباء، حيث ان طاقة الشمسية يمكن ان تشغل مضخات المياه باستخدام الخلايا الشمسية كمصدر لكهرباء وبالتالي استخدام مضخة تدار بموتور كهربائي.

### **3-1 اهداف المشروع:**

يهدف البحث في توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الخلايا الشمسية واستخدامها في ضخ المياه

### **4-1 طريقة البحث:**

سيتناول هذا البحث (استخدام الخلايا الشمسية في ضخ المياه) ودراسة أنواع الخلايا الشمسية وتطبيقاتها وكيفية استخدامها في ضخ المياه بطريقة نظرية وعملية.

### **5-1 محتوى البحث:**

يحتوى هذا البحث على أربعة أبواب:

الباب الأول مقدمه ، والباب الثاني توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الخلايا الشمسية، والباب الثالث أنظمة الضخ الكهروضمسيه، والباب الرابع العملي.

## الباب الثاني توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الخلايا الشمسية

### 1-2 مقدمة

بدأ الإنسان استخدام الطاقة الشمسية منذ القرن الثالث قبل الميلاد، وذلك باستخدام المرايا لتركيز أشعة الشمس، ثم نتالت هذه الاستخدامات وتطورت تطورا كبيرا حتى استخدام هذه الطاقة في إطلاق الأقمار الصناعية التي تتزود بالطاقة الشمسية عن طريق الخلايا الكهروضوئية.

### 2-2 الجوانب الإيجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية:

إن الطاقة الشمسية كخيرها من مصادر الطاقة لها جوانب إيجابية وسلبية.

#### أول الجوانب الإيجابية:

1- الطاقة الشمسية طاقة هائلة من حيث مخزونها وكميتها، من حيث مخزونها: إن الشمس منبع لا ينتهي من الطاقة. ومن حيث كميتها: إن ما يصل إلى الأرض من الأشعة الشمسية يعادل عدة أضعاف احتياج البشرية من الطاقة.

2- الطاقة الشمسية مجانية، لذلك يعتمد استخدامها على الكلفة التأسيسية فقط.

3- تتوزع الطاقة الشمسية على سطح الكرة الأرضية، وتصل إلى جميع فلا حاجة لنقلها وتوزيعها.

4- على الرغم من الفرق في توزيع الطاقة الشمسية بين خط الاستواء والقطبين إلا أن توزيعها حسب خطوط العرض منتظم تقريبا، ويعتمد على المنطقة الجغرافية مما يسهل عملية دراستها واستخدامها وتبادل المعلومات والدراسات حولها.

5- تعد الطاقة الشمسية عملية من ناحية استخدامها، فهي قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية والكهربائية.

6- تعد هذه الطاقة لا مثيل لها في بعض الاستخدامات الخاصة فيما يتعلق بحياة الإنسان والنبات مثل (المشاريع الضخمة التي تعتمد على تبخير كميات هائلة من المياه وعمليات التركيب الضوئي وغيرها).

7- تعد هذه الطاقة مصدرا نظيفا للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الاستعمال.

#### ثانيا الجوانب السلبية:

1- تعد الطاقة الشمسية قليلة الكثافة لوأحدة السطح إذا ما قورنت بأنواع الطاقة التقليدية.

2- عدم استمرارية الطاقة الشمسية خلال اليوم، حيث تتوفر فقط لساعات معينة في اليوم مما يسبب مشاكل عملية في استخدامها.

3- جهل المستهلك بأهمية هذه الطاقة، مما يتطلب وضع خطة تفهيم وتوجيه بما يتناسب مع التحولات الاجتماعية التي ترافق استخدام هذه الطاقة.

4- إن نظام الطاقة الذي عاشه الإنسان خلال التطور الصناعي نتج عنه نظام حياتي معين، ونظام الطاقة الشمسية الجديد قد يتطلب تغييرا نوعيا في بعض أسس هذا النظام.

## 2-3 أهمية الطاقة الشمسية:

تأتي أهمية الطاقة الشمسية من اعتبارها أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن الحالي؛ لأن الطاقة التقليدية (الأحفوري) مهددة بالنضوب، وكذلك بما خلفته من آثار كارثية على بيئة الأرض من تلوث وارتفاع في درجة حرارة الأرض، والتي سببت تغيرات مناخية في جو الأرض.

لذلك فإن جهود كثير من الدول تتوجه نحو استثمار الطاقة الشمسية، وترصد لها المبالغ اللازمة لتطوير المنتجات، والبحوث الخاصة باستغلال الطاقة الشمسية كإحدى أهم مصادر الطاقة البديلة للنفط والغاز، وقد أعطي النصيب الأوفر في البحوث والتطبيقات لمجال تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء وهو ما يعرف باسم Photovoltaic.

وهذا المصدر من الطاقة هو أمل الدول النامية في التطور حيث أصبح توفر الطاقة الكهربائية من أهم العوامل الرئيسية لإيجاد البنى الأساسية فيها، ولا يتطلب إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية مركزية في التوليد بل تنتج الطاقة، وتستخدم بالمنطقة نفسها أو المكان، وهذا ما يوفر الكثير من التكلفة بالنقل والمواصلات.

وتعتمد هذه الطريقة بصورة أساسية على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية، وتوجد في الطبيعة مواد كثيرة تستخدم في صناعة الخلايا الكهروضوئية، والتي تجمع بنظام كهربائي وهندسي محدد لتكوين ما يسمى باللوحة الشمسية الذي يعرض بدوره لأشعة الشمس بزوايا معينة لينتج أكبر قدر من الكهرباء.

ورغم أن الطاقة الشمسية أخذت تتبوأ مكانا مهما ضمن البدائل المتعلقة بالطاقة المتجددة، إلا أن مدى الاستفادة منها يرتبط بوجود أشعة الشمس طيلة وقت الاستخدام أسوة بالطاقة التقليدية. وعليه يبدو أن المطلوب (إضافة إلى تطوير التحويل الكهربائي والحراري للطاقة الشمسية) تطوير تقنية تخزين تلك الطاقة للاستفادة منها في أثناء فترة احتجاب الإشعاع الشمسي. وهناك طرق تقنية عدة لتخزين الطاقة الشمسية تشمل التخزين الحراري والكهربائي والميكانيكي والكيميائي والمغناطيسي.

وتعد بحوث تخزين الطاقة الشمسية من أهم مجالات التطوير اللازمة في تطبيقات الطاقة الشمسية وانتشارها على مدى واسع، حيث إن الطاقة الشمسية رغم أنها متوفرة إلا أنها ليست في متناول اليد وليست مجانية بالمعنى المفهوم. فسعرها الحقيقي عبارة عن المعدات المستخدمة لتحويلها من طاقة كهرومغناطيسية إلى طاقة كهربائية أو حرارية، وكذلك تخزينها إذا دعت الضرورة. ورغم أن هذه التكاليف حاليا تفوق تكلفة إنتاج الطاقة التقليدية إلا أنها لا تعطي صورة كافية عن مستقبلها لأنها آخذة في الانخفاض المتواصل بفضل البحوث الجارية والمستقبلية.

## 2-4 استخدامات الطاقة الشمسية:

استفاد الإنسان منذ القدم من طاقة الإشعاع الشمسي مباشرة في تطبيقات عديدة كتجفيف المحاصيل الزراعية وتدفئة المنازل، كما استخدمها في مجالات أخرى وردت في كتب العلوم التاريخية، فقد أحرق أرخميدس الأسطول الحربي الروماني في حرب عام (212) ق.م عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي على سفن الأعداء بواسطة المئات من الدروع المعدنية، وفي العصر البابلي

كانت نساء الكهن يستعملن آليات ذهبية مصقولة كالمرايا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار.

حاول الإنسان منذ فترة بعيدة الاستفادة من الطاقة الشمسية واستغلالها ولكن بقدر قليل ومحدود، ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فتحت آفاق علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية.

## 2-4-1 الاستخدامات الحرارية:

تشمل منظومات التدفئة وتسخين المياه للأغراض المنزلية والصناعية، حيث تعد من الاستخدامات الأساسية الأكثر عملية لأنظمة الطاقة الشمسية في الأبنية السكنية. ومنظومات تحلية المياه، ومنظومات تجفيف المحاصيل الزراعي، و الطباخات الشمسية، ومنظومة التبريد حيث تعد الطاقة الشمسية أفضل وسيلة للتبريد فكلما زاد الإشعاع الشمسي حصلنا على تبريد أفضل، وكانت أجهزة التبريد الشمسي أكثر كفاءة، ولكن تكلفة التبريد الشمسي تكون أعلى من السعر الحالي للتبريد من ثلاثة إلى خمسة أضعاف تكلفته الاعتيادية، ويعود السبب لارتفاع كلفة مواد التبريد الشمسي، ومعدات تجميع الحرارة وتوليد الكهرباء.

## 2-4-2 الاستخدامات الكهربائية:

التحويل بالخلايا الشمسية من أهم وسائل تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وتمتاز هذه المنظومات بسهولة النصب والتشغيل والموثوقية في الإنتاج وعدم الاحتياج إلى الصيانة المستمرة وعدم تلوث البيئة وعمرها التشغيلي أكثر من (25) سنة.

ويمكن تقسيم هذه المنظومات حسب القدرة الكهربائية إلى ثلاثة أقسام:

1- تطبيقات ذات قدرة منخفضة تشمل الأجهزة والمنظومات التالية:

- الحاسبات والألعاب الإلكترونية والساعات.

- أجهزة الإذاعة المسموعة وشاحنات وسائط القدرة المنخفضة.

2- تطبيقات ذات قدرة متوسطة وتشمل المنظومات التالية:

الإنارة - أجهزة الإذاعة المرئية - ثلاجات اللقاح والأمصال - إشارات المرور والإنذار - مراوح الأسقف (التهوية) - هواتف الطوارئ - شاحنات السياج الكهربائي (حيث يشحن السياج المحاط بالمزارع وأماكن تربية الحيوانات لمنعها من الاقتراب منها).

3- تطبيقات ذات قدرة متوسطة وعالية وتشمل المنظومات التالية: ضخ المياه -

محطات اتصالات لموجات السنتيمترين - محطات الأقمار الصناعية

الأرضية - الوقاية المهبطة لحماية أنابيب النفط والغاز والمنشآت المعدنية

من التآكل - تغذية شبكة الكهرباء العامة.

## 2-5 مشاكل استخدام الطاقة الشمسية :

إن أهم مشكلة تواجه الباحثين في مجالات استخدام الطاقة الشمسية هي وجود الغبار ومحاولة تنظيف أجهزة الطاقة الشمسية منه.

إن أفضل طريقة للتخلص من الغبار هي استخدام طرق التنظيف المستمر أي على فترات لا تتجاوز ثلاثة أيام لكل فترة، وتختلف هذه الطرق من بلد إلى آخر معتمدة على طبيعة الغبار وطبيعة الطقس في ذلك البلد .

أما المشكلة الثانية فهي خزن الطاقة الشمسية والاستفادة منها في أثناء الليل أو الأيام الغائمة أو الأيام المغيرة، ويعتمد خزن الطاقة الشمسية على طبيعة الطاقة الشمسية وكميتها، ونوع الاستخدام وفترة الاستخدام بالإضافة إلى التكلفة الإجمالية لطريقة التخزين، ويفضل عدم استعمال أجهزة للخن لتقليل التكلفة والاستفادة بدلاً من ذلك من الطاقة الشمسية مباشرة حين وجودها فقط، ويعد موضوع تخزين الطاقة الشمسية من المواضيع التي تحتاج إلى بحث علمي أكثر واكتشافات جديدة .

والمشكلة الثالثة في استخدامات الطاقة الشمسية هي حدوث التآكل في المجمعات الشمسية بسبب الأملاح الموجودة في المياه المستخدمة في دورات التسخين، وتعتبر الدورات المغلقة واستخدام ماء خال من الأملاح فيها أفضل الحل للحد من مشكلة التآكل والصدفي المجمعات الشمسية.

## 6-2 الإشعاع الشمسي:

إن النظرية السائدة حول نشوء الشمس هي أنها تشكلت من سحابة غازية من الهيدروجين. المرحلة الأولى من تطور الشمس كانت التقلص الجاذبي لجزيئات الهيدروجين، وهذا التقلص سبب تصادمات عنيفة بين جزيئات الهيدروجين نتج عنها حرارة هائلة أدت إلى صهر نوى ذرات الهيدروجين، ونتج عن ذلك تولد الطاقة وتشكل الهليوم من اتحاد نوى ذرات الهيدروجين. الكتلة الذرية للهليوم الناتج أقل من الكتلة الذرية للهيدروجين الأصلي؛ وذلك بسبب تحول الكتلة إلى طاقة في عملية الانصهار. إن تفاعل الانصهار الأول في السحابة الهيدروجينية نتج عنه ولادة الشمس.

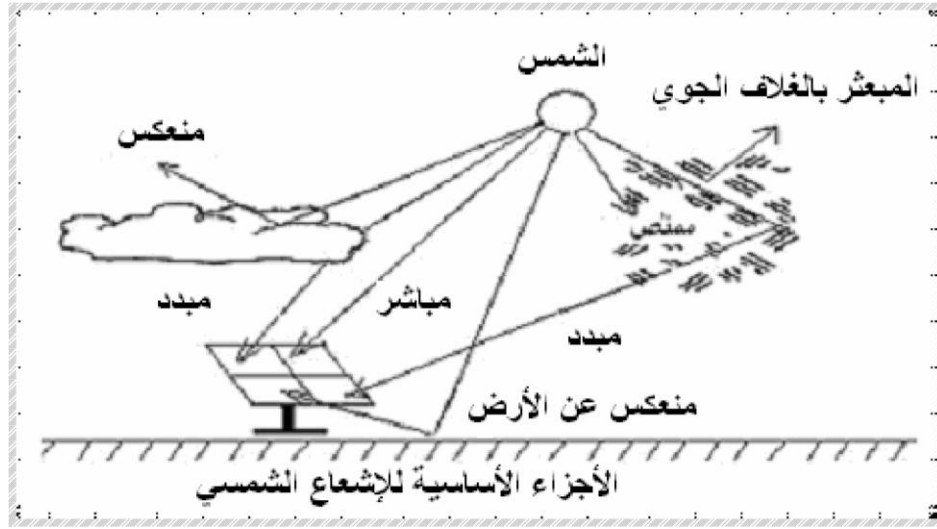
تؤدي الانهيارات النووية الحاصلة في مركز الشمس لإصدار الطاقة بشكل إشعاع كهرومغناطيسي عالي التردد، يصدر هذا الإشعاع بجميع أطوال الموجة ابتداءً من الموجات الراديوية ذات طول الموجة الطويلة إلى أشعة ذات الموجة القصيرة جداً وأشعة غاما .

يشكل الضوء المرئي 46% من الطاقة الكلية الصادرة عن الشمس و 49% من هذه الطاقة هي أشعة تحت حمراء بمثابة الحرارة، وهي أشعة بأطوال موجية أكبر من طول موجة الإشعاع الأحمر. أما النسبة المتبقية من الإشعاع الشمسي فتصدر بشكل أشعة فوق بنفسجية بأطوال موجية أقصر من طول موجة الإشعاع البنفسجي، وجميع هذه الإشعاعات الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الفضاء بمعدل ثابت.

إن حوالي 40% من الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض ينعكس إلى الفضاء بسبب الغيوم والغلاف الجوي وبعض السطوح كالماء والثلج والرمل، والجزء الآخر من الإشعاع الشمسي في أي وقت من أوقات يومه يمر عبر الغلاف الجوي ويتبعثر في كل الاتجاهات، يسقط قسم من هذا الإشعاع المبعثر على سطح الأرض وتقوم الغيوم والغبار ببعثرة قسم منه، والقسم المتبقي يقوم بامتصاصه بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون الموجود في الغلاف الجوي. وتبلغ قيمة معدل الإشعاع الشمسي الساقط على المحيط الخارجي للأرض ( $1357W/m^2$ ) وهو ما يعرف بالثابت الشمسي.

تتكون مجموعة الإشعاعات التي ترتطم بسطح الخلية الكهرو شمسية أو بمساحة معينة على سطح الأرض كما هو موضح في الشكل رقم (1-1) من ثلاثة أجزاء أساسية [12] وهي:

- 1- حزمة الإشعاع المباشر (Direct Beam Radiation).
- 2- حزمة الإشعاع المبعثر (Diffuse Radiation).
- 3- حزمة الإشعاع المعكوس (Albedo Radiation).



الشكل (2-1)

الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية الكهرو شمسية

الجزء الأول يعرف نفسه وهو عبارة عن شعاع مباشر أي في خط مباشر من الشمس إلى الأرض ويشكل نسبة كبيرة من هذه الأجزاء في الأيام المشمسة. أما في الأيام الغائمة فإن الشمس مغطاة بالغيوم والشعاع المباشر يكون تقريباً معدوم، وبالتالي: تشكل الحزمة الضوئية المبعثرة الأغلبية العظمى في ذلك اليوم.

وبما أن هذا الشعاع يأتي من أنحاء متفرقة من السماء فيطلق عليه اسم إشعاع السماء، وتكون كميته حوالي 10% إلى 02% للسماء الصافية وبتحود 100% للسماء الغائمة. أما الجزء الثالث والأخير فهو مكمل للحزمة الضوئية الكاملة التي ترتطم بالخلية الكهرو شمسية، وهو عبارة عن الإشعاعات الشمسية المنعكسة بواسطة الوسائط المختلفة المحيطة بالخلية.

إن كمية الإشعاع المنعكس على سطح الخلية يكون مختلف الكمية بسبب اختلاف السطوح العاكسة للشعاع والجدول (2-1) يحتوي على بعض السطوح العاكسة الموجودة ومعاملات انعكاس كل سطح لأن ذلك يؤخذ في الحسبان عندما نريد إيجاد كمية الشعاع الساقط على نقطة معينة من الأرض. بعض المواد العاكسة للإشعاع الشمسي ومعاملات انعكاسها

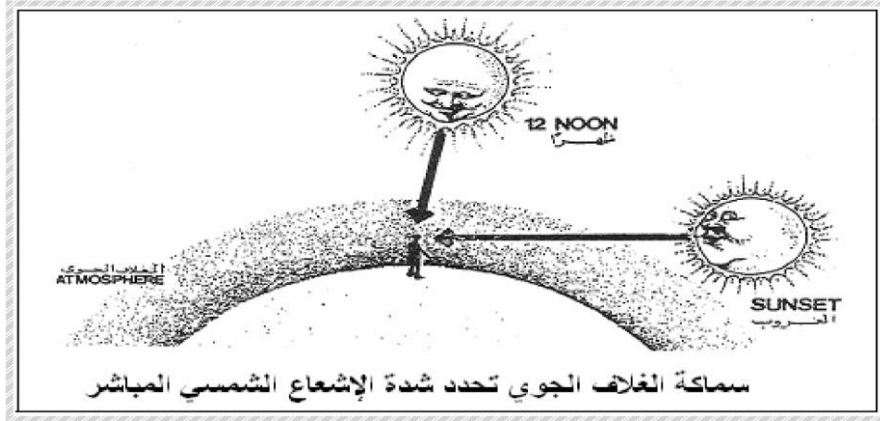
Materials	Reflection Coefficient( $\rho_0$ )
Snow	0.7-0.87
Concrete	0.31-0.33
Tar and gravel roofs	0.12-0.15
Asphalt paved roads	0.10-0.12

جدول 1. المواد العاكسة ومعاملات الانعكاس لكل مادة

### الجدول (2-1)

بالإضافة إلى مكونات طبقة الغلاف الجوي إن العامل الأكثر أهمية في تحديد مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض هو سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي.

عند منتصف النهار تكون الشمس عمودية، وبالتالي تكون سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي أصغري والطاقة الواصلة للأرض تكون أعظمية، أما عند الشروق و الغروب فإن سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي تكون أعظمية والطاقة الواصلة للأرض تكون أصغري كما في الشكل (2-2). ولهذا السبب فإن حجم طاقة الإشعاع الشمسي يكون مرتفعا في المناطق ذات الارتفاع الكبير عن سطح البحر.



### الشكل (2-2)

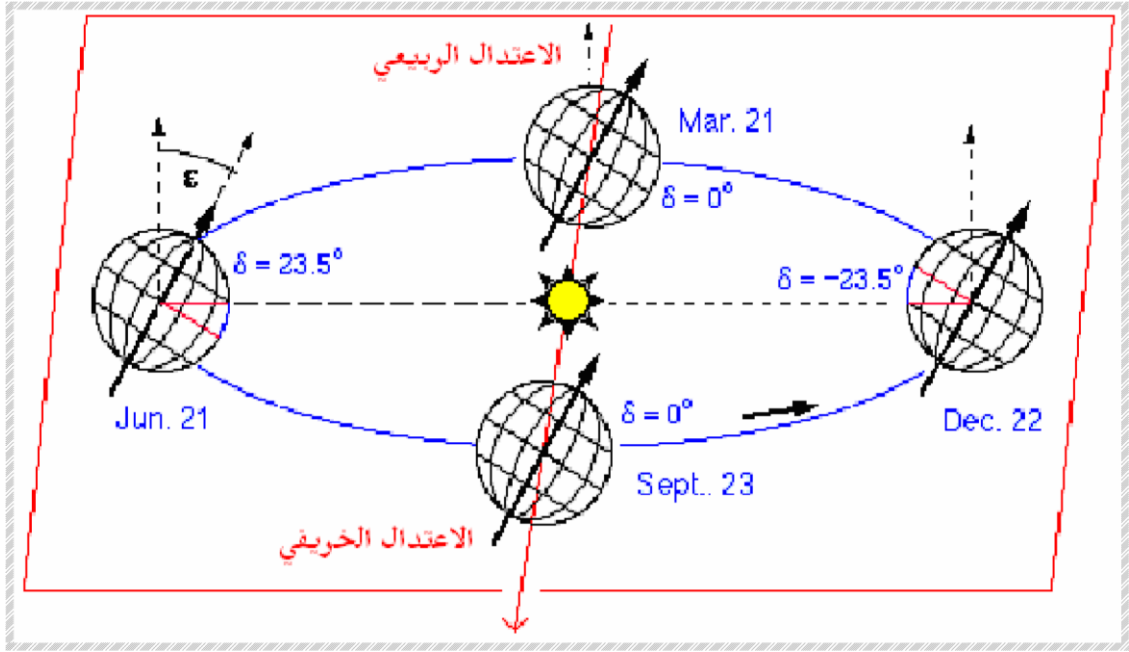
تأثير سماكة الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي المباشر

أيضا نلاحظ تغير شدة الإشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء بسبب ميل الأرض و دورانها حول الشمس. فيكون القطب الشمالي في شهر حزيران مواجه للشمس، ولهذا تنطلق الأشعة الشمسية إلى الجزء الشمالي من الكرة الأرضية بصورة عمودية تقريبا. أما في شهر كانون



الأول فإن القطب الشمالي ينحرف بعيدا عن الشمس باعثة أقل كثافة من الطاقة كما في الشكل (3-2).  
(2).

(تعرف كثافة الطاقة بأنها مقدار الطاقة الساقطة مقدرة بالكيلوواط-ساعة على المتر المربع من سطح الأرض في زمن معين).



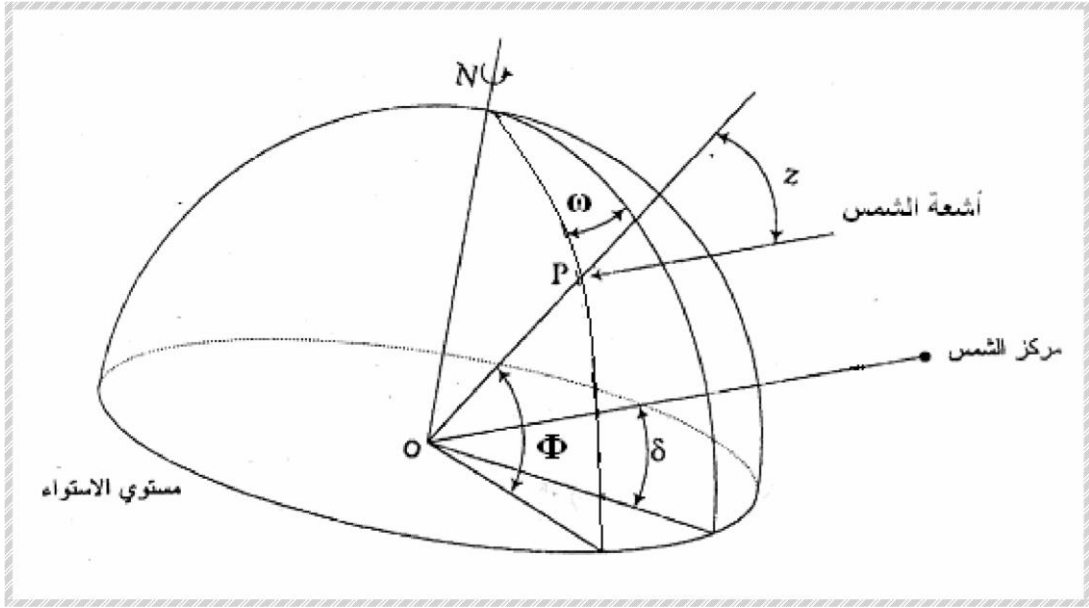
الشكل (3-2) تغير شدة الإشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء

## 7-2 الزوايا الشمسية:

بما أن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض تابع لموقع سطح الأرض بالنسبة للشمس فإنه من الضروري تحديد بعض الزوايا الهندسية الموضحة للعلاقة بين سطح الأرض والشمس و الشكل (4-1) يبين نقطة على سطح الأرض مواجهة لأشعة الشمس .

### 1- خط العرض (Φ):

خط العرض لنقطة م: هو الموقع الزاوي للنقطة المدروسة بالنسبة إلى مستوي خط الاستواء، ويفرض خط العرض موجب شمال خط الاستواء، وحسب الشكل (4-2) هو الزاوية بين الخط  $op$  ومسقطه على مستوي خط الاستواء.



الشكل (4-2) خط العرض  $\Phi$ ،  
 الانحراف الساعي  $\omega$ ، الانحراف  
 الشمسي  $\delta$

### 1- زاوية الانحراف الشمسي ( $\delta$ ) :

تعرف بأنها المسافة الزاوية لأشعة الشمس بالنسبة لمستوي خط الاستواء، شمالاً تفرض موجبة. وحسب الشكل (4-2) هي الزاوية بين الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط هذا الخط على مستوي خط الاستواء .

نتيجة للطبيعة الإهليجية لمسار الأرض حول الشمس فإن قيم زاوية الانحراف تتغير بين  $(+23.5^\circ)$  في الانقلاب الصيفي و  $(-23.5^\circ)$  في الانقلاب الشتوي . نتيجة لذلك فإن قيمة زاوية الانحراف ( بالدرجات ) لأي يوم بالسنة يمكن اعتبارها ثابتة وتحسب من العلاقة التجريبية التالية :

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (284+n) \right] \quad (1-2)$$

حيث :  $n$  هو رقم اليوم في السنة.

### الزاوية الساعية ( $\omega$ ) :

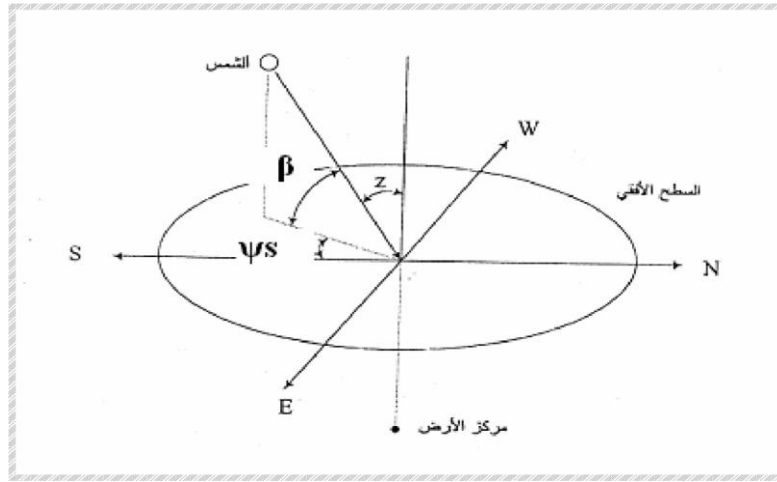
الزاوية الساعية لנקطة ما على سطح الأرض هي الزاوية الواجب أن تدورها الأرض لتضع خط طول هذه النقطة تحت الشمس مباشرة وحسب الشكل هي الزاوية المقاسة على مستوي خط الاستواء بين مسقط خط الطول ومسقط الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس .

الزاوية الساعية عند الظهيرة تساوي الصفر وتفرض موجبة بعد الظهر حيث إن تحرك الأرض على خط الطول يستغرق ساعة واحدة لذلك يمكن كتابة الزاوية الساعية بالدرجات كما يلي:

$$\omega = \pm \frac{1}{4} \text{ (number of minutes from local solar noon) } \quad (2-2)$$

حيث: الإشارة الموجبة تدل على ساعات بعد الظهر والإشارة السالبة تدل على ساعات الصباح.

بالإضافة للزوايا الهندسية الثلاث الموضحة في الشكل (4-2) فمن الملائم لحساب الإشعاع الشمسي تحديد موقع الشمس بالنسبة للسماء من خلال الزوايا الموضحة في الشكل (5-2).



الشكل (5-2)

زاوية السميت الرأسية  $z$  ، زاوية الارتفاع  $\beta$  ، زاوية السميت الأفقية  $\Psi_s$

2- زاوية السميت الشمسي الرأسية ( $z$ ): هي الزاوية بين أشعة الشمس والشاقول.

3- زاوية الارتفاع الشمسي ( $\beta$ ): هي الزاوية بين أشعة الشمس والمستوي الأفقي .

$$Z + \beta = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad (3-2)$$

وهكذا نجد أن العلاقة بين هذه الزوايا معطاة كما يلي :

$$\cos Z = \sin \beta = \sin \Phi \cdot \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos \omega \quad (4-2)$$

زاوية السميت الشمسي الأفقية ( $\Psi_s$ ):

هي الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين الجنوب ومسقط أشعة الشمس، و الاتجاه نحو الغرب تعد موجبا، هذه الزاوية تحسب وفقا للعلاقة التالية :



## زاوية السقوط الشمسي ( $\theta_k$ ):

هي الزاوية بين أشعة الشمس والخط العمودي على السطح . للسطح الأفقي يكون ( $Z=\theta_k$ ).  
والمعادلة التالية تبين العلاقة بين هذه الزوايا والزوايا السابقة لأي سطح معطى :

$$\cos\theta_k = \sin \beta \cos \gamma + \cos \beta \sin \gamma \cos(\psi_s - \psi_k) \quad (6-2)$$

## 8-2 شدة الإشعاع الشمسي على الأسطح الأفقية و المائلة

تتوقف شدة الإشعاع الساقط على سطح الأرض لموقع محدد عند زمن ما على توجيه السطح و ميله علما أن السطح المتعامد مع أشعة الشمس سوف يستقبل أكبر كمية من الإشعاع الشمسي، لكن عملية تتبع الشمس غالبا ما تكون مكلفة و غير عملية في كثير من الحالات. تبين أن الحل الأكثر ملائمة وباستخدام المجمعات المائلة في الإنشاءات العملية. وبالتالي: من الضروري حساب الإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح المائلة.

يبين الشكل (7-2) الإشعاع المباشر الساقط على الأسطح الأفقية و المائلة وهكذا نستطيع كتابة العلاقات التالية :

شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض في يوم صحو يمكن التعبير عنه بالعلاقة التالية :

$$E_{dirs} = A \cdot e^{-\frac{B}{\sin\beta}} = A \cdot e^{-Bm} \quad (7-2)$$

$E_{dirs}$  (W/m<sup>2</sup>): الإشعاع الشمسي المباشر عند سقوط حر.

$A$  (W/m<sup>2</sup>): الإشعاع الشمسي النظري عند كثافة هواء تساوي الصفر.

$B$  معامل توهين الغلاف الجوي.

$\beta$  زاوية ارتفاع الشمس.

$m$  كثافة الهواء .

وبالتالي: فإن الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي يحسب من العلاقة التالية:

$$E_{dir.h} = E_{dir.s} \sin\beta \quad (8-2)$$

تغير قيم  $A, B$  يتوقف على التغير السنوي للمسافة بين الأرض والشمس والتغير الفصلي في محتوى الغلاف الجوي من الرطوبة ومكونات أخرى. الجدول (1-2) يعطي قيم  $A, B, C$  لليوم الحادي والعشرين من كل شهر.

يجب في الأماكن التي يغلب عليها الجو الصافي والجاف (الأماكن المرتفعة) أو الأماكن التي يسود فيها الجو الغائم والرطب ضرب القيم الناتجة من العلاقة (1-10) بمعامل الصفاء .

يعطي كتاب ASHREA للتطبيقات ( الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء ) علاقة مبسطة لحساب الإشعاع المبدد من السماء والساقط على سطح اختياري على الأرض كنسبة من الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل حر كما يلي [2]:

$$E_{dfu} = C \cdot E_{dir.s} \cdot F_{ss} \quad (9-2)$$

$E_{dfu}$  (W/m<sup>2</sup>) الإشعاع الشمسي المبدد من السماء.

$C$  معامل تشتيت الإشعاع الشمسي معطى في الجدول (2-2)  
 $F_{ss}$  المعامل الزاوي بين السطح والسماء ، حيث :

$$F_{ss} = 0.5(1 - \cos \gamma)$$

للسطح العمودي

$$F_{ss} = 0.5$$

للسطح الأفقي

$$F_{ss} = 1.0$$

أخيرا الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي هو مجموع الأشعة المباشرة والمبددة:

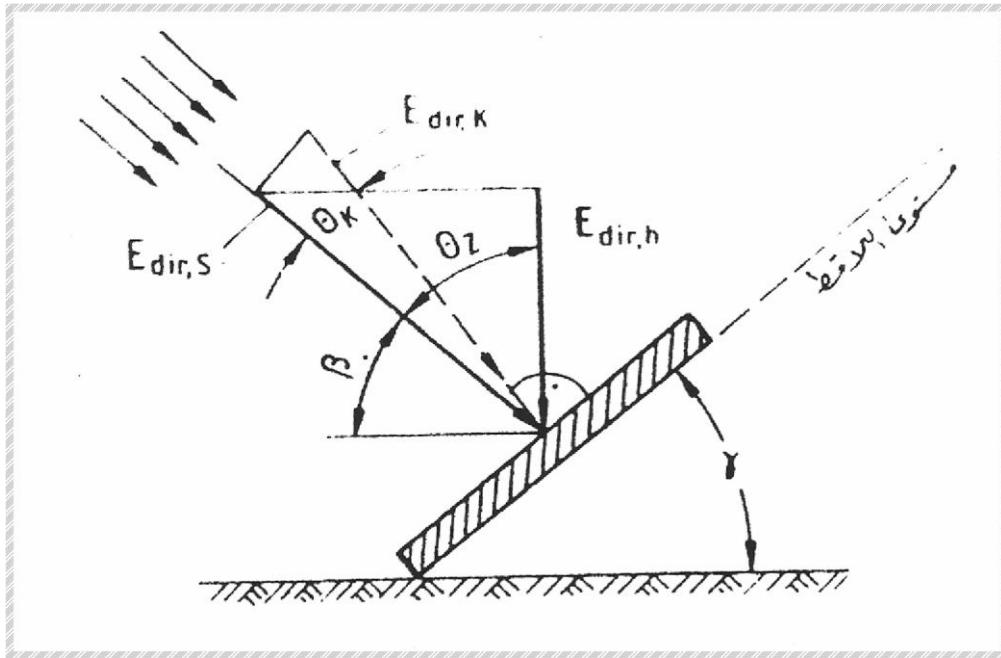
$$H = E_{dir.h} + E_{dfu} \quad (10-2)$$

ثوابت لعلاقات ASHRAE لليوم 21 من كل شهر

الشهر	A W/M <sup>2</sup>	B لا بعدي	C لا بعدي
Jan.	1230	0.142	0.058
Feb.	1215	0.144	0.060
Mar.	1185	0.156	0.071
April	1136	0.180	0.097
May	1104	0.196	0.121
June	1088	0.205	0.134
July	1085	0.207	0.136

Aug.	1107	0.201	0.122
Sept.	1152	0.177	0.092
Oct.	1193	0.160	0.073
Nov.	1221	0.149	0.063
Dec.	1234	0.142	0.057

الجدول (2-2)



الشكل (7-2)

الإشعاع المباشر الساقط على الأسطح الأفقية والمائلة [2]

$$\cos \theta_K = \frac{H_{Bt}}{H_{Bn}}$$

$$\cos z = \frac{H_B}{H_{Bn}} \quad (11-2)$$

حيث:  $H_{Bt}$  الإشعاع المباشر على السطح المائل  $[W/m^2]$

تعطى شدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الأسطح المائلة بشكل اختياري بالعلاقة التالية:

$$H_t = E_{dir.h} R_B + \left[ \frac{1 + \cos \gamma}{2} \right] E_{dfu} + \frac{1 - \cos \gamma}{2} H_{pg} \quad (12-2)$$

حيث:  $p_g$  معامل انعكاس الأرض للأشعة المباشرة والمبددة وفي الحسابات الحالية تؤخذ ثابتة .

$R_B$  معامل ميل الإشعاع المباشر.

## 9-2 توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية :

يمكن للطاقة الشمسية أن تتحول إلى طاقة كهربائية بطريقتين أساسيتين هما: التحول الحراري والتحول المباشر باستخدام الخلايا الكهروضوئية (وهذا موضوع البحث).

التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية:

تعد الخلايا الكهروضوئية أحد أهم الأساليب المعروفة والأكثر تفضيلاً لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية في المستقبل القريب ، ويتصف هذا الأسلوب بمزايا عديدة مقارنة مع الأسلوب الترو ديناميكي أهمها :

1- عدم الحاجة إلى تنظيم المراحل والعمليات الحرارية اللازمة .

2- تعد 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 في المناطق البعيدة حيث لا يتوفر الكادر الفني المختص ، وبالتالي: ف إن مصاريف التشغيل والصيانة قليلة.

3- إمكانية تصميم خلايا كهر وشمسية بحجوم مختلفة ومهام متنوعة ويمكن أن تتألف من أقسام مستقلة، وبمردود عمل يتطابق مع مردود الخلية بكاملها.

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

5- تعد الخلايا الكهروضوئية ذو موثوقية عمل عالية.

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



إن السبب الرئيس لعدم انتشار الخلايا الكهرو شمسية المصنعة من أنصاف النواقل في الحياة العملية هو ارتفاع أسعارها ، حيث كانت الكلفة النوعية لإنتاج واحد واط من الاستطاعة المركبة تساوي (50\$) عام 1970م أما في عام 1988 وبفضل تقدم تكنولوجيا إنتاج الخلايا الكهرو شمسية وتحسين نوعية العمل فقد انخفضت هذه الكلفة حتى (5 \$) ، وينخفض في الوقت الحالي ثمن الخلايا الكهر وشمسية باستمرار .

تعد مادة السيليكون أحد أهم أنصاف النواقل المستخدمة في تصنيع الخلايا الكهرو شمسية التي تعد بسيطة التركيب وأصبحت مدروسة بشكل جيد ، ففي عام 1954 تمت صناعة أول خلية كهروشمسية سيليكونية في معهد بل لابز Bell labs في الولايات المتحدة الأمريكية بمرود ( 6 % ) .

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

## 2-10 تعريف الخلايا الكهرو شمسية:

الخلايا الكهر وشمسية 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 الكهرو شمسية بزواوية ميل مناسبة في مواجهة الشمس كي تسقط أشعة الشمس عموديا عليها. تحول الخلايا الشمسية الطاقة الشمسية مباشرة إلى قدرة كهربائية بدون عمليات وسيطيه، فهي تمتص معظم الطيف الشمسي وتحول جزئا من هذه الإشعاعات إلى طاقة كهربائية و يمكن استخدامها في الحال أو تخزينها .

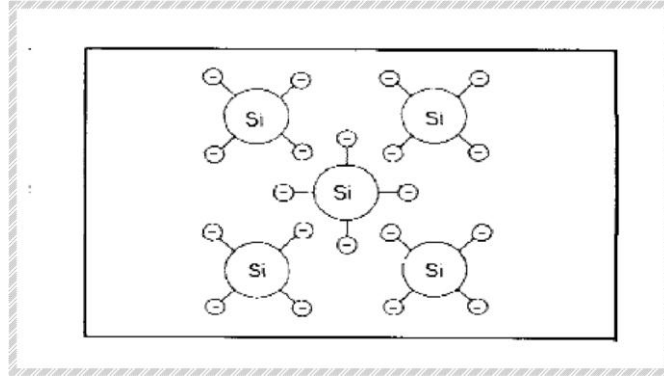
وتصمم المنظومات من هذا النوع أساسا لأجل المنشآت في المواقع البعيدة لفترات طويلة حيث تتصف مثل هذه المواقع عادة بقساوة عالية في طقسها، لذلك يجب أن تكون هذه المنظومات ذات مقاومة عالية للرياح والرطوبة والبرد والعواصف الرملية، وأن تحاط بتصميم ضد هجمات الطيور و الحيوانات والتآكل ، لهذا فإن المواد الأساسية التي تثبت بها الخلايا يجب أن تقاوم هذه الأشياء المحيطة ومعدن هذه الخلايا لا يتعرض للتآكل، وهذه نقطة مهمة جدا حيث تصنع غالبية الخلايا الكهرو شمسية من السيليكون وهو نصف معدن وقد يكون عازلا وناقلا. 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 السيليكون أنه:

- 1- عالي التوصيل الحراري.
- 2- الثبات الجيد مع الطقس المحيط.
- 3- عازل ممتاز للكهرباء وعالي القدرة.

## 11-2 مكونات الخلية الكهروضوئية:

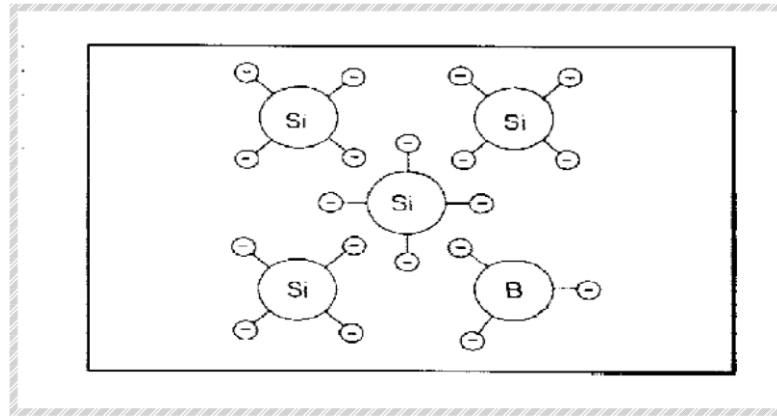
تتكون الخلية الكهروضوئية من طبقة رقيقة من مادة السيليكون، هذه المادة هي إحدى مواد أشباه النواقل المعروفة. تمتلك ذرة السيليكون أربع إلكترونات تكافؤية و تشترك مع ذرات السليكون المجاورة في رابطة تساهمية (تشاركية) كما في الشكل (2-1) [6].



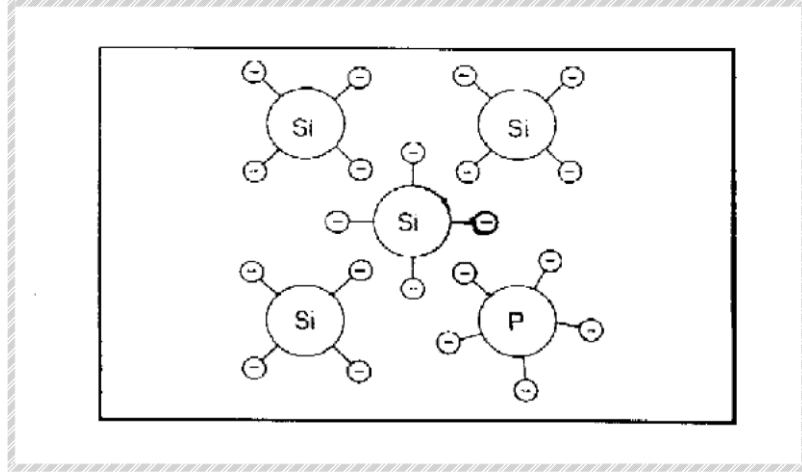
الشكل (8-2)

### البنية الذرية للسيليكون

لتوليد الشحنة الموجبة في الخلية الكهروضوئية تدخل ذرات البورون التي تمتلك ثلاث إلكترونات تكافؤية في تركيب السيليكون الصافي. ترتبط هذه الذرات مع ذرات السليكون ويتشكل ثقب إيجابي الشحنة بدلا من الإلكترون الرابع المفقود. تسمى مادة السيليكون مع شوائب البورون ناقلا إيجابيا أو من النوع (p) كما في الشكل (9-2) [6].

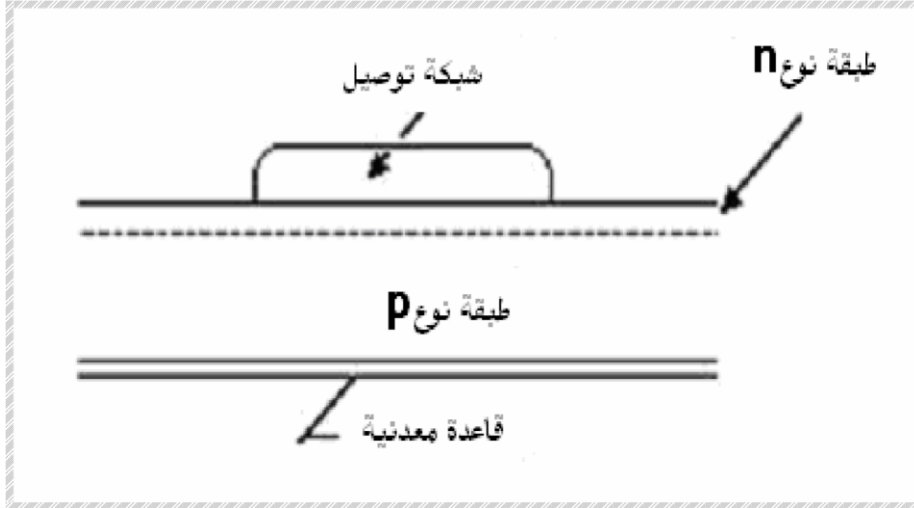


لتوليد الشحنة السالبة في الخلية الكهروضوئية تدخل ذرات الفوسفور التي تمتلك خمس إلكترونات تكافؤية في تركيب السيليكون الصافي، ترتبط هذه الذرات مع ذرات السليكون ويتشكل إلكترون سلب الشحنة. تسمى مادة السيليكون مع شوائب الفوسفور ناقلا سلبيا أو من النوع (n) كما في الشكل (10-2).



تصنع الخلايا الكهرو شمسية بوضع طبقة من النوع (n) و طبقة من النوع (p) معا بهذا نكون قد حصلنا على المأخذ الموجب و المأخذ السالب للخلية الكهرو شمسية [6].

الشكل (11-2) يوضح التركيب الأساسي للخلية الكهرو شمسية.

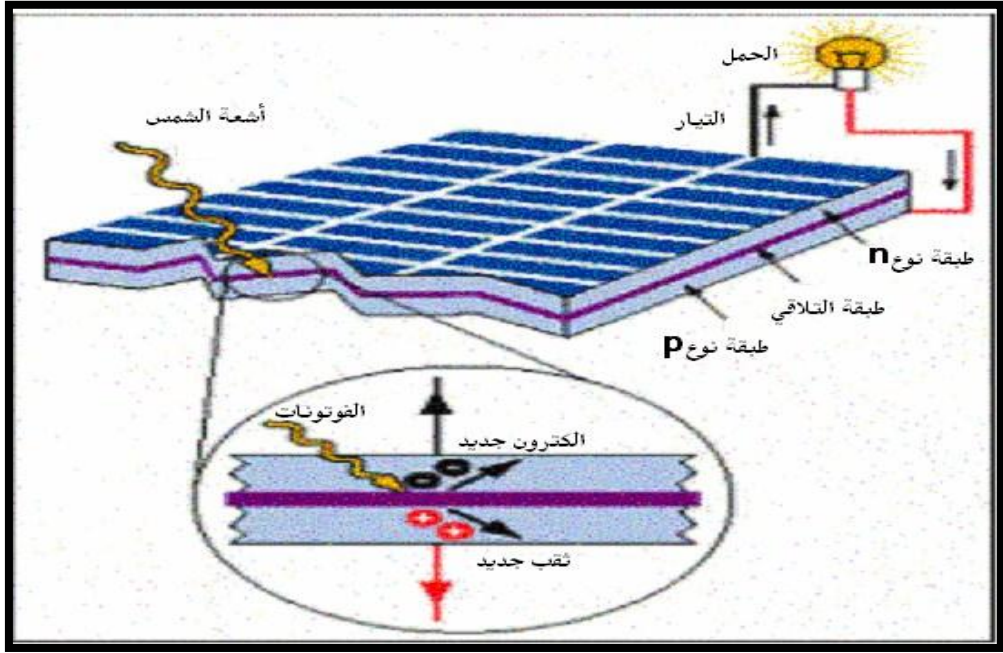


الشكل (11-2) التركيب الأساسي للخلية الكهرو شمسية

## 12-2 طريقة عمل الخلية الكهرو شمسية:

من الشكل (12-2) نلاحظ أنه عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية، ويمتص 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.

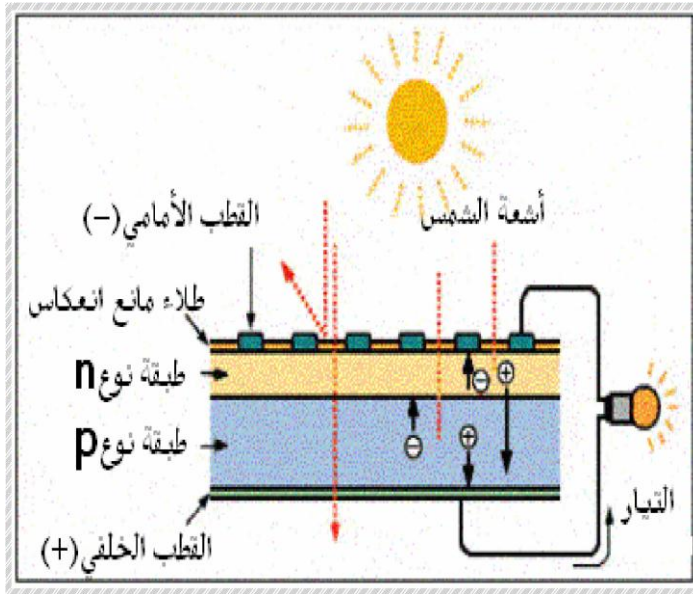
يتكون من خلال هذه العملية إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي فأطراف الخلية، و تزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية، وبالتالي: يتشكل التيار الكهربائي المستمر. من هنا يمكننا توصيل حمل كهربائي على أطراف الخلية والاستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس على الخلية [12].



شكل (12-2)

### مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية

خلية كهروضوئية، حيث تتألف الخلية الكهروضوئية المثالية من غطاء زجاجي لختم الخلية وإلكترونين أحدهما خلفي والآخر أمامي وطبقات من شبه المعدن.



شكل (13-2)

## 13-2 أنواع الخلايا الكهروضوئية

### 1-13-2 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 الكهروضوئي التي يتم تحويلها إلى كهرباء. وبالرغم من ميزة الكفاءة العالية التي تختص بها الخلية الكهروضوئية الأحادية البلورة فإن سعرها مرتفع جدا لكونها مصنعة من سليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة حيث طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة. الشكل (14-2) يبين لوحا كهروضوئية مصنوعا من خلايا كهروضوئية أحادية [8].



الشكل (14-2)

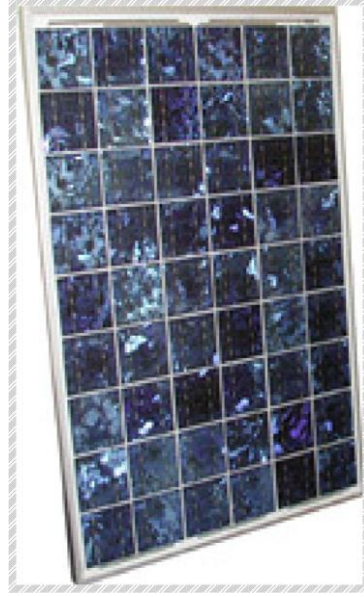
#### لوح كهروضوئي مصنوع من خلايا كهروضوئية أحادية

ويتم حاليا تصنيع بعض الخلايا من سليكون أقل نقاوة، وهذه الخلايا تكون أرخص سعرا 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 الكهروضوئية المتعددة البلورات أرخص وأسهل تصنيعا من الخلايا الأحادية البلورة بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة، وذلك كون حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب) المولدة من قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السليكون المتعدد البلورات، وقد وجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السليكون المذاب

ببطء ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل، وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات. الشكل (15-2) يبين لوحا شمسيا مصنوعا من خلايا كهروشمسية متعددة البلورات [8].

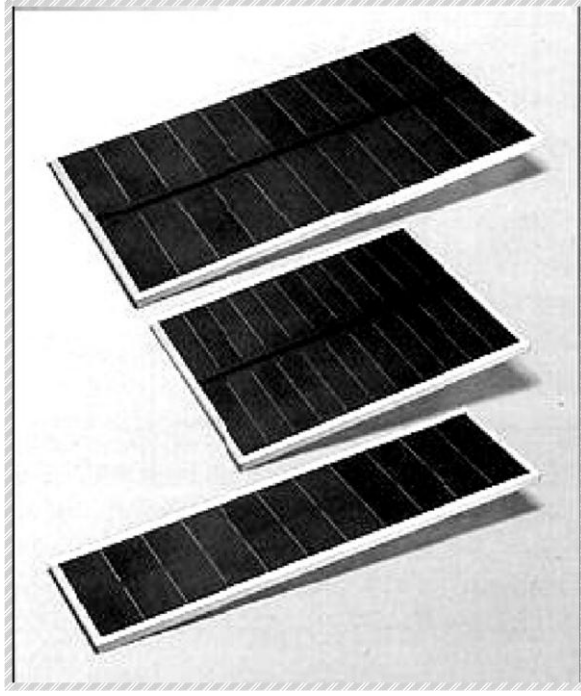


الشكل (15-2)

لوح شمسي مصنوع من خلايا كهروشمسية متعددة البلورات

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 ترتيبا من النوع البلوري. ففي السليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباطا كاملا مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرباط المتدلي، وتستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء. الشكل (16-2) يبين لوحا شمسيا مصنوعا من خلايا كهروشمسية عشوائية [8].



### الشكل (16-2)

#### لوح شمسي مصنوع من خلايا كهروضمسية عشوائية

ومن سلبيات هذه الخلايا قلة كفاءتها مقارنة بالخلايا السليكونية البلورية الأحادية والمتعددة البلورات، وأعلى كفاءة تم الحصول عليها مخبريا لا تتجاوز (21%).

د- الخلايا السليكونية الشريطية: يتم في هذه الطريقة إنتاج شريط من السليكون الأحادي البلورية باستخدام سليكون متعدد البلورية أو من سليكون أحادي مذاب.

#### 2-13-2 خلايا الجاليوم أرسنايد:

ليس السليكون المادة الوحيدة الملائمة للاستخدام في تصنيح الخلايا الكهروضمسية، فهناك مواد أخرى يمكن استخدامها كالجاليوم أرسنايد. وهي ملائمة جدا للاستخدام في تطبيقات الخلايا الشمسية لكونها ذات معامل امتصاص عال للضوء. كما تتمتع بكفاءة جيدة، ويمكن أن تعمل تحت ظروف درجة حرارة عالية نوعا ما بدون تناقص في أدائها كالأخلايا السليكونية وبعض أشباه النواقل التي تعاني من هذه المشكلة.

#### 3-13-2 خلايا الكوبراديوم ديسلنايد:

هي مواد من أشباه النواقل مركبة من النحاس والأندسيوم والسيانيد (CIS). وقد استخدمت في تصنيح خلايا وصلت كفاءتها مخبريا إلى (21%).

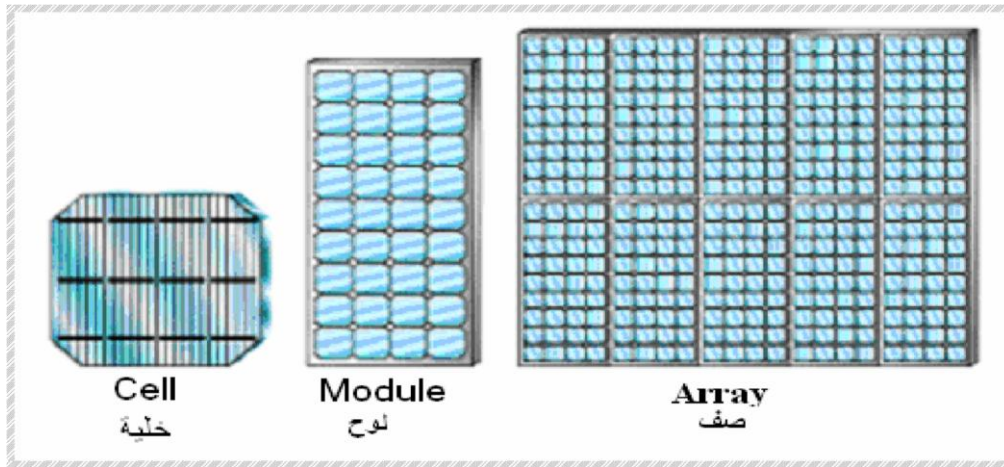
## 2-13-4 خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe):

هي مواد من أشباه النواقل مناسبة لاستخدام الخلايا الكهروضوئية تتألف من الكادميوم و التليرايد. ومن محاسن هذه الخلايا إمكانية تصنيعها باستخدام عملية بسيطة ورخيصة من الطلا لكهربائي. وقد وصلت كفاءة هذه الخلايا إلى (01%) بدون تناقص في الكفاءة عند الاستخدام. لكن من مساوئها أن الكادميوم مادة سامة جدا.

## 2-14 الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروضوئية:

يتألف اللوح الكهروضوئي شمسي (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 الكهروضوئية في غلاف محكم مصنوع من الزجاج المسطح المفرد والمضاعف، ويصل الإشعاع الشمسي إلى هذه الخلايا من خلال الزجاج ويمكن تجميع الألواح مع بعضها لتشكيل الصف (Array) الذي يكون بحجم معين.

تركب الصفوف الكهروضوئية لزيادة مساحة التعرض المباشر للشمس، وتوضع عادة في منطقة خالية من ظل الأبنية والأشجار باتجاه الشمس وبزاوية مناسبة. الشكل (2-17) خلية كهروضوئية ولوحا كروشميا وصفا كروشميا [8].



الشكل (2-17)

### خلية كهروضوئية ولوح كهروضوئي وصف كهروضوئي

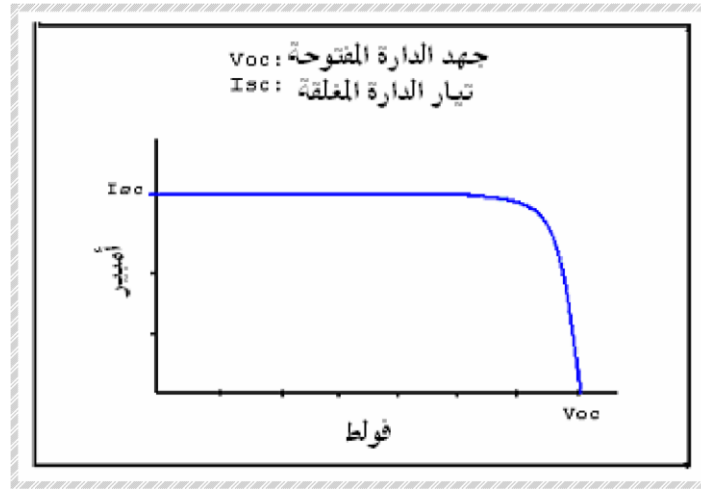
تكون الطاقة الكهربائية المتولدة من الخلية الكهروضوئية بشكل تيار مستمر (DC) وتعتمد شدة هذا التيار على بارامترين: الأول هو الأشعة الشمسية الساقطة، والثاني هو التيار والفولط المطلوب للحمل.

ويعتمد مردود اللوح الكهروضوئي على مردود هذه الخلايا.

وتعرف الخلية الشمسية ذات المساحة (100cm<sup>2</sup>) بأنها بطارية شمسية تقوم بإنتاج فولطية مقدارها (0.5v) والتي تناسب مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره ما بين (2.5-3 A) في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى.



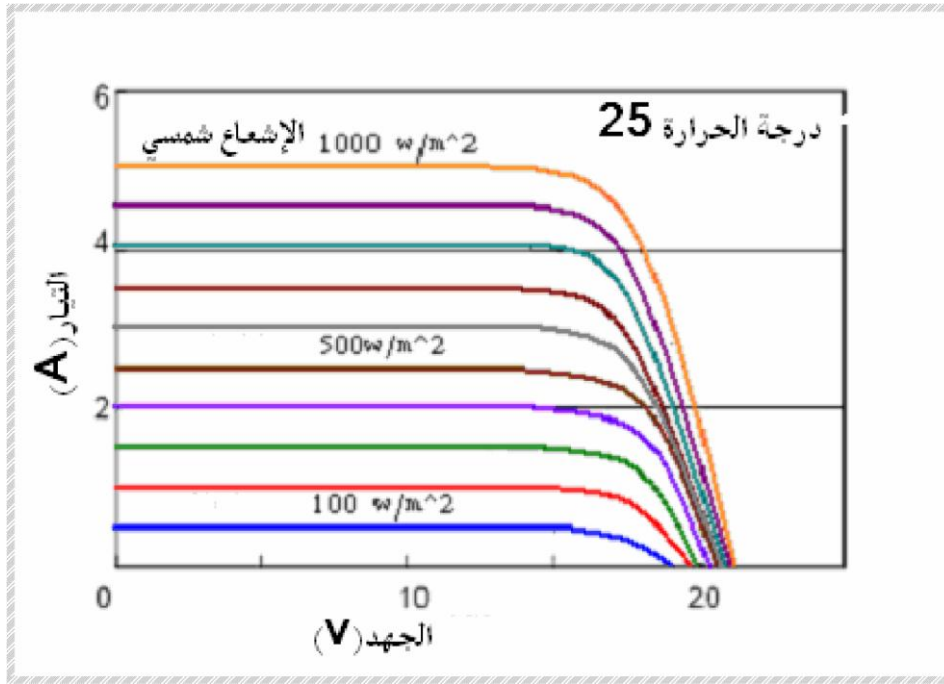
تحدد الخلية الكهروضوئية بفرق جهدها المفتوحة وتيار دارتها المغلقة والشكل (18-2) يوضح مخطط (I-V) لخلية كهروضوئية مثالية [15].



**الشكل (18-2)**  
مخطط (I-V) لخلية  
كهروضوئية مثالية

فرق جهد الدارة المفتوحة هو الفولط الذي تعطيه الخلية الكهروضوئية عندما لا يمر في الدارة أي تيار، وهو الفولط 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، وهو التيار الأعظمي الذي تستطيع الخلية الكهروضوئية توليده من الإشعاع الشمسي (تيار القص).

إن فرق الجهد المتولد من الخلية الكهروضوئية يبقى ثابتاً عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الساقط لكن التيار المتولد يتغير بشكل مباشر تبعاً لقيم الإشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية كما في الشكل (19-2) (61).



الشكل (19-2)

تغير قيم الجهد والتيار تبعاً للإشعاع الشمسي

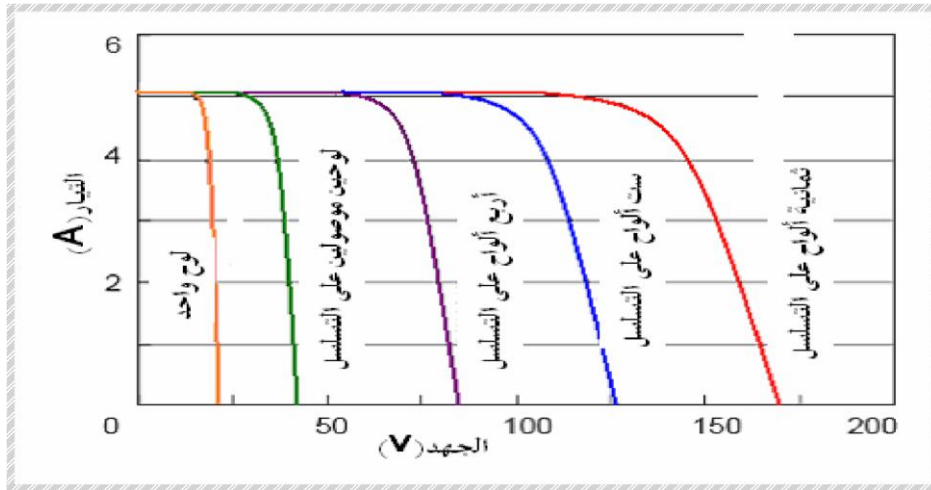
15-2 ربط الألواح الكهروضوئية على التسلسل: Modules in Series  
 في الحالة المثالية عند ربط مجموعة من الألواح الكهروضوئية المتماثلة عددها (n) على التسلسل فإن فرق جهد الدارة المفتوحة يساوي عدد الألواح مضروباً بفولط لوح واحد:

$$V_{sg} = n \cdot V_{oc1} = n \cdot V_{oc2} = n \cdot V_{oc3} = \dots = n \cdot V_{ocn} \rightarrow (I=0) \quad (13-2)$$

أما عندما يكون التيار ( $I > 0$ ) أي عند وجود حمل كهربائي فإن:

$$V_{--} = \sum_n V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \rightarrow (I > 0) \quad (4-2) \quad -$$

الشكل (20-2) يوضح الخاصية المثالية (n) لوح شمسي متماثل مربوط على التسلسل [9].



الشكل (20-2)

الخاصية المثالية للألواح الكهروضوئية المربوطة على التسلسل

### 13-2 ربط الألواح الشمسية على التفرع: Modules in Parallel

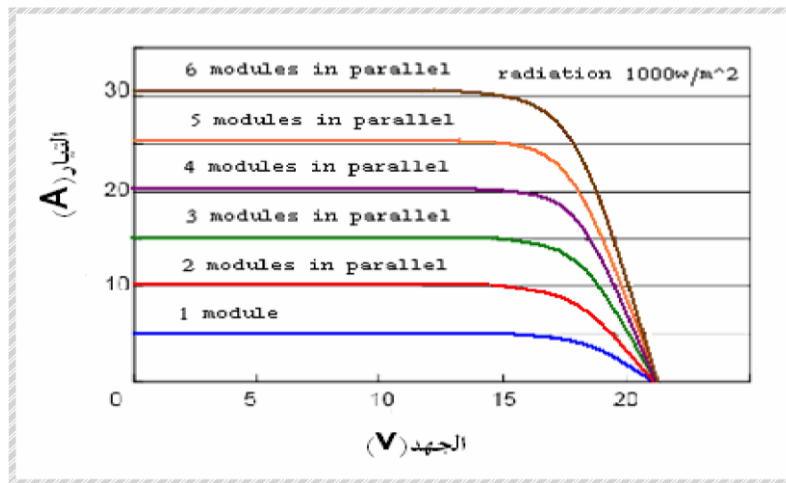
في حالة ربط عدد (n) من الألواح الشمسية المتماثلة على التفرع فإن الفولط الناتج يساوي فولط لوح واحد و التيار الناتج يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل لوح (1----n):

$$I_{sg} = \sum_{n=1}^n I_n = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad 15-2$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V \quad 16-2$$

1

الشكل (21-2) يوضح الخاصية المثالية للألواح الشمسية المربوطة على التفرع.



الشكل (21-2)

الخاصية المثالية للألواح الكهروضوئية المربوطة على التفرع

## 16-2 المولد الكهروضوئي: Solar Generator

بما أن مردود الخلايا الكهروضوئية منخفض نسبياً (لا يتجاوز 16%)، لذا يجب استخدام العديد من الألواح الكهروضوئية للحصول على قدرة كهربائية كبيرة، مجموعة هذه الألواح تسمى بالمولد الكهروضوئي.

يعتمد الفولط الناتج من المولد الكهروضوئي على مجموع الألواح الشمسية الموصولة على التسلسل، وتكون طاقة المولد الكهروضوئي أكبر من طاقة اللوح الواحد عندما تكون الألواح موصولة على التفرع.

إن المجموعة المتكاملة للألواح الكهروضوئية المربوطة مع بعضها البعض تتم بتركيب الملحقات من (تنبيت الألواح الكهروضوئية وأجهزة مراقبة وصندوق تجميع وأسلاك ومكونات أخرى).

إن تيار الخرج وجهده للمولد الكهروضوئي هو:

$$V_{out} = \sum_{1}^n V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (17-2)$$

$$I_{out} = \sum_{1}^m I_m = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_m$$

حيث (n) عدد الألواح المربوطة على التسلسل.

(m) عدد الألواح المربوطة على التفرع.

والقدرة الناتجة من المولد الشمسي في هذه الحالة تعطى بالمعادلة التالية<sup>(9)</sup>:

$$P_{out} = \sum_{1}^n V_n \sum_{1}^m I_m = (V_1 + V_2 + \dots + V_n)(I_1 + I_2 + \dots + I_m) \quad (18-2)$$

الشكل (22-2) يبين مولداً كهروضوئياً مؤلفاً من عشرة ألواح [3].

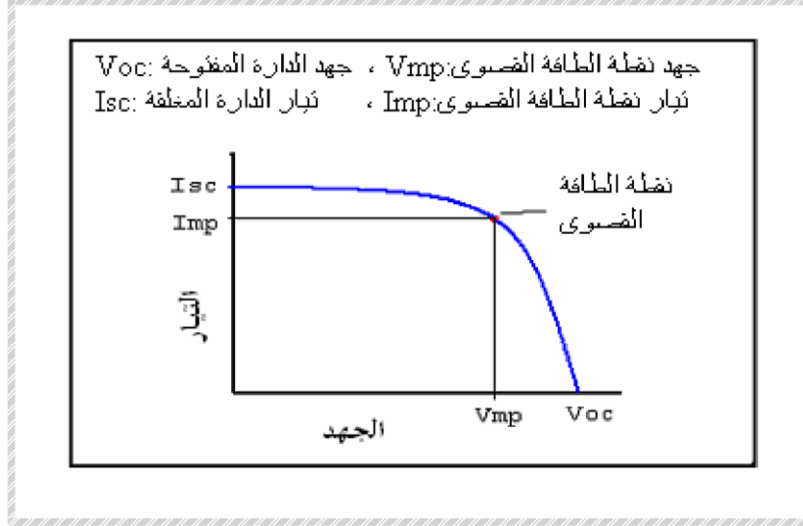


الشكل (22-2)

مولد كهروضوئي مؤلف من عشرة ألواح

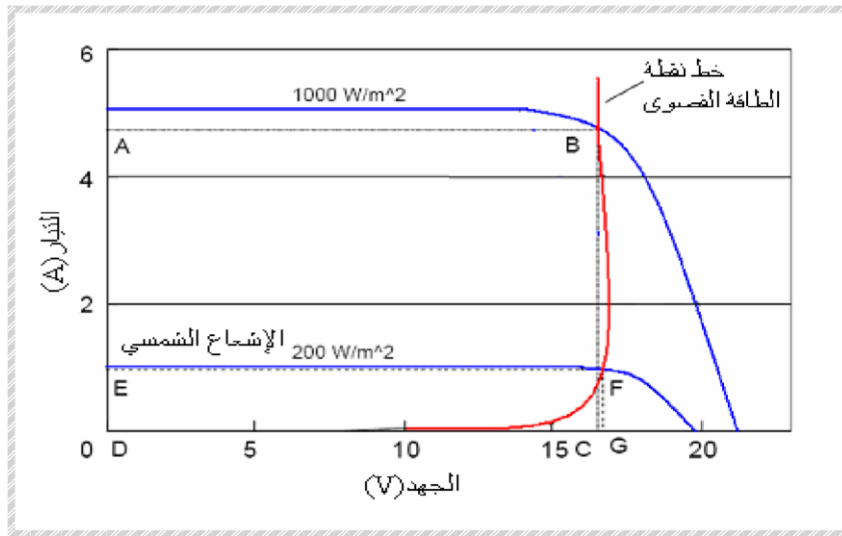
## 17-2 نقطة القدرة العظمى Maximum Power Point

هي النقطة التي تكون عندها القدرة المتولدة من الخلية الكهروضوئية 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 (23-2) [4].



الشكل (23-2)  
نقطة القدرة العظمى  
(MPP)

إن التغير في شدة الإشعاع الشمسي والساقط ودرجة حرارة الخلية الكهروضوئية يؤدي إلى تغيير موقع نقطة القدرة العظمى (MPP)، والشكل (24-2) يبين خط تغير نقطة القدرة العظمى ابتداءها من شدة إشعاع  $100\text{W/m}^2$  حتى من شدة إشعاع  $1000\text{W/m}^2$  على مخطط (I-V) [16]

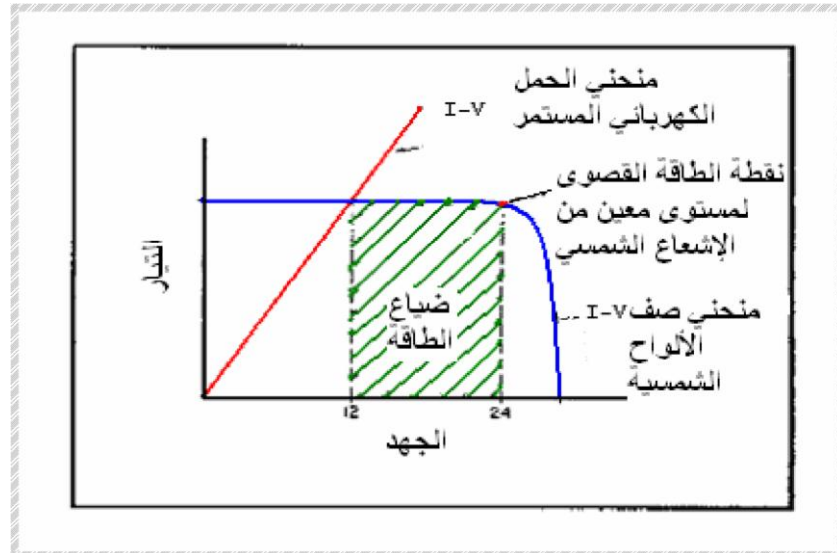


الشكل (24-2)  
خط تغير نقطة  
القدرة العظمى

وتحسب نقطة القدرة العظمى (MPP) للوح الشمسي من العلاقة التالية<sup>[16]</sup>:

$$\left. \begin{aligned} P_{md-max} &= V_{md} \cdot I_{md} \\ V_{md} &= n_{cl} \cdot V_{cl} \\ P_{md-max} &= m_{cl} \cdot n_{cl} \cdot V_{cl} \cdot I_{cl} \\ I_{md} &= m_{cl} \cdot I_{cl} \end{aligned} \right\} \Rightarrow (19-2)$$

حيث إن:  $P_{md-max}$  هي القدرة العظمى الخارجة من اللوح الكهروضوئي.  
 $V_{md}$  : هو الفولط الخارج من اللوح الكهروضوئي عند نقطة (MPP).  
 $I_{md}$  : هو التيار الخارج من اللوح الكهروضوئي عند نقطة (MPP).  
 $V_{cl}$  : هو الفولط الخارج من خلية واحدة.  
 $I_{cl}$  : هو التيار الخارج من خلية واحدة.  
 $n_{cl}$  : عدد الخلايا المربوطة على التسلسل في لوح واحد.  
 $m_{cl}$  : عدد الخلايا المربوطة على التفرع في لوح واحد.  
 يكون تيار الحمل الكهربائي المستمر (DC) وفولطه على مخطط (I-V) بشكل خط مستقيم مائل، فعند زيادة الطاقة الكهربائية الأولية يرتفع التيار بنسبة ثابتة بالنسبة للفولط. فإذا تم تصميم المولد الكهروضوئي لتوليد (24) فولت والحمل يتطلب (12) فولت فقط فإن الحمل سيستجر الطاقة التي تقابل (12) فولت وبالتالي: سيكون هناك ضياع في الطاقة [10].  
 الشكل (25-2) يبين خط الحمل الكهربائي وخط القدرة الذي لم يصمم بشكل صحيح.



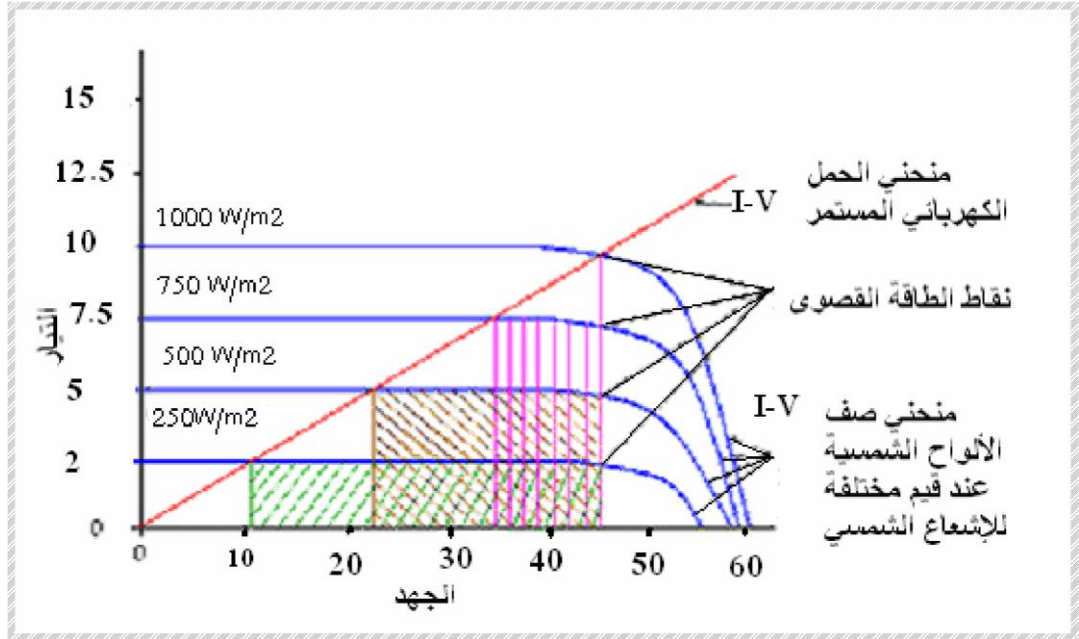
الشكل (25-2)

### خط الحمل الكهربائي وخط القدرة الذي لم يصمم بشكل صحيح

بالإضافة إلى الاختلاف في شكل منحنى (I-V) بين الحمل الكهربائي وخط القدرة للخلايا الكهروضوئية، هناك اختلاف مستمر في مستوى تيار الطاقة الكهروضوئية الذي يتغير بدوره

حسب التغير في مستوى الإشعاع الشمسي الساقط المتوفر على مدار اليوم، وبالتالي: يتغير موقع نقطة الطاقة العظمى بشكل مستمر على مخطط (I-V).

أدت هذه التقلبات في موقع نقطة الطاقة العظمى وعدم تساوي هذه النقاط مع بعضها البعض إلى وجود عدة نقاط على طول الخط المستقيم المائل للحمل الكهربائي المستمر على مخطط (I-V) كما في الشكل (26-2)[10].



الشكل (26-2) تغير موقع نقطة الطاقة العظمى تبعاً للإشعاع الشمسي

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

## الباب الثالث

### أنظمة الضخ الكهرو شمسية

#### 3-1 مقدمة

إن ضخ المياه له تاريخ طويل عبر التاريخ، وقد تم تطوير العديد من الطرق لضخ الماء بهدف تقليل الجهد والطاقة المبذولة والحصول على مردود أفضل. واستخدمت هذه الطرق مصادر متنوعة من الطاقة مثل الطاقة البشرية وطاقة الحيوانات و الطاقة الهيدروليكية (النواعير) و الوقود الأحفوري وطاقة الرياح وأخيرا الطاقة الشمسية.

إن الموارد المائية السطحية آخذة بالنضوب لأسباب عديدة منها التغيرات المناخية وزيادة الطلب للأعمال الزراعية والصناعية، كما أوجب التقدم الحضاري زيادة مضطردة في الحاجة للمياه. من هذه المعطيات تلعب النظم الكهروشمسية دورا متزايد الأهمية في مجالات ضخ المياه لمختلف الاستخدامات (الاستخدامات المنزلية - الري ... الخ) نظرا لإمكانية استخدام تقنية الطاقة الكهروشمسية كبديل عن مولدات الديزل في المواقع التي لا تتوفر فيها الشبكة الكهربائية.

#### 3-2 مقارنة بين أنظمة ضخ المياه المختلفة:

يبين الجدول (3-1) محاسن ومساوئ أنظمة الضخ المختلفة [17]:

نظام الضخ	المحاسن	المساوئ
المضخات اليدوية	<ul style="list-style-type: none"><li>• إمكانية التصنيع المحلي</li><li>• سهولة الصيانة</li><li>• كلفة تأسيسية منخفضة</li><li>• لا تحتاج للوقود</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ضياع للقدرة البشرية</li><li>• لا تتناسب مع الأعماق المختلفة للآبار</li><li>• تدفق منخفض</li></ul>
الضخ باستخدام الحيوانات	<ul style="list-style-type: none"><li>• إنتاجية أفضل من الإنسان</li><li>• تكاليف منخفضة</li><li>• استخدام مخلفات الحيوان</li><li>• كسماد عضوي أو وقود</li><li>• لا تحتاج للوقود</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• تغذية الحيوانات على مدار السنة</li><li>• الحاجة للحيوانات في أعمال أخرى</li></ul>
الضخ الهيدروليكي	<ul style="list-style-type: none"><li>• لا يحتاج تشغيله لمراقبة مستمرة</li><li>• قليل التكاليف عمره طويل وموثوقية</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• تتطلب أماكن تركيب مناسبة</li><li>• تدفق منخفض</li><li>• يتطلب حركة الماء من أجل العملية</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• عالية</li><li>• سهولة الصيانة</li></ul>	



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• لا تحتاج للوقود</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• يتطلب وجود رياح في الموقع يتطلب</li> <li>• تخزين الماء لأوقات تكون فيها الرياح منخفضة السرعة يتطلب خبرات فنية خاصة صعوبة التركيب</li> <li>• كلفة صيانة و إصلاح عالية</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• لا يحتاج تشغيله لمراقبة مستمرة</li> <li>• قليل التكاليف</li> <li>• عمره طويل</li> <li>• إمكانية التصنيع المحلي</li> <li>• لا تحتاج للوقود</li> </ul>	الضخ الرياحي
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ارتفاع سعر نقل الوقود</li> <li>• كلفة صيانة مرتفعة عمرها قصير</li> <li>• تسبب الضجيج وتلوث البيئة</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• سهولة التركيب</li> <li>• كلفة تأسيسية منخفضة</li> <li>• اسـتـخـدامات متنوعـة</li> <li>• يمكن حملها و نقلها</li> </ul>	مضخات الوقود الأحفوري (ديزل)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• عملية فقط في بعض الأماكن التي يكون فيها خزان الماء أعلى من مناطق التصريف</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• كلفة منخفضة جدا</li> <li>• صيانة منخفضة لا توجد كلفة وقود</li> <li>• سهولة التركيب</li> <li>• بسيطة وموثوقة</li> </ul>	الجانبيية (فرق المنسوب)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• كلفة تأسيسية مرتفعة</li> <li>• تتطلب تخزين الماء للأيام الغائمة</li> <li>• تتطلب خبرات فنية خاصة يجب أن تتعرض للشمس بدون وجود الظل</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• لا يحتاج تشغيله لمراقبة</li> <li>• صيانة منخفضة سهلة التركيب عمره طويل وموثوقة لا توجد كلفة وقود يمكن أن تكون متحركة</li> </ul>	المضخات الشمسية

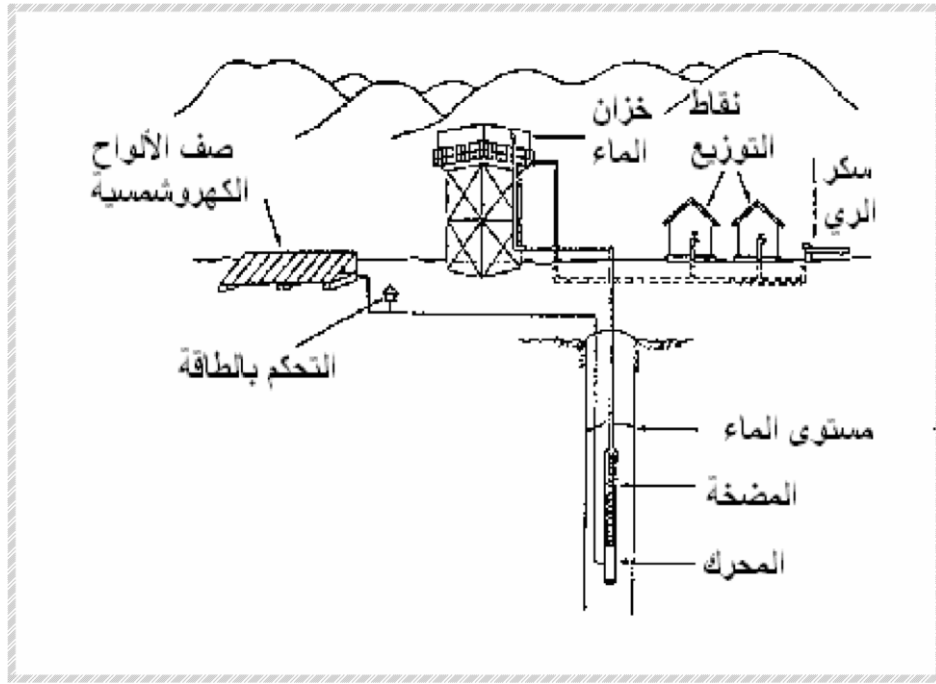
### الجدول (3-1)

محاسن ومساوئ أنظمة الضخ المختلفة

تستعمل المضخات الكهروشمسية في ثلاث تطبيقات أساسية:

- 1- إمداد القرى بالمياه.
- 2- سقاية المواشي.
- 3- ري الأراضي الزراعية.

يبين الشكل (3-1) مضخة شمسية لتزويد القرية بالماء [11].

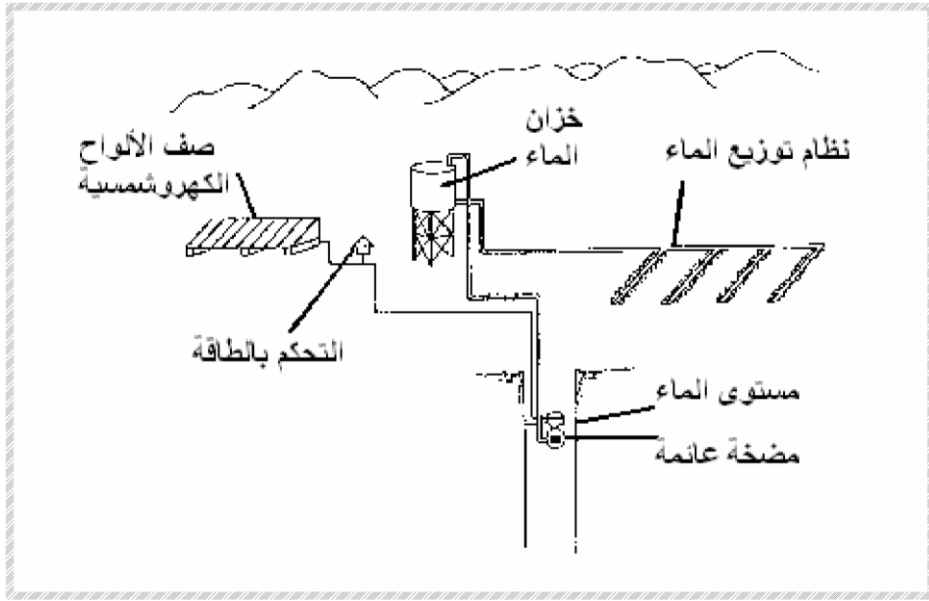


الشكل (3-1)

### مضخة شمسية لتزويد القرية بالماء

في هذه الحالة يكون الطلب على الماء ثابتا على مدار السنة، وفي الأيام الغائمة التي يكون فيها الإشعاع الشمسي منخفضا تكون هناك حاجة لتخزين الماء. وفي المناطق التي تتميز بفصول ممطرة سيعوض ماء المطر الانخفاض الناتج في عمل المضخة الشمسية في أثناء هذه الفترة.

نظام الري الشمسي كما في الشكل (3-2) يحتاج لحساب قيمة الاحتياج الأعظمي لماء الري الذي سيتغير خلال السنة [11].



**الشكل (3-2)**  
نظام الري  
الكهروضويسي

يجب أن نأخذ بعين الاعتبار عند تصميم نظام الضخ أن الطلب الأعظمي على الماء في أثناء فصول الري يكون في أغلب الأحيان أكثر بمرتين من متوسط الحاجة للماء، هذا يعني أن المضخات الشمسية المستخدمة للري ستكون غير كافية؛ لذلك يجب تركيز الانتباه إلى نظام التوزيع وإيصال الماء إلى المحاصيل. إذ يجب أن يقلل نظام التوزيع من الضياعات في الماء بدون زيادة العبء على نظام الضخ، ويمكن ذلك بكلفة منخفضة.

وبشكل عام هناك توافق بين ازدياد الإشعاع الشمسي في الصيف وازدياد الطلب على الماء.

يوضح الجدول (3-2) ملائمة أنظمة الري الرئيسية لاستعمال المضخات الشمسية [11].

ملائمة أنظمة الري الرئيسية لاستعمال المضخات الكهروضوئية

طريقة الاستخدام	المردود المثالي	الارتفاع المثالي	الملائمة لاستعمال المضخات الشمسية
الأقنية المفتوحة	(50-60)%	(0.5-1) m	نعم
الرياز	70%	(10-20) m	لا
التفقيط	85%	(1-2) m	نعم
الغمر	(40-50)%	0.5 m	لا

**الجدول (3-2)**

### 3-3 أنواع أنظمة الضخ العاملة بالطاقة الشمسية:

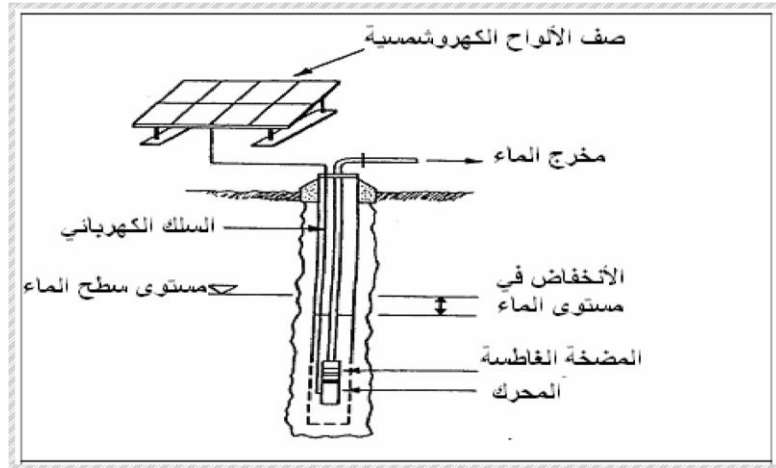
تصنف أنظمة الضخ الكهروضمسية بشكل أساسي إلى خمس أنواع رئيسية:

#### 3-3-1 مضخة نابذة غاطسة متعددة المراحل:

هذا النوع هو الأكثر شيوعا من بين أنواع المضخات الشمسية المستعملة لتزويد القرى بالماء. ويتميز هذا النوع بأنه سهل التركيب وتكون مجموعة (محرك-مضخة) مغمورة بالماء بعيدا عن الأخطار المحتملة.

يمكن أن تتركب المضخة مع محرك تيار متناوب أو تيار مستمر مع وجود معرج عند استخدام نظام التيار المتناوب، وإذا تم استخدام محرك تيار مستمر مع مسفرات فمن الضروري أن تسحب الأجهزة من البئر كل سنتين تقريبا لاستبدال المسفرات.

يستخدم هذا النوع في أنظمة الضخ الكهروضمسية ذات الاستطاعات الأقل من 1500W .  
يبين الشكل (3-3) نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة نابذة غاطسة متعددة المراحل [14] .



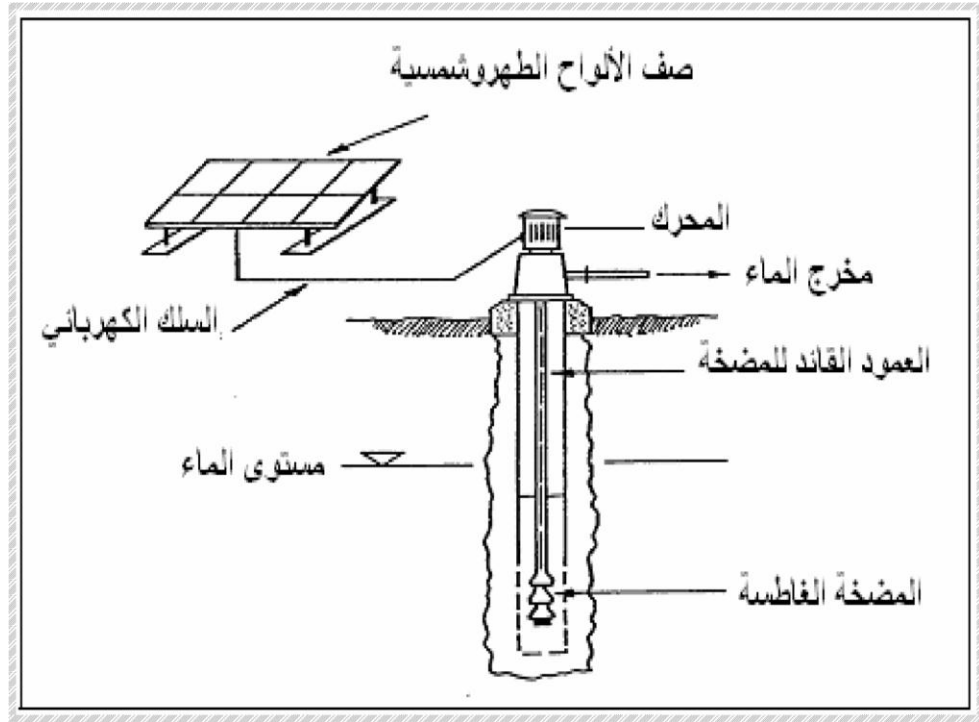
الشكل (3-3)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة نابذة غاطسة متعددة المراحل

#### 3-3-2 مضخة غاطسة مع محرك سطحي:

تم استخدام هذا النظام على نحو واسع بالمضخات التوربينية في سواحل غرب أفريقية في فترة السبعينيات. يتميز هذا النوع من المحركات بسهولة تبديل المسفرات، وإجراء الصيانات الأخرى بسبب كون المحرك مركبا على سطح البئر. كفاءة هذا النظام منخفضة بسبب ضياعات الطاقة الموجودة في محامل عمود نقل الحركة بين المحرك و المضخة، ومن عيوبه أيضا كلفة التركيب العالية. وبشكل عام يمكن استبدال هذا النظام بنظام محرك ومضخة غاطسين.

يبين الشكل (3-4) نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة غاطسة مع محرك سطحي [14] .



الشكل (3-4)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة غاطسة مع محرك سطحي

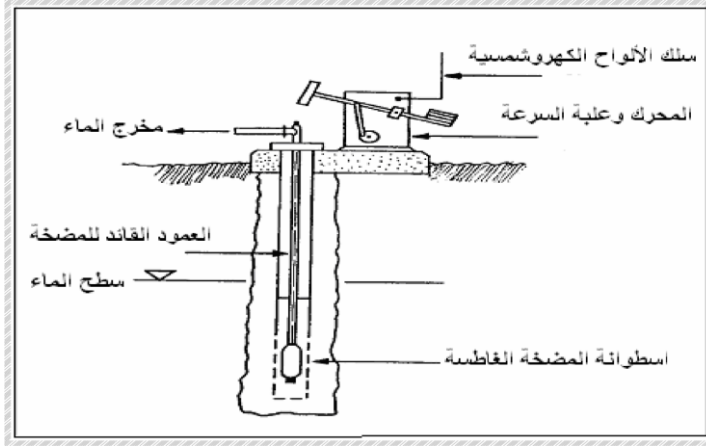
### 3-3-3 المضخات الترددية ذات الإزاحة الموجبة:

يناسب هذا النوع من المضخات ارتفاعات الضخ العالية، والتدفقات المنخفضة، ويتناسب خرج هذه المضخات مع سرعة دورانها.

تكون قوى الاحتكاك في ارتفاعات الضخ العالية منخفضة بالمقارنة مع القوى الهيدروليكية، وهذا يجعل المضخات الترددية ذات الإزاحة الموجبة أكثر كفاءة من المضخات النابضة في هذه الحالة.

تخلق المضخات الترددية ذات الإزاحة الموجبة حملا دوريا على المحرك الذي يحتاج من أجل كفاءة جيدة لأن يكون متوازنا، لذلك تكون مكونات المضخة الشمسية غالبا ثقيلة ومتينة و تكون أجهزة التحكم الكهربائية المستخدمة ذات ممانعة تيار متماثلة.

يبين الشكل (3-5) نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة ترددية ذات الإزاحة الموجبة [14].



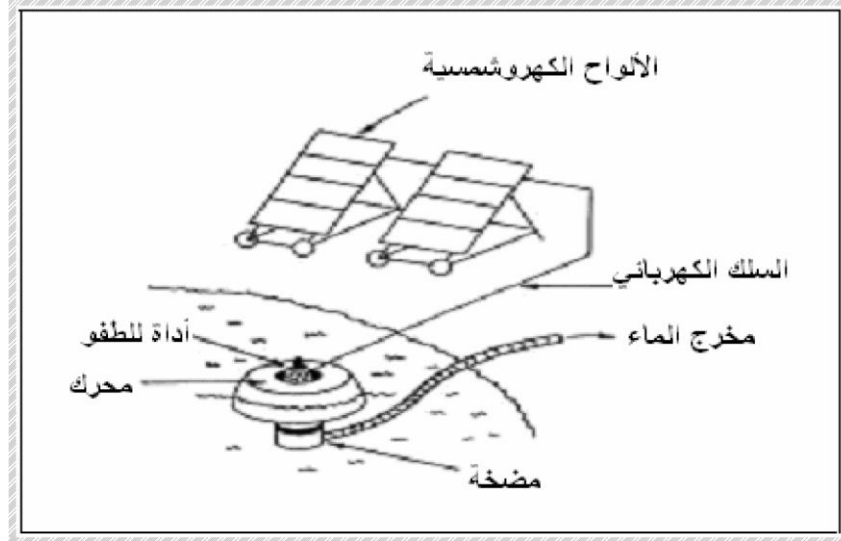
الشكل (3-5)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة ترددية ذات الإزاحة الموجبة

### 4-3-3 مجموعة محرك ومضخة سطحية (عائمة):

إن تنوع مجموعات الضخ السطحية يجعلها مناسبة لعمليات الري ضمن الأبنية والآبار المفتوحة. تتميز هذه المضخات بسهولة الحمل و التنقل وعدم عمل المضخة بدون ماء. تكون المضخات السطحية على الأغلب مضخات نابذة غاطسة بمرحلة واحدة وتعتمد بشكل واسع على محركات تيار مستمر بدون مسفرات. تتركب الألواح الكهروضمسية في هذا النوع من أنظمة الضخ غالبا على عجلات خاصة لتسهيل نقلها مع مجموعة الضخ.

يبين الشكل (3-6) نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مجموعة (محرك-مضخة) سطحية [14]



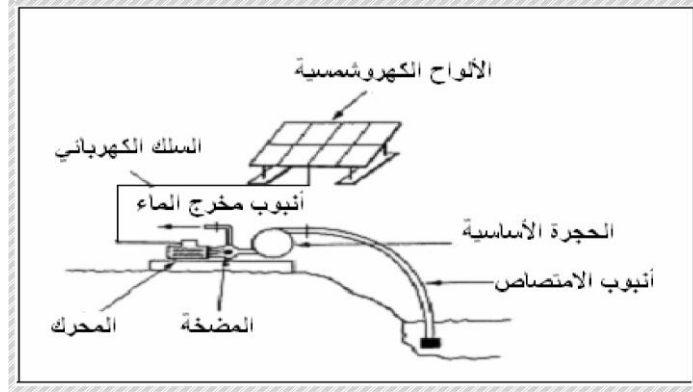
الشكل (3-6)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مجموعة (محرك-مضخة) سطحية

### 5-3-3 مضخة الامتصاص السطحية:

ينصح بعدم استخدام هذه المضخات إلا في الحالات التي يكون فيها مراقب فني موجودا بشكل مستمر قرب المضخة. على الرغم من أن كون حجرة المضخة مليئة بالماء وصمامات منع خروج الماء تعمل بشكل دائم إلا أن احتمالات فقدان الماء من الحجرة واردة.

هذه المضخات غير عملية عندما يكون ارتفاع أنبوب الامتصاص أكثر من (8) أمتار.  
يبين الشكل (3-7) نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة امتصاص سطحية [14].



الشكل (3-7)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة امتصاص سطحية

مكونات نظام الضخ الكهروضمسي:

4-3

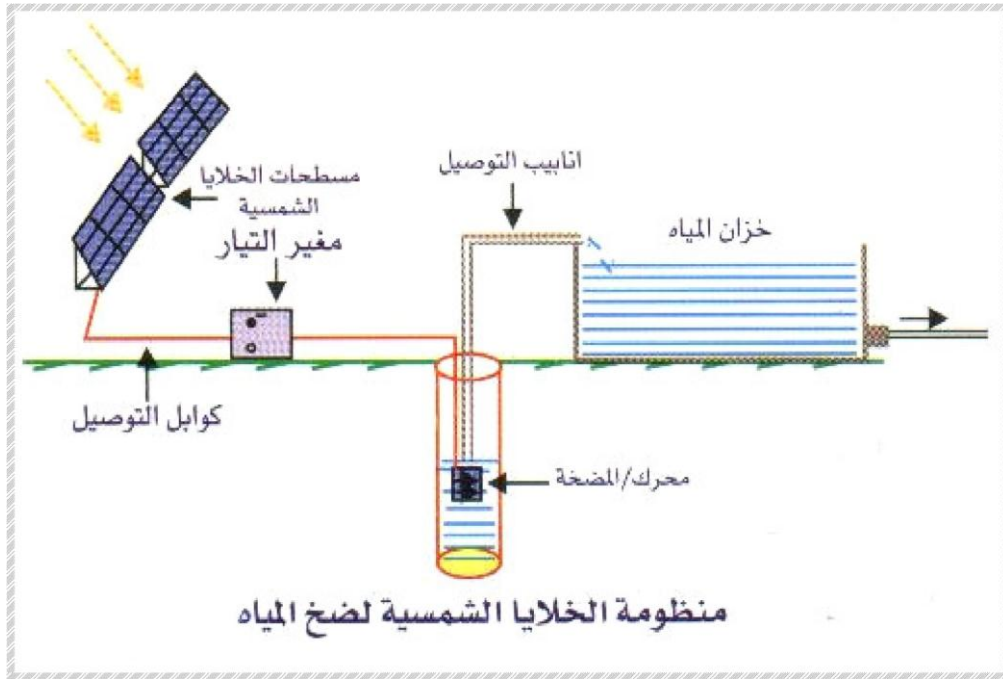
يتألف نظام الضخ الكهروضمسي من الأجزاء الرئيسية التالية:

- 1- مصفوفة الألواح الكهروضمسية وملحقاتها.
  - 2- مجموعة المحرك والمضخة، ويشمل الأجزاء التي تحول الخرج الكهربائي لمصفوفة الألواح الكهروضمسية إلى طاقة هيدروليكية.
  - 3- الخزان ونظام التوزيع الذي يسوق الماء إلى نقاط الاستخدام المطلوبة.
- وعموماً هناك نوعان من أنظمة الضخ الكهروضمسية بحسب التيار الكهربائي المستخدم:

- نظام الضخ الكهروضمسي المتناوب (AC).
- نظام الضخ الكهروضمسي المستمر (DC): في هذا النوع يمكن أن توصل المضخة بشكل مباشر إلى الألواح الكهروضمسية أو عن طريق مدخرة.

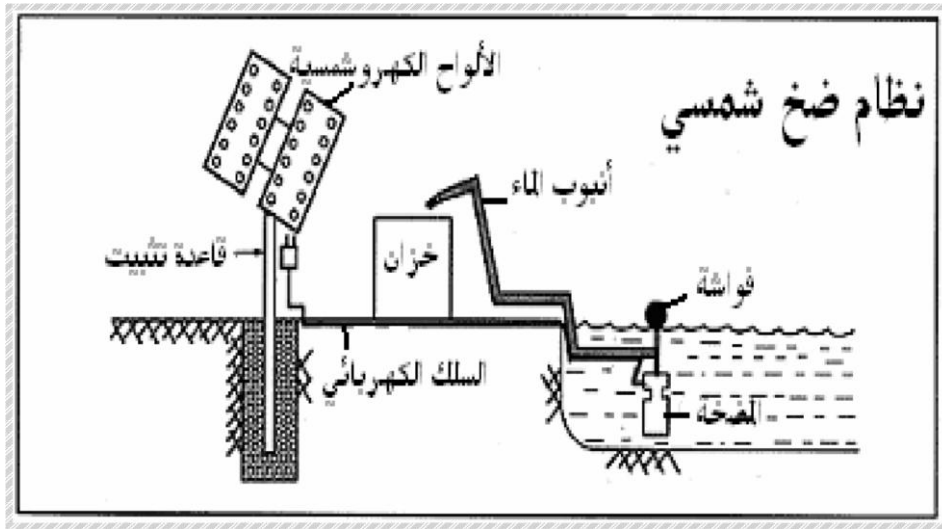
والفرق بين النظامين هو وجود المعرج في النظام المتناوب وهذا عائد لنوع المضخة المستخدمة.

يبين الشكل (3-8) نظام ضخ كهروضمسي متناوب:



الشكل (3-8)

يبين الشكل (3-9) نظام ضخ كهروضمسي متناوب  
نظام ضخ كهروضمسي مستمر:



الشكل (9-3)

### 5-3 تحديد الحاجة للمياه:

الخطوة الأولى في تحديد حجم نظام الضخ الكهروضمسي هي تحديد كمية الماء التي نحتاجها. فإذا تفاوتت الحاجة للماء في أثناء الفصل يجب أن نعتمد الكمية الأكبر التي نتوقع أن نستهلكها.

ويبين الجدول (3-3) بعض المعطيات بشكل تقريبي لاستعمال الماء [18]



### بعض المعطيات بشكل تقريبي لاستعمال الماء

التطبيق	الاستهلاك التقريبي
العائلة	(190) لتر باليوم للشخص بشكل وسطي
الماشية والخيول	(57-38) لتر باليوم لكل رأس
الأبقار الحلوبة	(114-76) لتر باليوم لكل رأس
الخراف والماعز	(6.7) لتر باليوم لكل رأس
الحيوانات الصغيرة	(96.0) لتر باليوم لكل (11) كغ من وزن الجسم
الدواجن	(6.45-23) لتر باليوم لكل (100) طير
الأشجار الصغيرة	(57) لتر باليوم في الطقس الجاف

### الجدول (3-3)

#### 6-3 تحديد مصدر الماء:

إن تحديد نظام الري يتعلق بشكل كبير بنوع مصدر الماء وموقعه بالنسبة إلى المكان الذي نريد أن نزوده بالماء، فمصدر الماء سيكون إما عميقاً (بئر) أو سطحياً (بركة، جدول، سي ل)، وتكون الآبار مفضلة بسبب نوعية الماء الجيدة والموثوقية بها. على أية حال، إن الآبار مكلفة بسبب الحفر خصوصاً عندما تكون المياه عميقة كما أن مصادر المياه السطحية يمكن أن تتفاوت بشكل موسمي حيث إن كمية الماء ونوعيته تكون منخفضة في أثناء الصيف عندما يكون الطلب عليه أكثر.

بالنسبة للآبار يجب أن تكون الاحتياجات التالية معروفة ومحددة:

- مستوى الماء الساكن.
- اختلافات العمق الموسمية.
- تدفق (نسبة) تعويض الماء.
- نوعية الماء.

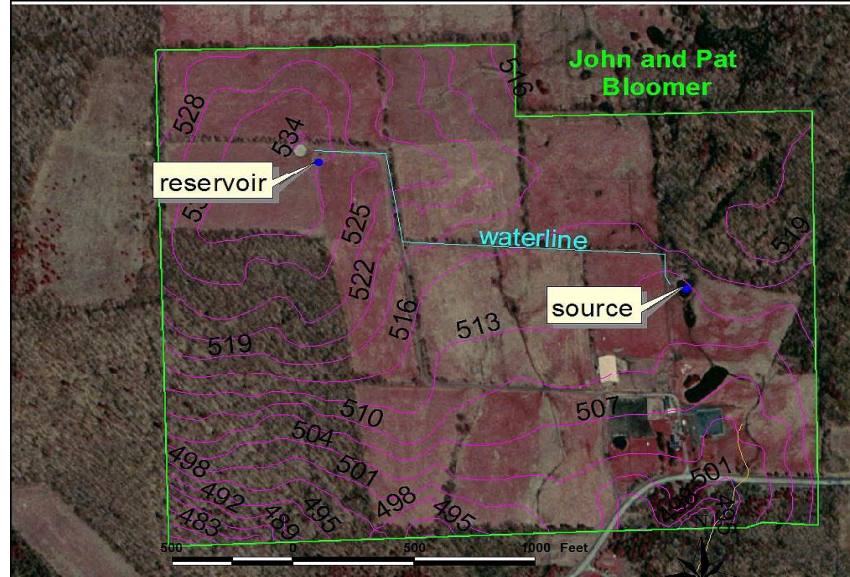
إذا كان البئر جديد الحفر فإن هذه المعلومات تؤخذ من حفار البئر، كما أن نوعية الماء ليست مهمة إذا لم تستخدم للاستهلاك البشري.

أما بالنسبة للمياه السطحية فيجب أن تكون الاحتياجات التالية معروفة ومحددة أيضاً:

- التغيرات الموسمية.
- نوعية الماء، المتضمنة وجود الطين والبقايا العضوية... الخ.

يجب أن يتم تخطيط نظام تزويد الماء أولا من أجل تحديد موقع مصدر الماء والنقاط المطلوبة للتوزيع، كذلك يجب أن يكون على المخطط نقاط الارتفاع لكي نستطيع أن نحسب الاختلاف في الارتفاع.

يبين الشكل (3-10) نموذجا لمزرعة و تستعمل بركة ماء قليلة العرض حيث مصدر الماء والخزان اندمجا معا ومكانهما على التل، في هذه الحالة يمكن أن يتم توزيع الماء تحت تأثير الجاذبية إلى أماكن التزويد [13].



الشكل (3-10) نموذج لمزرعة يتم توزيع الماء فيها تحت تأثير الجاذبية

### 3-7 ملانمة موقع مصدر الماء للطاقة الشمسية:

يجب أن يكون موقع مصدر الماء ملائما لتكوين نظام ضخ الماء الشمسي المستخدم.

عند تركيب نظام ضخ الماء الشمسي يجب أن تكون الأمور التالية معروفة:

- يجب أن تكون الألواح الكهروضوئية موجهة باتجاه الجنوب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية بدون وجود الظل خلال كامل النهار.
- يجب أن تكون المواقع محضرة لوضع مضخة الماء والخزان وأجهزة النظام الأخرى.
- يجب أن يكون صف الألواح الكهروضوئية قريبا من موقع المضخة لتقليل طول السلك وكلفة التركيب.
- إذا استعملت المدخرات يجب أن تكون جافة وأن توضع في المكان الصحيح.
- إذا كان الماء مطلوباً على مدار العام فإن موضوع تجمد المياه يجب أن يكون مدروسا وبخاصة في المناطق التي تنخفض فيها درجة الحرارة إلى ما دون درجة التجمد، وهذا يستدعي استخدام مقاومات حرارية في الشتاء؛ لذلك فإن المناطق الحارة هي المفضلة من أجل تخزين الماء [18].

بالإضافة لذلك يجب معرفة البيانات عن الاستعمالات الشمسية الإقليمية المتوقعة. تزودنا هذه المصادر بعدد ساعات اليوم التي يكون فيها الإشعاع الشمسي كاملا في الصيف والشتاء.

### 3-8 خزان الماء:

جميع أنظمة ضخ الماء الشمسية تستخدم خزاناً، للمياه والسبب في ذلك هو من أجل خزن الماء بدلاً من خزن الكهرباء في المدخرات، بذلك يتم تخفيض كلفة النظام وتعقيده.

الطريقة العامة التجريبية لتحديد حجم الخزان أن يكون على الأقل يكفي لمدة من ثلاثة إلى خمسة أيام من الماء [13].

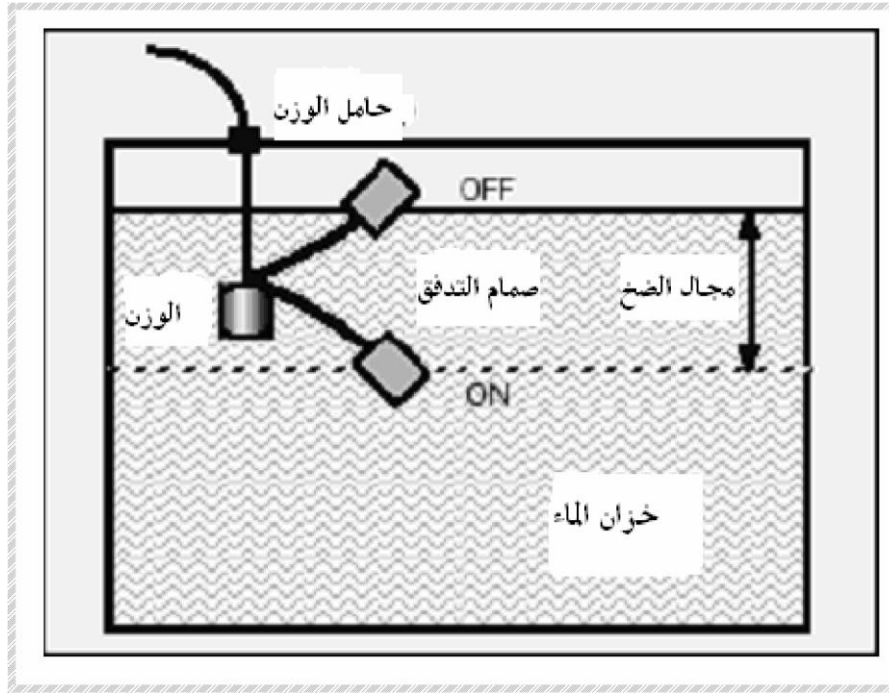
كما أن الطريقة الأكثر شيوعاً لخزن الماء هي خزان بلاستيكي صالح للأغذية كما في الشكل (3-11) ويوضع في أغلب الأحيان في نقطة عالية من الأرض للاستفادة من الجاذبية لوصول الماء إلى التطبيقات المستخدمة في الري مثل التنقيط وغيرها.



### الشكل (3-11)

مكان توضع خزان الماء في الري

يتم التحكم بالمشخة عن طريق صمام التدفق الذي يركب داخل الخزان حسب مستوى سطح الماء كما في الشكل (3-12):



الشكل (12-3)  
التحكم بال مضخة عن طريق صمام التدفق

## الفصل الرابع إجراء التجارب على مجموعة الضخ

### 1-4 اسم التجربة

ضخ المياه بواسطة الطاقة الشمسية

### 2-4 الهدف

دراسة ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية

### 3-4 النظرية:

هناك عدة طرق لتحديد المضخة وصف الألواح الكهروضوئية:

#### 1- الطريقة الأولى:

لحساب المضخة التي نحتاجها وكمية الطاقة المطلوبة من صف الألواح الكهروضوئية يجب معرفة كمية الماء المطلوبة بال يوم، وخصائص مصدر الماء وقيمة المسافات (العمودية والأفقية) التي سيتم ضخ الماء إليها.

من أجل ذلك يجب حساب قيمة ارتفاع الضخ الديناميكي ( $H_d$ ) الذي هو مجموع<sup>(81)</sup>:

- ارتفاع الضخ الاستاتيكي (الساكن) للماء ( $H_w$ ).
- ارتفاع الضخ الاستاتيكي (الساكن) للخزان ( $H_s$ ).
- ضياعات الاحتكاك في الأنابيب  $H_f$ .

$$H_d = H_w + H_s + H_f \quad (4-1)$$

يُقاس ارتفاع الضخ الاستاتيكي للماء ( $H_w$ ) اعتباراً من سطح الأرض بجانب البئر إلى أدنى مستوى يمكن أن يصل إليه سطح الماء في البئر، ويقاس الارتفاع الاستاتيكي للخزان ( $H_s$ ) اعتباراً من سطح الأرض بجانب البئر إلى أعلى نقطة في الخزان، ويمكن تحديد هذه القيم باستخدام خريطة طبوغرافية مقياس ارتفاع.

ضياعات الاحتكاك في الأنابيب هي مقاومة السطح الداخلي للأنبوب لتدفق الماء، وبشكل عام فإن الأنبوب ذو القطر الأصغر وقيمة الضخ الأعلى يعطي مقاومة أعلى. وتقدر ضياعات الاحتكاك بهبوط الضغط الذي  $\square$  يكافئ ارتفاعاً، وتحدد قيمته بمعرفة التدفق وقطر الأنبوب الداخلي.

جدول ضياعات الاحتكاك موضح في الملحق رقم (1) حيث يعطي ضياعات الاحتكاك مقدرة بالأقدام العمودية لكل مئة قدم من الأنبوب.

لحساب تدفق المضخة مقدراً (لتر بالدقيقة) يمكن استخدام المعادلة التالية [18]:

$$Q = \frac{L}{\sum h} \times 60 \text{min} \quad (4-2)$$

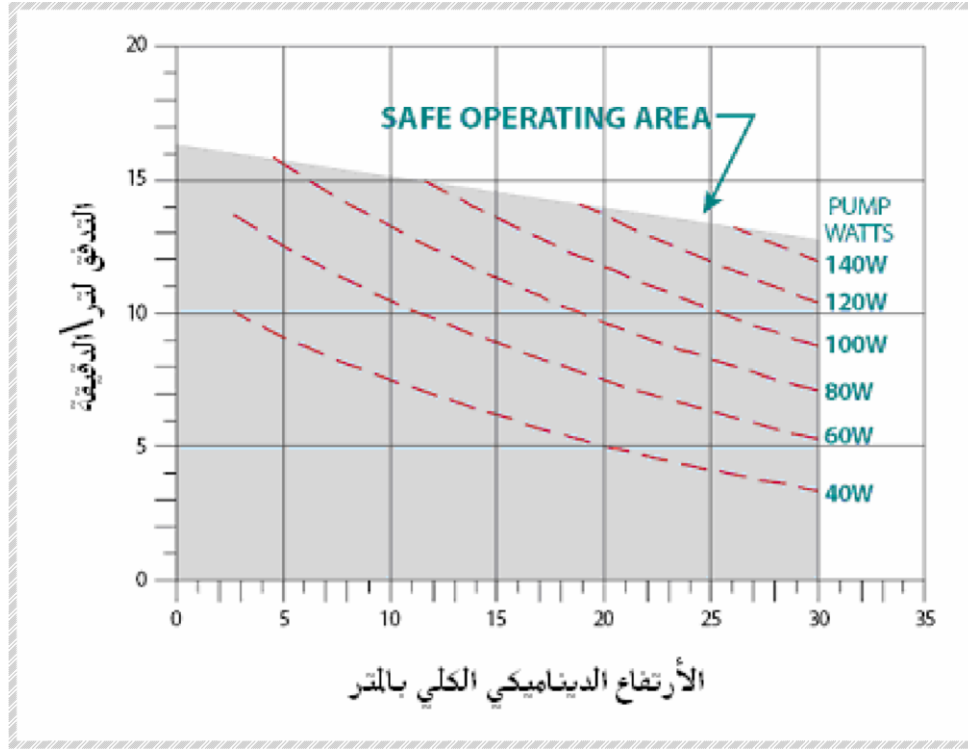
حيث:

$Q(l/min)$ : تدفق المضخة.

$L$ : عدد اللترات المطلوبة من الماء في اليوم.

$\sum h$ : عدد ساعات الذروة للشمس في اليوم.

نعود إلى المخططات (الكتالوجات) المزودة من قبل المنتجين لتحديد المضخة الملائمة وحجم صف الألواح الشمسية كما في الشكل (4-1):



الشكل (4-1)

### تحديد المضخة الملائمة وسطوح صف الألواح الكهروضوئية

سيكون صف الألواح الكهروضوئية محددًا بالاستطاعة والجهد، وهذا الأمر هو إجراء قياسي (مثال ي) لذلك يتم زيادة الاستطاعة المحددة بحدود (25%) لتعويض ضياعات الطاقة بسبب الحرارة العالية والغبار وعمر الاستخدام.... الخ.

### 2- الطريقة الثانية:

تحسب استطاعة المضخة الشمسية من المعادلة التالية<sup>(7)</sup>:

$$E_h = \frac{V.H^d \cdot \rho \cdot g}{6 \cdot 3.6 \times 10} \quad (4-3)$$
$$= .0002725(V.H_d)$$

حيث  $E_h(kWh/day)$ : الاستطاعة الهيدروليكية اللازمة في اليوم لضخ حجم معين من الماء مقداره  $V(m^3/day)$  لارتفاع  $H_d(m)$ .

الكثافة النوعية للماء:  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>)  
 تسارع الجاذبية:  $g$  (m/s<sup>2</sup>)  
 وبالتالي: الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم هي [1]:

$$E_{el} = \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (4-4)$$

حيث:  
 $E_{el}$  (kWh/day): الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم.  
 $\eta_{MP}$ : مردود المضخة.  
 ويكون سطح الألواح الكهروضوئية اللازمة [1]:

$$A_{PV} = \frac{E_{el}}{\eta_d \cdot \eta_{pv} \cdot E_h} = \frac{E_{el}}{\eta_d \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{MP}} \quad (4-5)$$

حيث  $A_{pv}$  :  
 سطح الألواح الكهروضوئية.

$G_d$ : كمية الإشعاع الشمسي الساقط في اليوم (Kwh/m<sup>2</sup>.day).  
 $\eta_{pv}$ : دود الألواح الكهروضوئية.  
 $\eta$ : عامل عدم تماثل الألواح الكهروضوئية.  
 4-4 الأجهزة والأدوات:

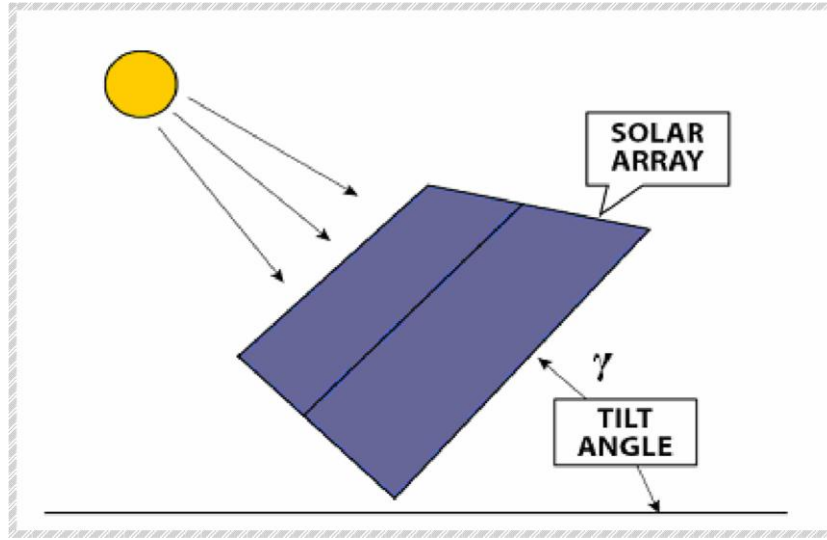
**4-3-1 الألواح الكهروضوئية:** تم استخدام لوحين كهروضوئيين، الأول: باستطاعة عظمى (120w) والثاني: باستطاعة عظمى (60w) وكلاهما بجهد (17.5v DC) وتم وصلهما على التسلسل.

بشكل عام يجب أن تكون زاوية ميل الألواح الكهروضوئية عن الأفق وفق المعادلة:

$$\gamma = \Phi \pm (10 \rightarrow 15)^\circ \quad (4-6)$$

حيث:  
 $\gamma$ : زاوية ميل الألواح الكهروضوئية عن الأفق.  
 $(\pm)$ : الإشارة السالبة للصيف و الإشارة الموجبة للشتاء.  
 $\Phi$ : خط عرض موقع تركيب المنظومة.

و الشكل (4-4) يوضح ذلك:



**الشكل (4-4)**  
زاوية ميل الألواح الكهروضوئية  
عن الأفق

#### 2-3-4 المضخة:

وهي بالموصفات القياسية التالية:

- الاستطاعة العظمى (120w).
- الجهد (24v DC).
- التيار الأعظمي (4.1A).
- ارتفاع الضخ الأعظمي (70m) وتدفق مقابل له (5 lit/min).
- وهي مضخة غاطسة ماركة (Shurflo 9325) أمريكية الصنع

#### 3-3-4 أجهزة القياس المستخدمة:

- أجريت القياسات بالأجهزة التالية:
- جهاز لقياس الفولت بمجال قياس [0-200V].
- جهاز لقياس شدة التيار بمجال قياس [0-25A].
- جهاز لقياس ضغط الماء بمجال قياس [0-12Bar].
- اسطوانة مدرجة لقياس كمية الماء.

#### 4-3-4 خزان ماء:

سعة خزان الماء (1000liters).

#### 5-4 الطريقة:

- تم الاستغناء عن وضع المضخة في بئر، وبدلاً من ذلك تم وضعها في خزان ماء وضغطها عن طريق سكر إلى ضغط يعادل الارتفاع المطلوب للضخ، وذلك من أجل تسهيل العمل.



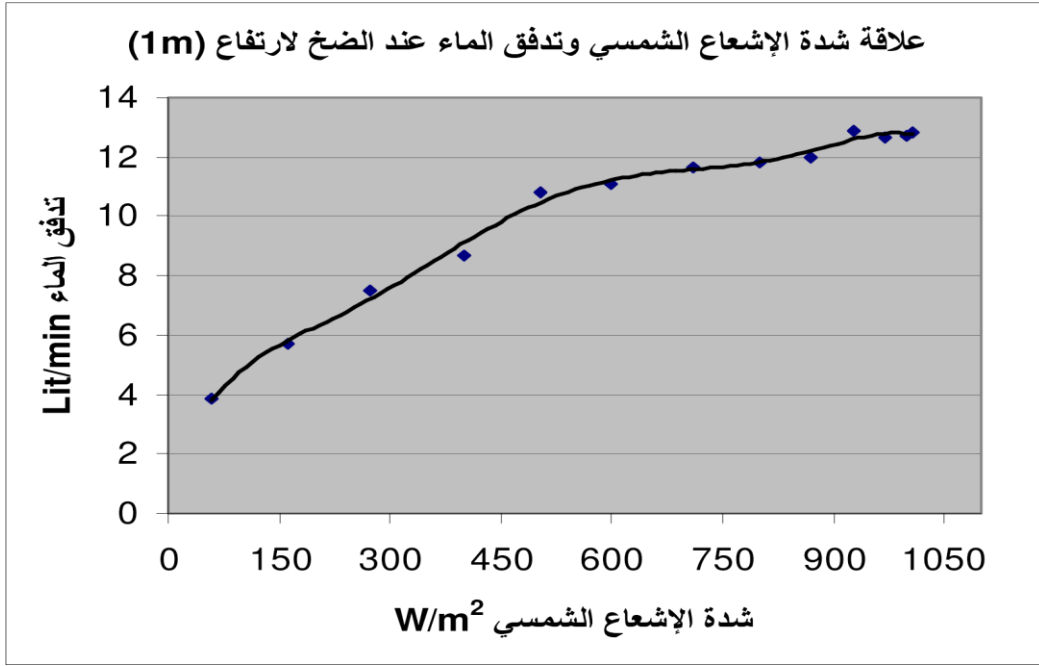
- تم أخذ قياسات دورية لحظية لجهد الألواح الكهروضوئية وتيارها، وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند ارتفاعات (1m-10m-20m) باستخدام اسطوانة مدرجة؛ وذلك عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (22°) كل ربع ساعة في ساعات الصباح والمساء وكل نصف ساعة في باقي الأوقات.
- تم أخذ قياسات دورية لحظية لجهد الألواح الكهروضوئية وتيارها، وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند ارتفاعات (10m,20m) باستخدام اسطوانة مدرجة؛ وذلك عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية تساوي خط العرض (53.5°) كل ربع ساعة في ساعات الصباح والمساء، وكل نصف ساعة في باقي الأوقات.
- تم أخذ قياسات دورية لحظية لجهد الألواح الكهروضوئية وتيارها، وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند ارتفاعات (10m-20m) باستخدام اسطوانة مدرجة؛ وذلك عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (22°) وتحريك الألواح مع حركة الشمس كل ربع ساعة في ساعات الصباح والمساء وكل نصف ساعة في باقي الأوقات.
- تم الاعتماد على قيم الإشعاع الشمسي حسابيا وذلك لتعذر الحصول عليها تجريبيا.

#### 6-4 النتائج المأخوذة من القياسات:

أولا- عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (22°) وبتجاه الجنوب:  
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع (1m)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )
60	3.84	800	11.84
162	5.7	869.8	12
273	7.5	890	12.3
400	8.7	928	12.9
503.8	10.8	971.2	12.66
600	11.1	998	12.7
709.6	11.64	1006	12.84

الجدول (1-4)



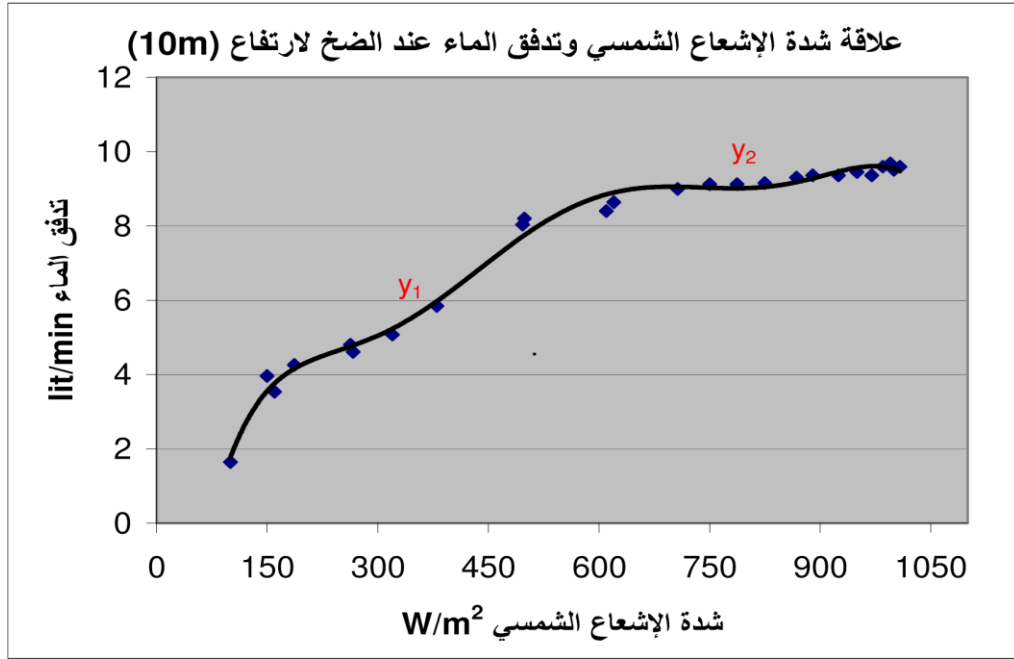
#### الشكل (4-6)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع (1m)

- 1- يوضح الجدول (4.2) و الشكل (4.7) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 10m:  
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع 10m

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min
100	1.65	750	9.12
150	3.96	787	9.12
160	3.54	825	9.15
187	4.26	867.9	9.3
263	4.8	890	9.36
266.5	4.61	925	9.36
320	5.08	950	9.45
380	5.85	970	9.36
496.5	8.04	985	9.6
499.1	8.2	995	9.69
610	8.4	1000	9.51
620	8.64	1008	9.6
706.5	9		

الجدول (2-4)



الشكل (4-7)

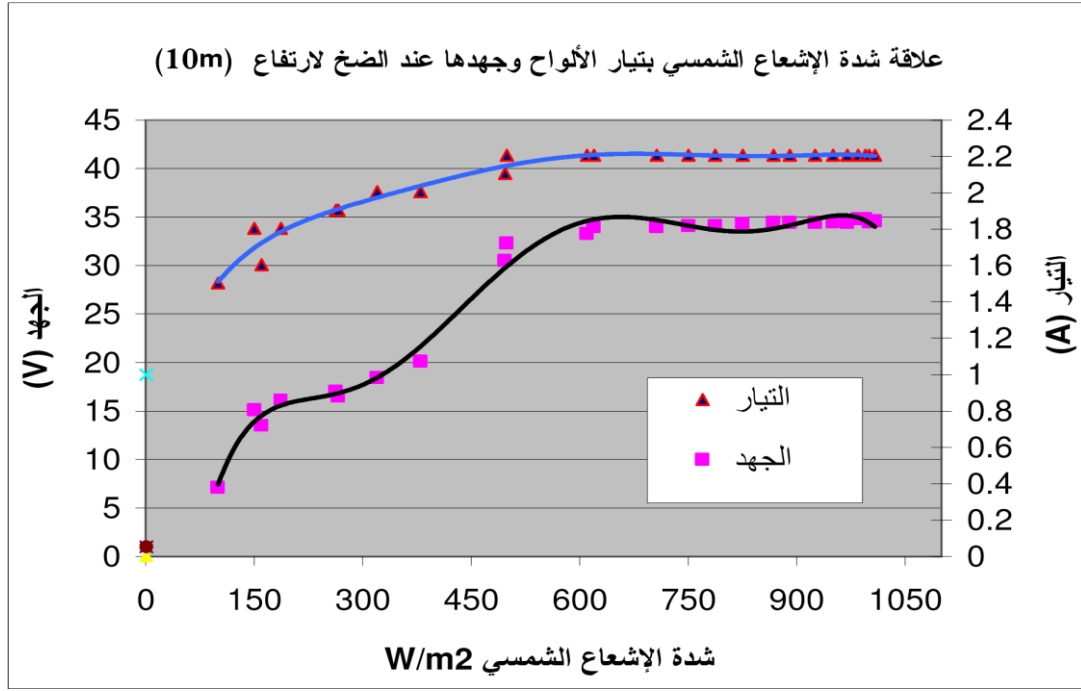
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع 10m

قيم الجهد وشدة التيار على خرج الألواح عند عمل المضخة على ارتفاع M10

الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	شدة التيار (A)	الجهد (V)	الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	شدة التيار (A)	الجهد (V)
100	1.5	7.1	750	2.2	34.1
150	1.8	15.1	787	2.2	34.1
160	1.6	13.5	825	2.2	34.3
187	1.8	16.1	867.9	2.2	34.4
263	1.9	17	890	2.2	34.4
266.5	1.9	16.5	925	2.2	34.4
320	2	18.4	950	2.2	34.5
380	2	20.1	970	2.2	34.4
496.5	2.1	30.5	985	2.2	34.8
499.1	2.2	32.3	995	2.2	34.8
610	2.2	33.3	1000	2.2	34.5
620	2.2	34	1008	2.2	34.6
706.5	2.2	34			

الجدول (4-3)

قيم الجهد وشدة التيار على خرج الألواح عند عمل المضخة على ارتفاع M10



الشكل (4-8)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي بتيار الألواح والجهد لارتفاع 10m

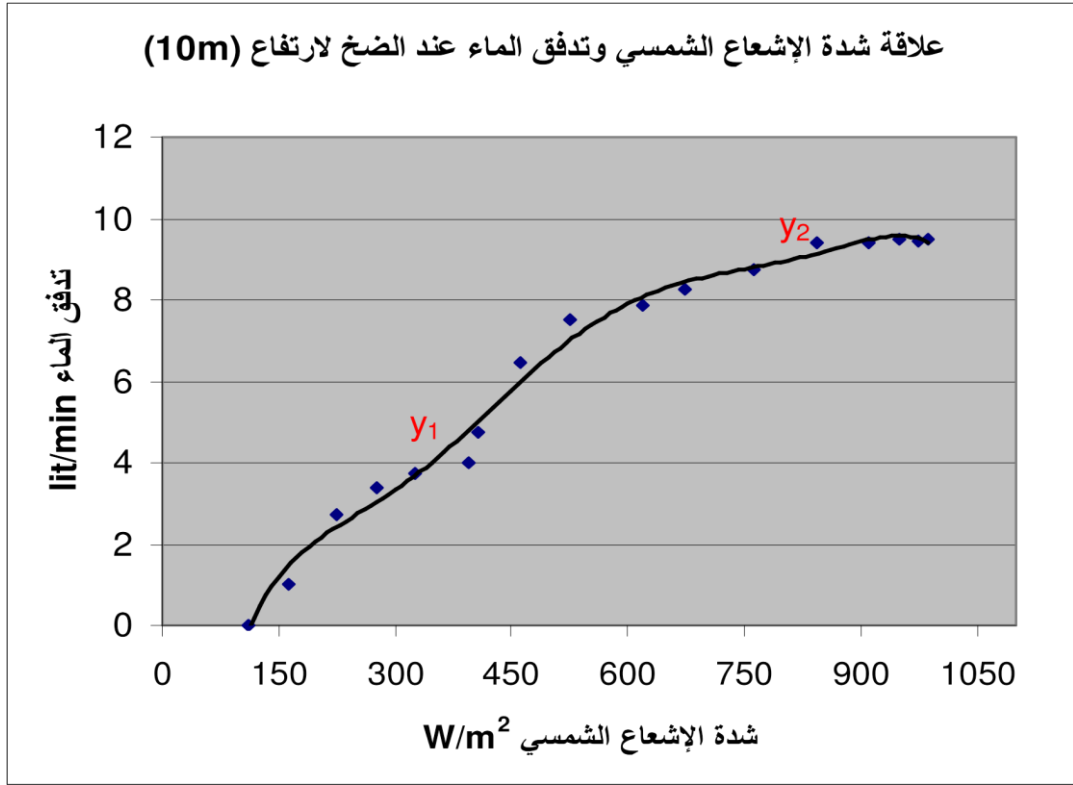
ثانيا- عند زاوية ميل خط العرض للألواح الكهروضوئية ( $35.5^\circ$ ):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 10m

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )
0	110	7.86	620
1	163	8.28	673.2
2.71	224	8.76	763
3.39	275	9.39	843.1
3.72	325	9.42	910
3.99	395	9.48	950.7
4.76	407	9.45	975
6.44	460	9.51	987.5
7.52	526		

الجدول (4-6)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 10m



#### الشكل (4-12)

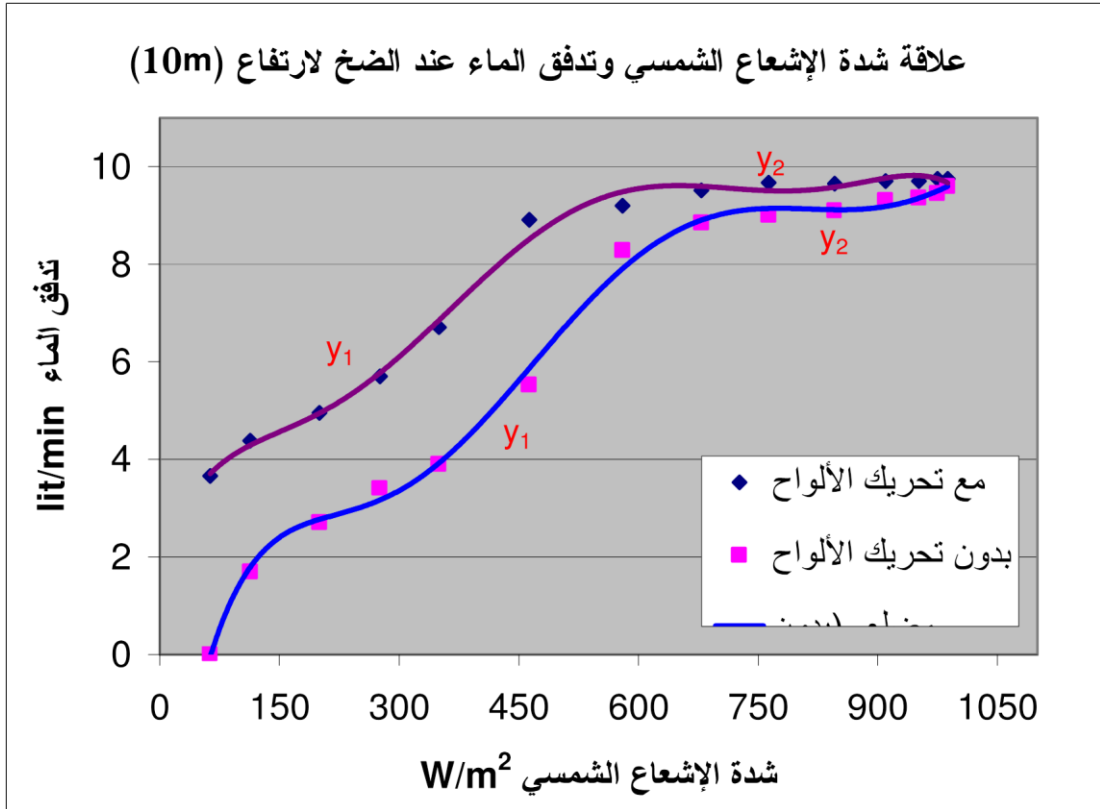
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 10m

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ  
لارتفاع 10m

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	Lit/min التدفق	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	Lit/min التدفق	Lit/min التدفق
63	3.66	678.8	9.51	8.29
113	4.38	763	9.67	8.85
200	4.95	846.1	9.65	9
276	5.7	910	9.7	9.1
350	6.71	951.7	9.7	9.3
463.1	8.91	975	9.75	9.36
580	9.2	987.8	9.75	9.45

#### الجدول (4-8)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند  
الضخ لارتفاع 10m



الشكل (4-16)

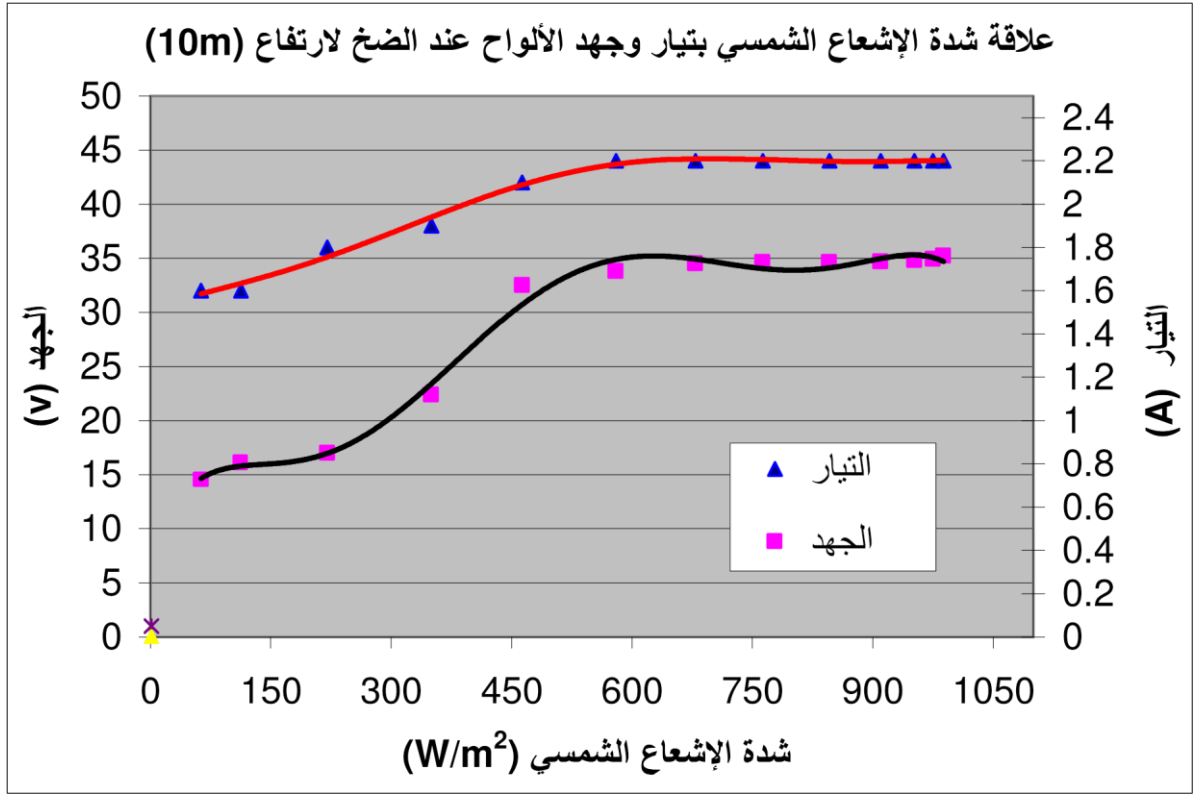
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 10m

العلاقة بين الجهد والتيار والإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	الجهد (V)	التيار (A)	الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	الجهد (V)	التيار (A)
987.8	35.2	2.2	580	33.8	2.2
975	34.9	2.2	463.1	32.5	2.1
951.7	34.8	2.2	350	22.4	1.9
910	34.7	2.2	220.4	17	1.8
846.1	34.6	2.2	113	16.1	1.6
763	34.6	2.2	63	14.5	1.6
678.8	34.5	2.2			

جدول (4-9)

العلاقة بين الجهد والتيار والإشعاع الشمسي



**الشكل (7-4)**

### مناقشة النتائج

أولاً- بالعودة إلى منحنى العلاقة بين الإشعاع الشمسي وكمية الماء المتدفق بالدقيقة عند ارتفاع معين (10م مثلاً) الموضحة في الجدول (2-4) والشك ل(7-4) نجد أن المضخة تستجيب لخرج الألواح الكهروضوئية على مرحلتين:

1- المرحلة الأولى: وهي مرحلة التوقف عن العمل، ومن خلال الدراسة تبين أن هذه المرحلة تقع عندما تكون قيم الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أقل من  $(100\text{W/m}^2)$ ؛ وذلك لأن التيار المتولد من الألواح الكهروضوئية لا يكفي لإقلاع المضخة أي أن  $(G_{th}=100\text{W/m}^2)$  وهو الحد الأدنى اللازم لإقلاع المضخة.

وتتغير قيمة  $G_{th}$  بتغير ارتفاع الضخ كما هو واضح في الشكل (9-4) حيث أصبحت قيمة  $(G_{th}=151\text{W/m}^2)$ ؛ لأن المضخة تحتاج لتيار لإقلاع أكبر.

2- المرحلة الثانية: وهي مرحلة عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أعلى من  $(100\text{W/m}^2)$  وتقسم إلى قسمين بحسب معادلة ميل منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي وكمية الماء المتدفق بالدقيقة:

أ-منطقة عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط بين  $(100-496\text{W/m}^2)$ :

$$y_1 = \frac{(8.04 - 1.65)}{(496 - 100)} \times 100 = 1.614 \text{ Lit} / 100\text{watt} \quad (5-4)$$

ب-منطقة عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط بين  $(496-1008\text{W/m}^2)$ :

$$y_2 = \frac{(9.6 - 8.04)}{(1008 - 496)} \times 100 = 0.3 \text{ Lit} / 100\text{watt} \quad (5-5)$$

حيث  $y$  : هو ميل المنحني الذي يعبر عن الزيادة في كمية الماء باللتر لكل  $(100W/m)^2$  ساقطة على الألواح الكهروضوئية، وهذه المنطقة تمثل ساعات الذروة لعمل المضخة .

وبالتالي: يمكن القول إن كمية الطاقة الساقطة في اليوم لا تتناسب بشكل طردي مع كمية الماء المتدفق وبخاصة عند ارتفاع كمية الطاقة الساقطة حيث توجد كمية كبيرة من الطاقة الشمسية لا يتم استغلالها وهذا واضح في المعادلتين (4-5) و (5-5) اللتان بينتا الفارق في كمية الماء المتدفق عندما يكون الإشعاع الشمسي أقل وأعلى من  $(496W/m)^2$  حيث هبط معدل الماء المتدفق من  $(1.614 Lit/100Watt)$  إلى  $(0.3 Lit/100Watt)$  وهذا يعني أن قسما كبيرا من الطاقة الشمسية التي تزيد عن  $(496W/m)^2$  مهدور، وهذه الطاقة يمكن استغلالها في تطبيق آخر.

بالعودة إلى الشكل(4-9) عندما يكون ارتفاع الضخ 20m نجد:

$$y_1 = \frac{(7.5 - 2.35)}{(526 - 151)} \times 100 = 1.37 Lit / 100watt \quad (5-6)$$

$$y_2 = \frac{(8.67 - 7.5)}{(1005 - 526)} \times 100 = 0.25 Lit / 100watt \quad (5-7)$$

بالمقارنة مع ارتفاع الضخ 10m نجد أن ميل المنحني يتغير عندما يكون الإشعاع الشمسي أقل من  $(500W/m)^2$ ؛ ولكنه لم يتغير تقريبا عندما يكون الإشعاع الشمسي أكبر من  $(500W/m)^2$ ، كما أن مرحلة عمل المضخة (ب) لم تتغير بتغير ارتفاع الضخ؛ وهذا يعني أن ساعات الذروة لعمل المضخة لا تتغير بتغير ارتفاع الضخ.

وعليه يمكن القول إن هناك حدا أدنى للإشعاع الشمسي تبدأ المضخة عنده بالعمل أي لا بد من تيار ابتدائي للمضخة كي تبدأ ع نده بالعمل، كما أنه يوجد حد أعلى مهما زادت قيمة الإشعاع الشمسي فإن المضخة لا تعطي ضحا أعلى وهذا الأمر يدخل في تصميم المضخة. ثانيا- عند تغيير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية من  $(22^\circ)$  إلى زاوية خط العرض  $(35.5^\circ)$  لم يلاحظ تغير كبير ملحوظ على منحني علاقة الإشعاع الشمسي بكمية الماء المتدفق بالدقيقة كما هو واضح فالشكليين(4-12) و(4-13)، لكن التغير الذي حدث هو انخفاض كمية الطاقة الشمسية

الساقطة على الألواح الكهروضوئية في اليوم الموضح في الملحقين(2) و(3) وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض الاستطاعة الهيدروليكية للمضخة في اليوم، وبالتالي: انخفاض كمية الماء المتدفق خلال اليوم.

وقد تبين أن نسبة انخفاض كمية الطاقة الشمسية الساقطة في اليوم بلغت(1.4%) خلال شهر

أب ونسبة انخفاض كمية الماء المتدفق خلال اليوم بلغت(8.6%)، ومن أجل الحصول على

كمية الماء نفسها في اليوم التي يمكن ضخها عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية  $(22^\circ)$  يجب زيادة كمية الطاقة الشمسية الساقطة؛ وهذا يتحقق بزيادة سطح الألواح الكهروضوئية، وبالتالي: زيادة كلفة مجموعة الضخ.

ثالثا- عند تحريك الألواح الكهروضوئية لتتبع حركة الشمس خلال النهار، تبين أن منحني علاقة الإشعاع الشمسي بكمية الماء المتدفق بالدقيقة قد تغير بشكل كبير وواضح بالمقارنة مع



حالة عدم تحريك الألواح الكهروضوئية وتثبيتها باتجاه الجنوب كما في الشكلين (4-15) و(4-16).

رابعاً- إن ساعات الذروة لعمل المضخة مع تحريك الألواح ازدادت بمقدار ساعة واحدة؛ وذلك بسبب زيادة الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الألواح الكهروضوئية.

خامساً- بمقارنة كمية الماء المتدفق خلال اليوم في حالة تحريك الألواح الكهروضوئية وحالة تثبيتها تبين أن كمية الماء المتدفق خلال اليوم في حالة تحريك الألواح قد ازدادت بنسبة

(20%) عن حالة تثبيتها ، هذا يعني زيادة الاستطاعة الهيدروليكية بنسبة (20%). وبالتالي: عند استخدام طريقة تحري كالألواح لضخ كمية معينة من الماء التي يتم ضخها بطريقة تثبيت الألواح يمكن تخفيض سطح الألواح الكهروضوئية للمضخة المستخدمة نفسها وهذا يؤدي إلى خفض تكاليف تركيب مجموعة الضخ.

### الاستنتاجات

- 1- تبدأ المضخة العمل عند حد أدنى من شدة الإشعاع الشمسي الذي يتغير بتغير ارتفاع الضخ.
- 2- لا تتناسب شدة الإشعاع الشمسي طردا مع تدفق الماء عند ارتفاع قيمة هذه الشدة، وبالتالي ي: لا يتم استغلال جزء من كمية الطاقة الشمسية الساقطة في اليوم.
- 3- لم تتغير ساعات الذروة لعمل المضخة بتغير ارتفاع الضخ.
- 4- عند تغيير زاوية ميل الألواح إلى زاوية خط عرض الموقع ع ( $35.5^\circ$ ) انخفضت كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح في اليوم بنسبة (4.1%)؛ وهذا أدى إلى انخفاض كمية الماء المتدفق ق خلال اليوم بنسبة (6.8%) .
- 5- انخفاض الحد الأدنى للإشعاع الشمسي الذي تبدأ المضخة الإقلاع عنده عند تحريك الألواح لتتبع حركة الشمس؛ كما يزداد تيار الألواح عند بدء الإقلاع بسبب زيادة الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح وذلك من أجل قيم مختلفة لارتفاع الضخ.
- 6- عند تحريك الألواح لتتبع حركة الشمس تبين أن منحنى علاقة الإشعاع الشمسي بكمية الماء قد تغير بشكل كبير؛ والسبب هو زيادة الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الألواح بشكل لحظي وخلال اليوم وبالتالي: ازدادت كمية الماء المتدفق بنسبة (20%).
- 7- عند تحريك الألواح ازدادت ساعات الذروة لعمل المضخة بمقدار ساعة واحدة في اليوم؛ وذلك بسبب زيادة الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الكهروضوئية.
- 8- نتيجة انخفاض كمية الإشعاع الشمسي الساقط خلال اليوم في أشهر الشتاء، تنخفض كمية الماء المتدفق خلال اليوم.
- 9- دراسة الجدوى الاقتصادية لمجموعة الضخ الشمسية و لمجموعة الضخ العاملة على الديزل تبينان هناك وفرا بحوالي (57%) على مدى (52 سنة) عند استخدام المضخات الشمسية مقارنة بالمضخات العاملة على الديزل بالنسبة لارتفاع ضخ (10m) فإن الوفر يبلغ (77.52%).

## التوصيات

- الاختيار الجيد لنوعية المضخة التي تعمل بالطاقة الشمسية حيث إن بمراعاة كمية الإشعاع الساقط على المنطقة وعمق الماء والظروف البيئية المحيطة بالنظام نجعل المضخة تعمل بكفاءة جيدة.
- قد تصمم المضخة الشمسية على حد أعلى للإشعاع الشمسي يكون أقل من القيمة العليا للإشعاع الشمسي للمنطقة مراعاة للفترات التي ينخفض فيها الإشعاع الشمسي نتيجة الظروف المناخية؛ لذا نوصي بعمل دراسة إمكانية استغلال الطاقة الزائدة في تطبيق آخر، وخاصة في الأيام التي يكون فيها الإشعاع الشمسي مرتفع، كاستخدام مدخرات من أجل تخزين الطاقة وضخ الماء ليلاً أو للإضاءة حيث يكون موقع مجموعة الضخ غالباً في مناطق نائية بعيدة عن الشبكة العامة للكهرباء.
- بما أن عملية الضخ تتم في النهار لذلك يجب دراسة غزارة البئر بشكل جيد واختيار العمق المناسب للماء الذي توضع فيه المضخة.

## المراجع العربية

(1)- توفيق سفيان، فهد حياتي ، عبد العزيز الذبحان. المضخات الشمسية في اليمن، مجلة العلوم م والتكنولوجيا، العام 2002 المجلد 7 العدد2.  
المراجع الانجليزية

- (2)- ASHRAE, 1995-1996. (America Society of Heating , Refrigeration and Air Conditioning Engineers). ASHRAE Handbook of HVAC Applications.
- (3)- Brown, L., 2006. using solar energy to pump livestock water , British Columbia, Order No. 590.305-6 .
- (4)- Dinh, K., 1988. A passive photovoltaic-powered solar tracker. Technical Bulletin. Dinh Company, Alachua, FL.
- (5)- Florida Solar Energy Center, 1988. Photovoltaic design, course manual. Cape Canaveral, FL.
- (6)- Garg, H.P., 1987. Advances in solar energy technology, Volume 3. Reidel Publishing, Boston, MA.
- (7)- Groundwater, 2001. Waterlines, Vol.20, No.2, ITDG Publishing
- (8)- Hadj Arab, A., F. Chenlo, K. Mukadam, and J. L. Balenzategui, 1999. Performance of PV water pumping systems, Renewable Energy, v. 18, no. 2, p.191
- (9)- Harsono, H., S. Tokuda, and S. Rahardjo, 2003. Evaluation of performance of photovoltaic system with maximum power point (MPP), Solar energy materials & solar cells, Elsevier, pp 673-678.
- (10)- Helikson, H.J , Haman, D.Z and C.D. Baird, 1991. Pumping Water for Irrigation Using Solar Energy, Florida cooperative Extension Service Fact Sheet EES-97.
- (11)- Kenna, J., and B. Gillett, 1985. Solar Water Pumping. A handbook.
- (12)- Lorenzo, E., G. Araujo, A. Cuervas, M. Egido, J. Minano, and R. Zilles, 1994 . "Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems" , pp.340.
- (13)- Marsh, L., 2001. Pumping water from remote locations for livestock watering, Virginia Cooperative Extension, Publication 442-755, 8 pp.
- (14)- Fraenkel, P., 1997. Water Pumping Devices, A handbook for users and choosers. ITDG Publishing.
- (15)- Florida Solar Energy Center, 1988. Photovoltaic design, course manual. Cape Canaveral, FL.
- (16)- Salameh, Z., and D. Taylor, 1990. Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays, Solar energy volume 41, No. 1, pp 57-61.

(17)- Stokes, K., Saito, P., and C. Hjelle, 1993. Photovoltaic Power as a Utility Service: Guidelines for Livestock Water Pumping, Sandia National Laboratories report SAND 93-7043.

(18)- Williams, C.A., H.H. Whiffen, and D.Z. Haman, 1993. Water for livestock using solar generated electricity, Florida Energy Extension Service Fact Sheet EES-97, 5 pp.