

## تأثير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية على عمل مضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية في الساحل السوري

الدكتور صلاح داوود\*  
علي حمودي\*\*

(تاريخ الإيداع 29 / 6 / 2014. قُبِلَ للنشر في 24 / 8 / 2014)

### □ ملخص □

يهدف البحث إلى دراسة تأثير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية على كمية الماء المتدفقة باليوم لمضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية، وتحديد الزاوية المثلى لميل هذه الألواح في الساحل السوري خلال أشهر الصيف الأربعة. بينت الدراسة أن تغيير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية من  $(25^\circ)$  إلى  $(35.5^\circ)$ ، لم يؤثر على منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي وتدفق المضخة خلال اليوم. لكن التأثير الحاصل هو انخفاض كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الكهروضوئية في اليوم، ما أدى إلى انخفاض الاستطاعة الهيدروليكية للمضخة، وبالتالي انخفاض كمية الماء المتدفقة في اليوم. كما بينت الدراسة أن كمية الماء المتدفقة متقاربة عند الزاويتين  $(25^\circ)$  و  $(22^\circ)$  لميل الألواح، مع أفضلية للزاوية  $(22^\circ)$ ، وانخفضت كمية الماء من شهر لآخر خلال الأشهر (حزيران، تموز، آب) بنسب لم تتجاوز  $(2.5\%)$ ، أما في شهر أيلول انخفضت حوالي  $(7.5\%)$ . و بقيت عند الزاوية  $(35.5^\circ)$  كمية الماء ثابتة تقريباً خلال الأشهر (حزيران، تموز، آب)، أما في شهر أيلول انخفضت حوالي  $(6\%)$ . وبينت الدراسة بأن كمية الماء المتدفقة انخفضت بنسب كبيرة عند الزاوية  $(35.5^\circ)$  بالمقارنة مع الزاويتين  $(25^\circ)$  و  $(22^\circ)$ ، فبلغت نسبة الانخفاض  $(7.5\%, 9\%, 12\%, 13\%)$  في الأشهر (حزيران، تموز، آب، أيلول) على التوالي.

الكلمات المفتاحية: ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية؛ المضخات الشمسية؛ أنظمة ضخ المياه الشمسية.

\* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية.  
\*\* مشرف على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-اللاذقية- سورية.

## Impact of the tilt angle of PV panels on a water pump operated by solar energy in the Syrian coast

Dr. Slaah Daowd\*  
Ali Hammoudi\*\*

(Received 29 / 6 / 2014. Accepted 24 / 8 / 2014)

### □ ABSTRACT □

This research aims to study the effect of the tilt angle of PV panels on the daily discharge a water pump powered by solar energy, and to determine the optimal tilt of these panels during summer months in the Syrian coast.

The results demonstrated that the change of the tilt angle of PV panels from (25°) to (35.5°) has no effect on the curve of the solar radiation intensity and flow rate. However, the resulting impact was represented by low amount of solar energy falling onto PV panels, resulting in a reduction in hydraulic energy of the pump and consequently low flow rate per day. The study showed that the amount of water flow rate at the two angles (25° and 22°) for the tilt of panels was close, with preference for the angle (22°). Reduction of water amount from one month to another during the months (June, July, August) didn't exceed (2.5%), while it was (7.5%) in September. At angle (35.5°), water amount was approximately constant during June, July and August, while it decreased by (6%) in September. Flowing water largely decreased at angle (35.5°) in comparison with the two angles (25° and 22°), so the reduction was (13, 12, 9 and 7.5%), respectively in June, July, August and September.

**Key words:** Pumping Water Using Solar Energy; Solar Pumps; Solar Water Pumping Systems.

---

\*Professor, Department of Mechanical Power Engineering; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Work Supervisor, Academic Affairs, Department of Mechanical Power Engineering; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

تعتبر الطاقة الشمسية أهم بدائل الطاقة الأحفورية لما تتمتع به من مزايا إيجابية مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى. وتعتبر سورية من البلدان التي تتميز بارتفاع شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المتر المربع حيث تصل إلى  $(4516 \text{Wh/m}^2)$  [1]، كما تتميز بطقس مشمس معظم أيام السنة حوالي (300 يوم)، ما يجعل استغلال الطاقة الشمسية فيها ذو أهمية كبيرة في ضخ المياه، خاصة في المناطق النائية التي لا تصلها شبكة الكهرباء العامة من أجل إمداد القرى بالماء وري الأراضي الزراعية وسقاية المواشي. ويتم ذلك باستخدام نوعين من أنظمة الضخ التي تعمل بالطاقة الشمسية حسب نوع التيار الكهربائي المستخدم:

• نظام الضخ الكهروشمسي المتناوب: تعمل المضخة فيه بالتيار المتناوب بعد تحويل التيار المستمر المتولد من الألواح الكهروشمسية إلى تيار متناوب [2].

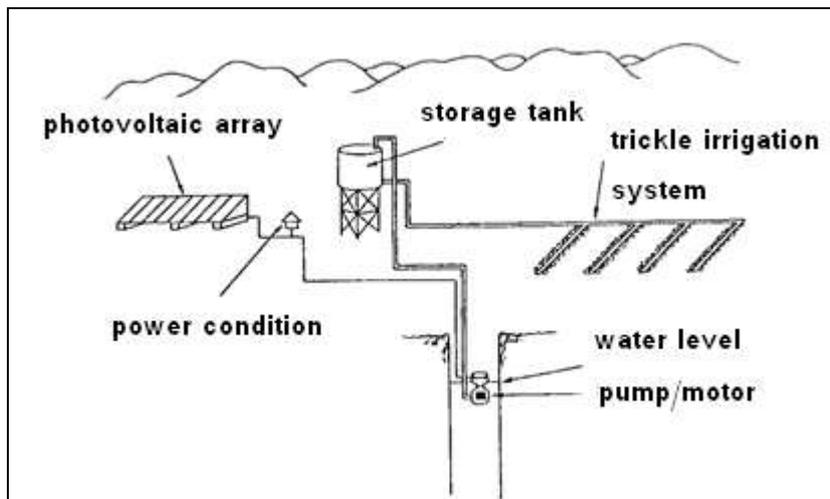
• نظام الضخ الكهروشمسي المستمر: تعمل المضخة فيه بالتيار المستمر بشكل مباشر [3].

يتألف نظام الضخ الكهروشمسي من الأجزاء الرئيسية التالية كما هو مبين في الشكل (1) [4]:

1- مصفوفة الألواح الكهروشمسية وملحقاتها photovoltaic array.

2- مجموعة المحرك والمضخة، ويشملان الأجزاء التي تحول الخرج الكهربائي للألواح الكهروشمسية إلى طاقة هيدروليكية في المضخة pump and motor.

3- الخزان ونظام التوزيع الذي يسوق الماء إلى نقاط الاستخدام المطلوبة water storage tank.



الشكل (1) مكونات نظام الضخ الكهروشمسي

**أهمية البحث وأهدافه:**

نظراً لموقع سورية الجغرافي، تشكل الأيام المشمسة معظم أيام العام. و نظراً لوجود أعداد كبيرة جداً من المضخات التي تقوم بضخ المياه لري المزروعات وإمداد القرى بالماء وسقاية المواشي، والتي تعمل بوقود الديزل أو بالتيار الكهربائي من الشبكة العامة، حيث يتم استهلاك ملايين اللترات من المازوت لتشغيل هذه المضخات، إضافة إلى التلوث الناتج عن احتراق هذه الكمية من الوقود. كان من الضروري دراسة الاستفادة من الطاقة الشمسية المجانية والمتوفرة والنظيفة لتشغيل مضخات مياه تعمل بالطاقة الشمسية مباشرة، دون الحاجة إلى محركات كهربائية أو محركات

ديزل لتشغيلها. وكان لابد من دراسة تأثير أحد العناصر الهامة في هذا النظام، وهو تأثير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية على عمل المضخة، وذلك بهدف تحديد الزاوية المثلى التي يجب تركيب الألواح الكهروضوئية وفقها، من أجل الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية الساقطة لضخ أكبر كمية ممكنة من الماء، في ظل انخفاض مردود الخلايا الكهروضوئية.

### طرائق البحث ومواده:

تحتسب الاستطاعة الهيدروليكية للمضخة الشمسية من المعادلة التالية [6,5]:

$$E_h = \frac{V \cdot H_d \cdot \rho \cdot g}{3.6 \times 10^6} = 0.002725(V \cdot H_d) \quad (1)$$

حيث  $E_h$ (KWh/day): الاستطاعة الهيدروليكية اللازمة في اليوم لضخ حجم معين من الماء مقداره  $V$ ( $m^3/day$ ) لارتفاع  $H_d$ (m).  $\rho = 1000$ (Kg/ $m^3$ ). الكتلة النوعية للماء.  $G = 9.81$ ( $m/s^2$ ): تسارع الجاذبية.

ويمكن حساب تدفق المضخة من المعادلة التالية [7]:

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

حيث:  $Q$ (lit/min): تدفق المضخة.  $L$ (lit/day): عدد اللترات المطلوبة من الماء في اليوم.  $\sum h$ : عدد ساعات الذروة للشمس في اليوم.

وبالتالي: تكون الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم وفق العلاقة التالية [6]:

$$E_{el} = \frac{E_h + E_{friction}}{\eta_{MP}} \quad (3)$$

حيث:  $E_{el}$ (KWh/day): الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم.  $\eta_{MP}$ : مردود المضخة.

$E_{friction}$ (KWh/day): الاستطاعة الهيدروليكية المفقودة بفعل الاحتكاك في الأنابيب.

ويكون سطح الألواح الكهروضوئية اللازمة:

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

حيث:  $A_{PV}$ ( $m^2$ ): سطح الألواح الكهروضوئية.  $G_d$ (KWh/ $m^2 \cdot day$ ): كمية الإشعاع الشمسي الساقط في

اليوم.  $\eta_{PV}$ : مردود الألواح الكهروضوئية.  $\eta$ : عامل عدم تماثل الألواح الكهروضوئية.

ويحسب مردود اللوح الكهروضوئي عند نقطة العمل من المعادلة التالية [8]:

$$\xi_{pv} = \frac{V_{sg} \times I_{sg}}{G \times A_{pv}} \quad (5)$$

حيث:  $I_{sg}$ (A),  $V_{sg}$ (V): تيار وجهد اللوح الكهروضوئي عند نقطة العمل.  $A_{PV}$ ( $m^2$ ): سطح اللوح

الكهروضوئي.  $G$ (W/ $m^2$ ): شدة الإشعاع الشمسي الساقط.

أجري البحث في مدينة اللاذقية خلال عام (2010)، و تم حساب قيم شدة الإشعاع الشمسي بالاعتماد على ASHRAE (الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء) [9]، وذلك لعدم توفر جهاز لقياس شدة الإشعاع الشمسي.

حيث تعطى شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض في يوم صحو بالعلاقة التالية:

$$E_{dir.s} = A \cdot e^{-\frac{B}{\sin \beta}} = A \cdot e^{-Bm} \quad (6)$$

$E_{dir.s}$  (W/m<sup>2</sup>): الإشعاع الشمسي المباشر عند سقوط حر.  $\beta$ : زاوية ارتفاع الشمس.  $m$ : كثافة الهواء.  
 $A$  (W/m<sup>2</sup>): الإشعاع الشمسي النظري عند كثافة هواء تساوي الصفر.  $B$ : معامل توهين الغلاف الجوي.  
 وبالتالي: فإن الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي يحسب من العلاقة التالية:

$$E_{dir.h} = E_{dir.s} \sin \beta \quad (7)$$

تغير قيم  $A, B$  يتوقف على التغير السنوي للمسافة بين الأرض والشمس، والتغير الفصلي في محتوى الغلاف الجوي من الرطوبة ومكونات أخرى. يعطي الجدول (1) قيم  $A, B, C$  لليوم الحادي والعشرين من كل شهر [9]. استناداً إلى كتاب ASHRAE يتم حساب الإشعاع المبدد من السماء والساقط على سطح اختياري على الأرض كنسبة من الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل حر كما يلي:

$$E_{dfu} = C \cdot E_{dir.s} \cdot F_{ss} \quad (8)$$

$E_{dfu}$  (W/m<sup>2</sup>): الإشعاع الشمسي المنتشر.  $C$ : معامل تشتيت الإشعاع الشمسي يؤخذ من الجدول (1)  
 $F_{ss}$  المعامل الزاوي بين السطح والسماء، حيث:  $F_{ss} = 0.5(1 + \cos \gamma)$  لسطح معين يميل بزاوية ( $\gamma$ ).  
 $F_{ss} = 0.5$  للسطح العمودي.  $F_{ss} = 1.0$  للسطح الأفقي.  
 وبالتالي الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي هو مجموع الأشعة المباشرة والمبددة:

$$E_{globh} = E_{dir.h} + E_{dfu} \quad (9)$$

يبين الشكل (2) الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على الأسطح الأفقية والمائلة، وبالتالي لحساب شدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل نستخدم العلاقات الرياضية التالية:

$$\cos \theta_Z = \frac{E_{dir.h}}{E_{dir.s}} \quad (10)$$

$$\cos \theta_K = \frac{E_{dir.k}}{E_{dir.s}} \quad (11)$$

$E_{dir.k}$  [W/m<sup>2</sup>]: الإشعاع العمودي على السطح المائل.

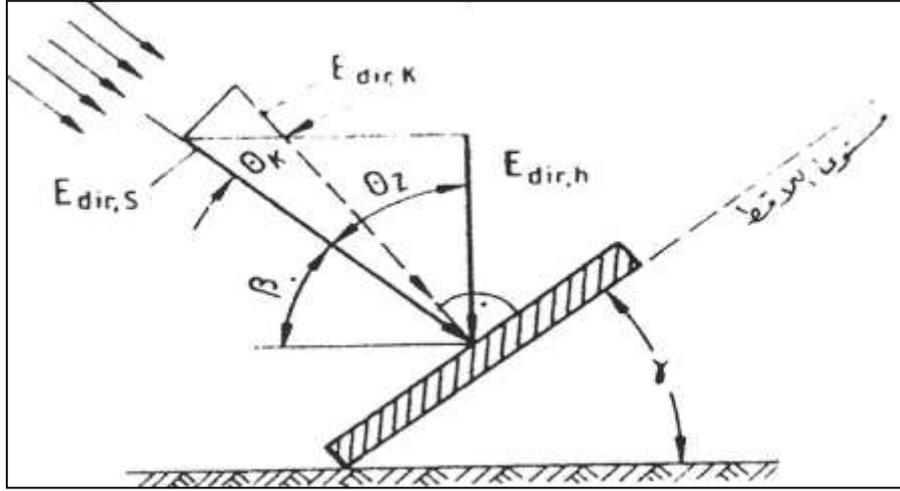
$$R_B = \frac{E_{dir.k}}{E_{dir.h}} = \frac{\cos \theta_K}{\cos \theta_Z} \quad (12)$$

$R_B$ : معامل ميل الإشعاع المباشر.

وبالتالي تحسب شدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الأسطح المائلة بالعلاقة التالية:

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

: $\rho_g$  معامل انعكاس الأرض للأشعة المباشرة والمبددة وفي الحسابات الحالية تؤخذ ثابتة.



الشكل (2) الإشعاع المباشر الساقط على الأسطح الأفقية والمائلة

الجدول (1) 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

### مواصفات المنظومة المجرى عليها الدراسة:

- 1- الألواح الكهروضوئية: تم استخدام لوحين كهروضوئيين، الأول: باستطاعة عظمى (120W) والثاني: باستطاعة عظمى (60W) وكلاهما بجهد (17.5v DC) وموصلان على التسلسل.
- 2- المضخة: وهي بالمواصفات القياسية التالية:
  - الاستطاعة (100W). - الجهد (24V DC). - التيار الأعظمي (4.0A).
  - ارتفاع الضخ الأعظمي (70m). وهي مضخة غاطسة ماركة (Shurflo 9325).
- 3- أجهزة القياس المستخدمة: -جهاز لقياس الفولت. - جهاز لقياس شدة التيار. - جهاز لقياس ضغط الماء. - اسطوانة مدرجة لقياس كمية الماء بالدقيقة. - عداد ماء لقياس كمية الماء المتدفق خلال اليوم.
- 4- خزان ماء: سعة خزان الماء (1000liters).



الشكل (3) يوضح موقع التجربة وتجهيزاتها

تم أخذ قيم شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند زاويتي ميل للألواح الكهروضوئية ( $25^\circ$ ,  $35.5^\circ$ ) باتجاه الجنوب، بمعدل كل ربع ساعة في ساعات الصباح والمساء، وكل نصف ساعة في باقي الأوقات، ذلك لأن تغير شدة الإشعاع الشمسي في الصباح والمساء يكون كبيراً، (تمثل الزاوية  $35.5^\circ$  درجة خط العرض لموقع التجربة). كما تم قياس كمية الماء المتدفق خلال ساعات النهار باستخدام عداد ماء، عند ثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضوئية ( $22^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35.5^\circ$ ) وذلك خلال أشهر الصيف الأربعة. أجريت القياسات عند ارتفاعين للضخ هما (10m , 20m)، بهدف دراسة أثر ارتفاع الضخ على معدل تغير تدفق الماء بالنسبة لشدة الإشعاع الشمسي الساقط خلال فترة عمل المضخة.

تمت الاستعاضة عن وضع المضخة في البئر بوضعها في خزان ماء، وضغطها إلى ضغط يعادل الارتفاع المطلوب عن طريق استخدام سكر مع جهاز لقياس ضغط الماء كما في الشكل (4).



الشكل (4) يوضح سكر لضغط المضخة مع جهاز لقياس ضغط الماء

### النتائج والمناقشة:

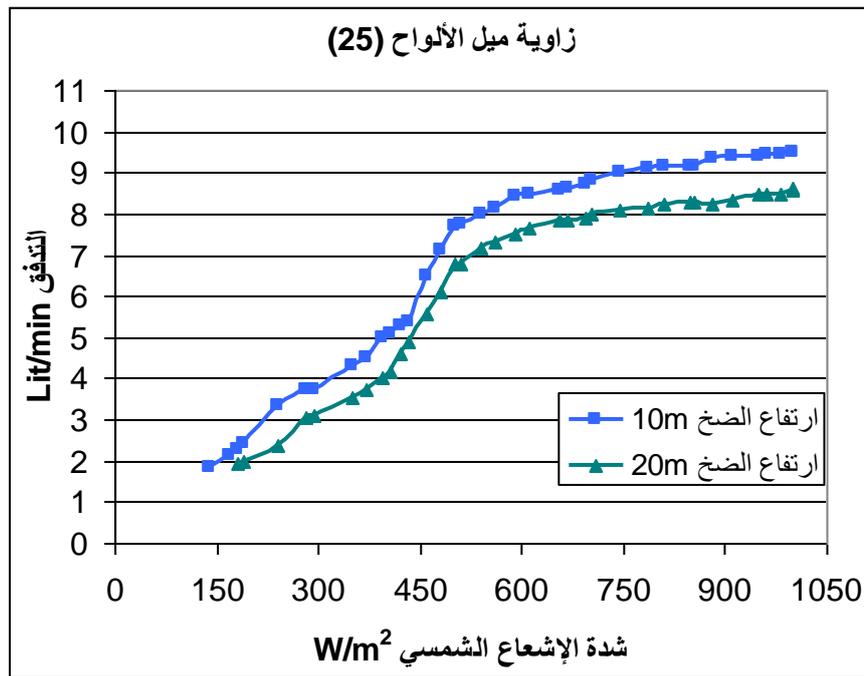
يبين الجدول (2) و الجدول (3) والشكل (5) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (10m , 20m) و زاوية ميل (25°) للألواح الكهروضمسية.

الجدول (2) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (10m) و زاوية ميل (25°)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )						
9.35	882	8.5	610	5.1	405	1.85	140
9.4	910	8.6	655	5.3	420	2.15	169.9
9.41	949.1	8.62	667.3	5.4	434.1	2.3	180
9.43	960.7	8.7	693.8	6.5	460	2.4	190
9.46	981.7	8.8	703	7.1	480.7	3.35	240
9.5	999.4	9	745	7.7	502.5	3.72	282.5
9.48	1001	9.12	787	7.75	510.1	3.75	294.5
		9.14	810	8	540	4.31	350
		9.15	847.3	8.15	560	4.5	370
		9.15	853.6	8.45	590	5	395

الجدول (3) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (20m) و زاوية ميل (25°)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )						
8.29	853.6	7.66	610	4.6	420	1.95	180
8.25	882	7.85	655	4.9	434.1	2	190
8.33	910	7.86	667.3	5.57	460	2.36	240
8.47	949.1	7.9	693.8	6.1	480.7	3.06	282.5
8.5	960.7	8	703	6.8	502.5	3.1	294.5
8.5	981.7	8.1	745	6.8	510.1	3.55	350
8.6	999.4	8.15	787	7.17	540	3.75	370
8.63	1001	8.22	810	7.31	560	4	395
		8.28	847.3	7.52	590	4.18	405



الشكل (5) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (10m , 20m) و زاوية ميل (25°)

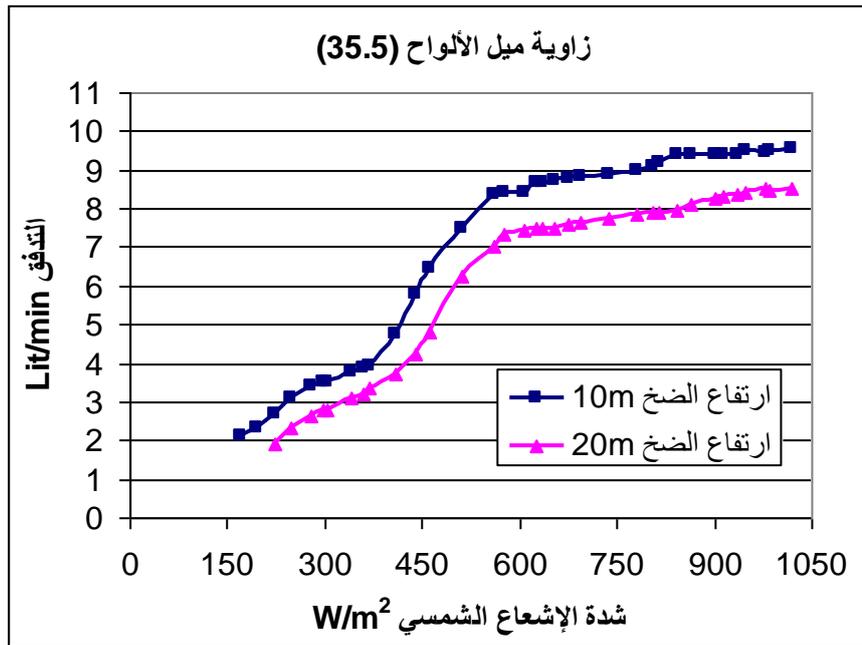
يبين الجدول (4) والجدول (5) والشكل (6) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (10m , 20m) و زاوية ميل (35.5°) للألواح الكهروضوئية.

الجدول (4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (10m) و زاوية ميل (35.5°)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )						
9.38	863.6	8.66	634.3	3.9	370	2.13	171.6
9.4	901.9	8.72	653.6	4.76	410	2.3	195
9.4	912.7	8.8	674.3	5.77	441.1	2.71	221.9
9.42	934.9	8.85	695	6.44	460.4	3.1	247.9
9.48	949.1	8.9	737	7.5	512	3.4	280
9.46	979.7	8.98	782	8.36	562	3.5	298
9.51	985.6	9.1	805.4	8.4	575	3.51	303
9.55	1019	9.2	814	8.42	607	3.75	340
		9.39	842.5	8.66	625	3.85	358

الجدول (5) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (20m) و زاوية ميل (35.5°)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )						
8.32	912.7	7.6	674.3	4.24	441.1	1.9	221.9
8.35	934.9	7.65	695	4.79	460.4	2.32	247.9
8.4	949.1	7.75	737	6.23	512	2.63	280
8.5	979.7	7.84	782	7	562	2.78	298
8.45	985.6	7.9	805.4	7.35	575	2.8	303
8.51	1019	7.9	814	7.45	607	3.12	340
		7.96	842.5	7.47	625	3.21	358
		8.1	863.6	7.5	634.3	3.35	370
		8.25	901.9	7.5	653.6	3.72	410



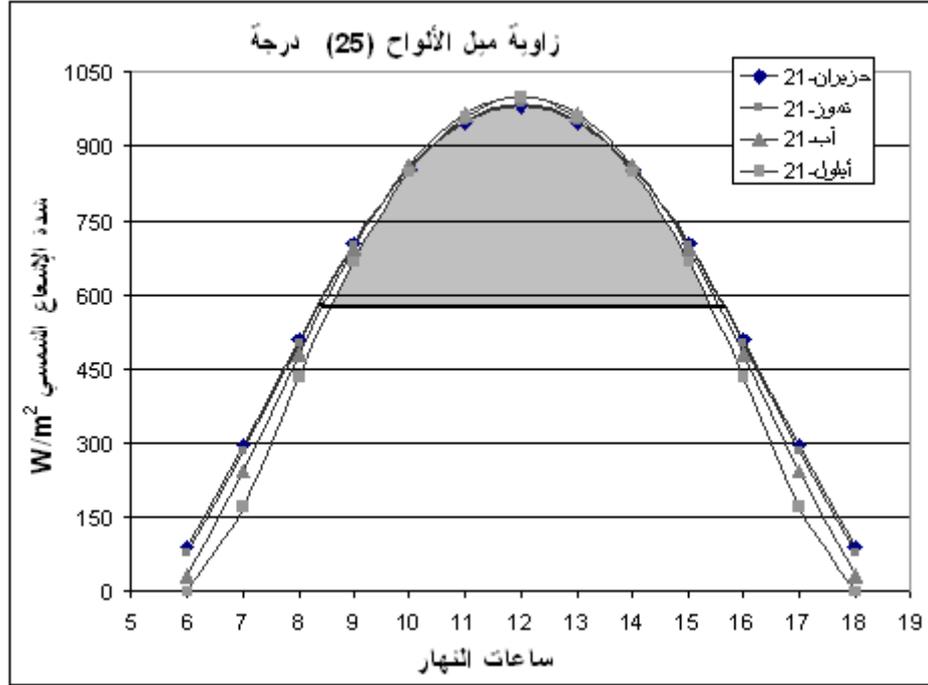
الشكل (6) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء عند الضخ لارتفاع (10m , 20m) و زاوية ميل (35.5°)

يبين الجدول (6) والشكل (7) تغيرات شدة الإشعاع الشمسي الساقط خلال ساعات النهار لليوم (21) من أشهر الصيف الأربعة (حزيران - تموز - آب - أيلول) عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (25°).

الجدول (6) تغيرات شدة الإشعاع الشمسي الساقط خلال ساعات النهار

شدة الإشعاع الشمسي W/m <sup>2</sup> عند زاوية ميل (35.5°)				شدة الإشعاع الشمسي W/m <sup>2</sup> عند زاوية ميل (25°)				ساعات النهار
أيلول	آب	تموز	حزيران	أيلول	آب	تموز	حزيران	
21	21	21	21	21	21	21	21	6
0	23.27	50.65	57.46	0	31.45	76.71	91.15	7
171.6	221.9	243.1	247.9	169.9	242.4	282.5	294.5	8
441.1	459.2	460.8	460.4	434.1	480.7	502.9	510.1	9
679.4	674.3	658.6	653.6	667.3	693.8	700.2	703	10
863.6	842.5	814	805.4	847.3	859.7	854.2	853.6	11
979.7	949.1	912.7	901.9	960.7	964.7	951.7	949.1	12
1019	985.6	946.5	934.9	999.4	1001	985.1	981.7	13
979.7	949.1	912.7	901.9	960.7	964.7	951.7	949.1	14
863.6	842.5	814	805.4	847.3	859.7	854.2	853.6	15
679.4	674.3	658.6	653.6	667.3	693.8	700.2	703	

441.1	459.2	460.8	460.4	434.1	480.7	502.9	510.1	16
171.6	221.9	243.1	247.9	169.9	242.4	282.5	294.5	17
0	23.27	50.65	57.46	0	31.45	76.71	91.15	18

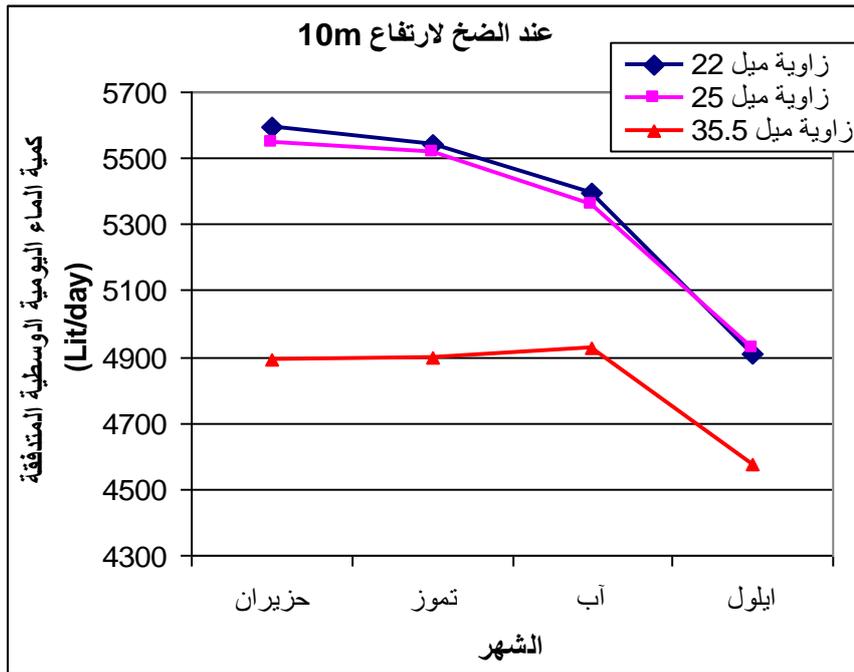


الشكل (7) تغيرات شدة الإشعاع الشمسي الساقط خلال ساعات النهار

يمثل الجزء المظلل باللون الرمادي كمية الطاقة الشمسية الضائعة خلال اليوم عند زاوية ميل الألواح الكهروضوئية (25°)، والتي تصل قيمتها حوالي (30%). وكذلك الحال عند زاوية الميل (35.5°).  
يبين الجدول (7) والشكل (8) تغيرات كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة مقدرة (باللتر) - (وهي المتوسط الحسابي لكمية الماء اليومية المتدفقة خلال عدد معين من الأيام) - خلال كل شهر من أشهر الصيف عند الضخ لارتفاع (10m) وثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضوئية (22°, 25°, 35.5°).

الجدول (7) تغيرات كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة مقدرة (باللتر) خلال أشهر الصيف عند الضخ لارتفاع (10m) وثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضوئية

زاوية الميل	زاوية الميل	زاوية الميل	الزاوية الشهر
35.5°	25°	22°	
4889.8	5550	5594.4	حزيران
4896.6	5518.2	5539.2	تموز
4924.8	5359.2	5395.2	آب
4573.2	4926	4908	أيلول

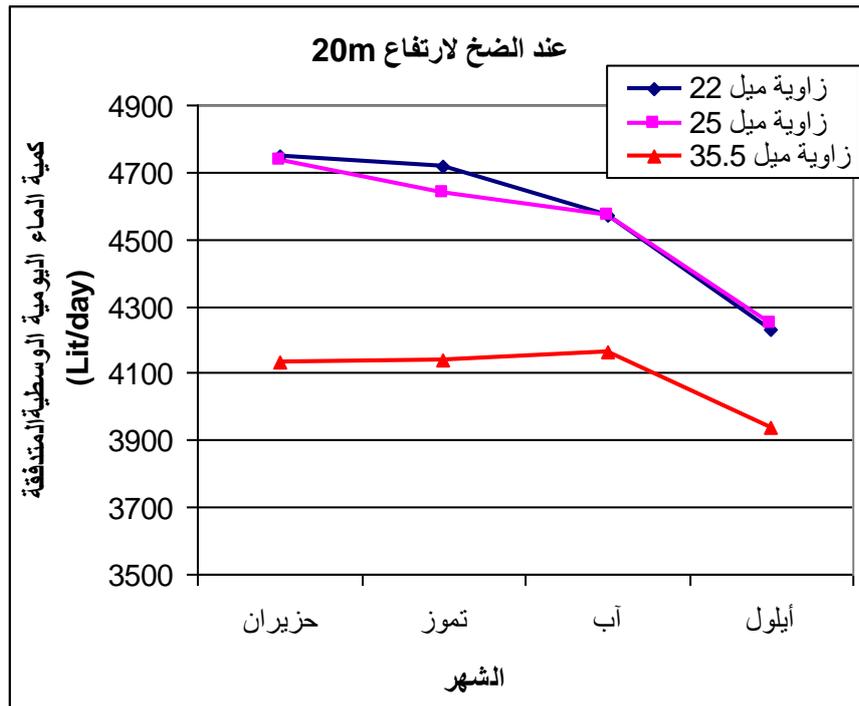


الشكل (8) تغيرات كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة مقدرة (باللتر) خلال أشهر الصيف عند الضخ لارتفاع (10m) وثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضمسية

يبين الجدول (8) والشكل (9) تغيرات كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة مقدرة (باللتر) خلال أشهر الصيف عند الضخ لارتفاع (20m) وثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضمسية ( $22^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35.5^\circ$ ).

الجدول (8) تغيرات كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة مقدرة (باللتر) خلال أشهر الصيف عند الضخ لارتفاع (20m) وثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضمسية

زاوية الميل	زاوية الميل	زاوية الميل	الزاوية
$35.5^\circ$	$25^\circ$	$22^\circ$	الشهر
4135.6	4738.2	4748.4	حزيران
4141.2	4640.4	4718.4	تموز
4164	4573.4	4571.2	آب
3939.6	4249.8	4227.8	أيلول

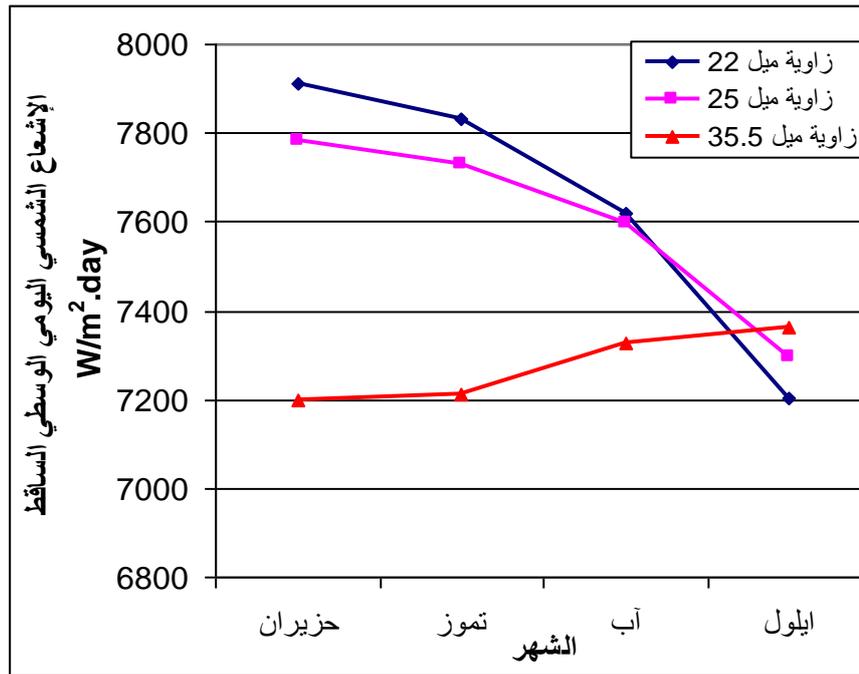


الشكل (9) تغيرات كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة مقدرة (بالتر) خلال أشهر الصيف عند الضخ لارتفاع (20m) وثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضمسية

يبين الجدول (9) والشكل (10) قيم الإشعاع اليومي الوسطي الساقط ( $W/m^2.day$ ) خلال أشهر الصيف عند ثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضمسية.

الجدول (9) قيم الإشعاع الشمسي اليومي الوسطي ( $W/m^2.day$ ) خلال أشهر الصيف عند ثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضمسية

زاوية الميل	زاوية الميل	زاوية الميل	الزاوية
35.5°	25°	22°	الشهر
7197	7781	7910	حزيران
7212	7729	7833	تموز
7326	7597	7620	آب
7364	7295	7202	أيلول



الشكل (10) قيم الإشعاع الشمسي اليومي الوسطي (W/m<sup>2</sup>.day) خلال أشهر الصيف عند ثلاث زوايا ميل للألواح الكهروضوئية

نلاحظ من الشكل (10) انخفاض كمية الطاقة الشمسية الساقطة بشكل ملحوظ خلال الأشهر (حزيران- تموز- آب) عند زاوية الميل (35.5°)، بينما تجاوزت قيمتها في شهر أيلول باقي الأشهر مقارنة بباقي الزوايا. بدراسة العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء المبينة في الجداول (2) و(3) و(4) و(5) والشكلين (5) و(6)، نجد أن عمل المضخة خلال اليوم يمر بمرحلتين، وذلك عند زاويتي ميل الألواح الكهروضوئية (25°) و (35.5°). المرحلة الأولى: وهي المرحلة التي تكون فيها شدة الإشعاع الشمسي الساقط أقل من (550W/m<sup>2</sup>) تقريباً، والمرحلة الثانية: تكون فيها شدة الإشعاع الشمسي الساقط أكبر من (550W/m<sup>2</sup>). وبالتالي: تعبر المرحلة الأولى عن ساعتين ونصف صباحاً وساعتين ونصف مساءً تقريباً. وتعبر المرحلة الثانية عن باقي ساعات النهار وهي ساعات الذروة للشمس في اليوم، وتمثل هذه المرحلة فترة استقرار عمل المضخة. بالإضافة لذلك: في المرحلة الأولى تبدأ المضخة بالإقلاع عند الضخ لارتفاع (10m) عند قيم لشدة الإشعاع الشمسي أقل منها عند الضخ لارتفاع (20m)، ويعود السبب في ذلك: لأن المضخة تحتاج عند الضخ لارتفاع (20m) لتيار إقلاع أكبر من تيار الإقلاع عند الضخ لارتفاع (10m). وبالتالي يجب زيادة الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الكهروضوئية. وهذا له دور في تحديد كمية الماء المتدفقة خلال اليوم.

كما أن معدل زيادة التدفق بالنسبة لشدة الإشعاع الشمسي الساقط في المرحلة الأولى أكبر بكثير منه في المرحلة الثانية، وذلك عند الضخ للارتفاعين (10m) و(20m). ويعبر عن هذا المعدل بميل منحنى العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق الماء (X,Y). فعند زاوية ميل الألواح الكهروضوئية (25°) نجد:

في المرحلة الأولى:

- عند الضخ لارتفاع (10m):

$$X_1 = \frac{(8-1.85)}{(540-140)} \times 100 = 2.05 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (14)$$

- عند الضخ لارتفاع (20m):

$$Y_1 = \frac{(7.17-1.95)}{(540-180)} \times 100 = 1.45 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (15)$$

في المرحلة الثانية:

- عند الضخ لارتفاع (10m):

$$X_2 = \frac{(9.48-8)}{(1001-540)} \times 100 = 0.32 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (16)$$

- عند الضخ لارتفاع (20m):

$$Y_2 = \frac{(8.63-7.17)}{(1001-540)} \times 100 = 0.31 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (17)$$

وبصورة مشابهة عند زاوية ميل الألواح الكهروضوئية (35.5°) نجد:

في المرحلة الأولى:

$$X_1 = 1.6 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (18) \quad \text{- عند الضخ لارتفاع (10m):}$$

$$Y_1 = 1.5 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (19) \quad \text{- عند الضخ لارتفاع (20m):}$$

في المرحلة الثانية:

$$X_2 = 0.26 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (20) \quad \text{- عند الضخ لارتفاع (10m):}$$

$$Y_2 = 0.33 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (21) \quad \text{- عند الضخ لارتفاع (20m):}$$

نلاحظ في المرحلة الثانية، أنه على الرغم من ارتفاع شدة الإشعاع الشمسي الساقط، فإن معدل زيادة التدفق بالنسبة لشدة الإشعاع الشمسي الساقط ينخفض بشكل كبير عن المرحلة الأولى. وهذا يؤدي إلى ضياع جزء من الطاقة الشمسية الساقطة، تصل قيمة هذا الضياع في أيام الصحو حوالي (30%) كما في الشكل (7). ونلاحظ أيضاً في المرحلة الأولى، بأن معدل زيادة التدفق بالنسبة لشدة الإشعاع الشمسي الساقط ينخفض قليلاً عند الضخ لارتفاع (20m)، مقارنة بما هو عليه عند الضخ لارتفاع (10m). بينما يبقى ثابتاً تقريباً في المرحلة الثانية، وذلك عند زاويتي ميل الألواح الكهروضوئية (25°, 35.5°). لأن المضخة تحتاج لتيار كهربائي أكبر عند الضخ لارتفاع (20m)، وهذا لا يمكن تحقيقه في المرحلة الأولى من عمل المضخة، لأن الطاقة الكهربائية المتولدة من الألواح الكهروضوئية غير كافية لذلك.

وبالتالي يمكن القول: إن تغيير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية من (25°) إلى (35.5°) لم يؤثر بشكل يذكر على منحنى علاقة شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق المضخة، لكن التأثير الذي حدث هو انخفاض كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الكهروضوئية خلال اليوم، وهذا أدى إلى انخفاض الاستطاعة الهيدروليكية للمضخة في اليوم، وبالتالي انخفاض كمية الماء المتدفقة خلال اليوم. وللتعويض عن هذا الانخفاض في الطاقة الشمسية يجب زيادة سطح الألواح الكهروضوئية، ما يؤدي إلى زيادة كلفة نظام الضخ الكهروضوئية.

نجد من الجدولين (7) و(8) والشكلين (8) و(9): بأنه عند زاويتي ميل الألواح الكهروضوئية ( $25^\circ$ ) و( $22^\circ$ )، تكون كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة خلال كل شهر من أشهر الصيف الأربعة متقاربة، مع أفضلية للزاوية ( $22^\circ$ ). بالإضافة إلى تناقص هذه الكمية من شهر لآخر بنسب صغيرة لم تتجاوز ( $2.5\%$ ) (من حزيران حتى آب)، أما في شهر أيلول فقد انخفضت هذه الكمية وسطياً حوالي ( $7.5\%$ )، وذلك عند ارتفاعي الضخ ( $10\text{m}$ ) و( $20\text{m}$ ). أما عند الزاوية ( $35.5^\circ$ )، بقيت كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة ثابتة تقريباً من شهر حزيران حتى شهر آب، وفي شهر أيلول انخفضت هذه الكمية حوالي ( $6\%$ )، وذلك عند ارتفاعي الضخ ( $10\text{m}$ ) و( $20\text{m}$ ). بالإضافة لذلك: عند الزاوية ( $35.5^\circ$ ) وخلال الأشهر الأربعة، انخفضت كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة بشكل كبير مقارنة بالزاويتين ( $25^\circ$ ) و( $22^\circ$ )، وذلك عند ارتفاعي الضخ ( $10\text{m}$ ) و( $20\text{m}$ ). ففي شهر (حزيران) انخفضت هذه الكمية بنسبة ( $13\%$ )، وفي (تموز) بنسبة ( $12\%$ )، وفي (آب) بنسبة ( $9\%$ )، وفي (أيلول) بنسبة ( $7.5\%$ ). لكن بالمقابل نسب انخفاض كمية الطاقة الشمسية اليومية الوسطية الساقطة، أقل من نسب انخفاض كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة في الأشهر الثلاث (حزيران - تموز - آب)، فبلغت على التوالي ( $7.5\%$ ،  $6.7\%$ ،  $3.6\%$ ). والسبب في ذلك هو انخفاض شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح في ساعات الصباح والمساء، وبالتالي تأخر المضخة بالإقلاع صباحاً وتوقفها عن العمل باكراً في المساء، وهذا أدى إلى انزياح فترة المرحلة الأولى في عمل المضخة على حساب تقليص فترة المرحلة الثانية بمقدار ساعة ونصف تقريباً خلال اليوم، ما أدى إلى انخفاض كمية الماء المتدفقة خلال اليوم بنسبة أكبر من نسبة انخفاض كمية الطاقة الشمسية. أما في شهر أيلول بالرغم من أن كمية الطاقة الشمسية اليومية الوسطية الساقطة أكبر مما هي في الأشهر الثلاث (حزيران - تموز - آب)، فإن كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة أصغر مقارنة بالأشهر الثلاث، وسبب ذلك هو انخفاض شدة الإشعاع الشمسي الساقط في ساعات الصباح والمساء أو انعدامها بسبب تأخر شروق الشمس صباحاً وغياها باكراً في المساء، وهذا أدى إلى تقليص فترة المرحلة الأولى في عمل المضخة خلال اليوم إلى أكثر من النصف، وبقاء فترة المرحلة الثانية ثابتة تقريباً والتي يضيع فيها جزء كبير من الطاقة الشمسية الساقطة خلال اليوم كما بينا سابقاً.

وبالتالي يمكن القول: تؤثر زاوية ميل الألواح الكهروضوئية بشكل متفاوت على كمية الماء المتدفقة خلال أشهر الصيف الأربعة، فوجدنا الزاوية ( $22^\circ$ ) أفضل زاوية ميل للألواح الكهروضوئية في الأشهر الثلاث (حزيران-تموز-آب)، والزاوية ( $25^\circ$ ) أفضل زاوية في شهر أيلول. لذلك عند تصميم نظام ضخ الماء بالطاقة الشمسية، يجب تحديد الفترة الزمنية التي سيتم استخدامه عندها من أجل تحديد زاوية ميل الألواح الكهروضوئية بشكل دقيق، وهذا يساعد في التحديد الدقيق لمواصفات المضخة اللازمة ولسطح الألواح الكهروضوئية، وبالتالي تخفيض كلفة نظام الضخ الكهروضوئي.

### الاستنتاجات والتوصيات:

1- إن تغيير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية من ( $25^\circ$ ) إلى زاوية خط العرض ( $35.5^\circ$ ) لم يؤثر على علاقة شدة الإشعاع الشمسي الساقط وتدفق المضخة، لكن أدى إلى انخفاض كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الكهروضوئية خلال اليوم، وهذا أدى إلى انخفاض الاستطاعة الهيدروليكية للمضخة في اليوم، وبالتالي انخفاض كمية الماء المتدفقة خلال اليوم.

- 2- يجب زيادة سطح الألواح الكهروضوئية للتعويض عن انخفاض كمية الطاقة الشمسية الساقطة الناتج عن تغيير زاوية ميل الألواح إلى زاوية خط العرض ( $35.5^\circ$ ) ، وهذا يؤدي إلى زيادة كلفة نظام الضخ الكهروضوئي.
- 3- تؤثر زاوية ميل الألواح الكهروضوئية بشكل متفاوت على كمية الماء المتدفقة خلال أشهر الصيف الأربعة، فنتبين بأن الزاوية ( $22^\circ$ ) أفضل زاوية ميل للألواح الكهروضوئية في الأشهر الثلاث (حزيران-تموز-آب) والزاوية ( $25^\circ$ ) أفضل زاوية في شهر أيلول.
- 4- تتخفص كمية الماء اليومية الوسطية المتدفقة بشكل كبير عند الزاوية ( $35.5^\circ$ ) مقارنة بالزاويتين ( $25^\circ$ ) و( $22^\circ$ )، حيث تراوحت نسبة الانخفاض بين ( $7.5\%$ ) و ( $13\%$ ) خلال أشهر الصيف الأربعة.
- 5- يجب تغيير زاوية ميل الألواح الكهروضوئية وعدم إبقائها ثابتة خلال أشهر الصيف للحصول على أكبر كمية ممكنة من الماء.
- 6- عند تصميم نظام ضخ الماء بالطاقة الشمسية يجب تحديد الفترة الزمنية التي سيتم استخدامه عندها من أجل تحديد زاوية ميل الألواح الكهروضوئية بشكل دقيق، وهذا يساعد في التحديد الدقيق لمواصفات المضخة اللازمة و الألواح الكهروضوئية، وبالتالي تخفيض كلفة نظام الضخ الكهروضوئي.
- نوصي باستخدام مدخرات لتخزين الطاقة الشمسية الضائعة خلال اليوم، واستخدامها للضخ ليلاً وتخزين المياه في خزانات احتياطية لاستخدامها في الأيام الغائمة، أو استخدامها في تطبيقات أخرى كالإنارة وغيرها.

## المراجع:

- 1- Scientific Studies and Research Center (SSRC).
- 2- STOKES, K. ; SAITO, P. ; HJELLE, C. *Guidelines for Livestock Water Pumping* . Sandia National Laboratories Report, SAND93-7043 , 1993.
- 3- BROWN, L. *using solar energy to pump livestock water* . British Columbia, Order No. 590.305-6 , 2006.
- 4- [http://www.practicalaction.org/docs/technical\\_information\\_service/solar\\_pv\\_waterpumps.pdf](http://www.practicalaction.org/docs/technical_information_service/solar_pv_waterpumps.pdf)
- 5- Groundwater, *Waterlines* . ITDG Publishing , Vol.20, No.2, 2001.
- 6- سفيان، توفيق. حياتي ، فهر . الذبحاني، عبد العزيز. المضخات الشمسية في اليمن، مجلة العلوم والتكنولوجيا، المجلد 7، العدد 2، العام 2002.
- 7- <http://www.nyserda.org/publications/solarpumpingguide.pdf>
- 8- HARSONO,T. ; SHINOBO,T. ; SLAMET,R. *Evaluation of performance of photovoltaic system with maximum power point (MPP)*. Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.75, 2003, 673-678.
- 9- ASHRAE,. (*America Society of Heating , Refrigeration and Air Conditioning Engineers*). ASHRAE Handbook of HVAC Applications,1995-1996.