



جامعة تشرين  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية  
قسم القوى الميكانيكية

## دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية

بإشراف

الأستاذ المساعد الدكتور صلاح داوود

المشرف المشارك

الدكتور عهد سليمان

إعداد

المهندس علي ناجي حمودي

2009-2008

## الفصل الأول الطاقة الشمسية

### 1-1 المقدمة:

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

إن تراكم الكميات الكبيرة من هذه العضويات الحية عبر السنين، وخضوعها لظروف مناسبة من الأكسدة والإرجاع، حولت الطاقة الكيميائية المخزنة فيها إلى طاقة كيميائية أخرى شكلت مصدر الوقود الأحفوري من النفط والغاز والفحم .

أما الأثر الحراري للطاقة الشمسية فيتجلى ظاهراً عند سقوط الأشعة الشمسية على الغلاف الجوي فيؤدي لتسخينه تسخيناً متفاوتاً، وبالتالي: لحدوث التيارات الهوائية ، وبالنتيجة ظهور طاقة الرياح، ويشكل تبخر كميات هائلة من مياه البحار والمحيطات مصدراً للطاقة المائية على الأرض.

إن التسخين المباشر لسطح البحار والمحيطات يؤدي لارتفاع درجة حرارة السطح مع المحافظة على درجة حرارة منخفضة في القاع، و تعرف الطاقة الناتجة من هذه الظاهرة بالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات.

ترتبط طاقة المد والجزر مباشرة مع الشمس ولو بشكل ضئيل أي بمدى قربها أو بعدها عن الأرض، ويعتقد أن الطاقة الكامنة الجوفية في باطن الأرض هي طاقة مستمدة من الشمس؛ لأن معظم النظريات الحديثة تؤكد أن الأرض تعود في منشئها إلى الشمس إذ إنها انفصلت عنها ( الكوكب الأم ) وبُردت قشرتها الخارجية، أما أعماقها فما زالت ملتهبة تشع الحرارة إلى الجهات كافة.

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

## 2-1 الجوانب الإيجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية:

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

### أولاً 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 الجميع فلا حاجة لنقلها و توزيعها.

4- على الرغم من الفرق في توزع الطاقة الشمسية بين خط الاستواء و القطبين إلا أن توزعها حسب خطوط العرض منتظم تقريباً، ويعتمد على المنطقة الجغرافية مما يسهل عملية دراستها واستخدامها وتبادل المعلومات والدراسات حولها.

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

6- تُعدُّ 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- تُعدُّ هذه الطاقة مصدراً نظيفاً للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الاستعمال.

### ثانياً الجوانب السلبية:

1- تُعدُّ الطاقة الشمسية قليلة الكثافة لوحدة 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 تغييراً نوعياً في بعض أسس هذا النظام.

### 3-1 أهمية الطاقة الشمسية:

تأتي أهمية الطاقة الشمسية من اعتبارها أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن الحالي؛ لأن الطاقة التقليدية (الأحفورية) مهددة بالانقراض، 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 كأحد 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 الرئيسة 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 في النقل والمواصلات.

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

ورغم أن الطاقة الشمسية أخذت تتبوأ مكاناً مهماً 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.. الخ.

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 حالياً تفوق تكلفة إنتاج الطاقة التقليدية إلا أنها لا تعطي صورة كافية عن مستقبلها لأنها آخذة في الانخفاض المتواصل بفضل البحوث الجارية والمستقبلية.

#### **4-1 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 الكهنة يستعملن أنيات 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 فُتحت آفاق علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية.

#### **1-4-1 الاستخدامات الحرارية:**

تشمل منظومات التدفئة وتسخين المياه للأغراض المنزلية والصناعية، حيث تُعدُّ من الاستخدامات الأساسية الأكثر عملية لأنظمة الطاقة الشمسية في الأبنية السكنية. ومنظومات تحلية المياه، و منظومات تجفيف المحاصيل الزراعية، و الطباخات الشمسية، ومنظومة التبريد حيث تُعدُّ 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.

#### **2-4-1 الاستخدامات الكهربائية:**

يُعدُّ 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 و المنظومات 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 الموجات السنتمترية - محطات الأقمار الصناعية الأرضية - الوقاية المهبطية لحماية أنابيب النفط والغاز والمنشآت المعدنية من التآكل - تغذية شبكة الكهرباء العامة.

### 5-1 بعض 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 المغبرة، ويعتمد خزن الطاقة الشمسية على طبيعة الطاقة الشمسية وكميتها، و نوع الاستخدام وفترة الاستخدام بالإضافة إلى التكلفة الإجمالية لطريقة التخزين، ويفضل عدم استعمال أجهزة للخزن لتقليل التكلفة والاستفادة بدلاً من ذلك من الطاقة الشمسية مباشرة حين وجودها فقط، و يُعدُّ 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 الحلول للحد من مشكلة التآكل والصدأ في المجمعات الشمسية.

## 6-1 الإشعاع الشمسي:

إن النظرية السائدة حول نشوء الشمس هي أنها تشكلت من سحابة غازية من الهيدروجين. المرحلة الأولى من تطور الشمس كانت التقلص التجاذبي 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 الانصهارات النووية الحاصلة في مركز الشمس لإصدار الطاقة بشكل إشعاع كهرومغناطيسي عالي التردد، يصدر هذا الإشعاع بجميع أطوال الموجة ابتداء من الموجات الراديوية ذات طول الموجة الطويلة إلى أشعة ذات الموجة القصيرة جدا 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.

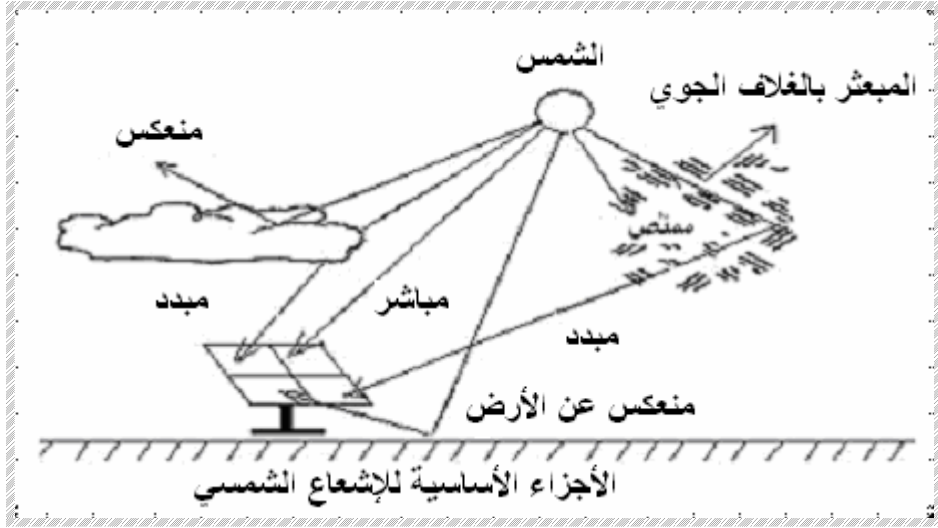
إن حوالي 40% من الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض ينعكس إلى الفضاء بسبب الغيوم والغلاف الجوي وبعض السطوح كالماء والثلج والرمل، والجزء الآخر من الإشعاع الشمسي في أثناء مروره عبر الغلاف الجوي يتبعثر في كل الاتجاهات، يسقط قسم من هذا الإشعاع المبعثر على سطح الأرض وتقوم الغيوم والغبار ببعثرة قسم منه، و القسم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

تتكون مجموعة الإشعاعات التي ترتطم بسطح الخلية الكهروضوئية أو بمساحة معينة على سطح الأرض كما هو موضح في الشكل رقم (1-1) من ثلاثة أجزاء أساسية<sup>(12)</sup> وهي:

1- حزمة الإشعاع المباشر (Direct Beam Radiation).

2- حزمة الإشعاع المبعثر (Diffuse Radiation).

3- حزمة الإشعاع المعكوس (Albedo Radiation).



الشكل (1-1)

الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية الكهروضوئية

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 و الشعاع المباشر يكون تقريبا 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 20% للسماء الصافية وبتحدهود 100% للسماء الغائمة. أما الجزء الثالث والأخير فهو مكمل للحزمة الضوئية الكاملة التي ترتطم بالخلية الكهروضوئية، 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 و الجدول (1-1) 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.



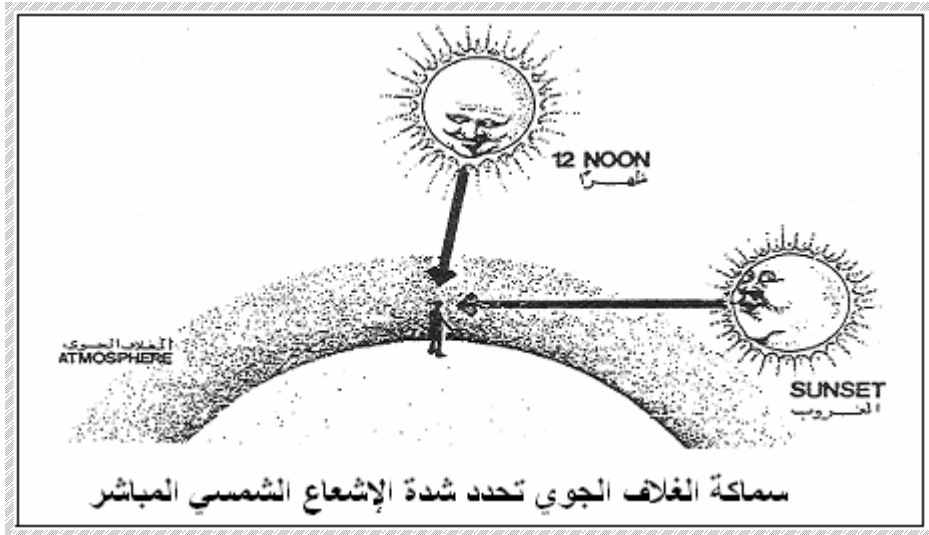
بعض المواد العاكسة للإشعاع الشمسي ومعاملات انعكاسها

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 (1-1)

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 أصغرية 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 أصغرية كما في الشكل (2-1). ولهذا السبب فإن حجم طاقة الإشعاع الشمسي يكون مرتفعا في المناطق ذات الارتفاع الكبير عن سطح البحر.

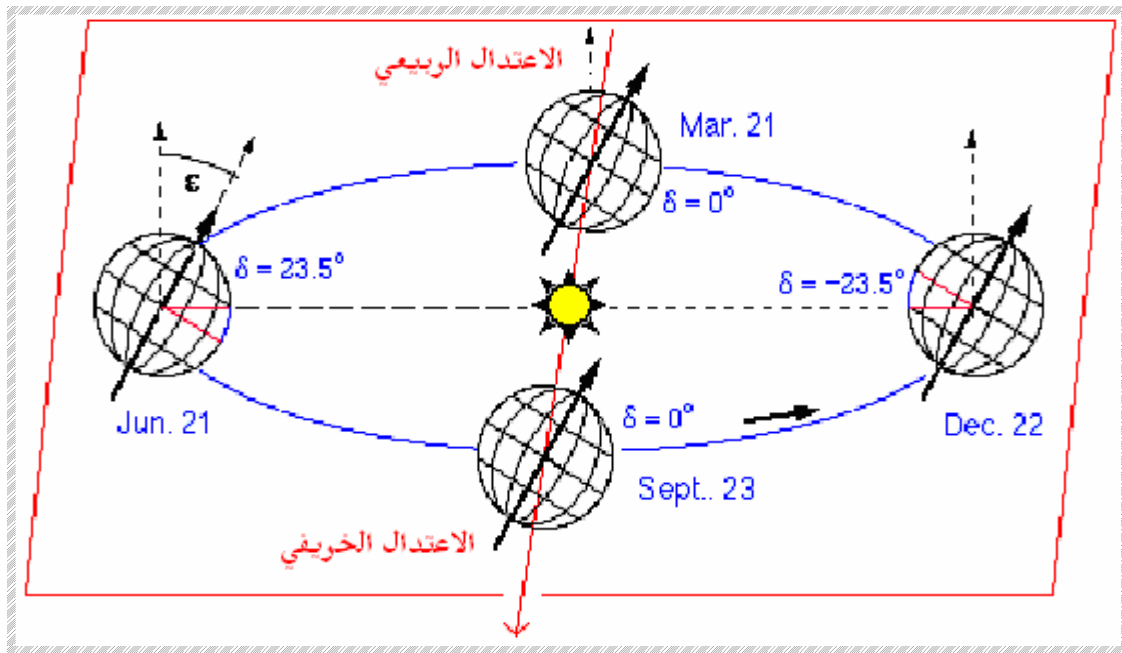


الشكل (2-1)

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 بعيداً عن الشمس باعثة أقل كثافة من الطاقة كما في الشكل (3-1).

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



الشكل (3-1)

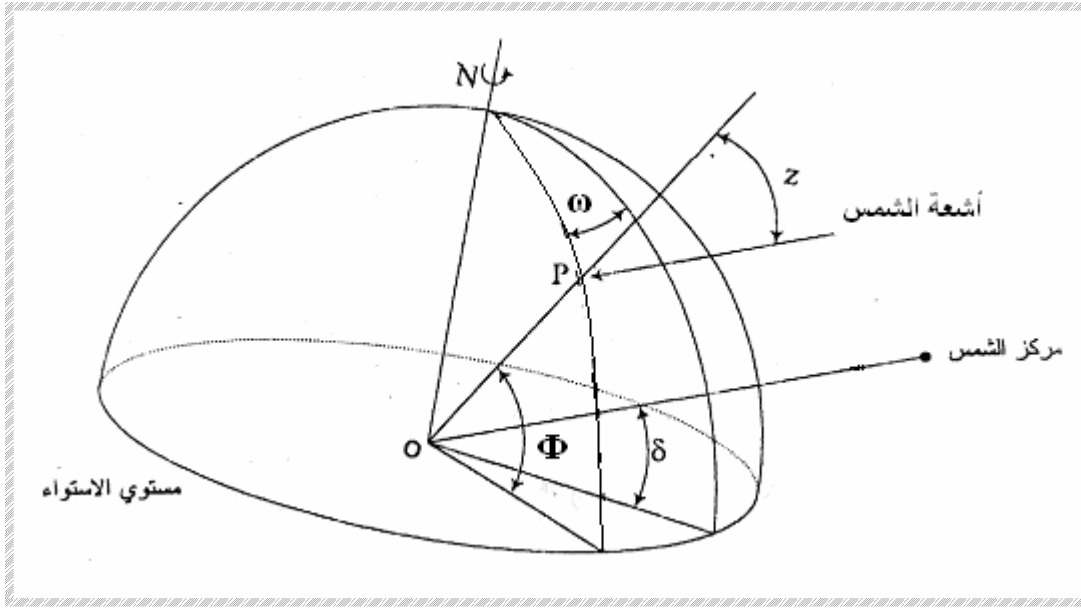
تغير شدة الإشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء

### 7-1 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 ما: هو الموقع الزاوي للنقطة المدروسة بالنسبة إلى مستوي خط الاستواء، ويفرض خط العرض موجب شمال خط الاستواء، وحسب الشكل (4-1) هو الزاوية بين الخط  $op$  ومسقطه على مستوي خط الاستواء.



الشكل (4-1)

خط العرض  $\Phi$ , الانحراف الساعي  $\omega$ , الانحراف الشمسي  $\delta$

2- زاوية الانحراف الشمسي ( $\delta$ ):

تعرف بأنها المسافة الزاوية لأشعة الشمس بالنسبة لمستوي خط الاستواء، شمالاً تفرض موجبة. وحسب الشكل (4-1) هي الزاوية بين الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط هذا الخط على مستوي خط الاستواء .

نتيجة للطبيعة الإهليلجية 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 :

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

حيث :  $n$  هو رقم اليوم في السنة.

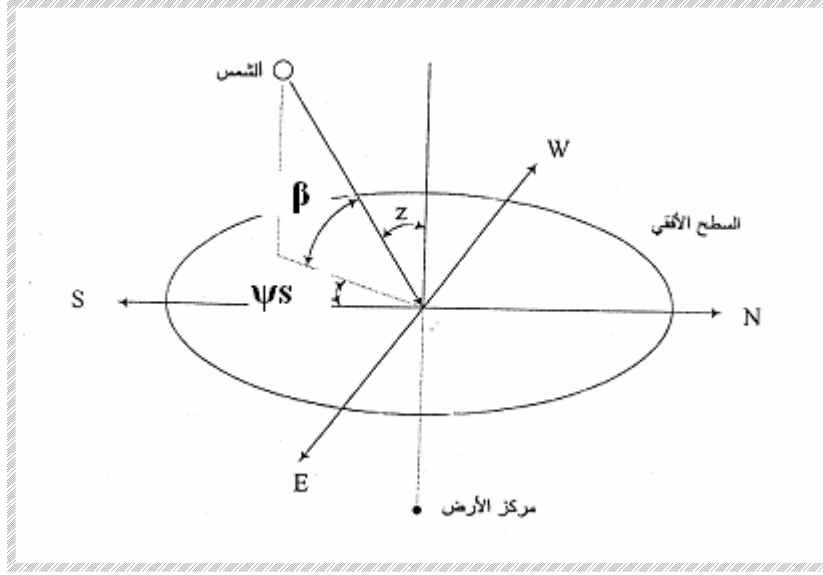
3- الزاوية الساعية ( $\omega$ ):

الزاوية الساعية لنقطة 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 كمايلي:

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

حيث: الإشارة الموجبة تدل على ساعات بعد الظهر والإشارة السالبة تدل على ساعات الصباح .  
بالإضافة للزوايا الهندسية الثلاث الموضحة في الشكل (1-4) فمن الملائم لحساب الإشعاع الشمسي  
تحديد موقع الشمس بالنسبة للسماء من خلال الزوايا الموضحة في الشكل (1-5).



الشكل (1-5)

زاوية السمات الرأسية  $Z$  , زاوية الارتفاع  $\beta$  , زاوية السمات الأفقية  $\psi_s$

4- زاوية السمات الشمسي الرأسية ( $Z$ ):

هي الزاوية بين أشعة الشمس والشاقول.

5- زاوية الارتفاع الشمسي ( $\beta$ ):

هي الزاوية بين أشعة الشمس والمستوي الأفقي .

$$Z + \beta = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad (1-3)$$

وهكذا نجد أن العلاقة بين هذه الزوايا معطاة كما يلي :

$$\cos Z = \sin \beta = \sin \Phi \cdot \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos \omega \quad (1-4)$$

6- زاوية السمات الشمسي الأفقية ( $\psi_s$ ):

هي الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين الجنوب ومسقط أشعة الشمس، و الاتجاه نحو الغرب يُعدُّ

موجباً، هذه الزاوية تحسب وفقاً للعلاقة التالية :

$$\cos \psi_s = \frac{\sin \beta \sin \Phi - \sin \delta}{\cos \beta \cos \Phi} \quad (1-5)$$

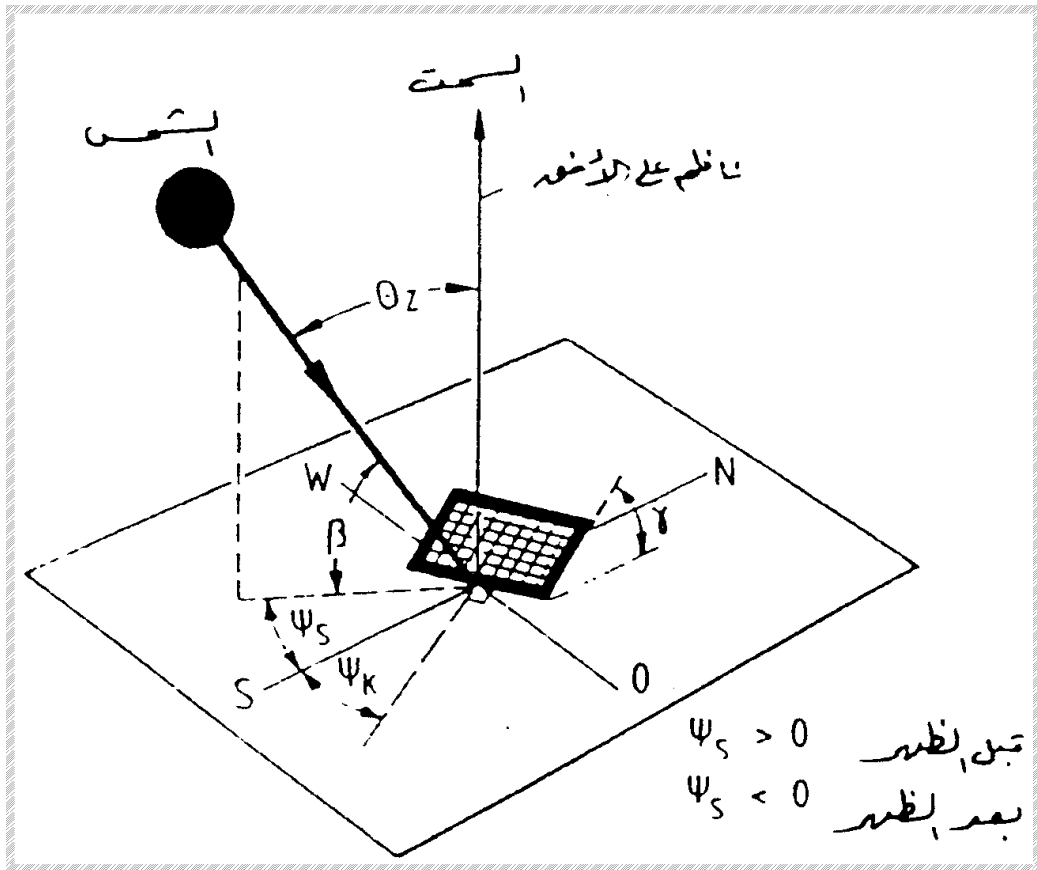
لحساب الإشعاع الشمسي الساقط على السطح المائل من الضروري حساب ثلاث زوايا أخرى تتعلق باتجاه السطح كما يتضح من الشكل (6-1).

7- زاوية ميل السطح ( $\gamma$ ):

هي الزاوية بين السطح والمستوي الأفقي .

8- زاوية سمت السطح ( $\Psi_k$ ):

هي الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين مسقط المستقيم المتعامد مع السطح والجنوب والاتجاه نحو الغرب يُعدُّ موجباً.



الشكل (6-1)

زاوية ميل السطح  $\gamma$ ، زاوية سمت السطح  $\Psi_k$ ، زاوية سقوط الإشعاع  $\theta_k$

9- 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 :

$$\cos \theta_k = \sin \beta \cos \gamma + \cos \beta \sin \gamma \cos(\psi_s - \psi_k) \quad (1-6)$$

### 8-1 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. علماً أن السطح المتعامد مع أشعة الشمس سوف يستقبل أكبر كمية من الإشعاع الشمسي، لكن عملية تتبع الشمس غالباً ما تكون مكلفة و غير عملية في كثير من الحالات. تبين أن الحل الأكثر ملائمة هو باستخدام المجمعات المائلة في الإنشاءات العملية. وبالتالي: من الضروري حساب الإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح المائلة.

يبين الشكل (1-7) 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 :

$$E_{dirs} = A \cdot e^{\frac{B}{\sin \beta}} = A \cdot e^{-Bm} \quad (1-7)$$

$E_{dirs}$ (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:

$$E_{dir.h} = E_{dir.s} \sin \beta \quad (1-8)$$

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 (10-1) 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):

$$E_{dfu} = C \cdot E_{dir.s} \cdot F_{ss} \quad (1-9)$$

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

C معامل تشتيت الإشعاع الشمسي معطى في الجدول (2-1)

F<sub>ss</sub> المعامل الزاوي بين السطح والسماء , حيث :

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

لسطح كفي يميل بزاوية  $\gamma$

$$\text{للسطح العمودي} \quad F_{ss} = 0.5$$

$$\text{للسطح الأفقي} \quad F_{ss} = 1.0$$

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

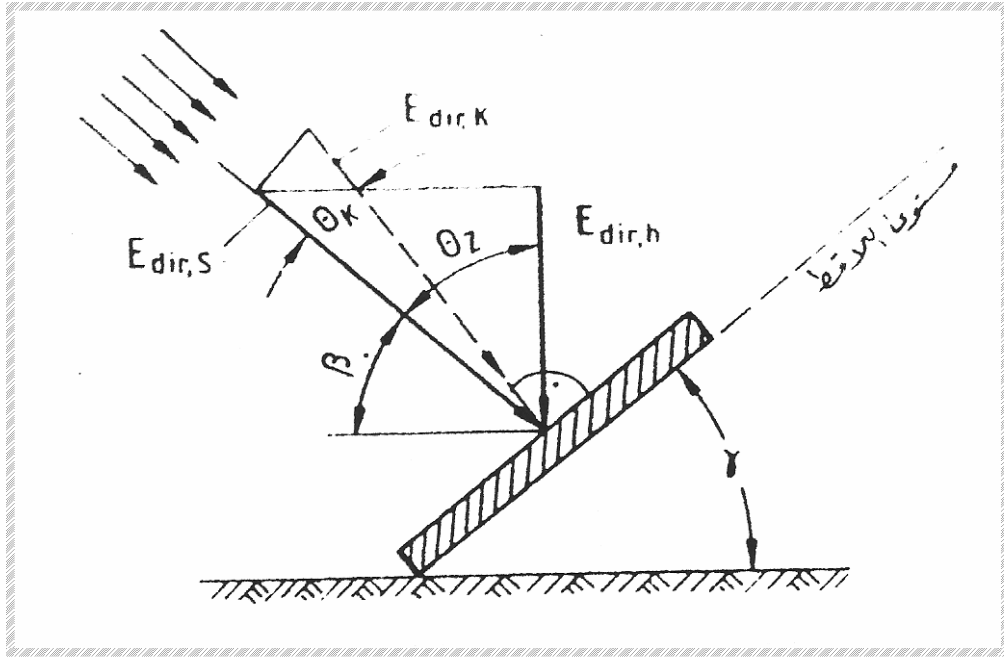
$$H = E_{dir.h} + E_{dfu} \quad (1-10)$$

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 (2-1)





الشكل (7-1)

الإشعاع المباشر الساقط على الأسطح الأفقية والمائلة (2)

$$\cos \theta_K = \frac{H_{Bt}}{H_{Bn}} \quad (1-11)$$

$$\cos Z = \frac{H_B}{H_{Bn}} \quad (1-12)$$

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

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

$$H_t = E_{dir,h} R_B + E_{dfu} \left( \frac{1 + \cos \gamma}{2} \right) + H \rho_g \left( \frac{1 - \cos \gamma}{2} \right) \quad (1-13)$$

حيث:  $\rho_g$  معامل انعكاس الأرض للأشعة المباشرة والمبددة وفي الحسابات الحالية تؤخذ ثابتة .  
 $R_B$  معامل ميل الإشعاع المباشر.

## الفصل الثاني

### 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).

#### 1-2 التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية:

تعدُّ 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 الترموديناميكي أهمها :

1- عدم الحاجة إلى تنظيم المراحل والعمليات الحرارية اللازمة .

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

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

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

5- تُعدُّ 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 الكهروضوئية 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 الكهروضوئية وتحسين نوعية

العمل فقد انخفضت هذه الكلفة حتى ( \$ 5 ) ، وينخفض في الوقت الحالي ثمن الخلايا الكهروضوئية باستمرار .

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

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

## 2-2 تعريف الخلايا الكهروضوئية:

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

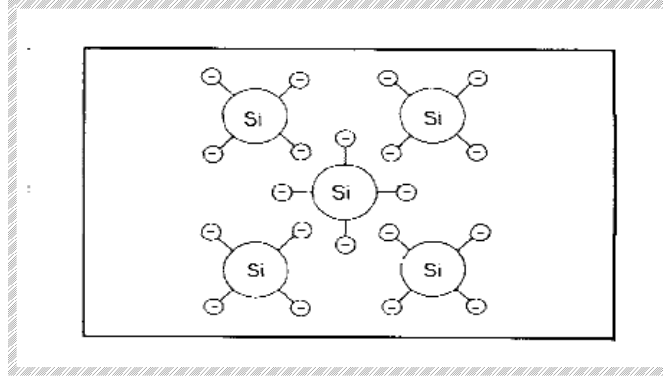
وتصمم المنظومات من هذا النوع أساساً لأجل المنشآت في المواقع البعيدة لفترات طويلة حيث تتصف مثل هذه المواقع عادة بقساوة عالية في طقسها، لذلك يجب أن تكون هذه المنظومات ذات مقاومة عالية للرياح والرطوبة والبرد والعواصف الرملية، وأن تحاط بتصميم ضد هجمات الطيور والحيوانات والتآكل ، لهذا فإن المواد الأساسية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

ومن أسباب اختيار السليكون أنه:

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

### 3-2 مكونات الخلية الكهروضوئية:

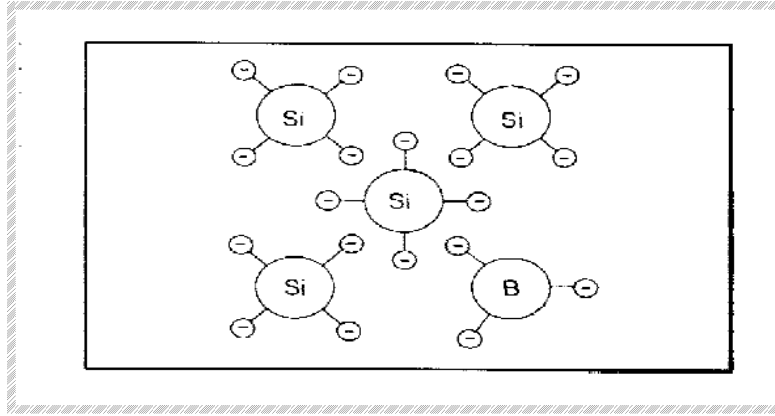
تتكون الخلية الكهروضوئية من طبقة رقيقة من مادة السليكون، هذه المادة هي إحدى مواد أشباه النواقل المعروفة. تمتلك ذرة السليكون أربع إلكترونات تكافؤية و تشترك مع ذرات السليكون المجاورة في رابطة تساهمية (تشاركية) كما في الشكل (1-2) (6).



الشكل (1-2)

البنية الذرية للسليكون

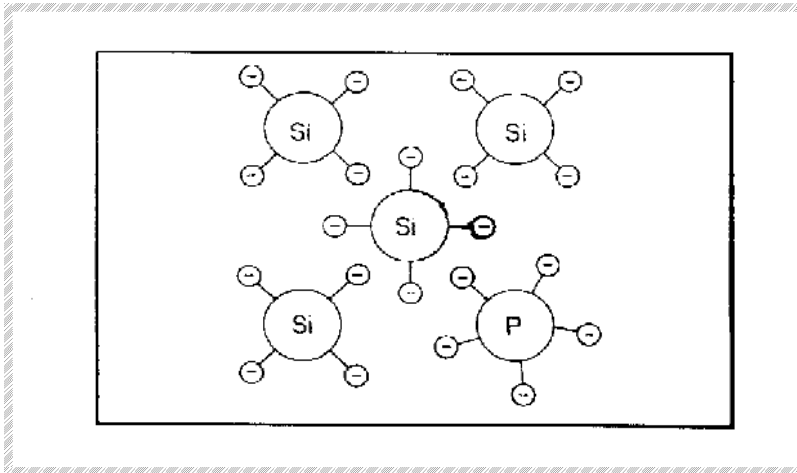
لتوليد الشحنة الموجبة في الخلية الكهروضوئية تُدخل ذرات البورون التي تمتلك ثلاث إلكترونات تكافؤية في تركيب السليكون الصافي. ترتبط هذه الذرات مع ذرات السليكون ويتشكل ثقب إيجابي الشحنة بدلاً من الإلكترون الرابع المفقود. تسمى مادة السليكون مع شوائب البورون ناقلاً إيجابياً أو من النوع (p) كما في الشكل (2-2) (6).



الشكل (2-2)

ناقل من النوع (p)

لتوليد الشحنة السالبة في الخلية الكهروضوئية تُدخل ذرات الفوسفور التي تمتلك خمس إلكترونات تكافؤية في تركيب السيليكون الصافي، ترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون ويتشكل إلكترون سلمي الشحنة. تسمى مادة السيليكون مع شوائب الفوسفور ناقلاً سلبياً أو من النوع (n) كما في الشكل (3-2).

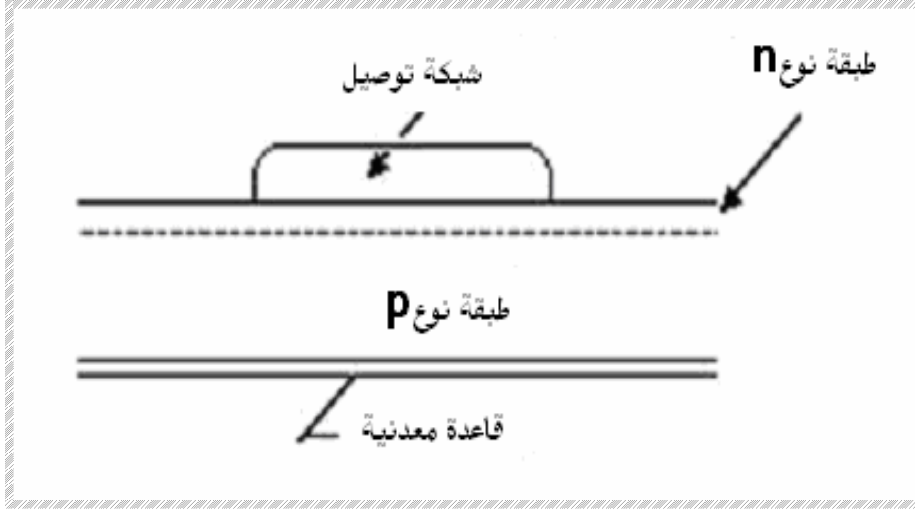


الشكل (3-2)

ناقل من النوع (n)

تُصنع الخلايا الكهروضوئية بوضع طبقة من النوع (n) و طبقة من النوع (p) معاً، بهذا نكون قد حصلنا على المأخذ الموجب و المأخذ السالب للخلية الكهروضوئية<sup>(6)</sup>.

الشكل (4-2) يوضح التركيب الأساسي للخلية الكهروضوئية.



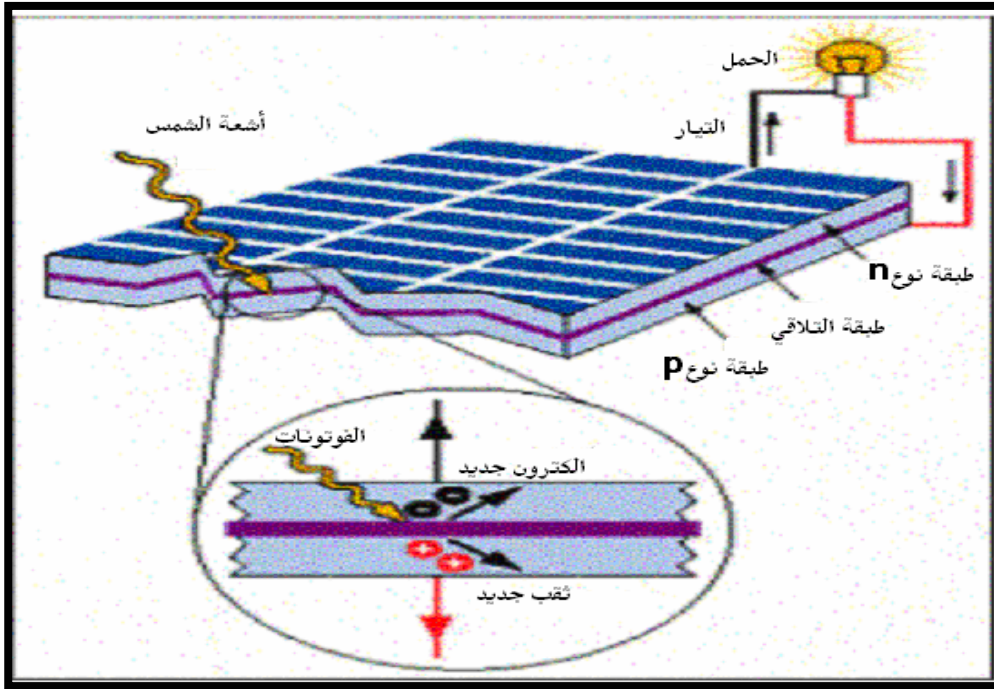
الشكل (4-2)

التركيب الأساسي للخلية الكهروضوئية

#### 4-2 طريقة عمل الخلية الكهروضوئية:

من الشكل (5-2) نلاحظ أنه عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية، ويُمتص جزء منه بواسطة الطبقة الأولى للخلية وهي الطبقة التي تحتوي على الفوسفور، أما أغلبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك أي الطبقة التي تحتوي على خليط السيليكون بالبورون.

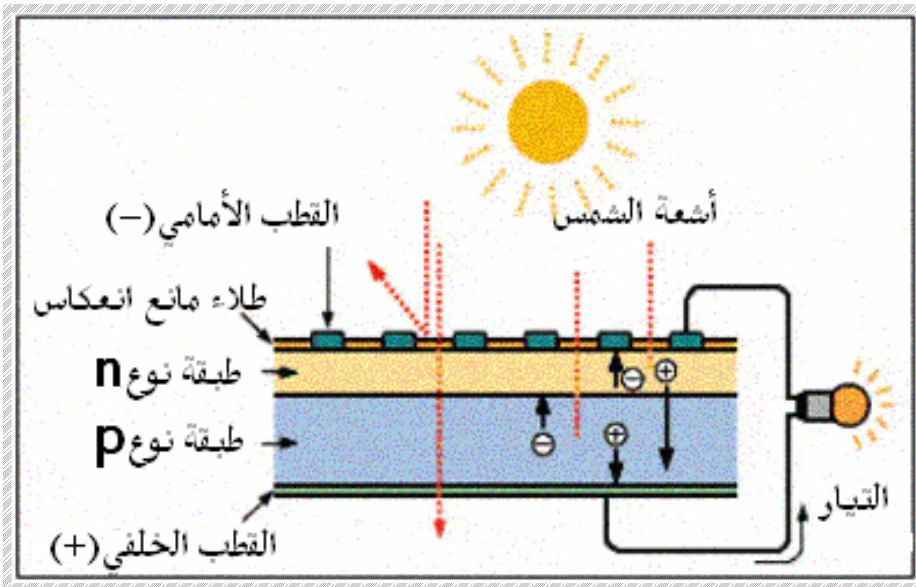
يتكون من خلال هذه العملية إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي في أطراف الخلية، وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية، وبالتالي: يتشكل التيار الكهربائي المستمر. من هنا يمكننا توصيل حمل كهربائي على أطراف هذه الخلية والاستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس على الخلية<sup>(12)</sup>.



الشكل (5-2)

مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية

يبين الشكل (6-2) مكونات خلية كهروضوئية، حيث تتألف الخلية الكهروضوئية المثالية من غطاء زجاجي لختم الخلية وإلكترودين أحدهما خلفي والآخر أمامي وطبقات من شبه المعدن.



الشكل (6-2)

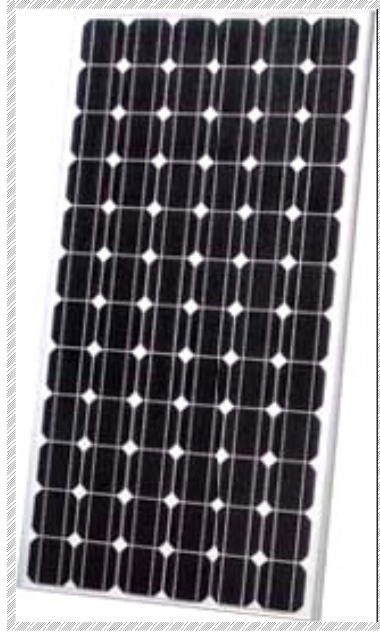
مكونات الخلية الكهروضوئية

## 5-2 أنواع الخلايا الكهروضوئية:

### 1-5-2 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 جداً لكونها مصنعة من سليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة حيث طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة. الشكل (7-2) يبين لوحاً كهروضوئياً مصنوعاً من خلايا كهروضوئية أحادية<sup>(8)</sup>.



الشكل (7-2)

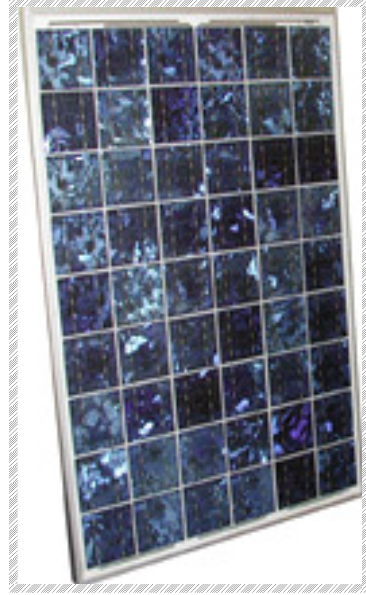
لوح كهروضوئي مصنوع من خلايا كهروضوئية أحادية

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



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

بالرغم من كون الخلايا الكهروضوئية المتعددة البلورات أرخص وأسهل تصنيعاً من الخلايا الأحادية البلورة بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة، وذلك كون حاملات الشحنة (الإلكترونات والتقوب) المولدة من قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السليكون المتعدد البلورات، وقد وُجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السليكون المذاب ببطء ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل، وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات. الشكل (8-2) يبين لوحاً شمسياً مصنوعاً من خلايا كهروضوئية متعددة البلورات<sup>(8)</sup>.



الشكل (8-2)

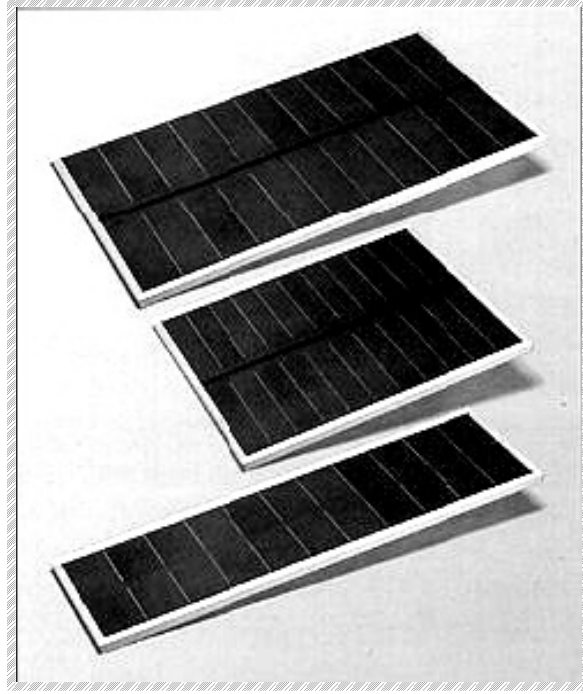
لوح شمسي مصنوع من خلايا كهروضوئية متعددة البلورات

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

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

يمكن تصنيع الخلايا الكهروضوئية بطريقة أرخص من طرق تصنيع الخلايا السليكونية الأحادية والمتعددة البلورات، وهذه الخلايا تسمى بالخلايا السليكونية العشوائية (A-Si) حيث تكون ذرات السليكون فيها أقل ترتيباً من النوع البلوري. ففي السليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباطاً كاملاً

مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرباط المتدلي، وتستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء. الشكل (9-2) يبين لوحاً شمسياً مصنوعاً من خلايا كهروشمسية عشوائية<sup>(8)</sup>.



الشكل (9-2)

لوح شمسي مصنوع من خلايا كهروشمسية عشوائية

ومن سلبيات هذه الخلايا قلة كفاءتها مقارنة بالخلايا السليكونية البلورية الأحادية والمتعددة البلورات، وأعلى كفاءة تم الحصول عليها مخبرياً لا تتجاوز (12%).

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

### 2-5-2 خلايا الغاليوم أرسنايد:

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

### 3-5-2 خلايا الكوبرانديوم ديسلنايد:

هي مواد من أشباه النواقل مركبة من النحاس والأنديموم والسلينايد (CIS). وقد استخدمت في تصنيع خلايا وصلت كفاءتها مخبرياً إلى (12%).

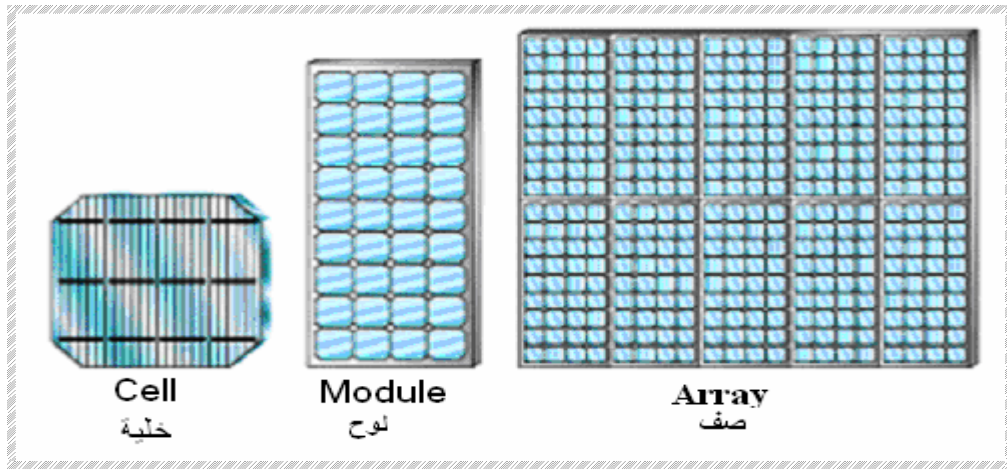
### 4-5-2 خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe):

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 الطلاء الكهربائي. وقد وصلت كفاءة هذه الخلايا إلى (10%) بدون تناقص في الكفاءة عند الاستخدام. لكن من مساوئها أن الكادميوم مادة سامة جداً.

### 6-2 الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروضوئية:

يتألف اللوح الكهروضوئي (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 أو المضاعف، ويصل الإشعاع الشمسي إلى هذه الخلايا من خلال الزجاج ويمكن تجميع الألواح مع بعضها لتشكيل الصف (Array) الذي يكون بحجم معين.

تركب الصفوف الكهروضوئية لزيادة مساحة التعرض المباشر للشمس، وتوضع عادة في منطقة خالية من ظل الأبنية والأشجار باتجاه الشمس وبزاوية مناسبة. الشكل (10-2) يبين خلية كهروضوئية ولوحاً كهروضوئياً وصفاً كهروضوئياً<sup>(8)</sup>.



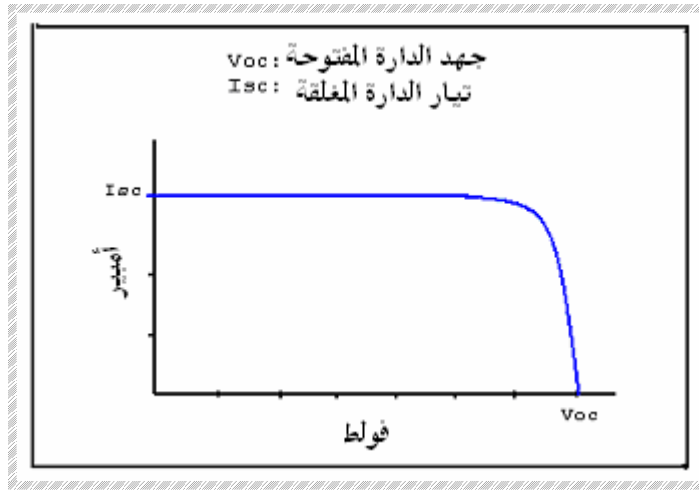
الشكل (10-2)

خلية كهروضوئية ولوح كهروضوئي و صف 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 ( $100\text{cm}^2$ ) بأنها بطارية شمسية تقوم بإنتاج فولطية مقدارها ( $0.5\text{v}$ ) والتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره ما بين ( $2.5-3\text{ A}$ ) في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى.

تحدد الخلية الكهروضوئية بفرق جهد دارتها المفتوحة والتيار دارتها المغلقة والشكل (11-2) يوضح مخطط (I-V) لخلية كهروضوئية مثالية<sup>(15)</sup>.

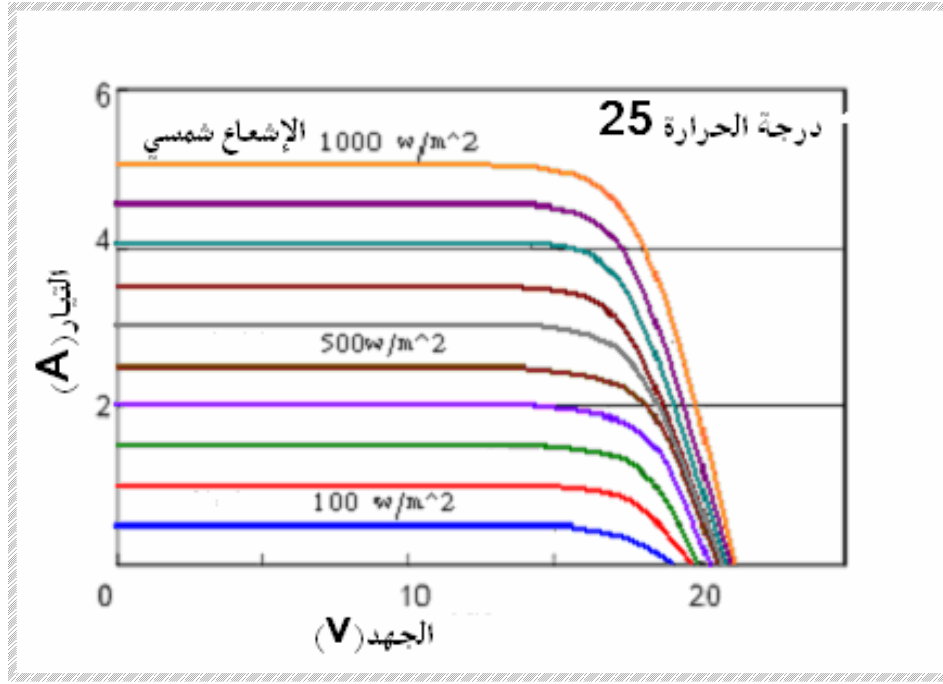


الشكل (11-2)

### 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 (12-2)<sup>(16)</sup>.



الشكل (12-2)

تغير قيم الجهد والتيار تبعاً للإشعاع الشمسي

## 7-2 ربط الألواح الكهروضوئية على التسلسل: Modules in Series

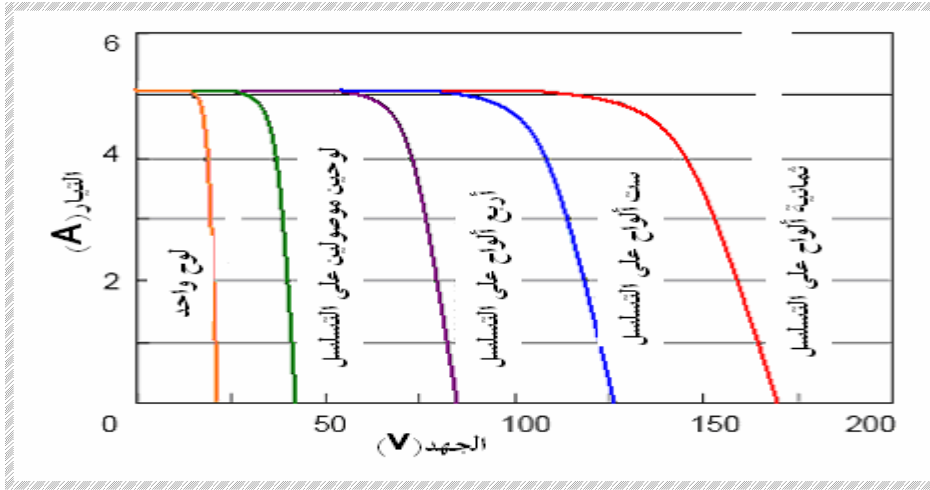
في الحالة المثالية عند ربط مجموعة من الألواح الكهروضوئية المتماثلة عددها (n) على التسلسل فإن فرق جهد الدارة المفتوحة يساوي عدد الألواح مضروباً بفولط لوح واحد:

$$V_{sg} = n \cdot V_{od} = n \cdot V_{oc2} = n \cdot V_{oc3} = \dots = n \cdot V_{ocn} \rightarrow (I=0) \quad (2-1)$$

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

$$V_{sg} = \sum_{n=1}^n V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \rightarrow (I > 0) \quad (2-2)$$

الشكل (13-2) يوضح الخاصية المثالية لـ (n) لوح شمسي متماثل مربوط على التسلسل<sup>(9)</sup>.



الشكل (2-13)

الخاصية المثالية للألواح الكهروضوئية المربوطة على التسلسل

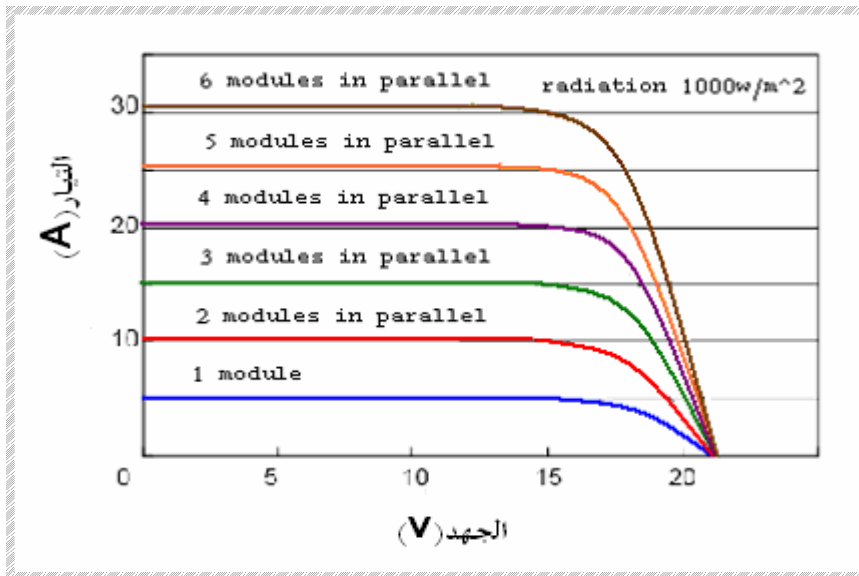
## 8-2 ربط الألواح الشمسية على التفرع: Modules in Parallel

في حال 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):

$$I_{sg} = \sum_{1}^n I_n = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (2-3)$$

$$V_{sg} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (2-4)$$

الشكل (2-14) يوضح الخاصية المثالية للألواح الشمسية المربوطة على التفرع<sup>(9)</sup>.



الشكل (2-14)

الخاصية المثالية للألواح الكهروضوئية المربوطة على التفرع

## 9-2 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 مجموعة 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 تثبيت الألواح الكهروضوئية وأجهزة مراقبة وصندوق تجميع وأسلاك ومكونات أخرى).

إن تيار الخرج وجهده للمولد الكهروضوئي هو:

$$V_{out} = \sum_{1}^n V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2-5)$$

$$I_{out} = \sum_{1}^m I_m = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_m \quad (2-6)$$

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>:

$$P_{out} = \sum_{1}^n V_n \sum_{1}^m I_m = (V_1 + V_2 + \dots + V_n)(I_1 + I_2 + \dots + I_m) \quad (2-7)$$

الشكل (15-2) يبين مولداً كهروضوئياً مؤلفاً من عشرة ألواح<sup>(3)</sup>:

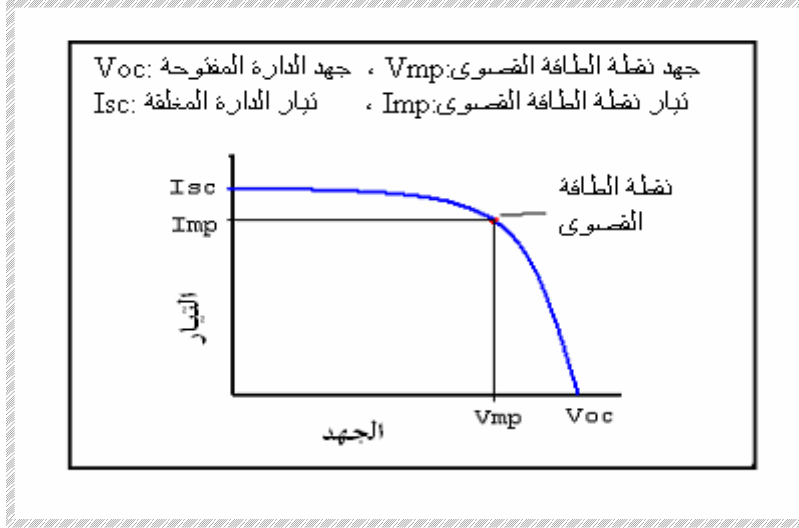


الشكل (15-2)

مولد كهروضوئي مؤلف من عشرة ألواح

## 10-2 نقطة القدرة العظمى: Maximum Power Point

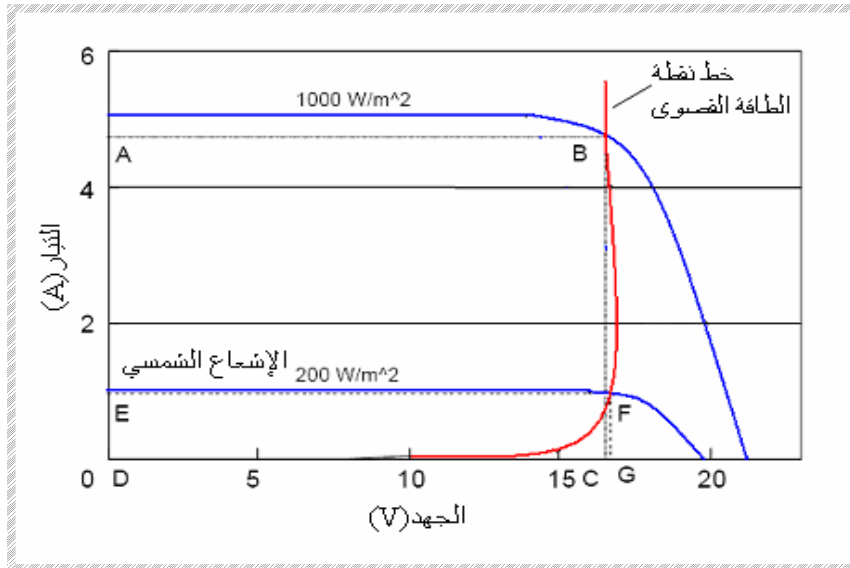
هي النقطة التي تكون عندها القدرة المتولدة من الخلية الكهروضوئية أكبر ما يمكن، أي إن نقطة القدرة العظمى (MPP) هي نقطة القمة بين خط التيار وخط الجهد على مخطط (I-V) التي تعطي أكبر مساحة على هذا المخطط، كما في الشكل (16-2)<sup>(4)</sup>.



الشكل (16-2)

### نقطة القدرة العظمى (MPP)

إن التغير في شدة الإشعاع الشمسي والساقط ودرجة حرارة الخلية الكهروضوئية يؤدي إلى تغيير موقع نقطة القدرة العظمى (MPP)، والشكل (17-2) يبين خط تغير نقطة القدرة العظمى ابتداءً من شدة إشعاع  $100\text{W/m}^2$  حتى من شدة إشعاع  $1000\text{W/m}^2$  على مخطط (I-V)<sup>(16)</sup>.



الشكل (17-2)

### خط تغير نقطة القدرة العظمى

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



$$P_{md-max} = V_{md} \cdot I_{md}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{md} = n_{cl} \cdot V_{cl} \\ I_{md} = m_{cl} \cdot I_{cl} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{md-max} = m_{cl} \cdot n_{cl} \cdot V_{cl} \cdot I_{cl} \quad (2-8)$$

حيث إن:  $P_{md-max}$ : هي القدرة العظمى الخارجة من اللوح الكهروضمسي.

$V_{md}$ : هو الفولط الخارج من اللوح الكهروضمسي عند نقطة (MPP).

$I_{md}$ : هو التيار الخارج من اللوح الكهروضمسي عند نقطة (MPP).

$V_{cl}$ : هو الفولط الخارج من خلية واحدة.

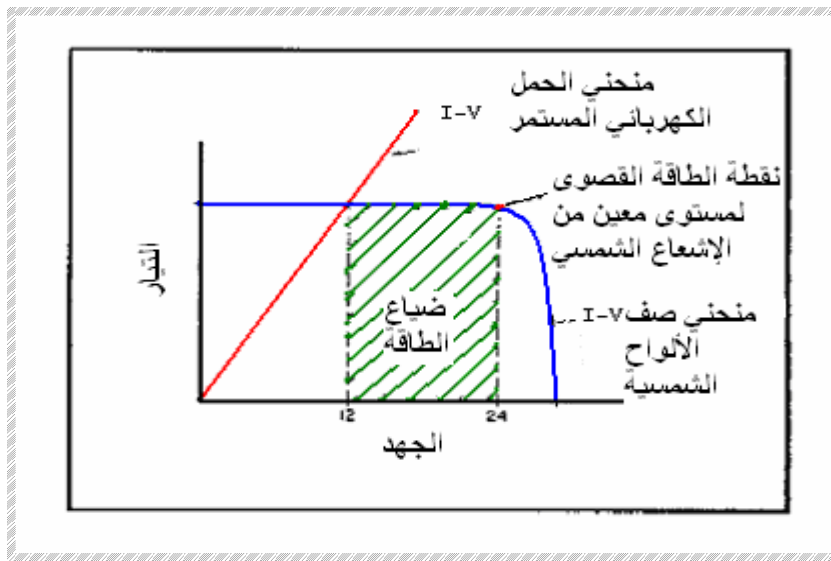
$I_{cl}$ : هو التيار الخارج من خلية واحدة.

$n_{cl}$ : 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 الكهروضمسي لتوليد (24) فولتاً والحمل يتطلب (12) فولتاً فقط فإن الحمل سيستجر الطاقة التي تقابل (12) فولتاً وبالتالي: سيكون هناك ضياع في الطاقة<sup>(10)</sup>.

الشكل (2-18) يبين خط الحمل الكهربائي وخط القدرة الذي لم يصمم بشكل صحيح.

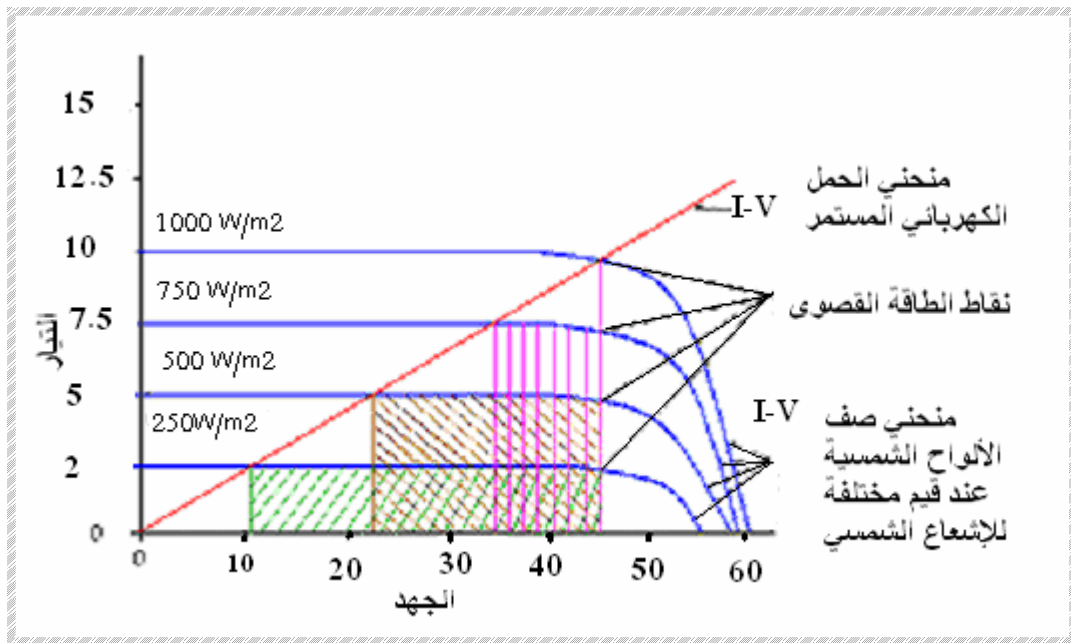


الشكل (2-18)

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 (19-2)<sup>(10)</sup>.



الشكل (19-2)

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.

### الفصل الثالث

#### أنظمة الضخ الكهرو شمسية

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 وأخيراً 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 دوراً متزايد الأهمية في مجالات ضخ المياه لمختلف الاستخدامات (الاستخدامات المنزلية - الري... الخ) نظراً لإمكانية استخدام تقنية الطاقة الكهروشمسية كبديل عن مولدات الديزل في المواقع التي لا تتوفر فيها الشبكة الكهربائية.

#### 1-3 مقارنة بين أنظمة ضخ المياه المختلفة:

يبين الجدول (1-3) 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 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</li><li>• 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> <li>لا تحتاج للوقود</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>يتطلب وجود رياح في الموقع</li> <li>يتطلب تخزين الماء لأوقات تكون فيها الرياح منخفضة السرعة</li> <li>يتطلب خبرات فنية خاصة</li> <li>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 الريحي
<ul style="list-style-type: none"> <li>ارتفاع سعر نقل الوقود</li> <li>كلفة صيانة مرتفعة</li> <li>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>استخدامات متنوعة</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 جداً</li> <li>صيانة منخفضة</li> <li>لا توجد كلفة وقود</li> <li>سهولة التركيب</li> <li>بسيطة وموثوقة</li> </ul>	الجادبية (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</li> <li>يجب أن تتعرض للشمس بدون وجود الظل</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>لا يحتاج تشغيله لمراقبة</li> <li>صيانة منخفضة</li> <li>سهولة التركيب</li> <li>عمره طويل وموثوقة</li> <li>لا توجد كلفة وقود</li> <li>يمكن أن تكون متنقلة</li> </ul>	المضخات الشمسية

### الجدول (1-3)

محاسن ومساوئ أنظمة الضخ المختلفة

### 2-3 تطبيقات الطاقة الكهروضوئية في ضخ المياه:

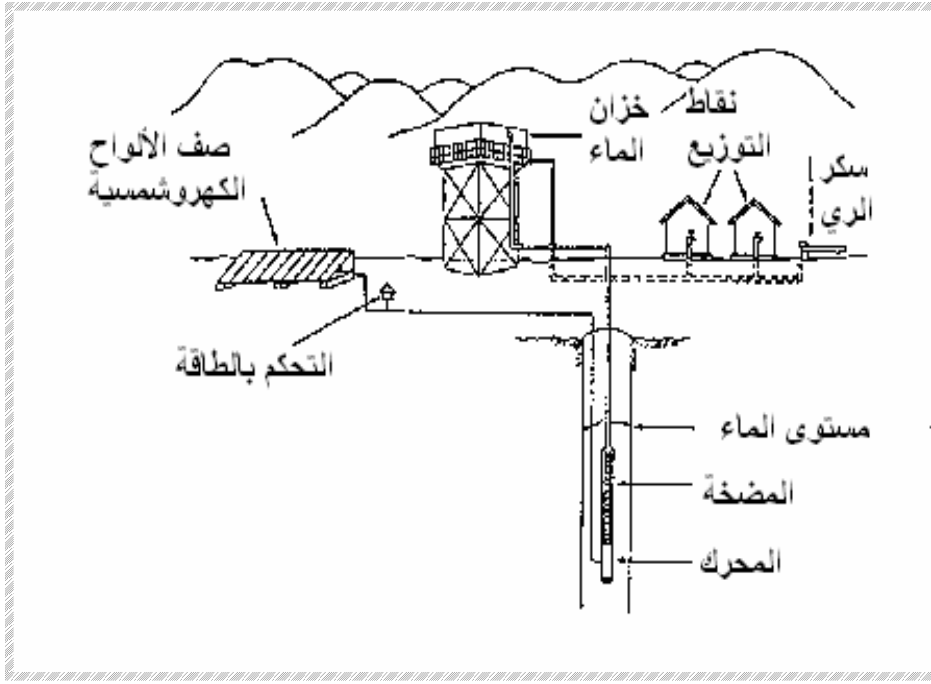
تستعمل المضخات الكهروضوئية في ثلاث تطبيقات أساسية:

1- إمداد القرى بالمياه.

2- سقاية المواشي.

3- ري الأراضي الزراعية.

يبين الشكل (1-3) مضخة شمسية لتزويد القرية بالماء<sup>(11)</sup>.

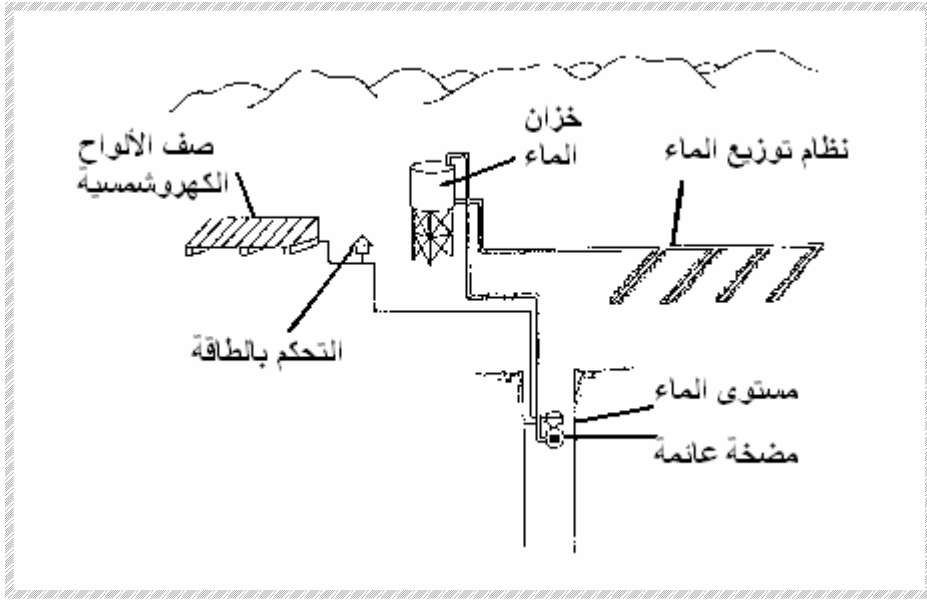


الشكل (1-3)

مضخة شمسية لتزويد القرية بالماء

في هذه الحالة يكون الطلب على الماء ثابتاً على مدار السنة، وفي الأيام الغائمة التي يكون فيها الإشعاع الشمسي منخفضاً تكون هناك حاجة لتخزين الماء. وفي المناطق التي تتميز بفصول ممطرة سيعوض ماء المطر الانخفاض الناتج في عمل المضخة الشمسية في أثناء هذه الفترة. تم تركيب حوالي (6000) نظام ضخ شمسي حتى الآن في العالم لتزويد القرى بالماء أو سقاية الماشية.

نظام الري الشمسي كما في الشكل (2-3) يحتاج لحساب قيمة الاحتياج الأعظمي لماء الري الذي سيتغير خلال السنة<sup>(11)</sup>.



الشكل (2-3)

### 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 (2-3) ملائمة أنظمة الري الرئيسية لاستعمال المضخات الشمسية<sup>(11)</sup>:

#### 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
الرزاز	70%	(10-20) m	لا
التنقيط	85%	(1-2) m	نعم
الغمر	(40-50)%	0.5 m	لا

الجدول (2-3)

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

تصنف أنظمة الضخ الكهروضمسية بشكل أساسي إلى خمس أنواع رئيسية:

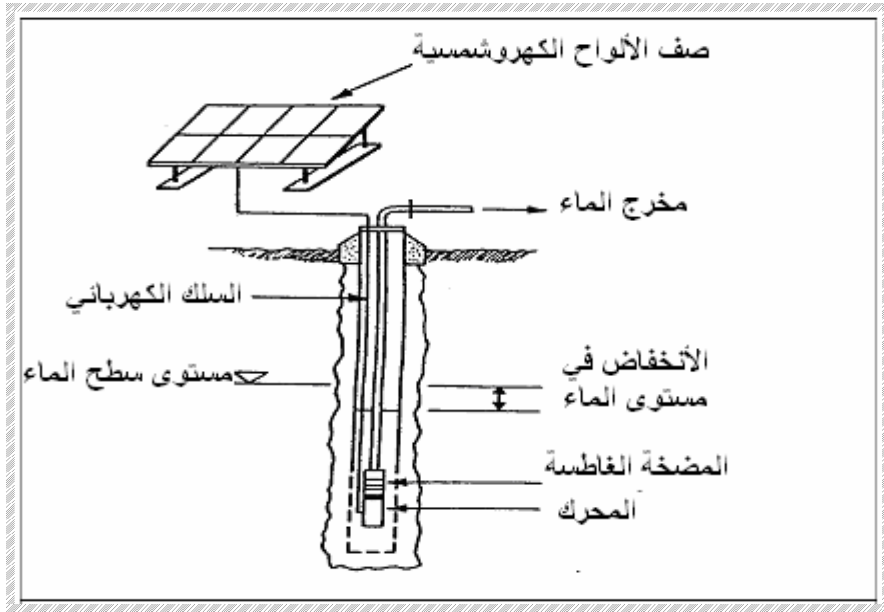
#### 3-3-1- مضخة نابذة غاطسة متعددة المراحل:

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

يمكن أن تركيب 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 تقريباً 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<sup>(14)</sup>:



الشكل (3-3)

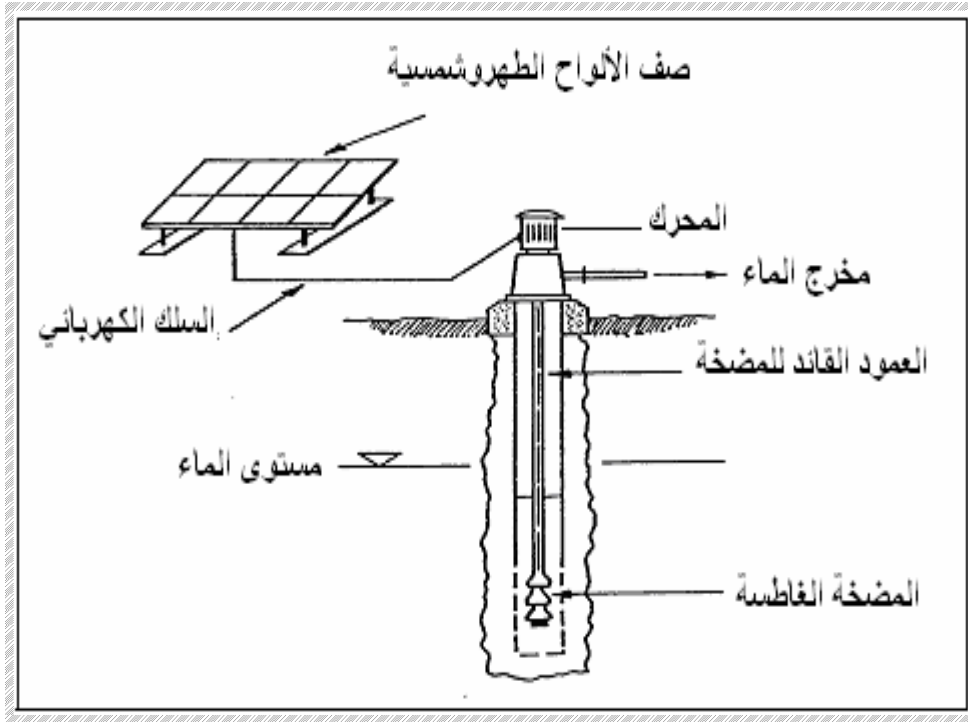
نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة نابذة غاطسة متعددة المراحل

#### 3-3-2- مضخة غاطسة مع محرك سطحي:

تم استخدام هذا النظام على نحو واسع بالمضخات التوربينية في سواحل غرب أفريقيا في فترة السبعينيات. يتميز هذا النوع من المحركات بسهولة تبديل المسفرات، وإجراء الصيانات الأخرى بسبب كون المحرك مركباً على سطح البئر. كفاءة هذا النظام منخفضة بسبب ضياعات الطاقة الموجودة في

محامل عمود نقل الحركة بين المحرك و المضخة، ومن عيوبه أيضاً كلفة التركيب العالية. وبشكل عام يمكن استبدال هذا النظام بنظام محرك ومضخة غاطسين.

يبين الشكل (4-3) نظام ضخ كهروشمسي يستخدم مضخة غاطسة مع محرك سطحي<sup>(14)</sup>:



الشكل (4-3)

نظام ضخ كهروشمسي يستخدم مضخة غاطسة مع محرك سطحي

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

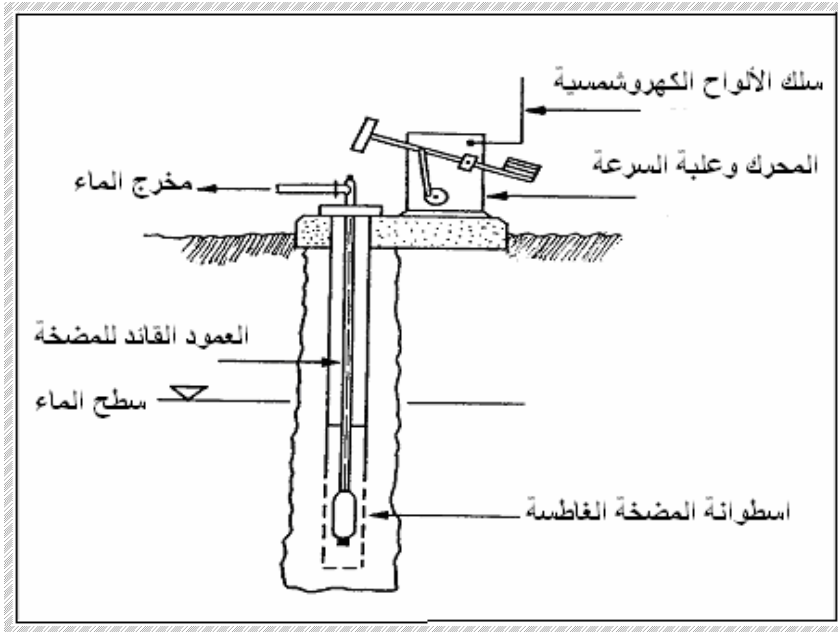
يناسب هذا النوع من المضخات ارتفاعات الضخ العالية، والتدفقات المنخفضة، ويتناسب خرج هذه المضخات مع سرعة دوراتها.

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

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

يبين الشكل (5-3) نظام ضخ كهروشمسي يستخدم مضخة ترددية ذات الإزاحة الموجبة<sup>(14)</sup>:





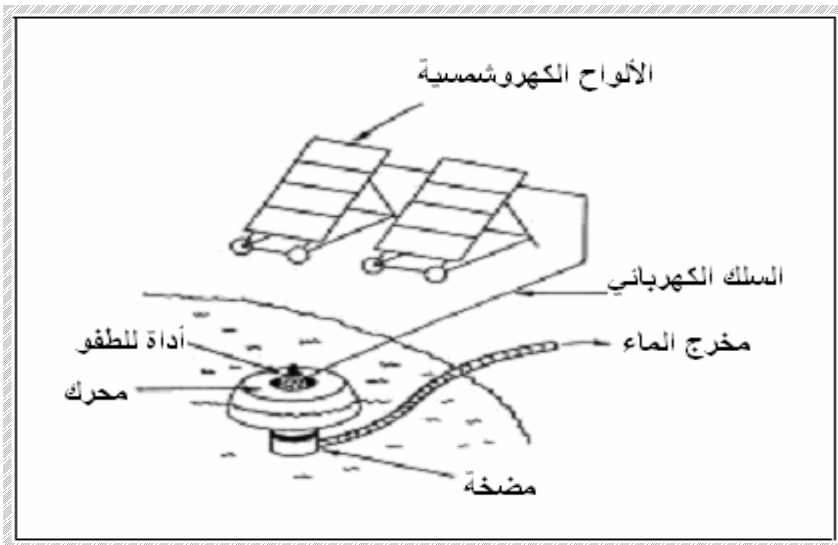
الشكل (5-3)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مضخة ترددية ذات الإزاحة الموجبة

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

إن تنوع مجموعات الضخ السطحية يجعلها مناسبة لعمليات الري ضمن الأفنية 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 غالباً على عجلات خاصة لتسهيل نقلها مع مجموعة الضخ.

يبين الشكل (6-3) نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مجموعة (محرك-مضخة) سطحية<sup>(14)</sup>:

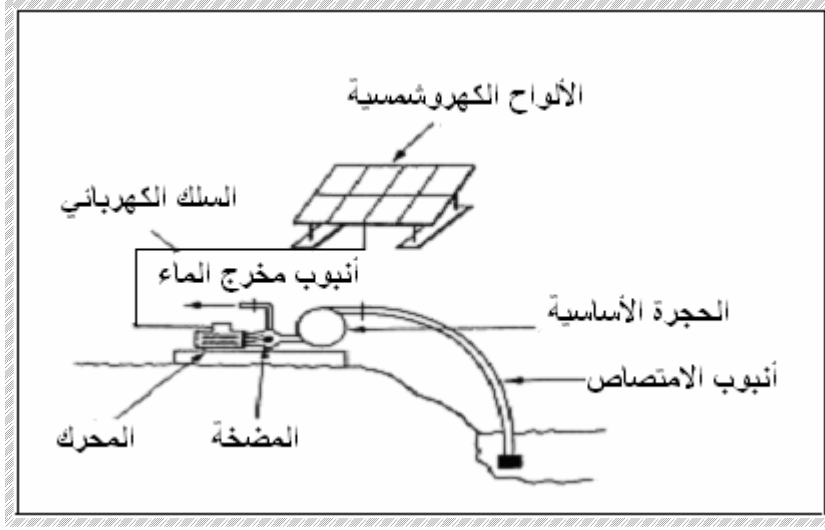


الشكل (6-3)

نظام ضخ كهروضمسي يستخدم مجموعة (محرك-مضخة) سطحية

### 3-3-5- مضخة الامتصاص السطحية:

ينصح بعدم استخدام هذه المضخات إلا في الحالات التي يكون فيها مراقب فني موجوداً 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 كهروشمسي يستخدم مضخة امتصاص سطحية<sup>(14)</sup>:



الشكل (3-7)

نظام ضخ كهروشمسي يستخدم مضخة امتصاص سطحية

### 3-4 مكونات نظام الضخ الكهروضوئي شمسي:

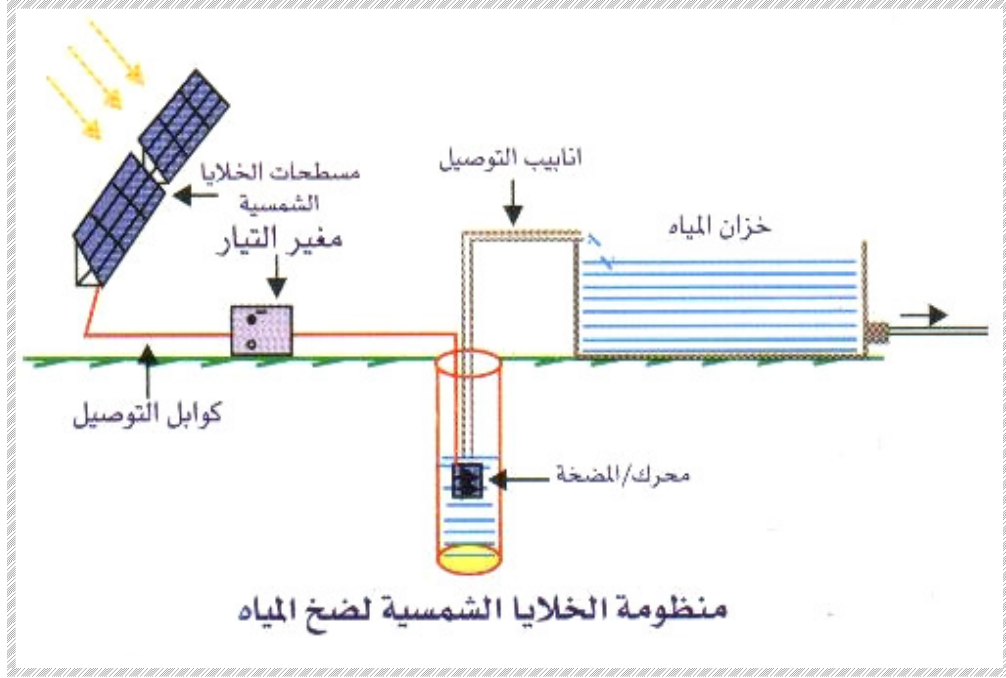
يتألف نظام الضخ الكهروضوئي شمسي من الأجزاء الرئيسية التالية:

- 1- مصفوفة الألواح الكهروضوئية وملحقاتها.
- 2- مجموعة المحرك والمضخة، ويشملان الأجزاء التي تحول الخرج الكهربائي لمصفوفة الألواح الكهروضوئية إلى طاقة هيدروليكية.
- 3- الخزان ونظام التوزيع الذي يسوق الماء إلى نقاط الاستخدام المطلوبة.

وعموماً هناك نوعان من أنظمة الضخ الكهروضوئية بحسب التيار الكهربائي المستخدم:

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

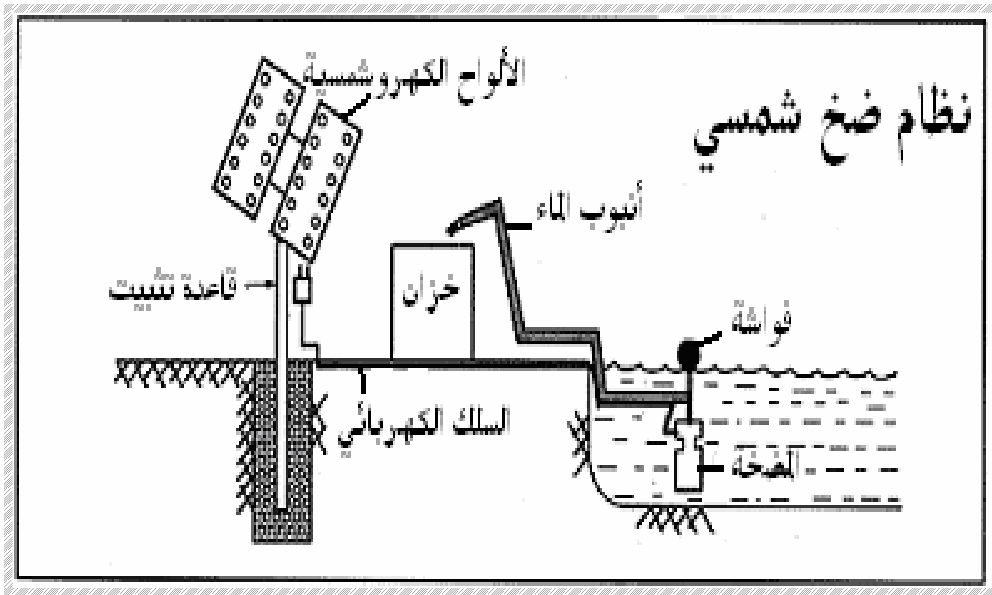
والفرق بين النظامين هو وجود المعرج في النظام المتناوب وهذا عائد لنوع المضخة المستخدمة.  
يبين الشكل (8-3) نظام ضخ كهروضمسي متناوب:



الشكل (8-3)

نظام ضخ كهروضمسي متناوب

ويبين الشكل (9-3) نظام ضخ كهروضمسي مستمر:



الشكل (9-3)

نظام ضخ كهروضمسي مستمر

### 5-3 حجم نظام الضخ الكهروشمسي:

#### 1- تحديد الحاجة للمياه:

الخطوة الأولى في تحديد حجم نظام الضخ الكهروشمسي 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<sup>(18)</sup>:

#### بعض المعطيات بشكل تقريبي لاستعمال الماء

التطبيق	الاستهلاك التقريبي
العائلة	(190) لتر باليوم للشخص بشكل وسطي
الماشية والخيول	(38-57) لتر باليوم لكل رأس
الأبقار الحلوبة	(76-114) لتر باليوم لكل رأس
الخراف والماعز	(7.6) لتر باليوم لكل رأس
الحيوانات الصغيرة	(0.96) لتر باليوم لكل (11) كغ من وزن الجسم
الدواجن	(23-45.6) لتر باليوم لكل (100) طير
الأشجار الصغيرة	(57) لتر باليوم في الطقس الجاف

الجدول (3-3)

#### 2- 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، سيل)، وتكون الآبار مفضلة بسبب نوعية الماء الجيدة والوثوقية 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.

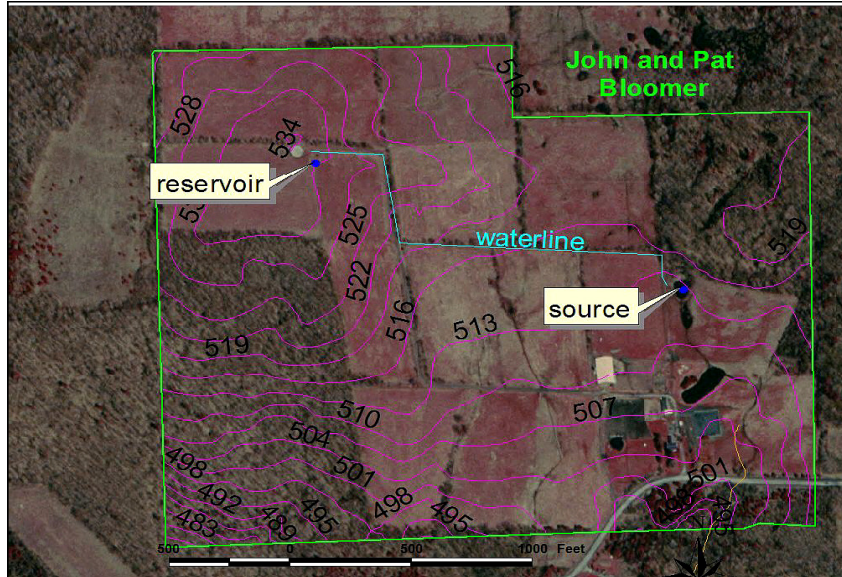
أما بالنسبة للمياه السطحية فيجب أن تكون الاحتياجات التالية معروفة ومحددة أيضاً:

- التغيرات الموسمية.

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

يجب أن يتم تخطيط نظام تزويد الماء أولاً 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 (10-3) نموذجاً لمزرعة و تستعمل بركة ماء قليلة العرض حيث مصدر الماء والخزان اندمجا معاً ومكانهما على التل، في هذه الحالة يمكن أن يتم توزيع الماء تحت تأثير الجاذبية إلى أماكن التزويد<sup>(13)</sup>.



الشكل (10-3)

نموذج لمزرعة يتم توزيع الماء فيها تحت تأثير الجاذبية

3- ملائمة موقع مصدر الماء للطاقة الشمسية:

يجب أن يكون موقع مصدر الماء ملائماً لتركيب 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 قريباً 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 مدروساً 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<sup>(18)</sup>.

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

4- خزان الماء:

جميع أنظمة ضخ الماء الشمسية تستخدم خزناً، 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<sup>(13)</sup>.

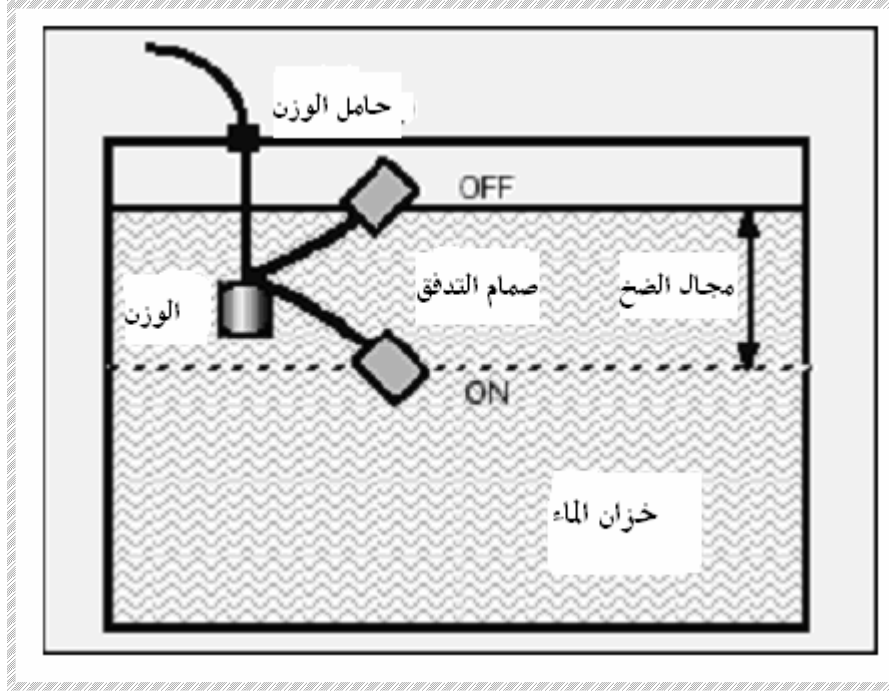
كما أن الطريقة الأكثر شيوعاً لخزن الماء هي خزان بلاستيكي صالح للأغذية كما في الشكل (3-11) ويوضع في أغلب الأحيان في نقطة عالية من الأرض للاستفادة من الجاذبية لوصول الماء إلى التطبيقات المستخدمة في الري مثل التنقيط وغيرها.



الشكل (3-11)

مكان توضع خزان الماء في الري

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



الشكل (12-3)

التحكم بالمضخة عن طريق صمام التدفق

## الفصل الرابع

### إجراء التجارب على مجموعة الضخ

#### 1-4 حساب المضخة وصف الألواح الكهروشمسية:

هناك عدة طرق لتحديد المضخة وصف الألواح الكهروشمسية:

##### 1- الطريقة الأولى:

لحساب المضخة التي نحتاجها وكمية الطاقة المطلوبة من صف الألواح الكهروشمسية يجب معرفة كمية الماء المطلوبة باليوم، 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>(18)</sup>:

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

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

يفاس ارتفاع الضخ الستاتيكي للماء ( $H_w$ ) اعتباراً من سطح الأرض بجانب البئر إلى أدنى مستوى يمكن أن يصل إليه سطح الماء في البئر، ويقاس الارتفاع الستاتيكي للخزان ( $H_s$ ) اعتباراً من سطح الأرض بجانب البئر إلى أعلى نقطة في الخزان، ويمكن تحديد هذه القيم باستخدام خريطة طبوغرافية أو 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 يُكافئ 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 بـ (لتر بالدقيقة) يمكن استخدام المعادلة التالية<sup>(18)</sup>:

$$Q = \frac{L}{\sum h} \times \frac{1h}{60\text{min}} \quad (4-2)$$

حيث:

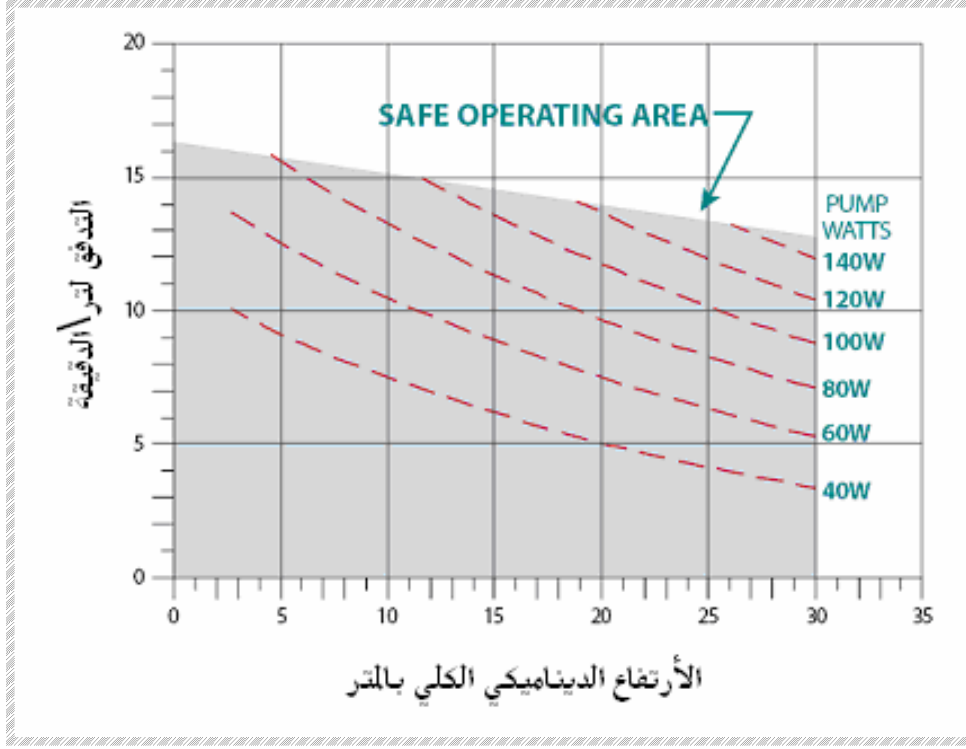
$Q$ (l/min): تدفق المضخة.



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 (1-4):



الشكل (1-4)

تحديد المضخة الملائمة وسطوح صف الألواح الكهروضوئية

سيكون صف الألواح الكهروضوئية محدداً بالاستطاعة والجهد، وهذا الأمر هو إجراء قياسي (مثالي) 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>:

$$E_h = \frac{V \cdot H_d \cdot \rho \cdot g}{3.6 \times 10^6} \quad (4-3)$$
$$= 0.002725 (V \cdot H_d)$$

حيث  $E_h(\text{kWh/day})$ : الاستطاعة الهيدروليكية اللازمة في اليوم لضخ حجم معين من الماء مقداره  $V(\text{m}^3/\text{day})$  لارتفاع  $H_d(\text{m})$ .  
 الكثافة النوعية للماء:  $\rho (\text{kg/m}^3)$ .  
 تسارع الجاذبية:  $g(\text{m/s}^2)$ .  
 وبالتالي: الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم هي <sup>(1)</sup>:

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

حيث:

$E_{el}(\text{kWh/day})$ : الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم.

$\eta_{MP}$ : مردود المضخة.

ويكون سطح الألواح الكهروضوئية اللازمة <sup>(1)</sup>:

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

حيث

$A_{pv}$ : سطح الألواح الكهروضوئية.

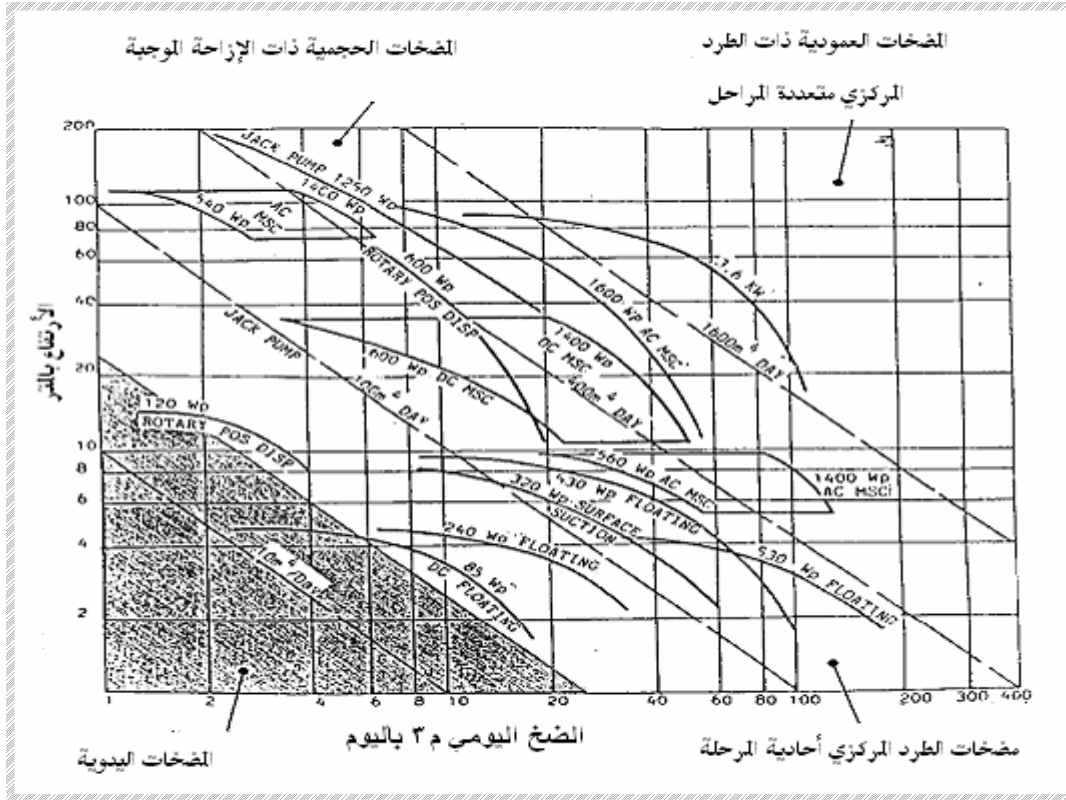
$G_d$ : كمية الإشعاع الشمسي الساقط في اليوم ( $\text{Kwh/m}^2 \cdot \text{day}$ ).

$\eta_{pv}$ : مردود الألواح الكهروضوئية.

$\eta$ : عامل عدم تماثل الألواح الكهروضوئية.

3- الطريقة الثالثة:

يمكن أيضاً تحديد المضخة و سطوح الألواح الكهروضوئية بالاعتماد على مكافئ الطاقة الهيدروليكي ( $\text{m}^4/\text{day}$ ) الذي يساوي جداء حجم الماء اللازم باليوم  $V(\text{m}^3/\text{day})$  بارتفاع الضخ  $H_d(\text{m})$  كما في الشكل (2-4):



الشكل (2-4)

تحديد المضخة و سطوح الألواح الكهروضمسية اعتماداً على مكافئ الطاقة الهيدروليكي

#### 2-4 موقع التجربة:

أجريت التجربة في حرم جامعة تشرين في مدينة اللاذقية على سطح كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية التي تقع على خط عرض (35.5°) شمال خط الاستواء كما في الشكل (3-4):



الشكل (3-4)

موقع التجربة

### 3-4 المنظومة المجرى عليها الدراسة:

1-3-4 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:

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

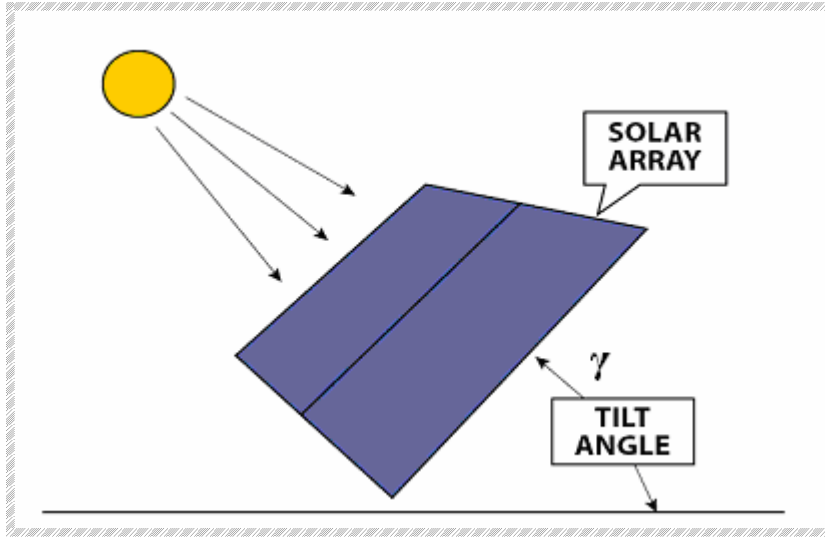
حيث:

$\gamma$ : 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 وهي موضحة بالشكل (4-5):



الشكل (5-4)

المضخة المستخدمة (Shurflo 9325)

#### 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).

#### 4-4 أسلوب أخذ القياسات:

- 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 ( $22^\circ$ ) 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 ( $35.5^\circ$ ) 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 ( $22^\circ$ ) وتحريك الألواح مع حركة الشمس كل ربع ساعة في ساعات الصباح والمساء وكل نصف ساعة في باقي الأوقات.
- تم الاعتماد على قيم الإشعاع الشمسي حسابياً وذلك لتعذر الحصول عليها تجريبياً.

#### 5-4 النتائج المأخوذة من القياسات:

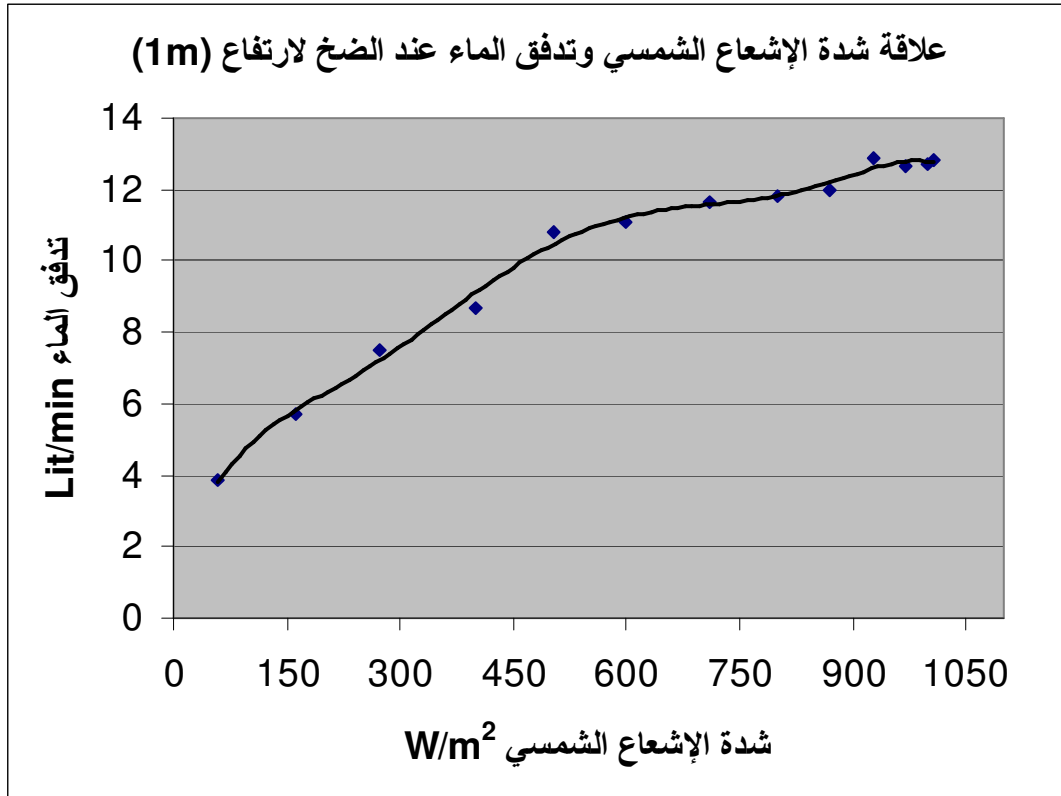
أولاً- عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية ( $22^\circ$ ) وباتجاه الجنوب:

1- يوضح الجدول (1-4) و الشكل(4-6) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 1m:

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

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

الجدول (1-4)



الشكل(4-6)

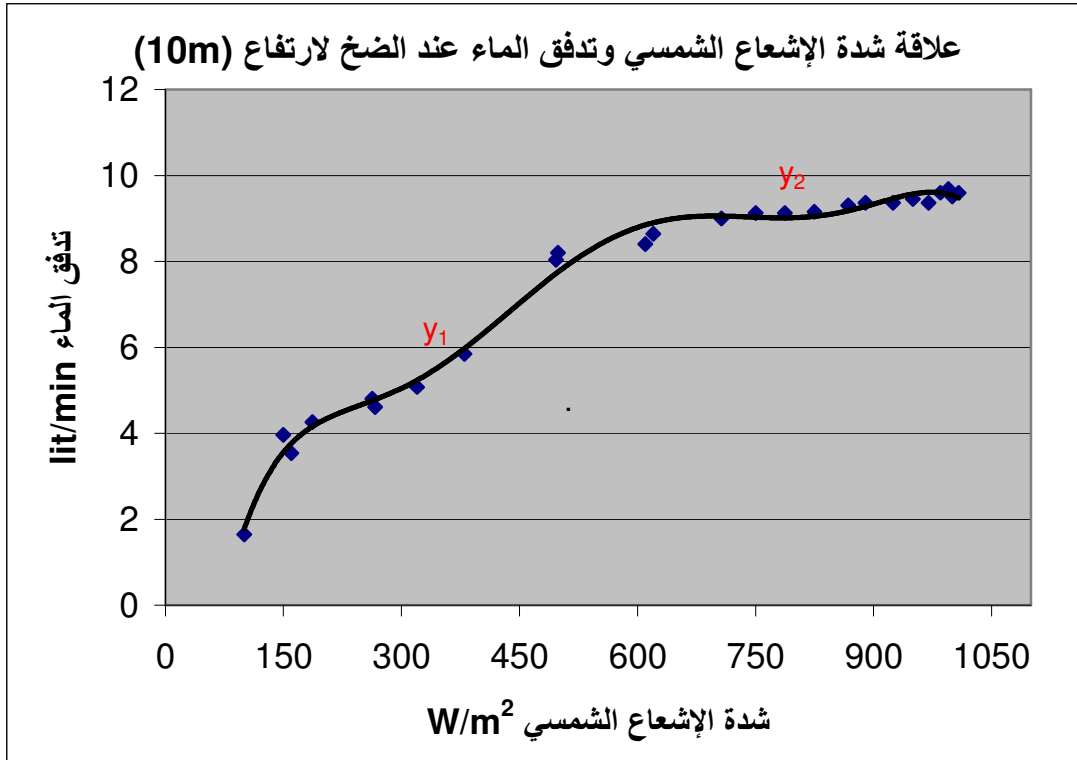
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع (1m)

2- يوضح الجدول (2-4) 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

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

الجدول (2-4)



الشكل (4-7)

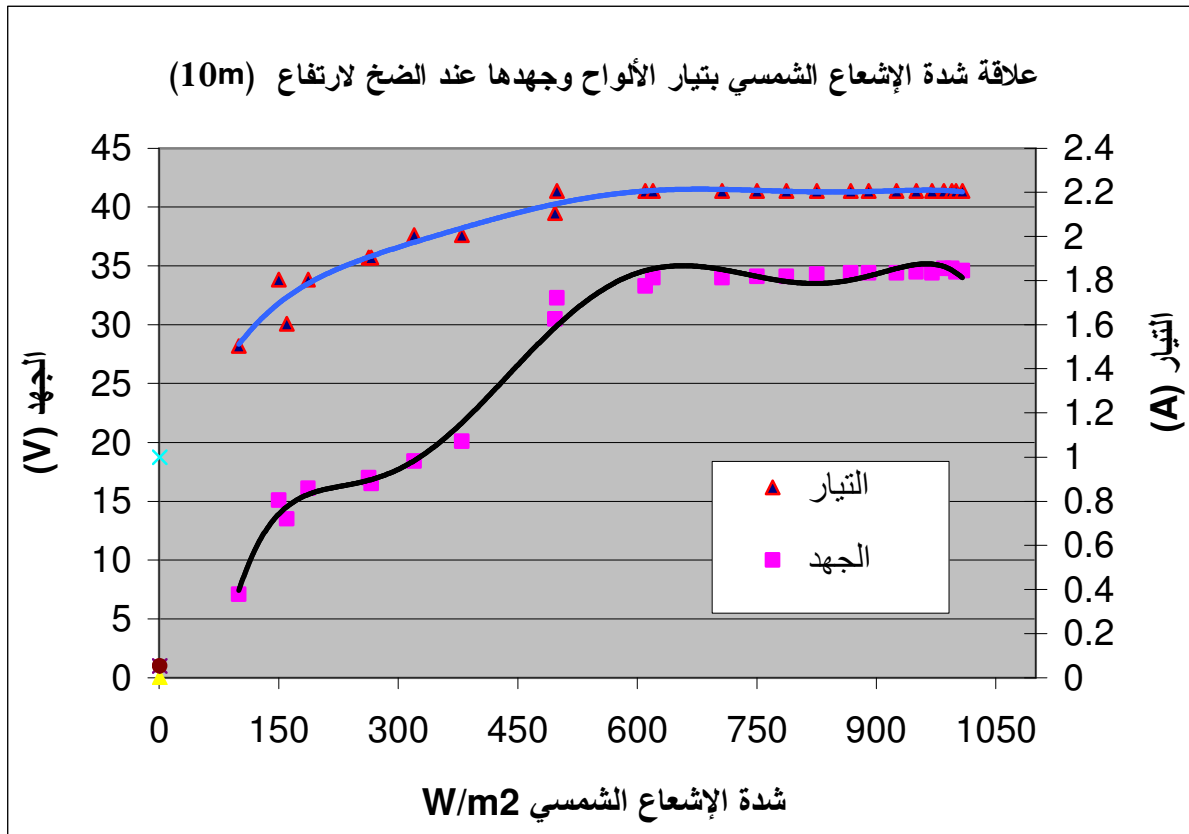
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع 10m



يبين الجدول (3-4) قيم الجهد وشدة التيار على خرج الألواح عند عمل المضخة لارتفاع 10m:

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	شدة التيار (A)	الجهد (V)	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	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 (3-4)



الشكل (8-4)

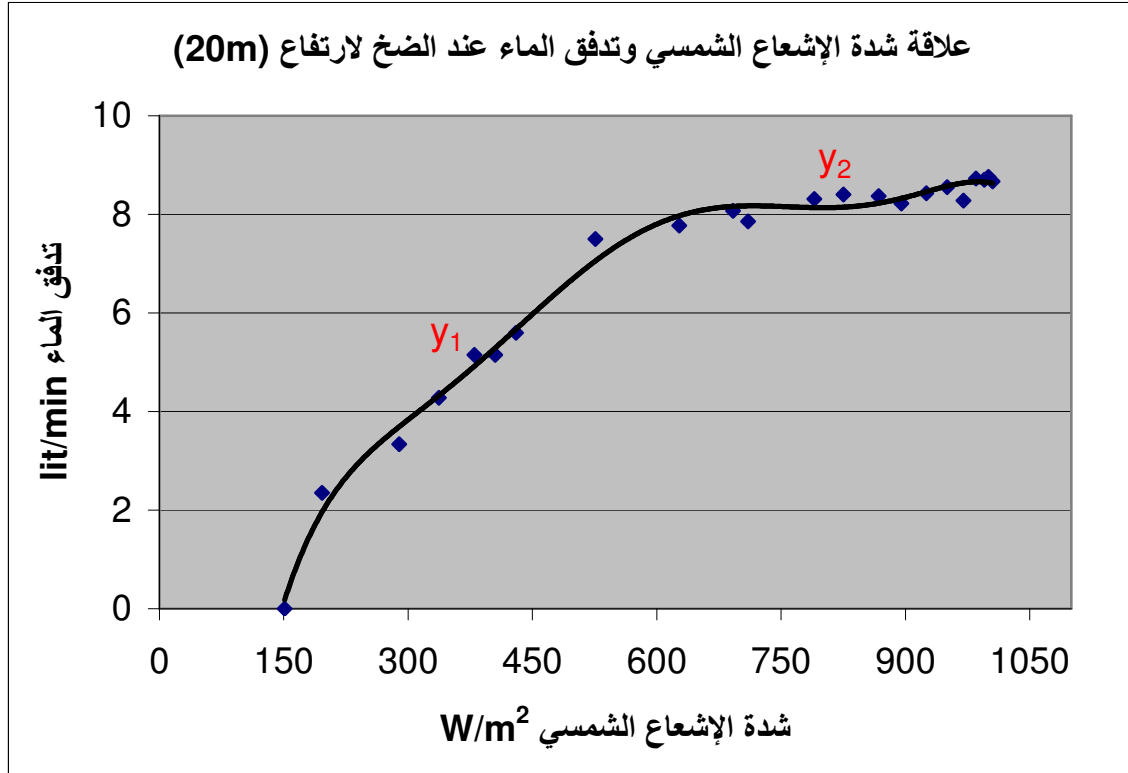
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي وجهد الألواح وتيارها عند الضخ لارتفاع 10m

3- يوضح الجدول (4-4) و الشكل(9-4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 20m:

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء عند ارتفاع 20m

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )
8.31	790	0	151
8.4	825	2.35	196
8.37	867.6	3.34	289
8.22	895	4.28	337
8.43	925	5.15	380
8.55	950	5.15	405
8.28	970	5.6	430
8.73	985	7.5	526
8.7	995	7.77	627
8.76	1000	8.07	692
8.67	1005	7.86	710

الجدول (4-4)



الشكل(9-4)

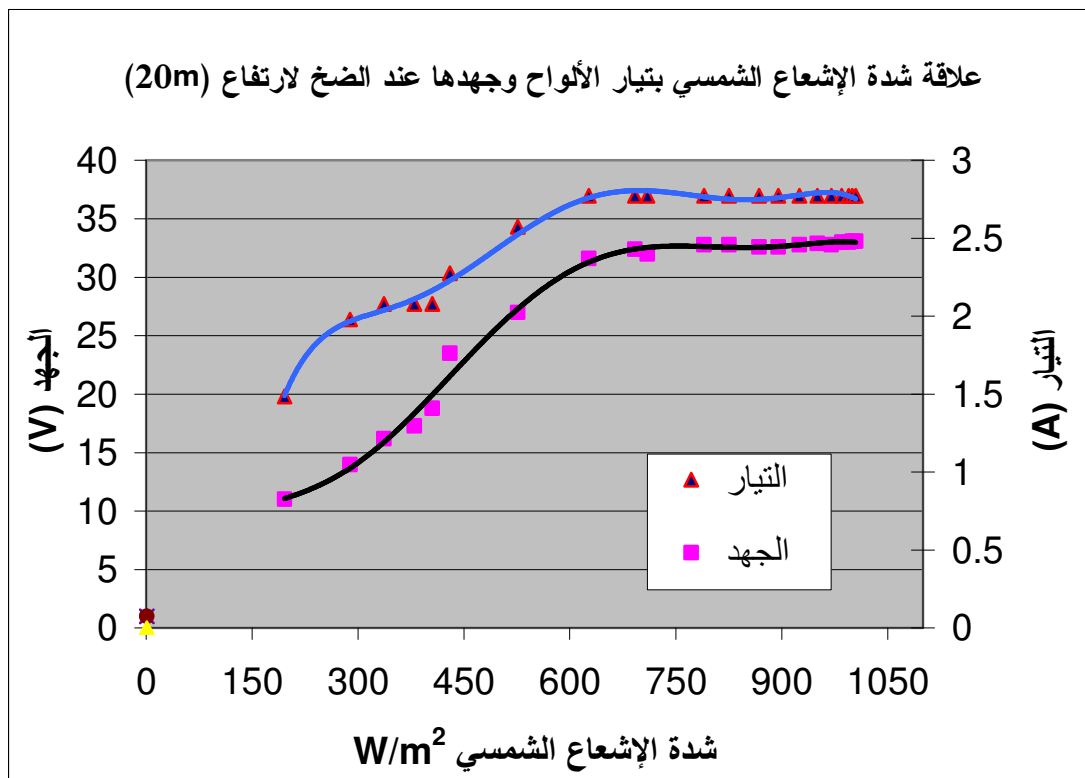
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 20m

يبين الجدول (5-4) و الشكل(10-4) قيم الجهد وشدة التيار المسجلة على خرج الألواح الكهروضوئية عند عمل المضخة لارتفاع 20m:

قيم الجهد وشدة التيار المسجلة عند الضخ لارتفاع 20m

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	شدة التيار (A)	الجهد (V)	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	شدة التيار (A)	الجهد (V)
196	1.5	11	825	2.8	32.8
289	2	14	867.6	2.8	32.6
337	2.1	16.2	895	2.8	32.6
380	2.1	17.3	925	2.8	32.8
405	2.1	18.8	950	2.8	32.9
430	2.3	23.5	970	2.8	32.8
526	2.6	27	985	2.8	33
627	2.8	31.6	995	2.8	33
692	2.8	32.4	1000	2.8	33.1
710	2.8	32	1005	2.8	33.1
790	2.8	32.8			

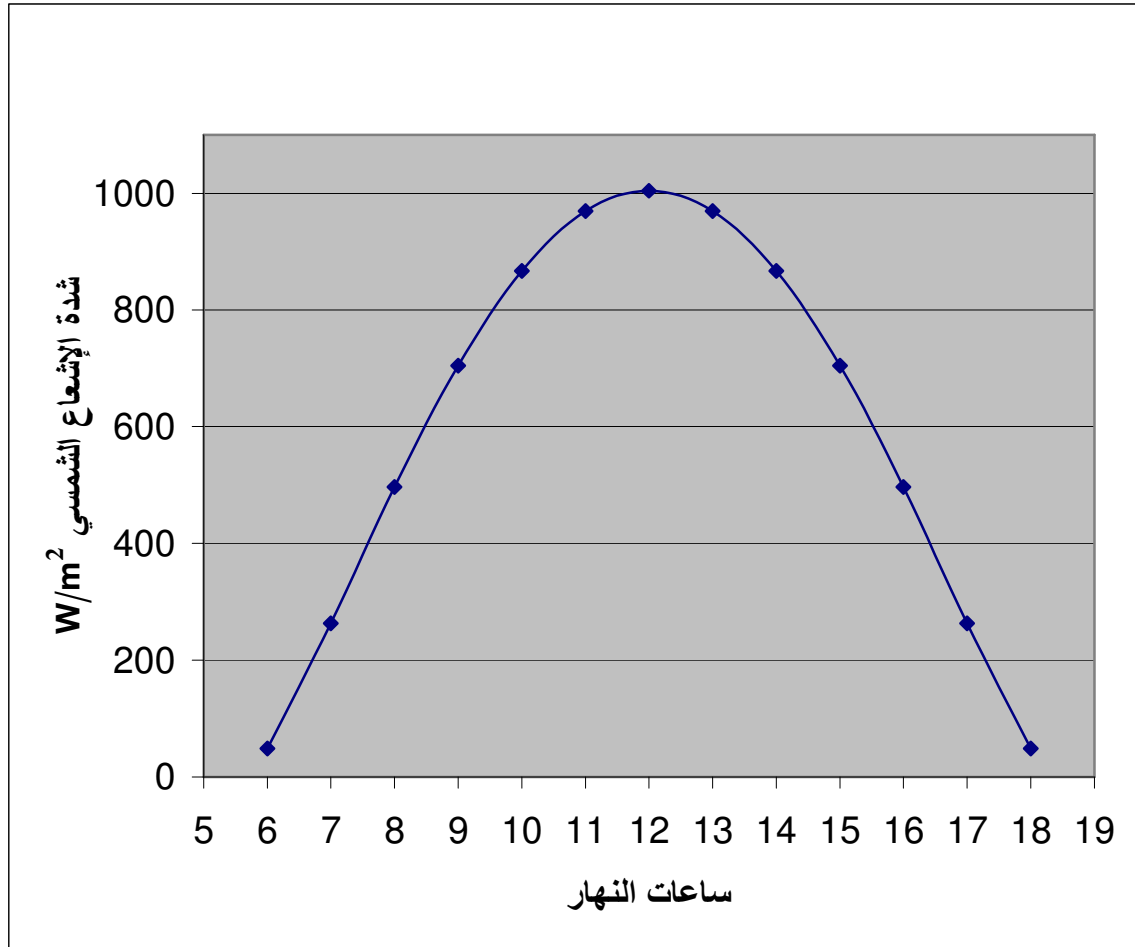
الجدول (5-4)



الشكل(10-4)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي وجهد الألواح وتيارها عند الضخ لارتفاع 20m

يبين الشكل (11-4) تغير شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار ليوم 12/8/2008 عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (22°):



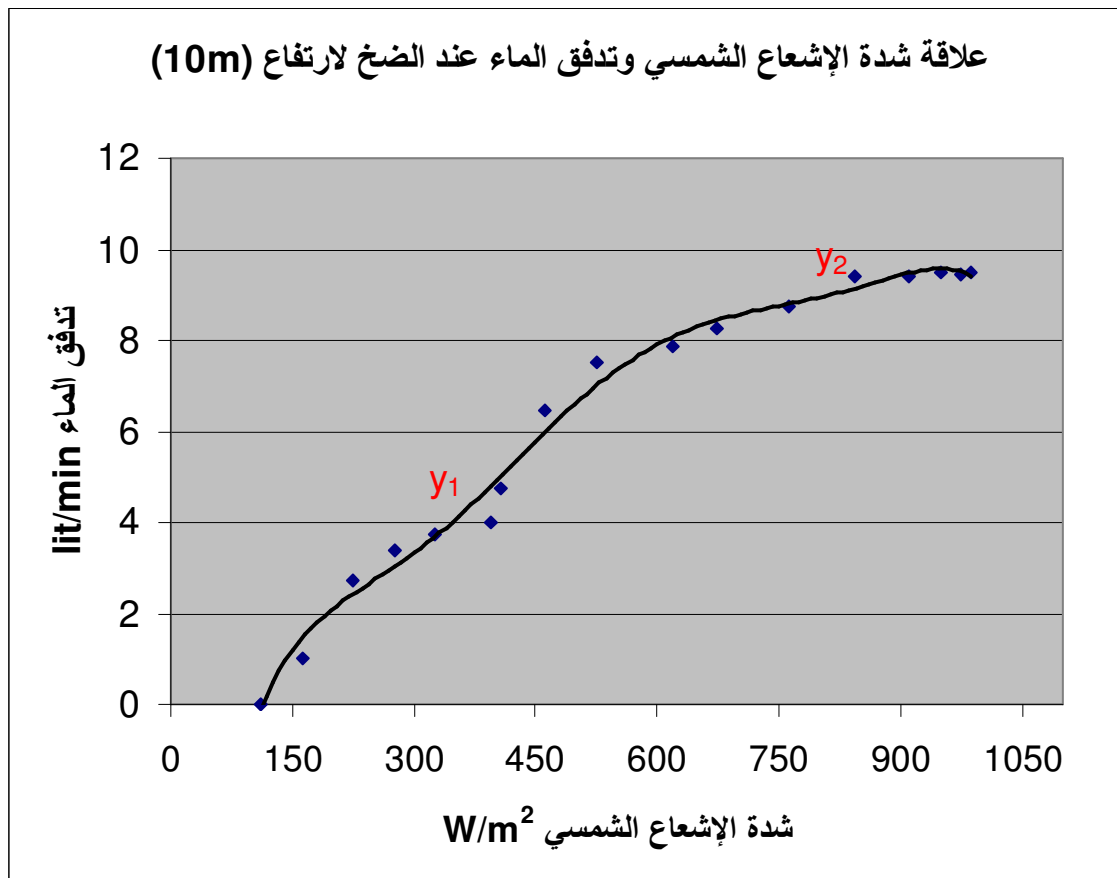
الشكل (11-4)  
تغير شدة الإشعاع الشمسي ليوم 12/8/2008 عند زاوية ميل للألواح (22°)

ثانياً- عند زاوية ميل خط العرض للألواح الكهروضوئية ( $35.5^\circ$ ) وباتجاه الجنوب:  
 1- يوضح الجدول (6-4) و الشكل (12-4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 10m:

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

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

الجدول (6-4)



الشكل (12-4)

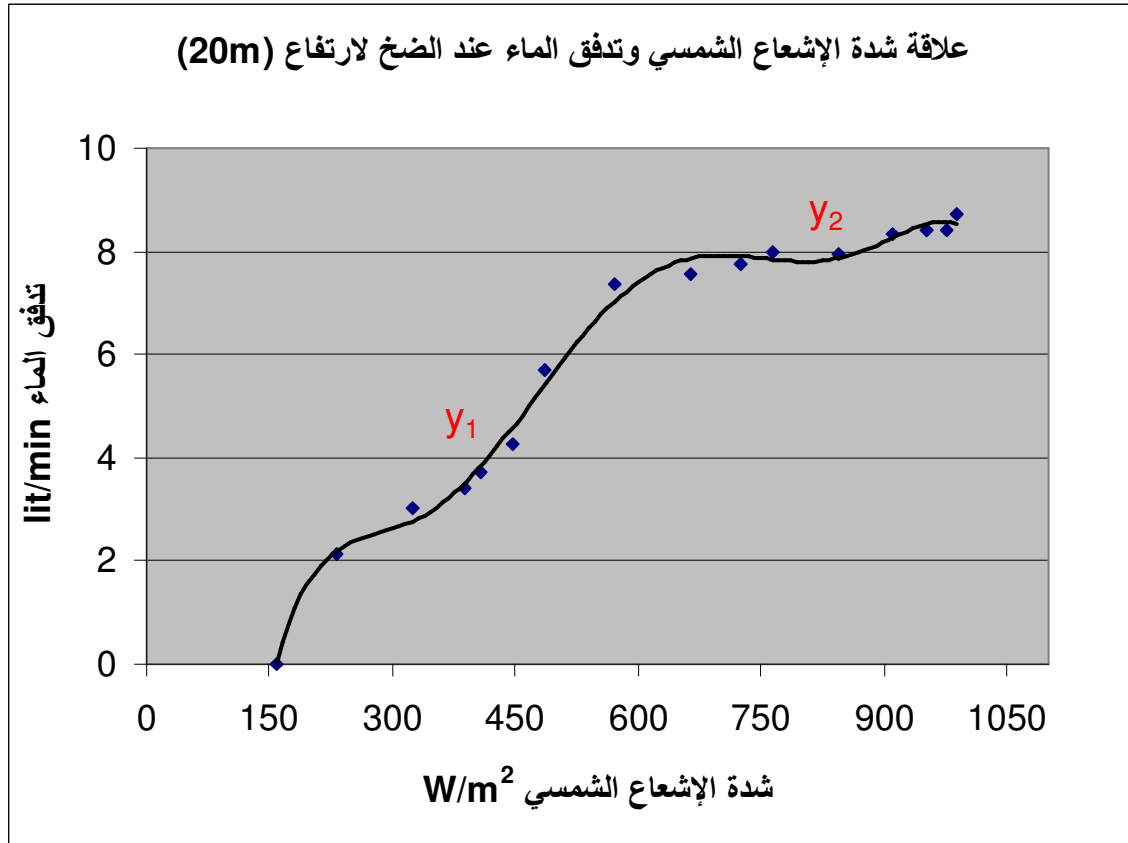
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 10m

2- يوضح الجدول (7-4) و الشكل(4-13) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 20m:

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 20m

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )
0	159	7.55	663
2.13	232	7.76	725
3.03	325	8	763
3.42	388	7.96	843.1
3.72	407	8.32	910
4.25	447	8.4	950.7
5.7	486	8.4	975
7.35	570	8.72	987.5

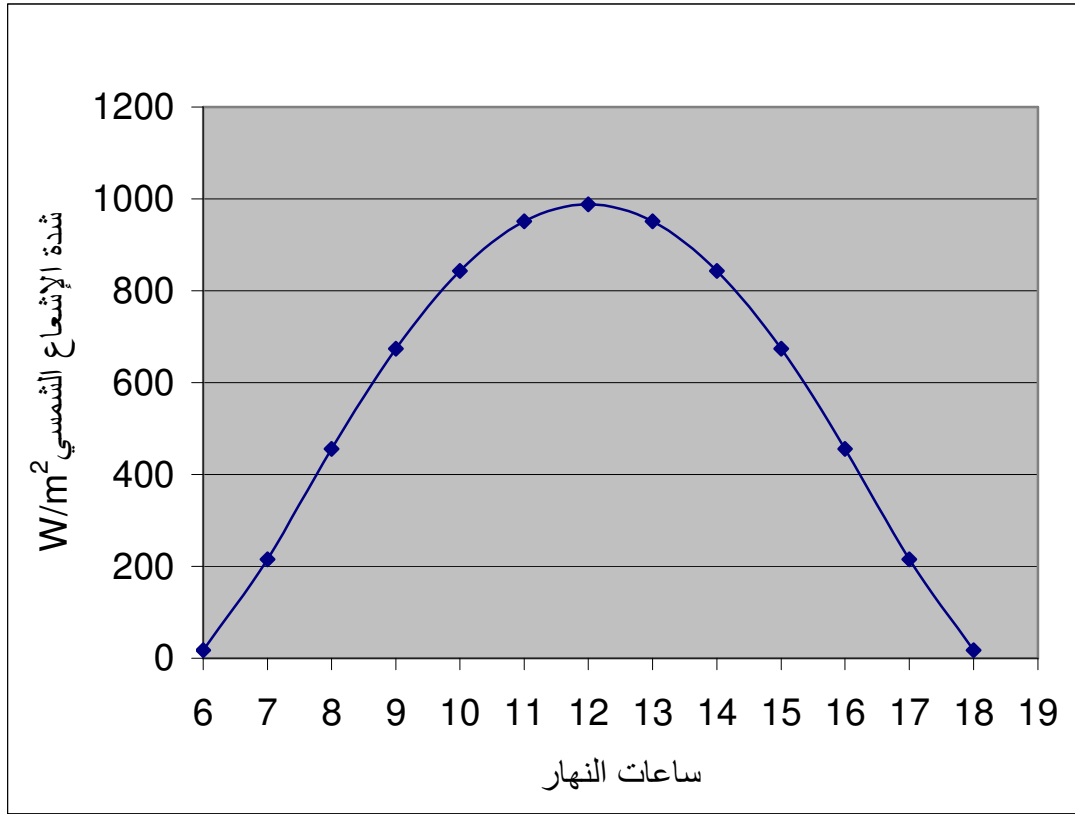
الجدول (7-4)



الشكل(4-13)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 20m

يبين الشكل (4-14) تغير شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار ليوم 25/8/2008 عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (35.5°):

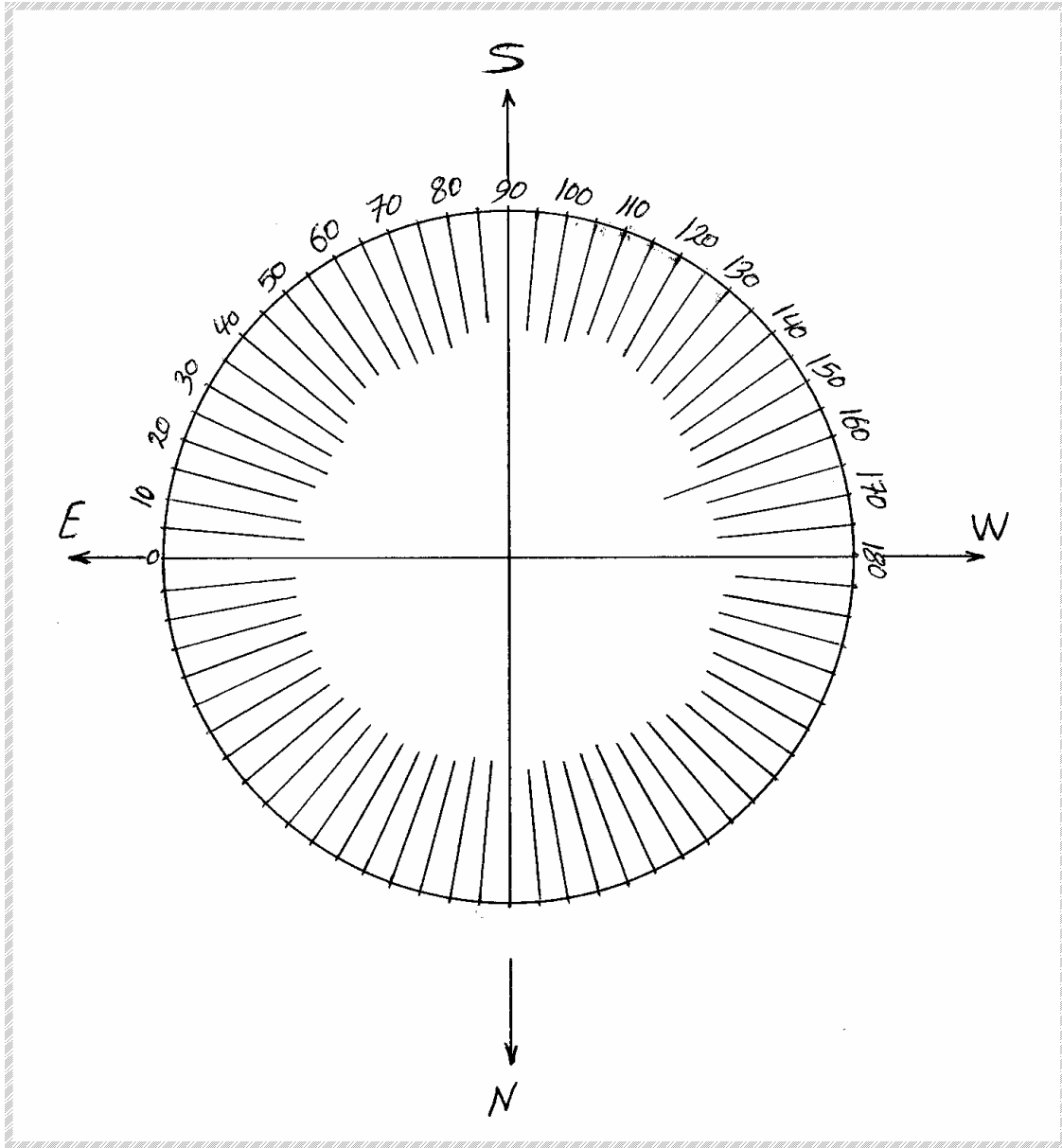


الشكل (4-14)

تغير شدة الإشعاع الشمسي خلال النهار ليوم 25/8/2008 عند زاوية ميل للألواح (35.5°)

### آلية تحريك الألواح الكهروضوئية:

تم تحريك الألواح الكهروضوئية بشكل يدوي، حيث رُسمت منقطة مرقمة على الأرض ووُضعت الألواح في مركز هذه المنقطة بحيث تكون مواجهة لأشعة الشمس. وتبين من التجربة أن الألواح الكهروضوئية تبقى مواجهة للشمس عند تحريكها من الشرق إلى الغرب بمقدار (5) درجات كل ربع ساعة خلال ساعات النهار.



الشكل (15-4)

آلية تحريك الألواح الكهروضوئية



ثالثاً- عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية ( $22^\circ$ ) وتحريك الألواح مع حركة الشمس:

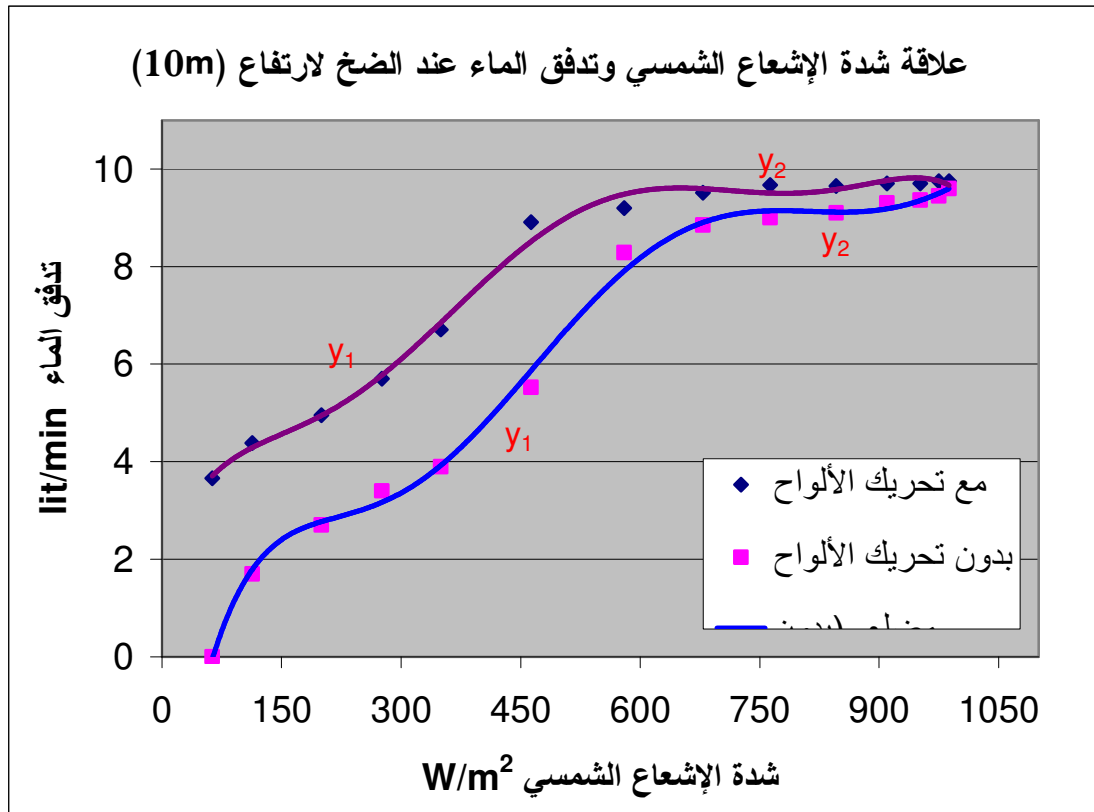
تم تحريك الألواح مع حركة الشمس بمقدار (5) درجات لكل ربع ساعة.

1- يوضح الجدول (8-4) و الشكل (15-4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 10m:

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

الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	التدفق Lit/min مع تحريك الألواح	التدفق Lit/min بدون تحريك الألواح	الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	التدفق Lit/min مع تحريك الألواح	التدفق Lit/min بدون تحريك الألواح
63	3.66	0	678.8	9.51	8.29
113	4.38	1.7	763	9.67	8.85
200	4.95	2.7	846.1	9.65	9
276	5.7	3.4	910	9.7	9.1
350	6.71	3.9	951.7	9.7	9.3
463.1	8.91	5.52	975	9.75	9.36
580	9.2	8.29	987.8	9.75	9.45

الجدول (8-4)



الشكل (16-4)

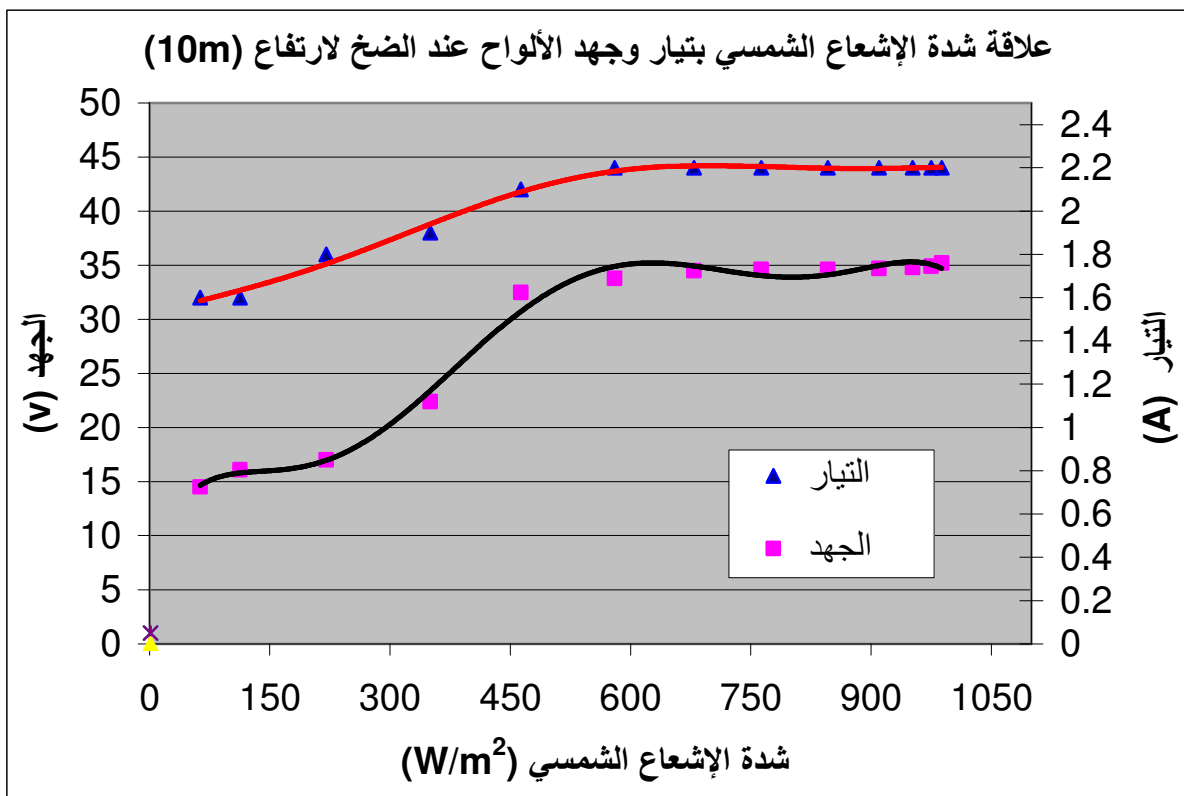
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 10m

يوضح الجدول (9-4) والشكل (16-4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط و قيم الجهد وشدة التيار المسجلة على خرج الألواح الكهروضوئية عند عمل المضخة لارتفاع 10m:

قيم الجهد وشدة التيار المسجلة عند الضخ لارتفاع 10m

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	الجهد (V)	شدة التيار (A)	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	الجهد (V)	شدة 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			

الجدول (9-4)



الشكل (17-4)

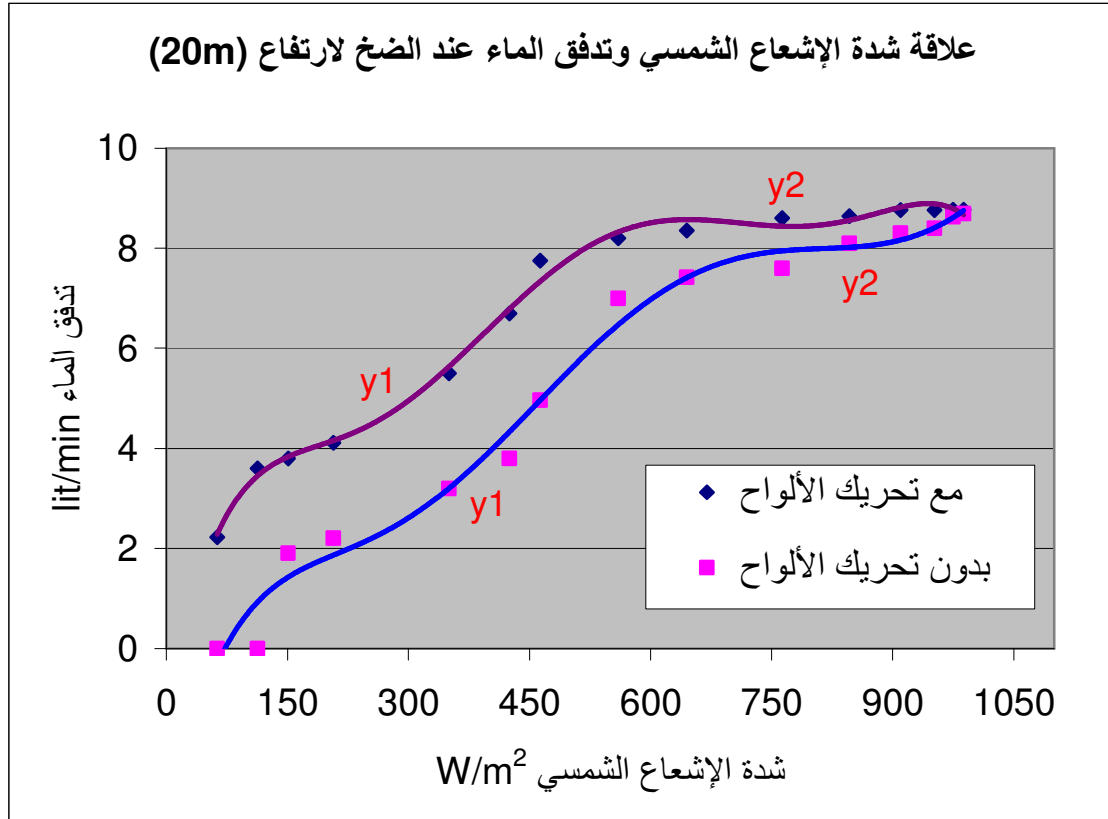
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط و قيم الجهد وشدة التيار المسجلة على خرج الألواح الكهروضوئية عند عمل المضخة لارتفاع 10m

2- يوضح الجدول (10-4) و الشكل (17-4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند ارتفاع 20m:

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 20m

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min مع تحريك الألواح	التدفق Lit/min بدون تحريك الألواح	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min مع تحريك الألواح	التدفق Lit/min بدون تحريك الألواح
63	2.22	0	645	8.35	7.42
113	3.6	0	763	8.6	7.6
151	3.8	1.9	846.1	8.64	8.1
207	4.11	2.2	910	8.76	8.3
350	5.5	3.2	951.7	8.76	8.4
425	6.7	3.8	975	8.77	8.63
463.1	7.75	4.96	987.8	8.77	8.69
560	8.2	7			

الجدول (10-4)



الشكل (18-4)

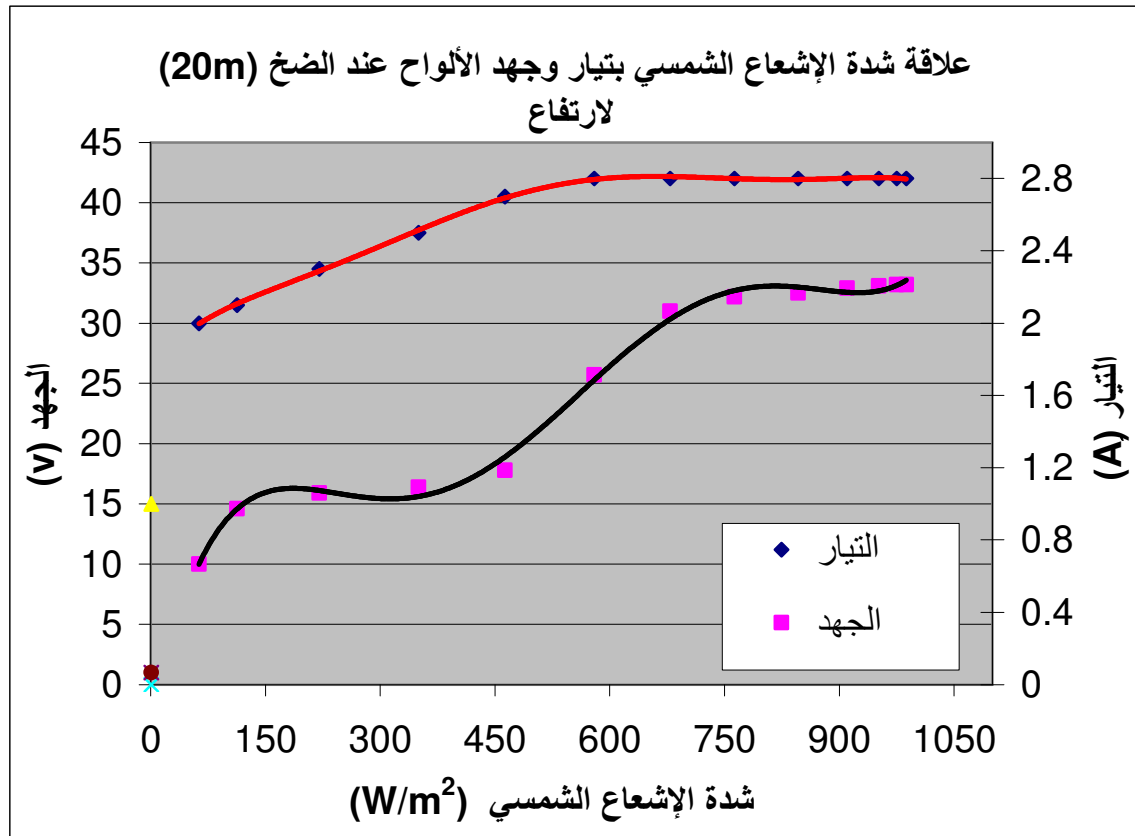
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع 20m

يوضح الجدول (11-4) والشكل (18-4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط و قيم الجهد وشدة التيار المسجلة على خرج الألواح الكهروضوئية عند عمل المضخة لارتفاع 20m:

قيم الجهد وشدة التيار المسجلة عند الضخ لارتفاع 20m

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	الجهد (V)	شدة التيار (A)	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	الجهد (V)	شدة التيار (A)
987.8	33.2	2.8	580	25.7	2.8
975	33.2	2.8	463.1	17.8	2.7
951.7	33.1	2.8	350	16.4	2.5
910	32.9	2.8	220.4	15.9	2.3
846.1	32.5	2.8	113	14.6	2.1
763	32.2	2.8	63	10	2
678.8	31	2.8			

الجدول (11-4)



الشكل (19-4)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط و قيم الجهد وشدة التيار المسجلة على خرج الألواح الكهروضوئية عند عمل المضخة لارتفاع 20m

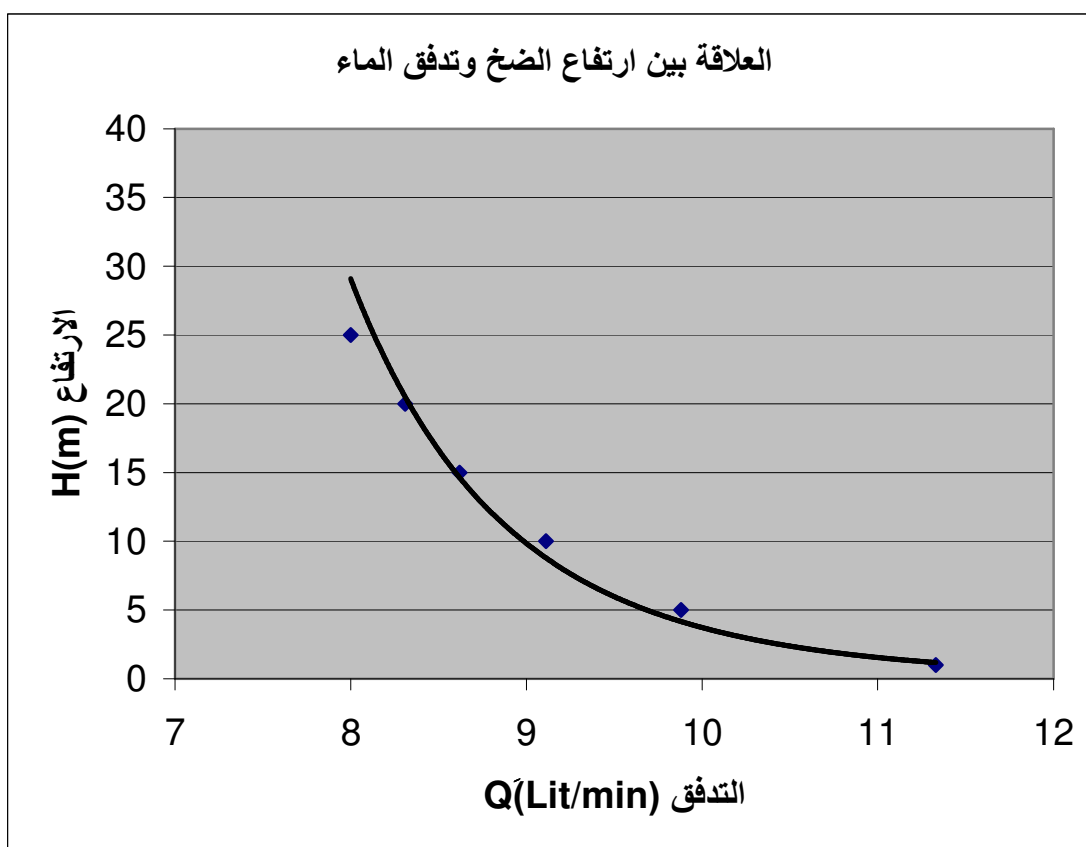
بعد ذلك تم رسم العلاقة بين ارتفاع الضخ وتدفق الماء المبينة في الجدول (12-4) و الشكل (19-4) عند زاوية ميل (22°):

**ملاحظة:** تم تحديد قيمة التدفق من خلال القيمة الوسطية للتدفق خلال مرحلة استقرار عمل المضخة التي كانت عند قيمة الإشعاع الشمسي  $G_{th} > 500 W/m^2$ .

العلاقة بين ارتفاع الضخ وتدفق الماء

الارتفاع (m)	التدفق (lit/min)
1	11.33
5	9.88
10	9.11
15	8.62
20	8.31
25	8

الجدول (12-4)



الشكل (20-4)

العلاقة بين ارتفاع الضخ وتدفق الماء

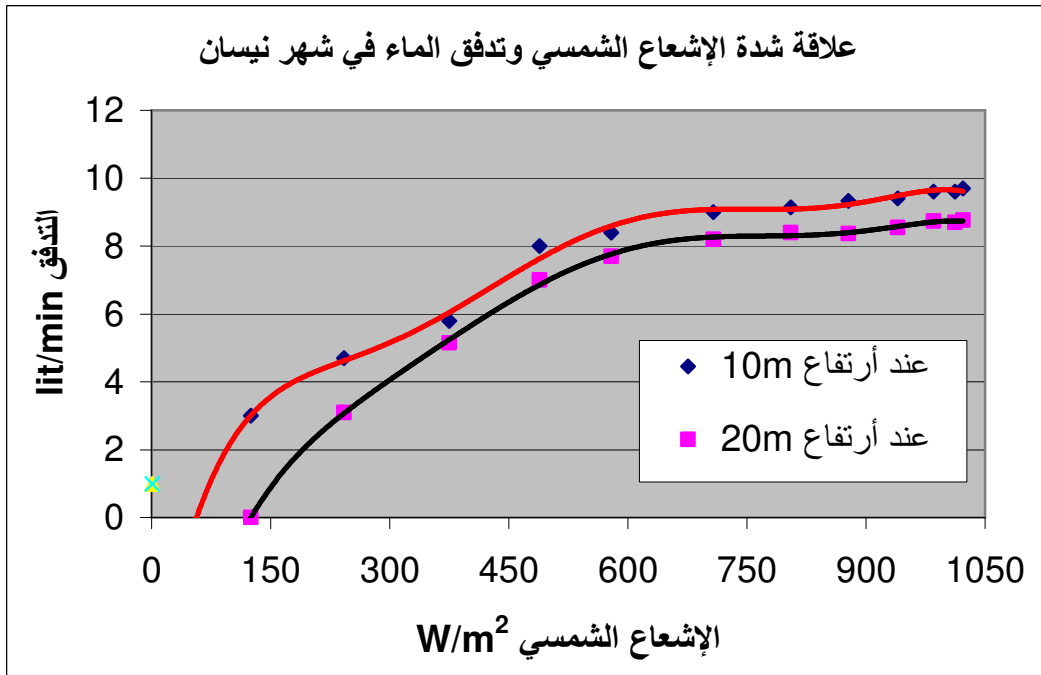
اعتماداً على القيم المقاسة في شهري آب وأيلول تم رسم منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء لليوم الخامس عشر من كل شهر لباقي أشهر السنة، حيث تم اعتماد زاوية ميل الألواح الكهروضوئية ( $22^\circ$ ) بالنسبة لأشهر الصيف و( $45.5^\circ$ ) بالنسبة لأشهر الشتاء. أولاً- أشهر الصيف:

1- شهر نيسان: يبين الجدول (4-13) و الشكل(4-20) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر نيسان

الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min
24.59	0	0	805	9.14	8.4
125	3	0	877.8	9.33	8.37
242.4	4.7	3.1	940	9.4	8.55
375	5.8	5.15	985.4	9.6	8.73
488.6	8	7	1012	9.6	8.7
579	8.4	7.7	1022	9.69	8.76
707.7	9	8.2			

الجدول (4-13)



الشكل(4-21)

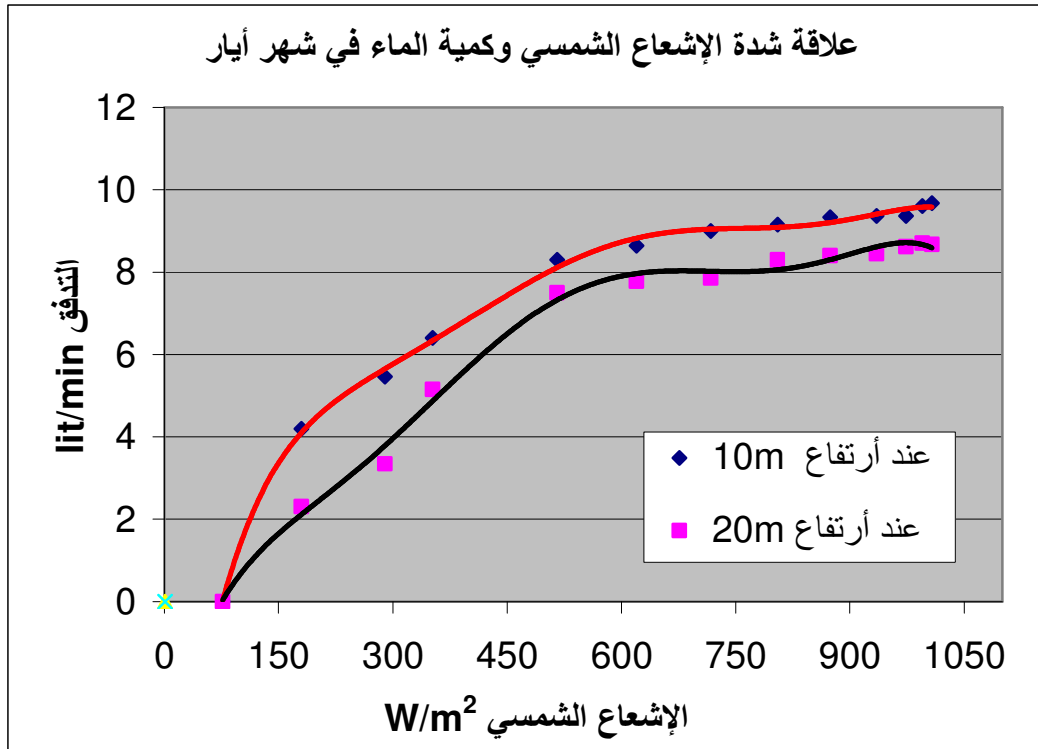
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر نيسان

2- شهر أيار: يبين الجدول (14-4) و الشكل(4-21) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر أيار

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min
76.29	0	0	805	9.15	8.3
180	4.2	2.3	874.4	9.33	8.4
289.4	5.46	3.34	935	9.36	8.45
352	6.4	5.15	973.8	9.36	8.62
515.8	8.3	7.5	995	9.6	8.7
620	8.64	7.78	1008	9.67	8.67
717.4	9	7.86			

الجدول (14-4)



الشكل(4-22)

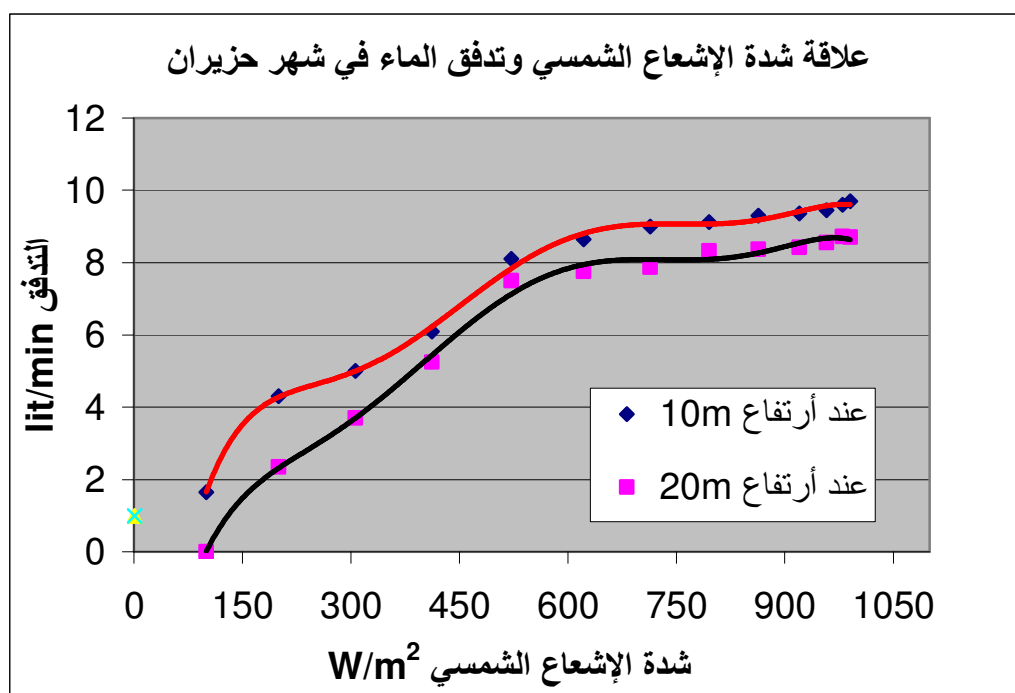
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر أيار

3- شهر حزيران: يبين الجدول (15-4) و الشكل(4-22) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر حزيران

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min
99.96	1.65	0	795	9.12	8.3
200	4.3	2.35	863.1	9.3	8.37
306.1	5.5	3.7	920	9.36	8.42
412	6.5	5.25	957.8	9.45	8.55
521.6	8.3	7.5	980	9.6	8.72
622	8.64	7.76	990.2	9.67	8.7
713.6	9	7.87			

الجدول (15-4)



الشكل(4-23)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر حزيران

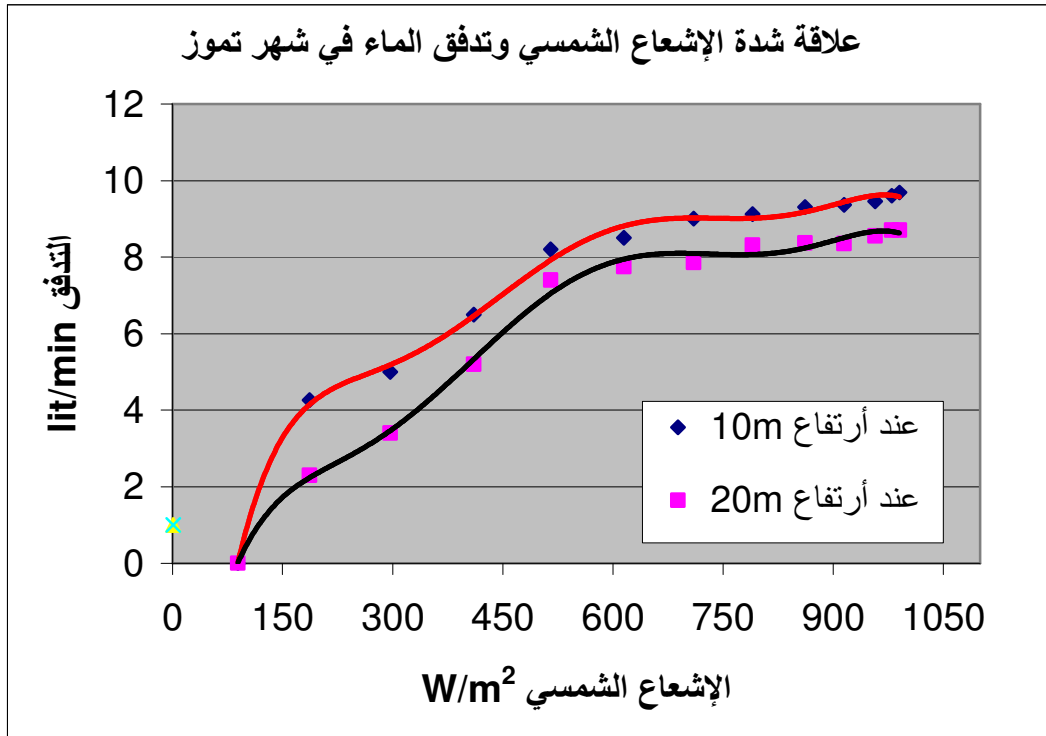


4- شهر تموز: يبين الجدول (16-4) و الشكل (23-4) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر تموز

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min
88.91	0	0	790	9.12	8.31
187	4.26	2.30	861.3	9.3	8.37
296.6	5	3.4	915	9.36	8.40
410	6.5	5.20	957.3	9.45	8.55
515.1	8.2	7.4	980	9.6	8.72
615	8.5	7.75	990.1	9.69	8.7
709.7	9	7.86			

الجدول (16-4)



الشكل (24-4)

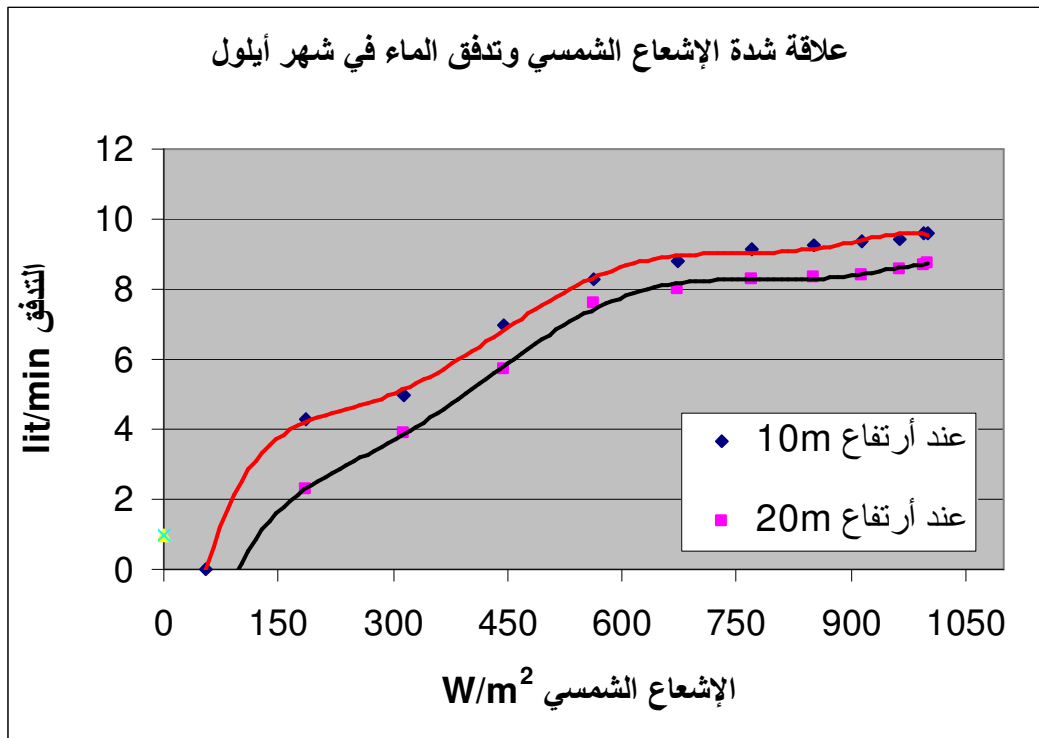
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر تموز

5- شهر أيلول: يبين الجدول (17-4) و الشكل(24-4) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر أيلول

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min
55	0	0	770	9.12	8.3
186.1	4.26	2.30	851.2	9.23	8.37
315	5	3.9	915	9.4	8.42
445.1	7	5.7	962.8	9.45	8.55
562	8.3	7.6	995	9.6	8.70
674.1	8.8	8	1001.1	9.60	8.76

الجدول (17-4)



الشكل(25-4)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر أيلول

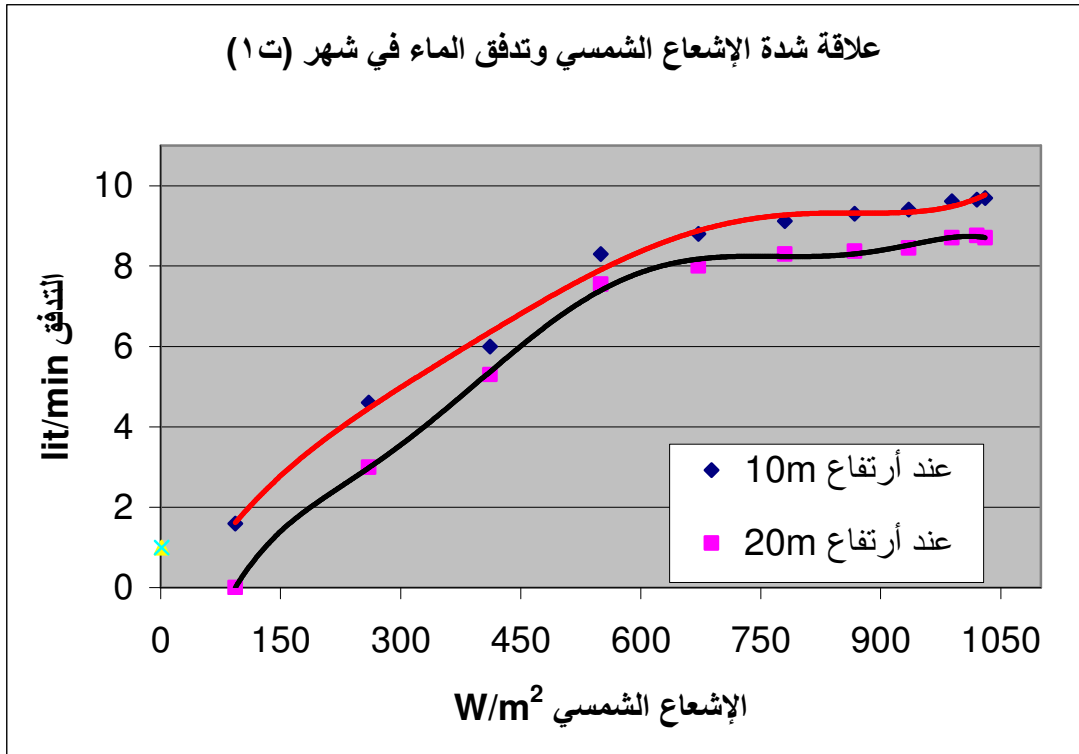
ثانياً: أشهر الشتاء

1- شهر تشرين الأول: يبين الجدول (4-18) و الشكل (4-25) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر تشرين أول

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min
93.29	1.6	0	867.4	9.3	8.37
260	4.6	3	935	9.4	8.45
411.7	6	5.3	989.1	9.61	8.7
550	8.3	7.55	1020	9.65	8.76
672	8.8	8	1030	9.69	8.7
780	9.12	8.3			

الجدول (4-18)



الشكل (4-26)

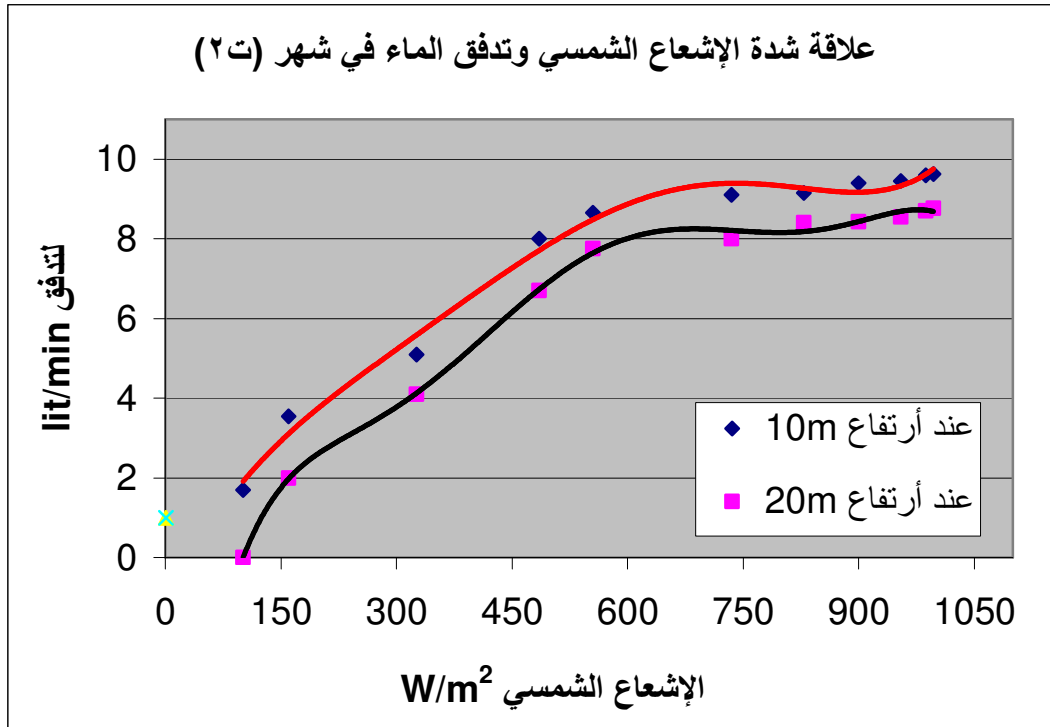
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر تشرين أول

2- شهر تشرين الثاني: يبين الجدول (4-19) و الشكل (4-26) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر تشرين الثاني

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min
101	1.7	0	828.7	9.15	8.4
160	3.54	2	900	9.4	8.43
326.3	5.1	4.1	954.6	9.45	8.55
485	8	6.7	987	9.6	8.7
555	8.65	7.75	997.1	9.63	8.76
735	9.1	8			

الجدول (4-19)



الشكل (4-27)

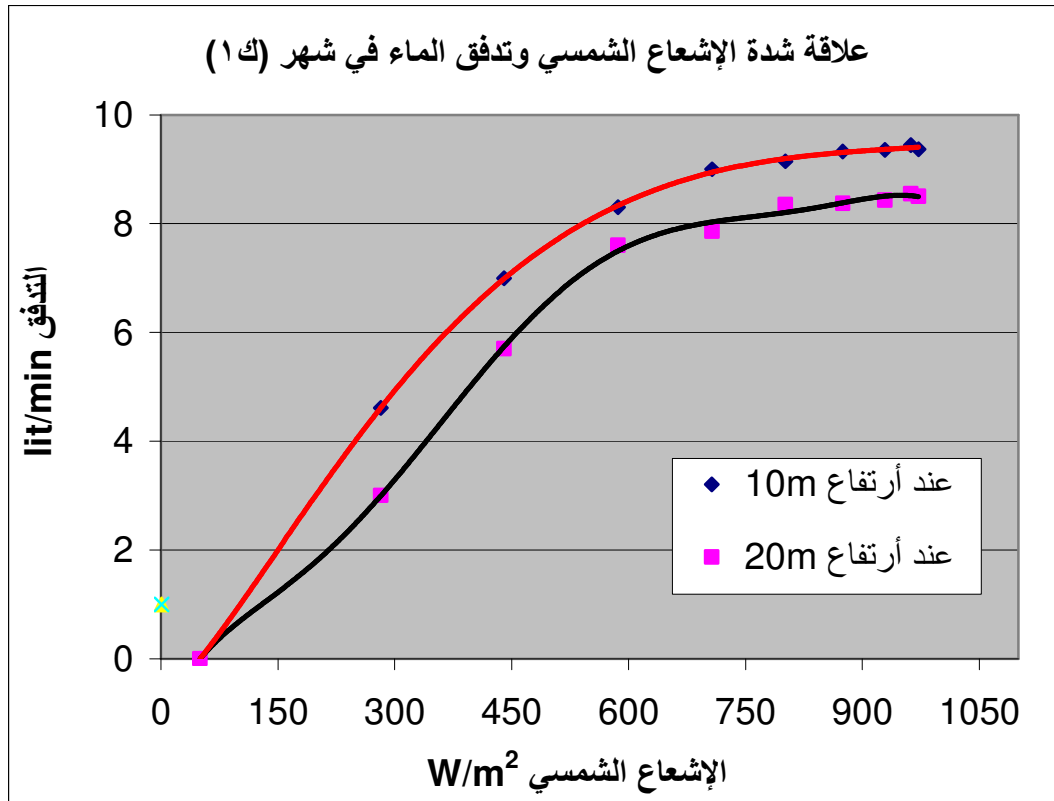
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر تشرين الثاني

3- شهر كانون الأول: يبين الجدول (20-4) و الشكل(4-27) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر كانون الأول

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min
50	0	0	801.1	9.15	8.35
282	4.61	3	875	9.33	8.37
440	7	5.7	929.2	9.36	8.43
586.6	8.3	7.6	962	9.45	8.55
707	9	7.86	972.1	9.37	8.5

الجدول (20-4)



الشكل (4-28)

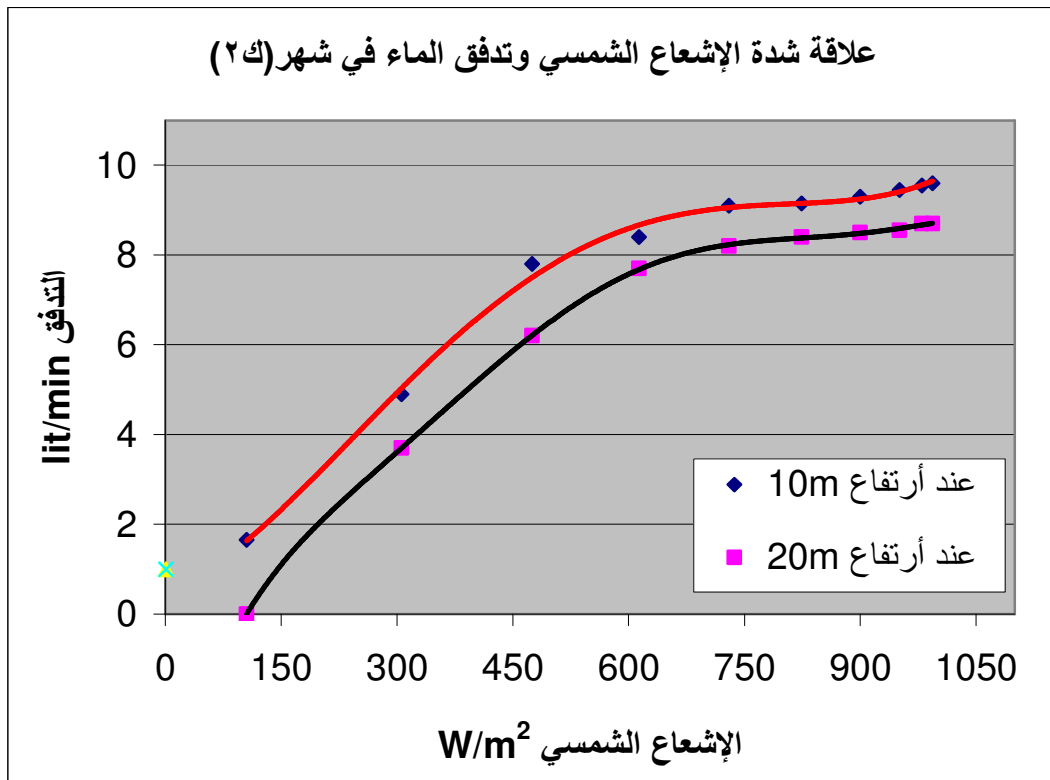
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر كانون الأول

4- شهر كانون الثاني: يبين الجدول (21-4) و الشكل (28-4) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر كانون الثاني

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min
105	1.65	0	823.8	9.15	8.4
305.8	4.9	3.7	900	9.3	8.5
475	7.8	6.2	950.8	9.45	8.55
613.4	8.4	7.7	980	9.55	8.7
730	9.1	8.2	993.5	9.6	8.7

الجدول (21-4)



الشكل (29-4)

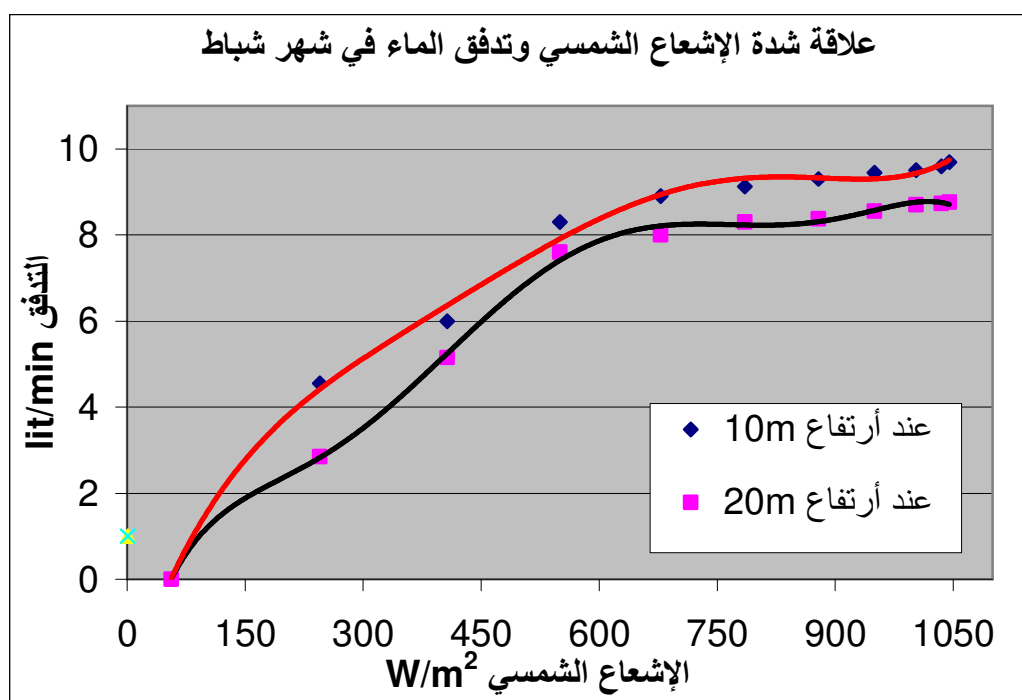
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر كانون الثاني

5- شهر شباط: يبين الجدول (22-4) و الشكل (29-4) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر شباط

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع (10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع (20m) Lit/min
55.92	0	0	878.8	9.3	8.37
245	4.55	2	950	9.45	8.55
406.6	6	5.15	1003	9.51	8.7
550	8.3	7.6	1035	9.6	8.73
678.4	8.9	8	1045	9.69	8.76
785	9.12	8.3			

الجدول (22-4)



الشكل (30-4)

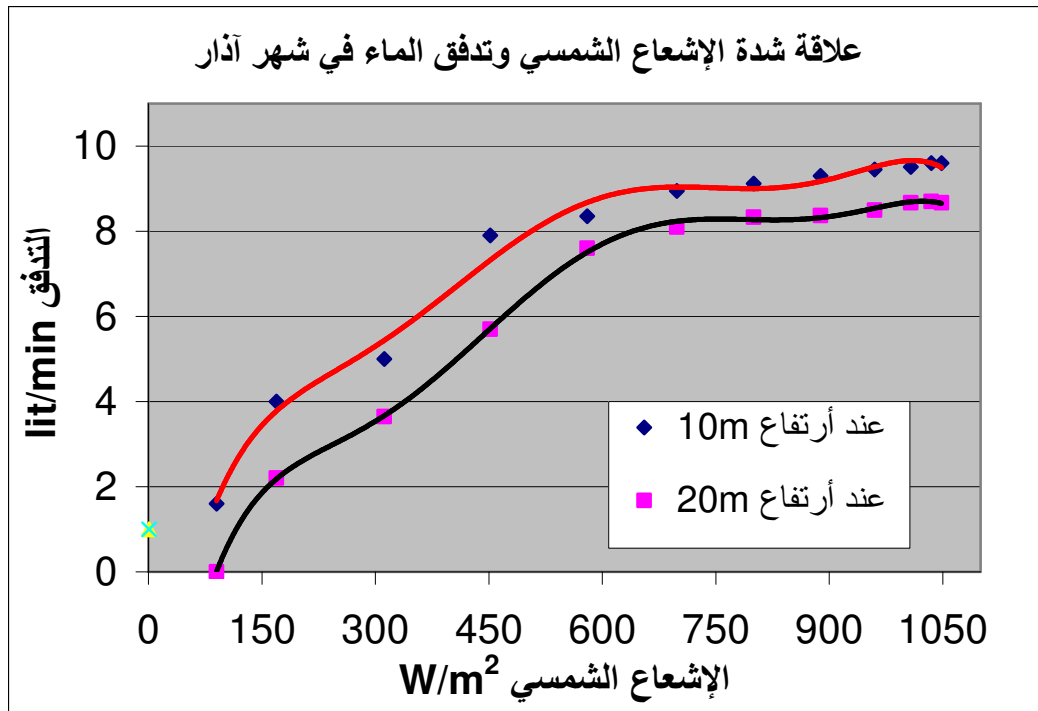
العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m) لشهر شباط

6- شهر آذار: يبين الجدول (23-4) و الشكل(4-30) منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و (20m):

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر آذار

الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق عند ارتفاع(10m) Lit/min	التدفق عند ارتفاع(20m) Lit/min
90	1.6	0	800	9.12	8.33
169.2	4	2.2	888.4	9.3	8.37
312	5	3.65	960	9.45	8.5
452	7.9	5.7	1008	9.51	8.67
580	8.35	7.6	1035	9.6	8.7
698.6	8.95	8.1	1048	9.6	8.67

الجدول (23-4)



الشكل(4-31)

العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند ارتفاع الضخ (10m) و(20m) لشهر آذار



## الفصل الخامس

### الدراسة الاقتصادية

لدراسة الجدوى الاقتصادية يجب معرفة الأمور التالية:

- 1- أشهر موسم الري في سورية هي (حزيران-تموز-آب-أيلول-تشرين أول) وبالتالي: عدد أيام موسم الري هو (153) يوم.
- 2- المتوسط اليومي لكمية الطاقة الشمسية الساقطة في كل شهر من أشهر موسم الري كما في الجدول(1-5):

المتوسط اليومي لكمية الطاقة الشمسية في كل شهر من أشهر موسم الري

الشهر	المتوسط الشهري اليومي للإشعاع الشمسي W/m <sup>2</sup> .day
حزيران	Ht=7909.8
تموز	Ht=7843.7
آب	Ht= 7619.6
أيلول	Ht=7269.3
تشرين أول	Ht=6442.4

الجدول(1-5)

### 1-5 حسابات مجموعة الضخ الشمسية:

كمية الماء التي تضخها المضخة في اليوم (4m<sup>3</sup>/day) عند ارتفاع (20m) وذلك عند كمية طاقة شمسية يومية (7702W/m<sup>2</sup>.day) وبالتالي: نجد أن كل (1000W/m<sup>2</sup>.day) تعطي (0.51934m<sup>3</sup>/day) عند ارتفاع (20m). واعتماداً على ذلك يمكن تنظيم الجدول (2-5) التالي:

الجدول(2-5) كمية الماء التي يمكن ضخها خلال موسم الري عند ارتفاع (20m)

الشهر	المتوسط الشهري اليومي للإشعاع الشمسي W/m <sup>2</sup> .day	كمية الماء المنتدق باليوم m <sup>3</sup> /day	كمية الماء المنتدق بالشهر m <sup>3</sup> /mounth
حزيران	Ht=7909.8	4.1078	123.234
تموز	Ht=7843.7	4.0735	126.278
آب	Ht= 7620	3.9574	122.679
أيلول	Ht=7269.3	3.7752	113.256
تشرين أول	Ht=6442.4	3.3458	103.720
الموسم	37085.2		589.167m <sup>3</sup>

وبالتالي: كمية الماء التي يتم ضخها خلال موسم الري عند ارتفاع (20m) هي ( $Q=589.167m^3$ ).  
 كمية الماء التي تضخها المضخة في اليوم ( $4.55m^3/day$ ) عند ارتفاع (10m) وذلك عند كمية طاقة  
 شمسية يومية ( $7702W/m^2.day$ ) وبالتالي: نجد أن كل ( $1000W/m^2.day$ ) تعطي  
 ( $0.5907m^3/day$ ) عند ارتفاع (10m). واعتماداً على ذلك يمكن تنظيم الجدول (3-5) التالي:

كمية الماء التي يمكن ضخها خلال موسم الري عند ارتفاع (10m)

الشهر	المتوسط الشهري اليومي للإشعاع الشمسي $W/m^2.day$	كمية الماء المتدفق باليوم $m^3/day$	كمية الماء المتدفق بالشهر $m^3/month$
حزيران	Ht=7909.8	4.6723	140.169
تموز	Ht=7843.7	4.6332	143.6292
آب	Ht= 7620	4.5011	139.5341
أيلول	Ht=7269.3	4.2939	128.817
تشرين أول	Ht=6442.4	3.8055	117.9705
الموسم	37085.2		$670.1198m^3$

الجدول(3-5)

وبالتالي: كمية الماء التي يتم ضخها خلال موسم الري عند ارتفاع (10m) هي ( $Q=670.1198m^3$ ).  
**كلفة مجموعة الضخ:**

يمكن تنظيم الجدول(4-5) التالي:

كلفة مجموعة الضخ الشمسية

المادة	الكلفة بالليرة السورية
مضخة الماء	80000
الألواح الكهروضوئية	82000
كابلات وأنابيب و أجور تركيب	20000
المجموع	182000

الجدول(4-5)

هذه هي الكلفة التأسيسية ولا نحتاج إلى كلفة استثمارية لأن الطاقة المستخدمة هي طاقة شمسية مجانية.

## 2-5 حسابات مجموعة الضخ العاملة على الديزل:

نحتاج من أجل ضخ كمية الماء نفسها التي تضخها المضخة الشمسية لمضخة غاطسة تعمل بالطاقة الكهربائية من مولدة مربوطة مع محرك ديزل عن طريق سيور.

- مواصفات المضخة:

مواصفات المضخة التي تعمل مع مجموعة الديزل

4	15	20	27	38	50	الارتفاع (m)
2.4	2	1.7	1.5	1	0.5	التدفق m <sup>3</sup> /h

الجدول (5-5)

- مواصفات مجموعة الضخ:

مواصفات مجموعة الضخ العاملة على الديزل

1 HP	استطاعة المضخة الغاطسة
5 KVA=6.7 HP	استطاعة المولدة اللازمة
8 HP	استطاعة محرك الديزل
g = 1 Lit/h	استهلاك محرك الديزل

الجدول (6-5)

1- نحتاج من أجل ضخ كمية الماء (Q=589.167m<sup>3</sup>) خلال موسم الري عند ارتفاع (20m) إلى عدد ساعات عمل للمضخة:

$$H = \frac{Q}{q} = \frac{589.724}{1.7} = 346.9 \text{ hour} \quad (5-1)$$

حيث: q هو تدفق المضخة

وبالتالي: نحتاج إلى كمية من المازوت خلال موسم الري:

$$d = H.g = 346.9 \times 1 = 346.9 \text{ Lit} \quad (5-2)$$

حيث: g استهلاك المحرك في الساعة من المازوت

إذا تم تشغيل المجموعة لمدة (25) موسم فإن كمية المازوت اللازمة:

$$D = d \times 25 = 346.9 \times 25 = 8672.5 \text{ Lit} \quad (5-3)$$

2- نحتاج من أجل ضخ كمية الماء (Q=670.1198m<sup>3</sup>) خلال موسم الري عند ارتفاع (10m) إلى عدد ساعات عمل للمضخة:

$$H = \frac{Q}{q} = \frac{670.1198}{2.18} = 307.4 \text{ hour} \quad (5-4)$$

وبالتالي: نحتاج إلى كمية من المازوت خلال موسم الري:

$$d = H.g = 307.4 \times 1 = 307.4 \text{ Lit} \quad (5-5)$$

إذا تم تشغيل المجموعة لمدة (25) موسم فإن كمية المازوت اللازمة:

$$D = d \times 25 = 307.4 \times 25 = 7685 \text{ Lit} \quad (5-6)$$

**كلفة مجموعة الضخ:** في هذه الحالة توجد كلفة تأسيسية و كلفة استثمارية.

### 1- الكلفة التأسيسية:

الكلفة التأسيسية لمجموعة الضخ العاملة على الديزل

المادة	الكلفة بالليرة السورية
مضخة الماء	11000
المولدة الكهربائية مع محرك الديزل	35000
كابلات وأنابيب و أجور تركيب	7000
المجموع	53000

الجدول (5-7)

2- الكلفة الاستثمارية: إذا اعتبرنا أن سعر ليتر المازوت يساوي (40 ل.س)

• عند الضخ لارتفاع (20m):

الكلفة الاستثمارية لمجموعة الضخ العاملة على الديزل عند الضخ لارتفاع (20m)

المادة	الكلفة بالليرة السورية
المازوت المستهلك	346880
الصيانة والإصلاح	25000
المجموع	371800

الجدول (5-8)

- عند الضخ لارتفاع (10m):

الكلفة الاستثمارية لمجموعة الضخ العاملة على الديزل عند الضخ لارتفاع (10m)

المادة	الكلفة بالليرة السورية
المازوت المستهلك	307400
الصيانة والإصلاح	25000
المجموع	332400

الجدول (9-5)

### 3-الكلفة الكلية:

- عند الضخ لارتفاع (20m):

الكلفة الكلية لمجموعة الضخ العاملة على الديزل عند الضخ لارتفاع (20m)

الكلفة التأسيسية	53000
الكلفة الاستثمارية	371880
المجموع	424880

الجدول (10-5)

- عند الضخ لارتفاع (10m):

الكلفة الكلية لمجموعة الضخ العاملة على الديزل عند الضخ لارتفاع (10m)

الكلفة التأسيسية	53000
الكلفة الاستثمارية	332400
المجموع	385400

الجدول (11-5)

بمقارنة الكلفة الكلية لمجموعة الضخ الشمسية و الكلفة الكلية لمجموعة الضخ العاملة على الديزل نجد أن هناك اقتصادية كبيرة على المدى البعيد عند استخدام المضخات الشمسية.

## مناقشة النتائج

أولاً- بالعودة إلى منحنى العلاقة بين الإشعاع الشمسي وكمية الماء المتدفق بالدقيقة عند ارتفاع معين (10m مثلاً) الموضحة في الجدول (2-4) والشكل (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  $(100W/m^2)$ ؛ وذلك لأن التيار المتولد من الألواح الكهروضوئية لا يكفي لإقلاع المضخة أي أن  $(G_{th}=100W/m^2)$  وهو الحد الأدنى اللازم لإقلاع المضخة.

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

2- المرحلة الثانية: وهي مرحلة عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أعلى من  $(100W/m^2)$  وتقسّم 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  $(100-496W/m^2)$ :

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

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

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

حيث  $y$  : هو ميل المنحنى 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 (5-4) 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  $(1.614 \text{ Lit}/100\text{Watt})$  إلى  $(0.3 \text{ Lit}/100\text{Watt})$  وهذا يعني أن قسماً كبيراً من الطاقة الشمسية التي تزيد عن  $(496W/m^2)$  مهدور، وهذه الطاقة يمكن استغلالها في تطبيق آخر.

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

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

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

بالمقارنة مع ارتفاع الضخ 10m نجد أن ميل المنحني يتغير عندما يكون الإشعاع الشمسي أقل من  $(500W/m^2)$ ؛ ولكنه لم يتغير تقريباً 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 حداً أدنى للإشعاع الشمسي تبدأ المضخة عنده بالعمل أي لا بد من تيار ابتدائي للمضخة كي تبدأ عنده بالعمل، كما أنه يوجد حد أعلى مهما زادت قيمة الإشعاع الشمسي فإن المضخة لا تعطي ضخاً أعلى وهذا الأمر يدخل في تصميم المضخة.

ثانياً- عند تغيير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية من  $(22^\circ)$  إلى زاوية خط العرض  $(35.5^\circ)$  لم يلاحظ تغير كبير ملحوظ على منحنى علاقة الإشعاع الشمسي بكمية الماء المتدفق بالدقيقة كما هو واضح في الشكلين (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  $(4.1\%)$  خلال شهر آب ونسبة انخفاض كمية الماء المتدفق خلال اليوم بلغت  $(6.8\%)$ ، 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.

ثالثاً- عند تحريك الألواح الكهروضوئية لتتبع حركة الشمس خلال النهار، تبين أن منحنى 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 تحريك الألواح 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 طردياً مع تدفق الماء عند ارتفاع قيمة هذه الشدة، وبالتالي: 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 ( $35.5^\circ$ ) انخفضت كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح في اليوم بنسبة (4.1%)؛ وهذا أدى إلى انخفاض كمية الماء المتدفق 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- بدراسة الجدوى الاقتصادية لمجموعة الضخ الشمسية و لمجموعة الضخ العاملة على الديزل تبين أن هناك وفراً بحوالي (57%) على مدى (25 سنة) عند استخدام المضخات الشمسية مقارنة بالمضخات العاملة على الديزل بالنسبة لارتفاع ضخ (20m) أما بالنسبة لارتفاع ضخ (10m) فإن الوفرة يبلغ (52.77%).



## التوصيات

- 1- 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.
- 2- 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، وبخاصة في الأيام التي يكون فيها الإشعاع الشمسي مرتفعاً، كاستخدام مدخرات من أجل تخزين الطاقة وضخ الماء ليلاً أو للإنارة حيث يكون موقع مجموعة الضخ غالباً في مناطق نائية بعيدة عن الشبكة العامة للكهرباء.
- 3- بما أن عملية الضخ تتم في النهار لذلك يجب دراسة غزارة البئر بشكل جيد واختيار العمق المناسب للماء الذي توضع فيه المضخة.

## الملحقات

الملحق (1): يعطي ضياعات الاحتكاك في الأنابيب مقدره بالأقدام العمودية لكل مئة قدم من الأنبوب.

### Water Pipe Sizing Chart

Friction Loss in Plastic Pipe with Standard Inside Diameter (SIDR)

THIS CHART APPLIES ONLY TO: PVC pipe, Schedule 40 (160 PSI) and to PE (polyethylene) pipe with SIDR designation (most common 100 PSI black pipe)

HEAD LOSS in VERTICAL FEET per HUNDRED FEET of pipe  
or VERTICAL METERS per HUNDRED METERS of pipe

Nominal Pipe Diameter (Inches)

FLOW RATE		Nominal Pipe Diameter (Inches)										
		1/2*	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
GPM	LPM	.662	.82	1.05	1.38	1.61	2.07	2.47	3.07	4.03	5.05	6.06
1	3.8	1.13	0.14	0.05	0.02	.	.	.	.	.	.	.
2	7.6	4.16	0.35	0.14	0.05	0.02	.	.	.	.	.	.
3	11	8.55	2.19	0.32	0.09	0.05	.	.	.	.	.	.
4	15	14.8	3.70	0.53	0.16	0.09	0.02	.	.	.	.	.
5	19	22.2	5.78	0.81	0.25	0.12	0.04	.	.	.	.	.
6	23	31.0	7.85	1.00	0.35	0.18	0.07	0.02	.	.	.	.
7	27	.	10.6	1.52	0.46	0.23	0.08	0.03	.	.	.	.
8	30	.	13.4	1.94	0.58	0.30	0.09	0.05	.	.	.	.
9	34	.	16.9	2.43	0.72	0.37	0.12	0.06	.	.	.	.
10	38	.	20.3	2.93	0.88	0.46	0.16	0.07	0.02	.	.	.
11	42	.	24.3	3.51	1.04	0.53	0.18	0.08	0.03	.	.	.
12	46	.	28.6	4.11	1.22	0.65	0.21	0.09	0.04	.	.	.
14	53	.	.	5.47	1.64	0.85	0.28	0.12	0.05	.	.	.
16	61	.	.	7.02	2.10	1.09	0.37	0.14	0.06	.	.	.
18	68	.	.	8.73	2.61	1.34	0.46	0.18	0.07	.	.	.
20	76	.	.	10.6	3.16	1.64	0.55	0.21	0.08	0.02	.	.
22	83	.	.	13.3	3.79	1.96	0.67	0.25	0.09	0.03	.	.
24	91	.	.	14.9	4.44	2.31	0.79	0.30	0.11	0.04	.	.
26	99	.	.	.	5.15	2.66	0.90	0.35	0.14	0.05	.	.
28	106	.	.	.	5.91	3.05	1.04	0.42	0.16	0.05	.	.
30	114	.	.	.	6.72	3.46	1.18	0.46	0.18	0.06	.	.
35	133	.	.	.	8.94	4.62	1.57	0.62	0.23	0.07	.	.
40	152	.	.	.	11.0	5.91	1.99	0.79	0.30	0.09	0.02	.
45	171	.	.	.	14.2	7.37	2.49	0.97	0.37	0.12	0.04	.
50	190	.	.	.	17.3	8.96	3.03	1.20	0.46	0.14	0.05	.
55	208	.	.	.	.	10.7	3.60	1.43	0.55	0.16	0.06	.
60	227	.	.	.	.	12.5	4.23	1.66	0.65	0.18	0.07	0.02
65	246	.	.	.	.	14.5	4.90	1.94	0.74	0.22	0.08	0.03
70	265	.	.	.	.	16.7	5.64	2.22	0.85	0.25	0.09	0.04
75	284	.	.	.	.	19.0	6.40	2.52	0.97	0.28	0.10	0.05
80	303	.	.	.	.	.	7.21	2.84	1.09	0.32	0.12	0.06
85	322	.	.	.	.	.	8.06	3.19	1.22	0.37	0.13	0.07
90	341	.	.	.	.	.	8.96	3.53	1.36	0.39	0.14	0.08
95	360	.	.	.	.	.	9.91	3.90	1.50	0.44	0.16	0.09
100	379	.	.	.	.	.	10.9	4.30	1.66	0.49	0.18	0.12
150	569	.	.	.	.	.	23.1	9.10	3.51	1.04	0.37	0.16
200	758	.	.	.	.	.	.	15.5	5.98	1.76	0.62	0.28

NOTE: Shaded values are at velocities over 5 feet per second and should be selected with caution.

\* NOTE: 1/2" data applies to PE pipe only. PVC has smaller ID of .612"

Dankoff Solar Products, Inc.

2810 Industrial Rd. • Santa Fe, NM 87505 USA

(505) 473-3800 • Fax (505) 473-3830 • www.dankoffsolar.com

Since 1983



الملحق(2):قيم الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) لمدينة اللاذقية عند زاوية ميل ( $22^\circ$ ) خلال شهر آب.

6	5	4	3	2	1	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
59.33	60.97	62.57	64.14	65.68	67.19	6
273	274.6	276	277.5	278.9	280.3	7
503.8	504.9	506	507	507.9	508.9	8
709.6	710.3	711	711.6	712.2	712.7	9
869.8	870.2	870.6	870.9	871.2	871.5	10
971.2	971.4	971.6	971.7	971.9	971.9	11
1006	1006	1006	1006	1006	1006	12
971.2	971.4	971.6	971.7	971.9	971.9	13
869.8	870.2	870.6	870.9	871.2	871.5	14
709.6	710.3	711	711.6	712.2	712.7	15
503.8	504.9	506	507	507.9	508.9	16
273	274.6	276	277.5	278.9	280.3	17
59.33	60.97	62.57	64.14	65.68	67.19	18
7779	7791	7802	7812	7822	7831	Ht
12	11	10	9	8	7	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
48.91	50.71	52.49	54.25	55.97	57.67	6
263	264.8	266.5	268.2	269.8	271.5	7
496.5	497.9	499.1	500.4	501.6	502.7	8
704.7	705.6	706.5	707.3	708.1	708.9	9
866.7	867.3	867.9	868.4	868.9	869.4	10
969.1	969.6	970	970.3	970.6	970.9	11
1004	1005	1005	1005	1005	1006	12
969.1	969.6	970	970.3	970.6	970.9	13
866.7	867.3	867.9	868.4	868.9	869.4	14
704.7	705.6	706.5	707.3	708.1	708.9	15
496.5	497.9	499.1	500.4	501.6	502.7	16
263	264.8	266.5	268.2	269.8	271.5	17
48.91	50.71	52.49	54.25	55.97	57.67	18
7702	7716	7730	7743	7756	7768	Ht

تابع الملحق(2):قيم الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) لمدينة اللاذقية عند زاوية ميل ( $22^\circ$ ) خلال شهر آب.

18	17	16	15	14	13	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
37.59	39.52	41.44	43.34	45.22	47.07	6
251.3	253.4	255.4	257.4	259.3	261.1	7
487.8	489.3	490.9	492.4	493.8	495.2	8
698.4	699.5	700.7	701.7	702.8	703.8	9
862.1	863	863.8	864.6	865.3	866	10
965.6	966.3	967	967.6	968.2	968.7	11
1001	1002	1002	1003	1003	1004	12
965.6	966.3	967	967.6	968.2	968.7	13
862.1	863	863.8	864.6	865.3	866	14
698.4	699.5	700.7	701.7	702.8	703.8	15
487.8	489.3	490.9	492.4	493.8	495.2	16
251.3	253.4	255.4	257.4	259.3	261.1	17
37.59	39.52	41.44	43.34	45.22	47.07	18
7607	7624	7641	7657	7672	7688	Ht
24	23	22	21	20	19	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
25.79	27.76	29.74	31.71	33.68	35.64	6
238.1	240.4	242.7	244.9	247.1	249.2	7
477.4	479.2	481	482.8	484.5	486.2	8
690.4	691.8	693.2	694.6	695.9	697.2	9
855.8	857	858.1	859.2	860.2	861.2	10
960.4	961.4	962.3	963.2	964.1	964.9	11
996.1	997	997.9	998.8	999.6	1000	12
960.4	961.4	962.3	963.2	964.1	964.9	13
855.8	857	858.1	859.2	860.2	861.2	14
690.4	691.8	693.2	694.6	695.9	697.2	15
477.4	479.2	481	482.8	484.5	486.2	16
238.1	240.4	242.7	244.9	247.1	249.2	17
25.79	27.76	29.74	31.71	33.68	35.64	18
7492	7512	7532	7552	7570	7589	Ht

تابع الملحق(2):قيم الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) لمدينة اللاذقية عند زاوية ميل ( $22^\circ$ ) خلال شهر آب.

اليوم	25	26	27	28	29	30	31
التوقيت	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k
6	23.83	21.89	19.96	18.06	16.2	14.39	12.63
7	235.7	233.3	230.8	228.3	225.7	223.1	220.4
8	475.5	473.5	471.6	469.5	467.4	465.3	463.1
9	688.9	687.3	685.7	684	682.3	680.6	678.8
10	854.6	853.3	852	850.6	849.1	847.6	846.1
11	959.3	958.2	957	955.8	954.5	953.1	951.7
12	995.1	994	992.9	991.7	990.5	989.2	987.8
13	959.3	958.2	957	955.8	954.5	953.1	951.7
14	854.6	853.3	852	850.6	849.1	847.6	846.1
15	688.9	687.3	685.7	684	682.3	680.6	678.8
16	475.5	473.5	471.6	469.5	467.4	465.3	463.1
17	235.7	233.3	230.8	228.3	225.7	223.1	220.4
18	23.83	21.89	19.96	18.06	16.2	14.39	12.63
Ht	7471	7449	7427	7404	7381	7357	7333

الملحق(3):قيم الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) لمدينة اللاذقية عند زاوية ميل خط العرض ( $35.5^\circ$ ) خلال شهر آب.

6	5	4	3	2	1	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
37.19	38	38.78	39.54	40.27	40.98	6
234.9	235.5	236.2	236.8	237.4	238	7
464.3	464.5	464.6	464.7	464.8	464.9	8
672.8	672.5	672.2	671.9	671.6	671.2	9
836.3	835.7	835.1	834.5	833.8	833.1	10
940.1	939.3	938.5	937.7	936.8	935.9	11
975.7	974.8	973.9	973	972.1	971.1	12
940.1	939.3	938.5	937.7	936.8	935.9	13
836.3	835.7	835.1	834.5	833.8	833.1	14
672.8	672.5	672.2	671.9	671.6	671.2	15
464.3	464.5	464.6	464.7	464.8	464.9	16
234.9	235.5	236.2	236.8	237.4	238	17
37.19	38	38.78	39.54	40.27	40.98	18
7347	7346	7345	7343	7341	7339	Ht
12	11	10	9	8	7	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
31.83	32.79	33.72	34.63	35.51	36.36	6
230.1	231	231.8	232.6	233.4	234.1	7
462.8	463.2	463.4	463.7	463.9	464.1	8
674.1	673.9	673.8	673.6	673.3	673.1	9
839.6	839.1	838.6	838.1	837.5	836.9	10
944.6	944	943.2	942.5	941.7	940.9	11
980.6	979.8	979	978.2	977.4	976.6	12
944.6	944	943.2	942.5	941.7	940.9	13
839.6	839.1	838.6	838.1	837.5	836.9	14
674.1	673.9	673.8	673.6	673.3	673.1	15
462.8	463.2	463.4	463.7	463.9	464.1	16
230.1	231	231.8	232.6	233.4	234.1	17
31.83	32.79	33.72	34.63	35.51	36.36	18
7347	7348	7348	7348	7348	7348	Ht

تابع الملحق(3):قيم الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) لمدينة اللاذقية عند زاوية ميل خط العرض ( $35.5^\circ$ ) خلال شهر آب.

18	17	16	15	14	13	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
25.54	26.65	27.74	28.8	29.83	30.85	6
224.2	225.3	226.3	227.3	228.3	229.2	7
460.3	460.8	461.3	461.7	462.1	462.5	8
674.4	674.4	674.4	674.4	674.3	674.2	9
842	841.7	841.3	840.9	840.5	840.1	10
948.2	947.7	947.1	946.6	946	945.3	11
984.6	984	983.4	982.7	982	981.3	12
948.2	947.7	947.1	946.6	946	945.3	13
842	841.7	841.3	840.9	840.5	840.1	14
674.4	674.4	674.4	674.4	674.3	674.2	15
460.3	460.8	461.3	461.7	462.1	462.5	16
224.2	225.3	226.3	227.3	228.3	229.2	17
25.54	26.65	27.74	28.8	29.83	30.85	18
7334	7337	7340	7342	7344	7346	Ht
24	23	22	21	20	19	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
18.4	19.63	20.86	22.06	23.24	24.4	6
216.7	218.1	219.4	220.6	221.8	223	7
456.5	457.2	457.9	458.6	459.2	459.8	8
673.5	673.7	673.9	674.1	674.2	674.3	9
843	843	842.8	842.7	842.5	842.2	10
950.5	950.2	949.9	949.5	949.1	948.7	11
987.2	986.9	986.5	986.1	985.6	985.1	12
950.5	950.2	949.9	949.5	949.1	948.7	13
843	843	842.8	842.7	842.5	842.2	14
673.5	673.7	673.9	674.1	674.2	674.3	15
456.5	457.2	457.9	458.6	459.2	459.8	16
216.7	218.1	219.4	220.6	221.8	223	17
18.4	19.63	20.86	22.06	23.24	24.4	18
7304	7310	7316	7321	7326	7330	Ht

تابع الملحق (3): قيم الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) لمدينة اللاذقية عند زاوية ميل خط العرض ( $35.5^\circ$ ) خلال شهر آب

31	30	29	28	27	26	25	اليوم
Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	Eglob,k	التوقيت
9.605	10.84	12.09	13.35	14.62	15.89	17.15	6
205.8	207.5	209.2	210.8	212.3	213.8	215.3	7
450.1	451.2	452.2	453.1	454	454.9	455.7	8
670.4	671	671.5	672	672.4	672.8	673.2	9
842.3	842.5	842.7	842.9	843	843	843.1	10
951	951.1	951.1	951.1	951	950.9	950.7	11
988.2	988.2	988.2	988.1	987.9	987.7	987.5	12
951	951.1	951.1	951.1	951	950.9	950.7	13
842.3	842.5	842.7	842.9	843	843	843.1	14
670.4	671	671.5	672	672.4	672.8	673.2	15
450.1	451.2	452.2	453.1	454	454.9	455.7	16
205.8	207.5	209.2	210.8	212.3	213.8	215.3	17
9.605	10.84	12.09	13.35	14.62	15.89	17.15	18
7247	7257	7266	7275	7283	7290	7298	Ht



## المراجع العربية

- (1)- توفيق سفيان, فهر حياتي , عبد العزيز الذبحاني. المضخات الشمسية في اليمن, مجلة العلوم والتكنولوجيا, العام 2002 المجلد 7 العدد2.

## المراجع الأجنبية

- (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.

## الفهرس

### الفصل الأول

#### الطاقة الشمسية

- 1-1 المقدمة ..... 1
- 2-1 الجوانب الإيجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية ..... 2
- 3-1 أهمية الطاقة الشمسية ..... 3
- 4-1 استخدامات الطاقة الشمسية ..... 4
- 1-4-1 الاستخدامات الحرارية ..... 4
- 2-4-1 الاستخدامات الكهربائية ..... 4
- 5-1 بعض مشاكل استخدام الطاقة الشمسية ..... 5
- 6-1 الإشعاع الشمسي ..... 6
- 7-1 الزوايا الشمسية ..... 9
- 8-1 الإشعاع الشمسي على الأسطح الأفقية و المائلة ..... 13

### الفصل الثاني

#### توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية

- 1-2 التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ..... 17
- 3-2 مكونات الخلية الكهروضوئية ..... 19
- 4-2 طريقة عمل الخلية الكهروضوئية ..... 21
- 5-2 أنواع الخلايا الكهروضوئية ..... 23
- 1-5-2 الخلايا السليكونية ..... 23
- 2-5-2 خلايا الغاليوم أرسنايد ..... 25
- 3-5-2 خلايا الكوبرانديوم ديسلنايد ..... 26
- 4-5-2 خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe) ..... 26
- 6-2 الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروضوئية ..... 26
- 7-2 ربط الألواح الكهروضوئية على التسلسل ..... 28
- 8-2 ربط الألواح الشمسية على التفرع ..... 29

- 9-2 المولد الكهروشمسي ..... 30  
10-2 نقطة القدرة العظمى ..... 31

### الفصل الثالث

#### أنظمة الضخ الكهرو شمسية

- 1-3 مقارنة بين أنظمة ضخ المياه المختلفة..... 34  
2-3 تطبيقات الطاقة الكهروشمسية في ضخ المياه ..... 36  
3-3 أنواع أنظمة الضخ العاملة بالطاقة الشمسية ..... 38  
1-3-3- مضخة نابذة غاطسة متعددة المراحل ..... 38  
2-3-3- مضخة غاطسة مع محرك سطحي ..... 38  
3-3-3- المضخات الترددية ذات الإزاحة الموجبة ..... 39  
4-3-3- مجموعة المحرك والمضخة سطحية (عائمة) ..... 40  
5-3-3- مضخة الامتصاص السطحية ..... 41  
4-3 مكونات نظام الضخ الكهرو شمسي ..... 41  
5-3 حجم نظام الضخ الكهرو شمسي ..... 43

### الفصل الرابع

#### إجراء التجارب على مجموعة الضخ

- 1-4 حساب المضخة وصف الألواح الكهروشمسية ..... 47  
2-4 موقع التجربة ..... 50  
3-4 المنظومة المجرى عليها الدراسة ..... 51  
1-3-4 الألواح الكهروشمسية ..... 51  
2-3-4 المضخة ..... 51  
3-3-4 أجهزة القياس المستخدمة ..... 52  
4-3-4 خزان ماء ..... 52  
4-4 أسلوب أخذ القياسات ..... 52  
5-4 النتائج المأخوذة من القياسات ..... 54

الفصل الخامس  
الدراسة الاقتصادية

80	1-5 حسابات مجموعة الضخ الشمسية .....
82	2-5 حسابات مجموعة الضخ العاملة على الديزل .....
85	- مناقشة النتائج .....
87	- الاستنتاجات .....
88	- التوصيات .....
89	- الملحقات .....
96	- المراجع .....
98	- الفهرس .....