

## دراسة تأثير شدة الإشعاع الشمسي على أداء مضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية في اللاذقية

الدكتور صلاح داوود\*

علي حمودي\*\*

(تاريخ الإيداع 21 / 1 / 2013. قُبل للنشر في 24 / 3 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

يهدف البحث إلى الاستفادة من الطاقة الشمسية كطاقة مجانية لتشغيل مضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية ودراسة تأثير شدة الإشعاع الشمسي على أداء هذه المضخة في ظروف الساحل السوري. تم شرح آلية تحديد استطاعة المضخة اللازمة والاستطاعة الكهربائية للألواح الكهروضوئية اللازمة لعمل المضخة ومساحة هذه الألواح.

كما تم دراسة تأثير شدة الإشعاع الشمسي على أداء مضخة المياه من خلال دراسة أثر ارتفاع الضخ وشدة الإشعاع الشمسي على معدل تدفق الماء في موقع التجربة. بينت الدراسة بأن تدفق المضخة يمر بمرحلتين مع ازدياد قيم الإشعاع الشمسي خلال اليوم. حيث تبين أن تزايد قيمة تدفق المضخة قبل قيمة  $(520W/m^2)$  للإشعاع الشمسي أكبر منها بعد  $(520W/m^2)$ ، وهذا أدى إلى ضياع جزء من الطاقة الشمسية الساقطة خلال اليوم خاصة في الأيام المشمسة، وبلغت قيمة هذا الضياع حوالي (27%) من كمية الطاقة الشمسية الكلية الساقطة في اليوم.

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

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

## Studying the effect of solar radiation intensity on the performance of water pump run by Solar Energy in Lattakia

Dr. Slaah Daowd\*

Ali Hammoudi\*\*

(Received 21 / 1 / 2013. Accepted 24 / 3 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

The research aims to take advantage of the solar energy, as a free energy, to run a water pump powered by solar energy, and to study the effect of the intensity of solar radiation on the performance of this pump in Syrian coast conditions. This research has explained the necessary mechanism for determining the capacity of the pump and the electric PV panels required for the work of the pump and the area of these panels. Studying the effect of intensity of solar radiation on the performance of water pump through studying the impact of pump altitude and solar radiation intensity on water flow range at experiment location. It demonstrated that the flow of the pump is going through two phases with the increasing values of solar radiation during the day. It was found that the increasing value of the flow of the pump before the value of ( $520\text{W}/\text{m}^2$ ) of Solar radiation was greater than that after ( $520\text{W}/\text{m}^2$ ) and this led to the loss of a part of the solar energy falling during the day, especially on sunny days, and the value of the loss was about (27%) of the total amount of solar energy falling per day.

**Keywords:** Solar Water Pumping Systems; Solar Pumps; Pumping Water Using Solar Energy.

---

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

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

## مقدمة:

تعتبر الطاقة الشمسية أهم بدائل الطاقة الأحفورية في الفترة القادمة لما تتمتع به هذه الطاقة من مزايا إيجابية مقارنة مع مصادر الطاقة الأخرى. وتعتبر سوريا من البلدان التي تتميز بارتفاع شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المتر المربع تصل إلى  $(4516 \text{Wh/m}^2)$  [1]، وبطقس مشمس معظم أيام السنة ما يجعل استغلال الطاقة الشمسية فيها ذا 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. ويتحقق ذلك باستخدام نوعين من أنظمة الضخ التي تعمل بالطاقة الشمسية حسب نوع التيار الكهربائي المستخدم:

1- نظام الضخ الكهروضوئي المتناوب: وفيه تعمل المضخة بالتيار المتناوب بعد تغيير التيار المستمر المتولد من الألواح الكهروضوئية إلى تيار متناوب. [2]

2- نظام الضخ الكهروضوئي المستمر: وفيه تعمل المضخة بالتيار المستمر بشكل مباشر. [3]

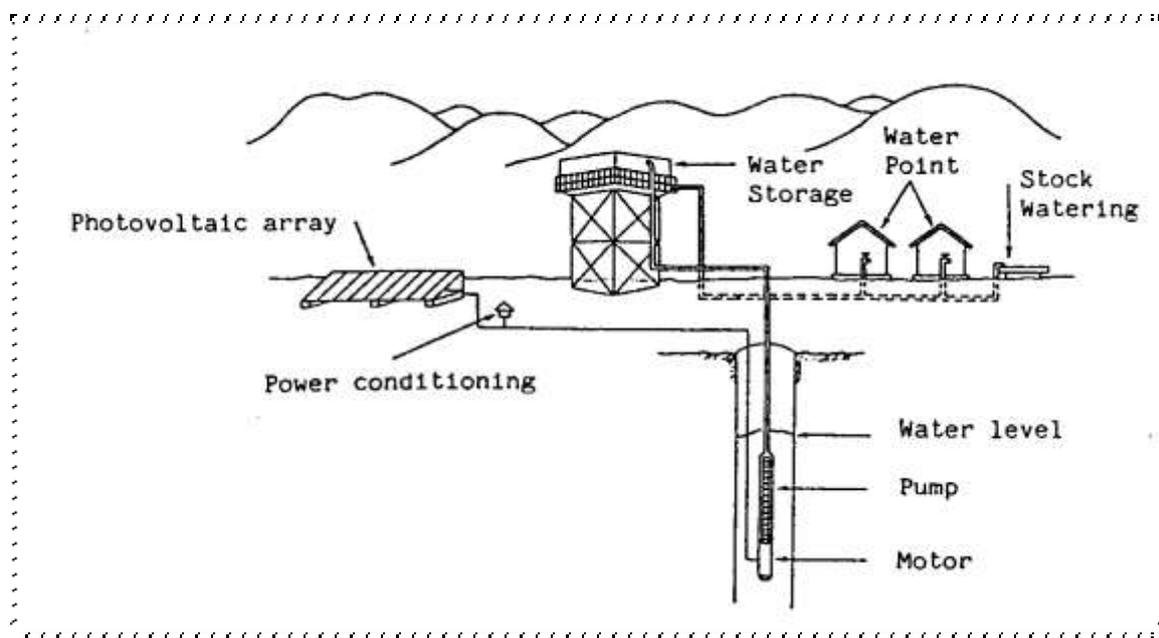
يتألف نظام الضخ الكهروضوئي من الأجزاء الرئيسية التالية كما هو مبين في الشكل (1):

1- مصفوفة الألواح الكهروضوئية وملحقاتها photovoltaic array.

2- مجموعة المحرك والمضخة، ويشملان الأجزاء التي تحول الخرج الكهربائي لمصفوفة الألواح

الكهروضوئية إلى طاقة هيدروليكية pump and motor.

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



الشكل (1) مكونات نظام الضخ الكهروضوئي

**أهمية البحث وأهدافه:**

نظراً للموقع الجغرافي للقطر العربي السوري، حيث تشكل الأيام المشمسة حوالي (300) يوماً من أيام العام. ونظراً لوجود مئات ألوف المضخات التي تقوم بضخ المياه لري المزروعات والحدائق ولسقاية المواشي والتي تعمل بوقود الديزل أو بالتيار الكهربائي من الشبكة العامة وبالتالي يتم استهلاك ملايين اللترات من المازوت لتشغيل هذه المضخات، إضافة إلى التلوث الضار الناتج عن احتراق هذه الكمية من الوقود. ومن الضروري دراسة الاستفادة من الطاقة الشمسية المجانية والمتوفرة والنظيفة لتشغيل مضخات مياه تعمل بالطاقة الشمسية مباشرة ودون الحاجة إلى محركات كهربائية أو محركات ديزل لتشغيلها. وكان لابد من دراسة تأثير أهم العناصر في هذا النظام وهو تأثير شدة الإشعاع الشمسي على أداء المضخة وذلك بهدف الاستفادة من الطاقة القصوى التي تؤمنها شدة الإشعاع الشمسي خاصة في ظل المردود المنخفض للخلايا الكهروضوئية.

**طرائق البحث ومواده:**

تحسب استطاعة المضخة الشمسية من المعادلة التالية: [4]

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

$$= 0.002725 (V \cdot H_d)$$

حيث  $E_h$ (kWh/day): الاستطاعة الهيدروليكية اللازمة في اليوم لضخ حجم معين من الماء مقداره

$V$ (m<sup>3</sup>/day) لارتفاع  $H_d$ (m).

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): الكتلة النوعية للماء.

$g$ (m/s<sup>2</sup>): تسارع الجاذبية.

وبالتالي: تكون الاستطاعة الكهربائية اللازمة للمضخة في اليوم وفق العلاقة التالية: [5]

$$E_{el} = \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (2)$$

حيث:

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

$\eta_{MP}$ : مردود المضخة.

ويكون سطح الألواح الكهروضوئية اللازمة:

$$A_{PV} = \frac{E_{el}}{G_d \cdot \eta_{PV} \cdot \eta} = \frac{E_h}{G_d \cdot \eta_{PV} \cdot \eta \cdot \eta_{MP}} \quad (3)$$

حيث

 $A_{pv}(m^2)$ : سطح الألواح الكهروضوئية. $G_d$ : كمية الإشعاع الشمسي الساقط في اليوم (Kwh/m<sup>2</sup>.day). $\eta_{pv}$ : مردود الألواح الكهروضوئية. $\eta$ : عامل عدم تماثل الألواح الكهروضوئية.

تم حساب قيم شدة الإشعاع الشمسي في البحث الذي أجري في موقع جامعة تشرين خلال عام (2011) بالاعتماد على طريقة ASHREA للتطبيقات ( الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء ) [6].

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

$$E_{dir.s} = A \cdot e^{-\frac{B}{\sin \beta}} = A \cdot e^{-Bm} \quad (4)$$

 $E_{dir.s}(W/m^2)$ : الإشعاع الشمسي المباشر عند سقوط حر. $A(W/m^2)$ : 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:

$$E_{dir.h} = E_{dir.s} \sin \beta \quad (5)$$

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 [6]. استناداً إلى كتاب ASHREA يتم حساب الإشعاع المبدد من السماء والساقط على سطح اختياري على الأرض كنسبة من الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل حر كما يلي:

$$E_{dfu} = C \cdot E_{dir.s} \cdot F_{ss} \quad (6)$$

 $E_{dfu}(W/m^2)$  الإشعاع الشمسي المبدد من السماء. $C$  معامل تشتيت الإشعاع الشمسي يؤخذ من الجدول (1) $F_{ss}$  المعامل الزاوي بين السطح والسماء, حيث :

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

للسطح العمودي  $F_{ss} = 0.5$ للسطح الأفقي  $F_{ss} = 1.0$

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

$$E_{globl .h} = E_{dir .h} + E_{dfu} \quad (7)$$

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:

$$\cos \theta_k = \frac{E_{dir .k}}{E_{dir .s}} \quad (9)$$

$$\cos \theta_z = \frac{E_{dir .h}}{E_{dir .s}} \quad (8)$$

حيث:  $E_{dir.k}$  الإشعاع العمودي على السطح المائل  $[W/m^2]$

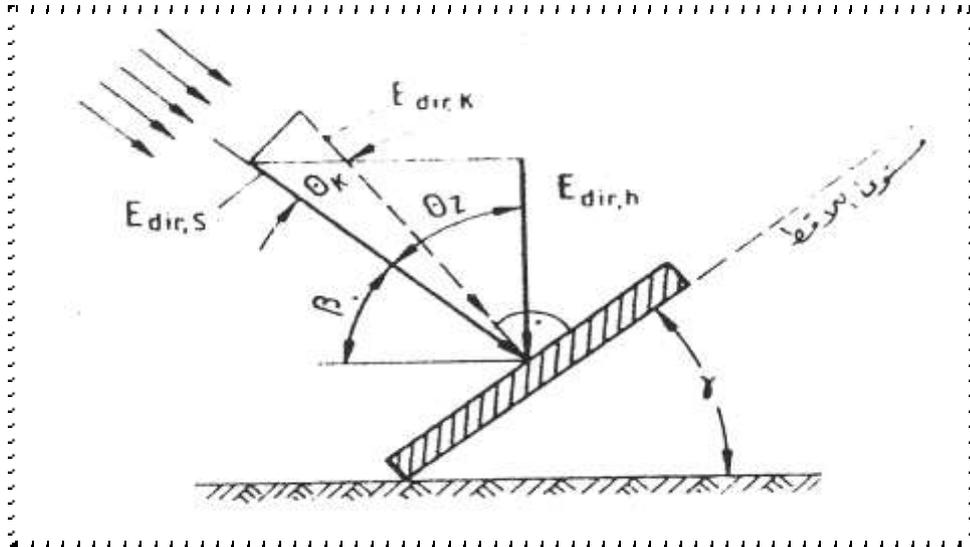
$$R_B = \frac{E_{dir .k}}{E_{dir .h}} = \frac{\cos \theta_k}{\cos \theta_z} \quad (10)$$

$R_B$  معامل ميل الإشعاع المباشر.

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

$$H_t = E_{dir .h} R_B + E_{dfu} \left( \frac{1 + \cos \gamma}{2} \right) + E_{globl .h} \rho_g \left( \frac{1 - \cos \gamma}{2} \right) \quad (11)$$

حيث:  $\rho_g$  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) وتم ربطهما على التسلسل.
- 2- المضخة: وهي بالمواصفات القياسية التالية:
  - الاستطاعة العظمى (120w).
  - الجهد (24v DC).
  - التيار الأعظمى (4.1A).
  - ارتفاع الضخ الأعظمى (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.
- 4- خزان ماء:
  - سعة خزان الماء (1000liters).

تم أخذ قياسات دورية لحظية لجهد الألواح الكهروضوئية وتيارها، وكذلك شدة الإشعاع الشمسي وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة باستخدام اسطوانة مدرجة عند زاوية ميل للألواح الكهروضوئية (25°) باتجاه الجنوب بمعدل كل ربع ساعة في ساعات الصباح والمساء، وكل نصف ساعة في باقي الأوقات، ذلك لأن تغير شدة الإشعاع الشمسي

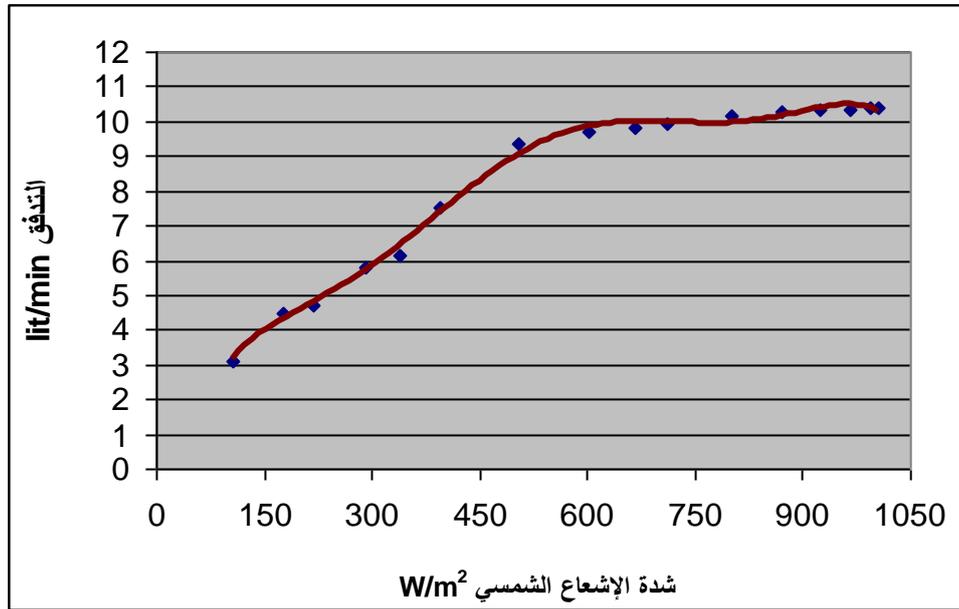
في الصباح والمساء يكون كبيراً. كما أجريت القياسات عند ثلاثة ارتفاعات للضخ هي (5m,10m,20m). بهدف دراسة أثر ارتفاع الضخ على معدل تدفق الماء مع شدة الإشعاع الشمسي خلال فترة عمل المضخة.

### النتائج والمناقشة:

يبين الجدول (2) والشكل (3) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند الضخ لارتفاع (5m):

الجدول (2) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند الضخ لارتفاع (5m)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m <sup>2</sup> )
3.1	105	9.84	665.9
4.5	176	9.95	710.4
4.7	219	10.15	800
5.78	291	10.25	870
6.15	340	10.31	925.6
7.5	395	10.35	965
9.35	504	10.37	995
9.7	601	10.4	1005

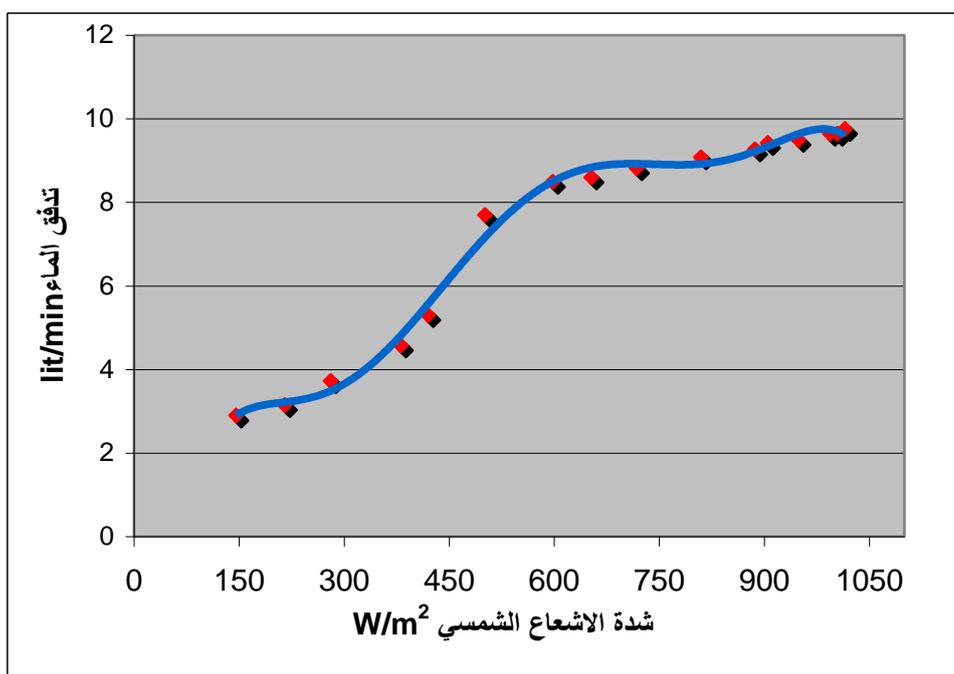


الشكل (3) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند الضخ لارتفاع (5m)

كما نبين على الجدول (3) والشكل (4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند الضخ لارتفاع (10m) وفقاً للقياسات المدروسة.

الجدول (3) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند الضخ لارتفاع (10m)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m2)	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m2)
2.9	146	8.82	717.93
3.15	215	9.08	809.4
3.72	280.7	9.27	886.81
4.58	381	9.42	905
5.3	420	9.5	948.63
7.7	501	9.64	993.65
8.49	598	9.64	1004
8.6	653	9.76	1015

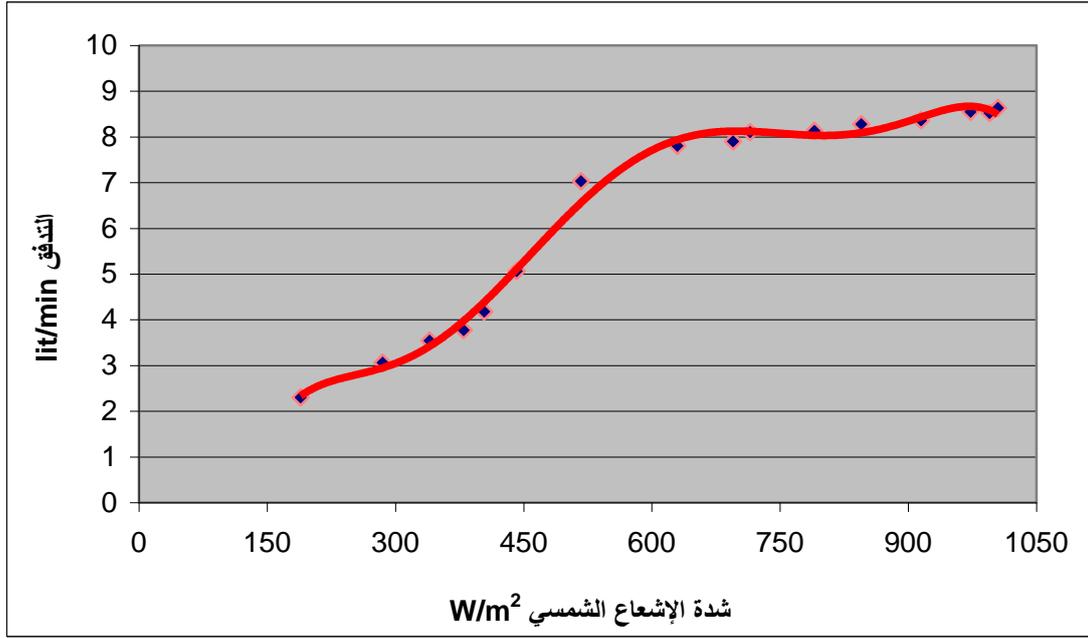


الشكل (4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند الضخ لارتفاع (10m)

أما الجدول (4) والشكل (5) فيظهران العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند الضخ لارتفاع (20m):

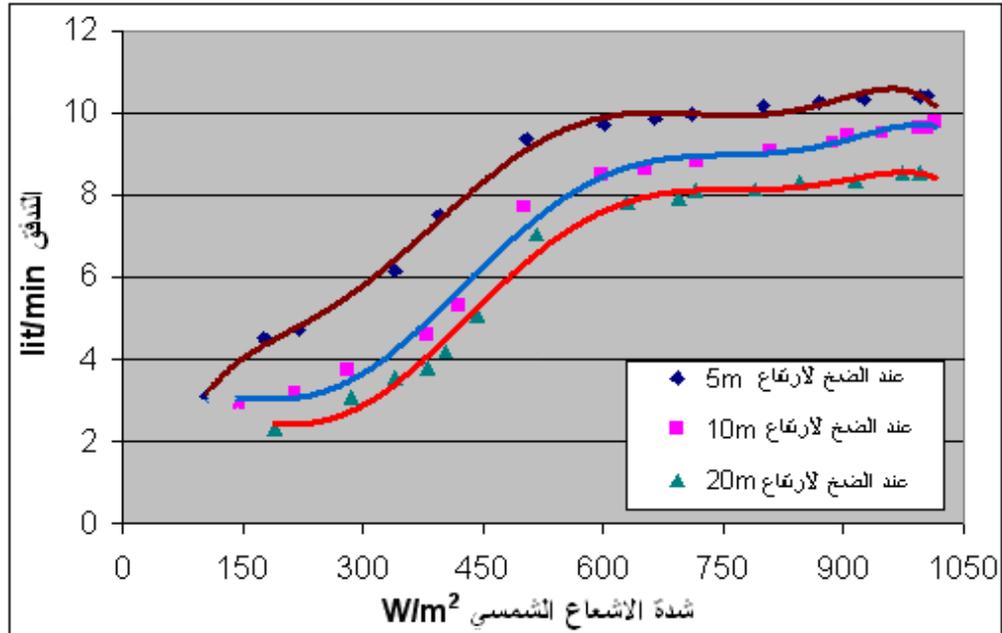
الجدول (4) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة عند الضخ لارتفاع (20m)

التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m2)	التدفق Lit/min	الإشعاع الشمسي (W/m2)
2.3	189	7.9	695
3.06	285	8.1	715
3.54	340	8.13	790
3.77	380	8.28	845
4.18	404	8.36	915
5.05	442	8.55	973
7.03	517	8.52	995
7.8	630	8.63	1005



الشكل (5) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق لمدة دقيقة واحدة عند الضخ لارتفاع (20m)

يوضح الشكل (6) تأثير ارتفاع الضخ على بدء إقلاع المضخة عند الضخ لثلاثة ارتفاعات (5m,10m,20m)



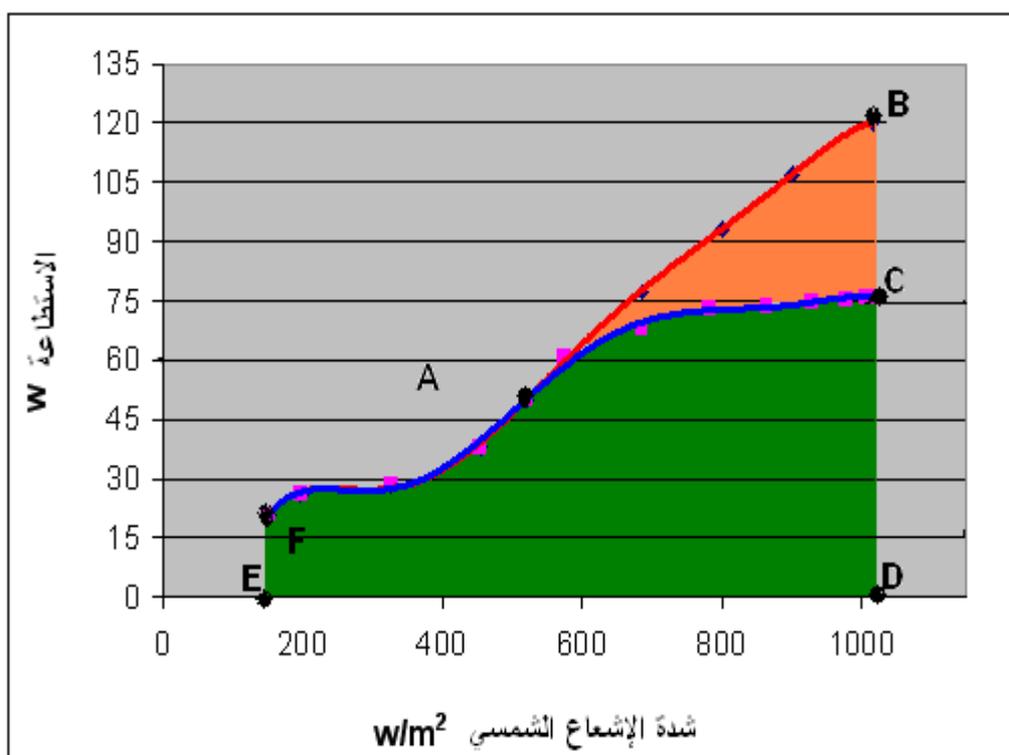
الشكل (6) تأثير ارتفاع الضخ على بدء إقلاع المضخة

ونظراً لتغير التيار الكهربائي والجهد المأخوذ من الألواح الكهروضوئية خلال ساعات سقوط الإشعاع الشمسي وانعكاس ذلك على استطاعة المضخة، قمنا بحساب الاستطاعة المستهلكة من قبل المضخة وذلك حسب شدة الإشعاع الشمسي الساقط كما هو مبين في الجدول (5) والشكل (7) حيث يمثل المنحني (FAC) منحني الاستطاعة الفعلي

للمضخة ويمثل المنحني (FAB) منحني الاستطاعة الكلية التي يمكن أن تستهلكها المضخة، حيث تمثل النقطة (B) حالة المضخة عند تشغيلها باستطاعتها القصوى.

الجدول (5) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط والاستطاعة

الاستطاعة (W) $P=I \times V$	التيار I (A)	الجهد V (v)	الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ )
20.8	1.6	13	150
26.1	1.8	14.5	196
28.44	1.8	15.8	326
38	1.9	20	454
50	2	25	520
60.8	2	30.4	575
67.86	2.05	33.1	685
72.87	2.1	34.7	782
73.71	2.1	35.1	864
74.76	2.1	35.6	929
75.39	2.1	35.9	977
76.02	2.1	36.2	1005
76.02	2.1	36.2	1010
76.23	2.1	36.3	1015

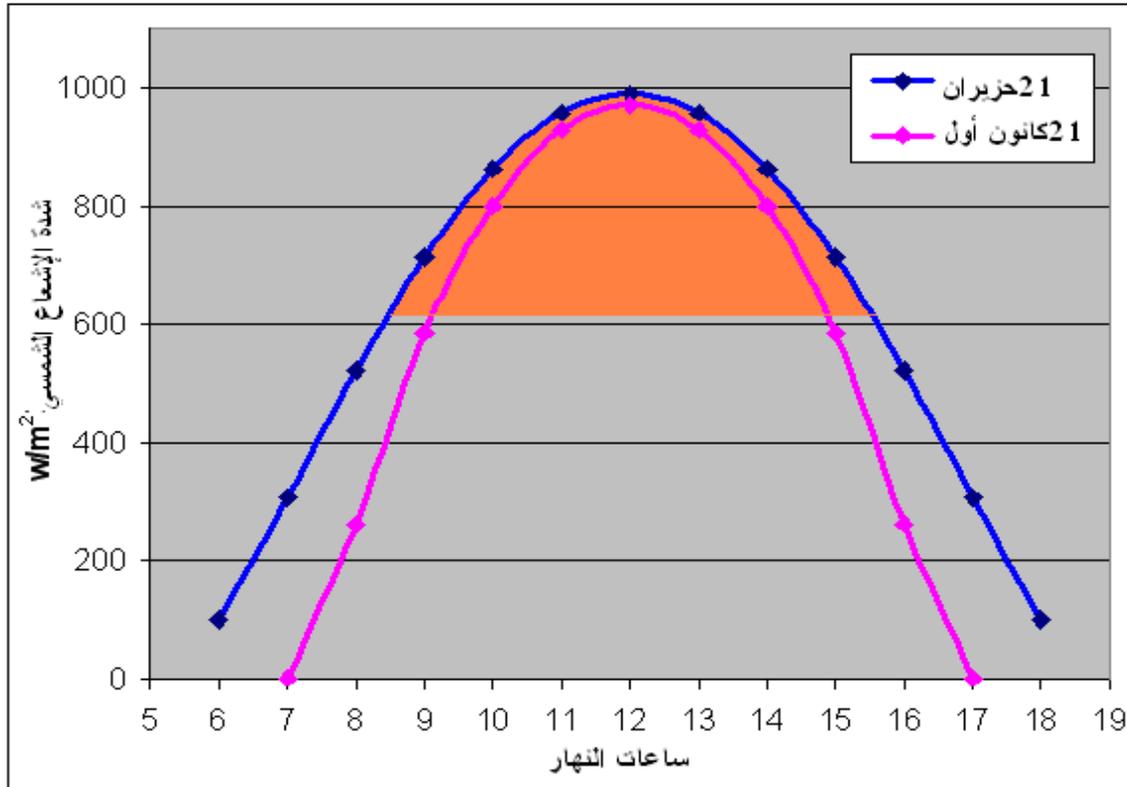


الشكل (7) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط والاستطاعة الكهربائية

علماً أن شدة الإشعاع الشمسي الساقط تتغير خلال ساعات النهار وقد عرضت نتائج الحساب في (21) حزيران هو اليوم الذي تسقط فيه أكبر كمية من الطاقة الشمسية خلال السنة و(21) كانون الأول هو اليوم الذي تسقط فيه أقل كمية من الطاقة الشمسية خلال السنة.

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

شدة الإشعاع الشمسي $w/m^2$	ساعة النهار	شدة الإشعاع الشمسي $w/m^2$		ساعة النهار
		21 كانون الأول	21 حزيران	
928.3	13	0	100.5	6
800.2	14	0	306.5	7
585.6	15	261.6	521.8	8
261.6	16	585.6	713.6	9
0	17	800.2	863	10
0	18	928.3	957.7	11
		971.2	990	12



الشكل (8) تغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط خلال ساعات النهار في مدينة اللاذقية

### الاستنتاجات والتوصيات:

بدراسة العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي وكمية الماء المتدفق بالدقيقة الموضحة في الجداول (2) و(3) و(4) والأشكال (3) و(4) و(5) نجد أن المضخة تستجيب لخرج الألواح الكهروضوئية على مرحلتين:  
1- المرحلة الأولى: وهي مرحلة التوقف عن العمل، وتختلف هذه المرحلة باختلاف ارتفاع الضخ. فعند الضخ لارتفاع (5m) تقع هذه المرحلة عند قيم للإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أقل من

( $G=105W/m^2$ ). أما عند الضخ لارتفاع (10m) فتبين أن هذه المرحلة توافق قيماً للإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أقل من ( $G=146W/m^2$ ). وعند الضخ لارتفاع (20m) فإن هذه المرحلة توافق قيم الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أقل من ( $G=189W/m^2$ ), ويعود السبب في ذلك إلى كون التيار المتولد من الألواح الكهروضوئية لا يكفي لإقلاع المضخة، فكلما ازداد ارتفاع الضخ ازداد تيار الإقلاع اللازم للمضخة وبالتالي تزداد الطاقة الساقطة على الألواح اللازمة للإقلاع. ويتضح ذلك بالشكل (6).

2- المرحلة الثانية: وهي مرحلة عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الكهروضوئية أعلى من ( $G=146W/m^2$ ) عند الضخ لارتفاع (10m) وتقسم هذه المرحلة إلى قسمين بحسب معادلة ميل منحني العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط وكمية الماء المتدفق بالدقيقة:

أ-القسم الأول: يعبر عن عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط بين ( $146-501 W/m^2$ ):

$$X_1 = \frac{(7.7 - 2.9)}{(501 - 146)} \times 100 = 1.352 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (12)$$

حيث  $X_1$ : هو ميل المنحني الذي يعبر عن الزيادة في كمية الماء (لتر بالدقيقة) لكل ( $100W/m^2$ ) ساقطة على الألواح الكهروضوئية في هذه المنطقة.

ب-القسم الثاني: يعبر عن عمل المضخة عندما يكون الإشعاع الشمسي الساقط بين ( $501-1015 W/m^2$ ):

$$X_2 = \frac{(9.76 - 7.7)}{(1015 - 501)} \times 100 = 0.4 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (13)$$

حيث  $X_2$ : هو ميل المنحني الذي يعبر عن الزيادة في كمية الماء (لتر بالدقيقة) لكل ( $100W/m^2$ ) ساقطة على الألواح الكهروضوئية في هذه المنطقة.

وعند الضخ لارتفاع (5m) نجد أن المضخة تستجيب أيضاً لخرج الألواح الكهروضوئية على مرحلتين حيث تبدأ إقلاعها عند ( $G=105W/m^2$ ) ونجد بأن:

$$X_1 = \frac{(9.35 - 3.1)}{(504 - 105)} \times 100 = 1.57 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (14)$$

$$X_2 = \frac{(10.4 - 9.35)}{(1005 - 504)} \times 100 = 0.21 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (15)$$

وكذلك عند الضخ لارتفاع (20m) نجد أن المضخة تستجيب لخرج الألواح الكهروضوئية على مرحلتين حيث تبدأ إقلاعها عند ( $G=189W/m^2$ ) ونجد بأن:

$$X_1 = \frac{(7.03 - 2.3)}{(517 - 189)} \times 100 = 1.43 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (16)$$

$$X_2 = \frac{(8.63 - 7.03)}{(1005 - 517)} \times 100 = 0.32 \text{ Lit} \cdot \text{min}^{-1} / 100 \text{ watt} \cdot \text{m}^{-2} \quad (17)$$

يعبر القسم الثاني الممثل بـ( $X_2$ ) عن الاستقرار في عمل المضخة وتمثل ساعات الذروة لعملها، وتبين بأن عدد هذه الساعات في منطقة التجربة هي (7) ساعات خلال اليوم.

وبالتالي يمكن القول: إن كمية الطاقة الساقطة على الألواح الكهروضوئية في اليوم لا تتناسب بشكل طردي مع كمية الماء المتدفق وبخاصة عند تزايد هذه الكمية خلال النهار وهذا واضح في المعادلات (12) و (13) و(14) و(15) و(16) و(17) والتي بينت الفارق في كمية الماء المتدفق عندما يكون الإشعاع الشمسي أقل وأعلى

من (520W/m<sup>2</sup>) حيث انخفض معدل تزايد الماء المتدفق من (1.352,1.57,1.43)Lit.min<sup>-1</sup>/100W.m<sup>-2</sup> إلى (0.4, 0.21, 0.32) Lit.min<sup>-1</sup>/100W.m<sup>-2</sup> على التوالي وهذا يعني أن قسماً كبيراً من الطاقة الشمسية الساقطة في اليوم التي تزيد عن (520W/m<sup>2</sup>) لم يستفاد منها وبالتالي من الضروري القيام بدراسة هذه الضياعات في أبحاث لاحقة.

أيضاً بمقارنة المنطقة (ب) من المرحلة الثانية عند الضخ للارتفاعات الثلاثة نجد أنها لا تتغير بتغير ارتفاع الضخ وبالتالي فإن ساعات الذروة لعمل المضخة لا تتغير بتغير ارتفاع الضخ.

من الجدول (6) والشكل (8) نجد أن كمية الطاقة الساقطة في اليوم وسطياً تساوي (7019.5W/m<sup>2</sup>.day) بينما الطاقة المهدورة خلال الفترة التي يكون فيها الإشعاع الشمسي أكبر من (520W/m<sup>2</sup>) تساوي تقريباً (1875W/m<sup>2</sup>.day) وتمثل هذه النسبة حوالي (27%) من الطاقة الشمسية الكلية الساقطة في أيام الصحو، وهذه الطاقة ممثلة في الشكل (8) بالمساحة الملونة باللون البرتقالي.

ويحدد الضياع بالطاقة أيضاً من خلال دراسة منحنى الاستطاعة الممثل بالشكل (7) والجدول (5) حيث تمثل المساحة (FACDEF) الملونة باللون الأخضر الاستطاعة الفعلية المستهلكة من قبل المضخة أما الاستطاعة المهدورة فهي ممثلة بالمساحة (ABCA) الملونة باللون البرتقالي. وبالتالي يجب الاستفادة من هذه الطاقة الضائعة في تطبيق آخر.

## المراجع:

- 1- Scientific Studies and Research Senter (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- Groundwater, *Waterlines* . ITDG Publishing, Vol.20, No.2, 2001.
- 5- سفيان, توفيق. حياتي, فهر. الذبحاني, عبد العزيز. *المضخات الشمسية في اليمن*, مجلة العلوم والتكنولوجيا, المجلد 7 العدد2,, العام 2002.
- 6- ASHRAE,. (*America Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*). ASHRAE Handbook of HVAC Applications,1995-1996.