مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٥) ٢٠٢٦
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (5) 2026

دراسة وتحليل أداء نظام ضخ مياه كهروضوئي DC باستخدام النمذجة الحاسوبية

د.م سامر محمد حسين *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/١١/٢٣ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/٣/١١)

□ ملخّص□

يعتبر ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية من التطبيقات الهامة وخاصة في المناطق النائية التي يصعب مد شبكة الكهرباء إليها، تؤثر شدة الإشعاع الشمسي بشكل ملحوظ على أداء أنظمة ضخ المياه الكهروضوئية وبشكل خاص على كمية المياه المنتجة.

في هذا البحث تم القيام بدراسة وتحليل أداء نظام ضخ مياه كهروضوئي مزود بمضخة استطاعتها 1 HP مقادة بمحرك كهربائي مستمر DC، تغذى بشكل مباشر من مصفوفة ألواح كهروضوئية (6*2)، كما تم نمذجة كل مكونات النظام من أجل إجراء محاكاة للنظام في Matlab/Simulink و دراسة تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي على أداء نظام الضخ، حيث أظهرت النتائج قدرة النظام على تجاوز الحالة العابرة خلال فترة الإقلاع بالإضافة إلى ثبات الأداء الهيدروليكي لنظام الضخ مع تغير شدة الإشعاع الشمسي

كلمات مفتاحية:
ألواح كهروضوئية (PV)، ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية، التدفق، مضخات المياه

* عضو هيئة فنية في كلية الهندسة التقنية – قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة – جامعة طرطوس – سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٥) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (5) 2026

Study and analysis of the performance of a DC Photovoltaic water pumping system using computer modeling

Dr. samer hossaien *

(Received 23/11/2025 . Accepted 11/3/2026)

□ ABSTRACT □

Pumping water with photovoltaic energy is considered one of the important applications, especially in remote areas to which it is difficult to extend the electricity network. The intensity of solar radiation significantly affects the performance of photovoltaic water pumping systems, especially the amount of water produced

In this research, we studied and analyzed the performance of a photoelectric water pumping system equipped with a 1 HP pump driven by a DC electric motor, fed directly from a photovoltaic panel array (2*6). All components of the system were also modeled in order to perform a simulation of the system in Matlab/ Simulink and studying the effect of changing solar radiation intensity on the performance of the pumping system. The results demonstrated the system's ability to overcome the transient state during startup, in addition to the stability of the hydraulic performance of the pumping system with varying solar irradiance.

Keywords: PV module,PV water pumping, flow, water pumping .

*Research at Faculty of technical engineering, Technologies renewable energy Department -Tartous University- Tartous- Syria.

١- المقدمة:

برز استخدام الألواح الكهروضوئية كمصدر للطاقة الكهربائية في تطبيقات ضخ المياه كأحد الحلول التي لجأ إليها المزارعون في سوريا لحل مشكلة نقص الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل أبار المياه المستخدمة في ري المحاصيل الزراعية وتأمين مياه الشرب أيضاً حيث تتوفر كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي على مدار العام.

تعتبر أنظمة الضخ بالطاقة الشمسية حلاً متاحاً للمناطق النائية والشبه قاحلة البعيدة عن الشبكة العامة والتي تتمتع بمستويات عالية من الإشعاع الشمسي (Wang and et all , 2023)، وعلى الرغم من بدء استخدام أنظمة الضخ بالطاقة الشمسية، إلا أن الفهم الدقيق للأداء الديناميكي لهذه الأنظمة تحت ظروف الإشعاع الشمسي المتغير لا يزال بحاجة إلى المزيد من البحث، بالإضافة إلى أن معظم أنظمة الضخ التقليدية تعتمد على مضخات المياه الغاطسة المقادة بمحرك تيار متناوب الأمر الذي يتطلب استخدام مبدل إلكتروني (Inverter) لتحويل التيار المستمر المولد من الألواح الكهروضوئية إلى تيار متناوب مما يزيد من تكلفة النظام و فقدان الطاقة، لذلك يعتبر استخدام المضخات الغاطسة المزودة بمحرك تيار مستمر حلاً مثالياً بسبب كفائتها العالية و تشغيلها المباشر من الألواح دون الحاجة إلى استخدام المبدل الإلكتروني (الانفرتر)، و يتناسب عزم دورانها المرتفع مع تطبيقات ضخ المياه.

تُعد النمذجة والمحاكاة الحاسوبية جزء هام في تصميم وتحليل أداء أنظمة ضخ المياه بالطاقة الشمسية ودراسة سلوكها (Hadole and et all , 2022) حيث تتيح فهم سلوك هذه الأنظمة بدقة عالية قبل تنفيذها عملياً، وفي هذا الإطار تبرز الحاجة إلى دراسة الأداء الديناميكي للمضخات الغاطسة المقادة بمحركات تيار مستمر والتي تشكل خياراً ممكناً لهذه التطبيقات بسبب مرونتها وكفائتها (Dlimi and et al , 2024).

قام الباحثان (Biswas and Iqbal , 2018) بمحاكاة نظام ضخ كهروضوئي باستطاعة 38.4 kw يستخدم مضخة غاطسة مقادة بمحرك متناوب لضخ ١٩٣٠ m^3/day ، يقارن البحث بين عدة خيارات للتخزين : التخزين الكهربائي باستخدام المدخرات والتخزين المائي باستخدام الخزانات، توصل الباحثان إلى أن الجمع بين النظامين يعطي حلاً فعالاً و اقتصادياً.

في هذه الدراسة (Sharma and et all , 2022) تم تحليل وتقييم أداء مضخات مياه تعمل بالطاقة الشمسية ومقارنة أدائها عند نفس ارتفاع الضاغط الهيدروليكي مع دراسة تأثير الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة على كمية المياه المنتجة، تم تصميم وتنفيذ نموذج باستخدام برنامج MATLAB/SIMULINK للتحقق من نتائج الاختبارات. أظهرت نتائج المحاكاة نسبة خطأ تتراوح بين ١,٥% و٥% في كمية المياه المنتجة.

قام باحثون (Artal – Sevil and et all , 2023) بدراسة إمكانية دمج نظام طاقة هجين (يعتمد على المدخرات أو المكثفات فائقة السعة) أو زيادة حجم مصفوفة الألواح الكهروضوئية التي تغذي نظام الضخ وذلك لتأمين تغذية كهربائية دائمة أثناء الطقس الغائم، تمت محاكاة الخيارين باستخدام برنامج Matlab/Simulink والتحقق من أدائه خلال ظروف التشغيل المختلفة (الأيام المشمسة والغائمة).

قدّم (Zahab and et all , 2017) دراسة تتضمن تصميم نظام ضخ كهروضوئي مستقل مزود بمدخرات الرصاص الحامضية لتخزين الطاقة الكهربائية ، النظام يستخدم مضخة مقادة بمحرك تيار مستمر، كما تم تصميم نظام تحكم لقيادة محرك المضخة و لتتبع نقطة الاستطاعة العظمى بالإضافة للتحكم بشحن وتفريغ المضخة، أظهرت النتائج فعالية نظام الضخ بتأمين كمية المياه المطلوبة.

قام (Abdulhamid and Tariq, 2018) بدراسة تعويض انخفاض الجهد الكهربائي الحاصل عند قيم الإشعاع المنخفضة من خلال إضافة مدخرات إلى نظام ضخ كهرضوئي مكون من مضخة غاطسة باستطاعة [Kw] 5.5

مقادة بمحرك تيار مستمر ومغذاة من مصفوفة كهروضوئية استطاعتها [Kw] 10، حيث تمت الدراسة باستخدام برنامج Matlab/Simulink وأظهرت الدراسة أن استخدام أنظمة الضخ بالطاقة الشمسية هو حل مجدٍ من الناحيتين التقنية والاقتصادية للري في المناطق النائية .

قام الباحثان (Sharma and sumit , 2019) بإجراء حسابات لتحديد التصميم الأمثل لنظام ضخ مياه كهروضوئي مزود بمضخة تيار مستمر والمقارنة بين استخدام المدخرات كنظام تخزين كهربائي واستخدام خزان المياه، خلُصت الدراسة إلى أن استخدام برامج المحاكاة يساعد في التنبؤ بالنتائج وإصلاح الأعطال المحتملة قبل تنفيذ النظام بشكل فعلي، بالإضافة إلى أهمية الجمع بين الحسابات النظرية والمحاكاة لفهم تأثير البارمترات المختلفة على أداء النظام.

درس (Benghanem and et all , 2018) تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي على قيم التدفق لمضخة غاطسة تتغذى بالطاقة الكهربائية المولدة من ألواح كهروضوئية، وخلص البحث إلى أن التصميم الأمثل للمضخة ومعرفة شدة الإشعاع الشمسي في منطقة التركيب بالإضافة إلى عمق البئر تجعل المضخة تعمل بكفاءة عالية.

من خلال الدراسات المرجعية التي تم استعراضها لوحظ أهمية استخدام برنامج Matlab/Simulink في دراسة و تحليل أداء أنظمة ضخ المياه التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية، بالإضافة إلى أهمية استخدام المضخات الغاطسة المقادة بمحركات التيار المستمر DC مع الأنظمة الكهروضوئية.

سنقوم في هذا البحث بمحاكاة شاملة لنظام ضخ مياه يستخدم مضخة غاطسة مقادة بمحرك تيار مستمر باستخدام برنامج Matlab/Simulink لمحاكاة الأداء المتكامل لهذه الأنظمة، مع التركيز على تحليل التفاعل الديناميكي بين الخصائص الكهربائية للمحرك و الخصائص الهيدروليكية للمضخة بحيث يضمن هذا النموذج المقترح توفير أداة تحليلية دقيقة تمكن المصممين من تقييم أداء النظام تحت ظروف تشغيل متنوعة والتنبؤ بسلوكه واقتراح تحسينات تصميمية تزيد من كفاءته وموثوقيته.

٢- أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة وتحليل أداء نظام ضخ مياه كهروضوئي لمراقبة تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي على الخصائص الميكانيكية و الكهربائية للمحرك و المضخة ، حيث تبرز أهمية ذلك في المنحنيات المستخلصة التي تساهم في:

- دراسة سلوك النظام التشغيلي ومرونته عند شدة إشعاع شمسي متغيرة.
- المساعدة في التصميم الأمثل بشكل يتناسب مع الاحتياجات المائية.
- التقييم الفني لنظام الضخ قبل تنفيذه على أرض الواقع.

طرائق البحث و مواده:

٣-1 مكونات نظام الضخ:

نظام الضخ المدروس مركب في أحد المزارع بريف محافظة طرطوس وهو عبارة عن بئر مزود بمضخة غاطسة باستطاعة [HP] 1 مقادة بمحرك تيار مستمر DC مواصفاتها موضحة بالجدول (١).

الجدول (١) المواصفات الفنية للمضخة الغاطسة المدروسة

Mode No	4LII3.5/85-75/750
Rated capacity	750 w
Rated input voltage	٧٥ v DC
Flow	H=61 [m]Q = 3 m^3/h −
Outlet	1.25 inch
speed	١٩٥٥ r/min

الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل المضخة يتم تأمينها من خلال وصل المضخة بشكل مباشر مع مصفوفة ألواح كهروضوئية (٦ * ٢) أي ٦ سلاسل تفرعية في كل سلسلة لوحان. تم اختيار عدد الألواح التسلسلية بحيث يغطي مجموع الجهد للألواح التسلسلية جهد الحمل أي بحدود $75V$ وبالتالي كان الاختيار ٢ لوح تسلسلي، في حال تم توصيل ٣ ألواح على التسلسل سيكون الجهد المطبق على المضخة بحدود 117 V وهو أكبر من الجهد الاسمي للمضخة. أما عدد الفرع فقد تم اختياره بحيث يغطي التيار الكلي للمصفوفة تيار الحمل عند الإقلاع أي بحدود $55A$. تعمل المضخة يومياً لمدة ٨ ساعات من الساعة التاسعة صباحاً و حتى الساعة الخامسة مساءً، والهدف هو الاستفادة من الإشعاع الشمسي قدر الإمكان في وضح النهار، لا سيما خلال وقت الذروة.

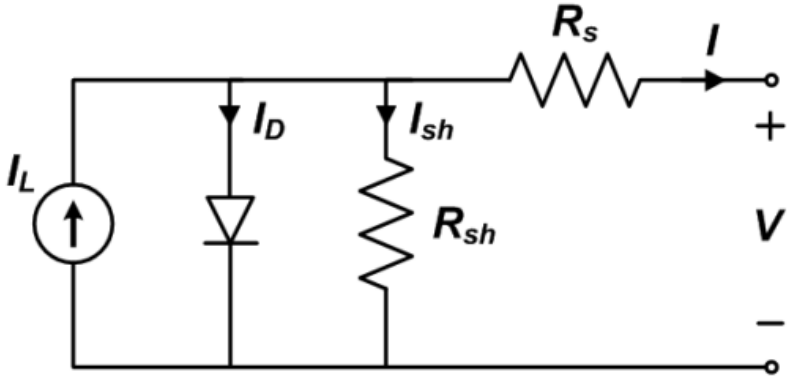
٣-٣ النموذج الرياضي للوح الكهروضوئي ومنحني المميزات:

سنقوم بنمذجة اللوح الكهروضوئي CSUN275-60P الموضح خصائصه في الجدول (٢)، يتكون هذا اللوح من ٦٠ خلية موصولة على التسلسل لتنتج استطاعة مقدارها 275 W.

الجدول (٢) الخصائص الفنية للوح الكهروضوئي

Mode No	CSUN275-60P
Open circuit voltage (Voc)	38.4V
Short circuit current(Isc)	9.27 A
Maximum power voltage(Vmpp)	31.3 V
Maximum power current(Impp)	8.79
Fire Resistance Rating	Class C

الشكل (١) يوضح الدارة الكهربائية المكافئة للخلية الكهروضوئية.



الشكل (١) الدارة الكهربائية المكافئة للخلية الكهروضوئية

انطلاقاً من معطيات اللوح وبمساعدة النموذج الجاهز في MATLAB تم اعتماد البارامترات التالية، جدول (٣)، للنموذج المستخدم للوح الكهروضوئي.

الجدول (٣) بارمترات النموذج المعتمدة

التيار الكهروضوئي	Iph =9.2786
التيار التسريبي للديود	Io =1.0001e-12
المقاومة التسلسلية المكافئة	Rs =0.3481
المقاومة التفرعية المكافئة	Rsh = 375.1490
بارامتر الجودة	n = 0.8346
عدد الخلايا التسلسلية المكونة للوح	Ns=60
درجة الحرارة للوسط بالكلفن	Tstc=25+273.15
الإشعاع الكهروضوئي واطامتر مربع	Gstc=1000
جهد الثغرة	Egstc=1.121
ثابت بولتزمان	K=1.38e-23
عامل التغير الحراري للتيار	KI=0.045%A/Kelven
عامل التغير الحراري للجهد	KV=-0.292%V/Kelven
شحنة الإلكترون	q=1.6e-19

تيار الخلية I يعطى بالعلاقة التالية:

$$I = I_L - I_D - I_{sh}$$

I_L: التيار المتولد عن الفعل الكهروضوئي.

I_D: تيار الإشباع العكسي.

I_{sh}: التيار التفرعي.

R_s: المقاومة التسلسلية وتعبر عن مقاومة تدفق التيار وتتعلق بسماكة الوصلة النصف ناقلة ومقاومة التلامسات المعدنية وترتبط مع معدل الإشابة أيضاً.

R_{sh}: المقاومة التفرعية وتعبر عن مقاومة التيار التسربي باتجاه الأرضي.

في الخلية الكهروضوئية المثالية المقاومة التسلسلية معدومة والتفرعية لانهائية. في الخلية الواقعية من النوع عالي الجودة من السيلكون $R_s = 0.05\ to\ 0.10\ \Omega, R_{sh} = 200\ to\ 300\ \Omega$. إن فعالية الخلية الكهروضوئية حساسة لتغيرات بسيطة في المقاومة التسلسلية ولكنها غير حساسة كثيراً لتغير في المقاومة التفرعية لذلك يمكن إهمالها واعتبارها لانهائية.

$$I = I_L - I_o\left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT_r}} - 1\right) \qquad (1)$$

I_L: التيار المتولد بالفعل الكهروضوئي $[A]$.

I_o: تيار الإشباع للديود $[A]$

V: جهد الخلية الكهروضوئية (الجهد على اللبوسين) $[V]$.

q: شحنة الإلكترون $[C]$ 1.6×10^{-19}.

T: درجة الحرارة المطلقة للوصلة النصف ناقلة ومقدرة بالكلفن$[K]$.

k: ثابت بولتزمان Boltzmann وقيمته $k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$.

n: عامل المثالية للديود ويتغير بين $[2 - 1]$.

$V_t = k.T/q$: الجهد الحراري $[V]$.

R_S: المقاومة التسلسلية $[\Omega]$.

R_P: المقاومة التفرعية $[\Omega]$.

T: درجة حرارة الوسط الحالية.

T_r: درجة حرارة اختبار المصنع.

G: الإشعاع الشمسي الحالي (W/m^2).

G_r: الإشعاع الشمسي في اختبار المصنع (W/m^2).

N_S: عدد الخلايا التسلسلية في فرع واحد.

N_P :عدد الفروع.

$$V = V_{sh} - R_S I \quad (2)$$

V: جهد الخلية الكهروضوئية (الجهد على اللبوسين) $[V]$.

I: تيار الخلية $[A]$.

V_{sh}: الجهد على طرفي المقاومة التفرعية $[V]$.

١,٣,٣. تأثير تغير الإشعاع وتغير درجة الحرارة:

يؤثر تغير درجة الحرارة والإشعاع الشمسي على التيار الكهروضوئي المتولد كما في العالقة التالية:

$$I_L = G \times \frac{I_{SC}(T_r)}{G_r}\left(1 + \alpha_{I_{SC}}(T - T_r)\right) \quad (3)$$

$\alpha_{I_{SC}}$: عامل الحرارة لتيار القصر $(A/°K)$.

تؤثر درجة الحرارة بشكل أساسي على تيار الديود حسب العلاقة التالية:

$$I_o = I_{o(T_r)} \times \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 \times e^{\frac{qV_g}{nk}\times\left(\frac{1}{T_r}-\frac{1}{T}\right)} \quad (4)$$

$$I_{o(T_r)} = \frac{I_{SC(T_r)}}{e^{\left(\frac{qV_{OC(T_r)}}{nkT}\right)}-1} \quad (5)$$

$I_{SC(T_r)}$: تيار القصر عند درجة حرارة اختبار المصنع $[A]$.

V_g: جهد الفجوة الطاقية (eV). جهد فجوة الطاقة لأنصاف النواقل وهي المجال الطاقي في الجسم الصلب حيث لا يمكن للإلكترونات التواجد فيه. يعبر عن الفرق الطاقي بالإلكترون فولت بين أعلى نطاق التكافؤ وأسفل نطاق التوصيل.

$V_{OC(T_r)}$: جهد الدارة المفتوحة عند درجة حرارة اختبار المصنع $[V]$.

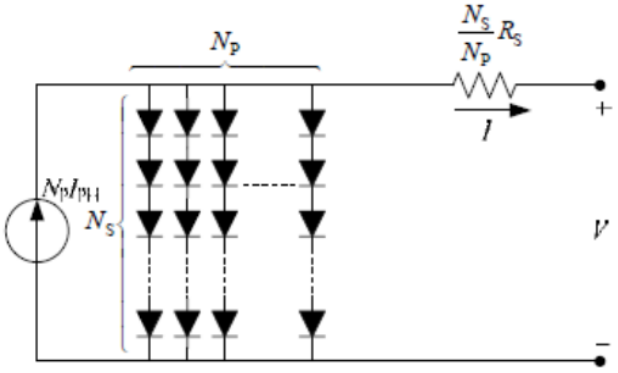
T: درجة حرارة الوسط الحالية $[°K]$.

T_r: درجة حرارة اختبار المصنع $[°K]$.

تستطيع الخلية الكهروضوئية انتاج $2W, 0.5V$ تقريباً لذلك لابد من وصل عدة خلايا على التسلسل وعلى التفرع من أجل تأمين جهد وتيار معين. الدارة الكهربائية المكافئة للوح الكهروضوئي المؤلف من N_S خلية على التسلسل و N_P فرع موضحة بالشكل (٢).

N_S: عدد الخلايا التسلسلية في فرع واحد.

N_P :عدد الفروع.



الشكل (٢) اللوح الكهروضوئي حيث المقاومة التفرعية مهملة

$$I = N_P I_{ph} - N_P I_d \quad (6)$$

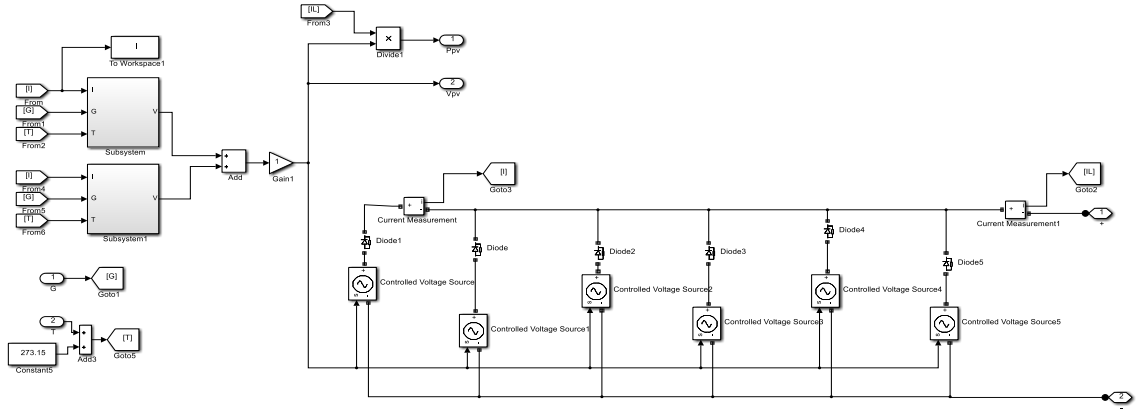
$$I_d = I_o \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT_r N_S}} - 1 \right) \quad (7)$$

$$I_o = I_{o(T_r)} \times \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 \times e^{\frac{qV_g}{nk} \times \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)} \quad (8)$$

$$I_{o(T_r)} = \frac{I_{SC(T_r)}}{e^{\left(\frac{qV_{OC(T_r)}}{nkTN_S}\right)} - 1} \quad (9)$$

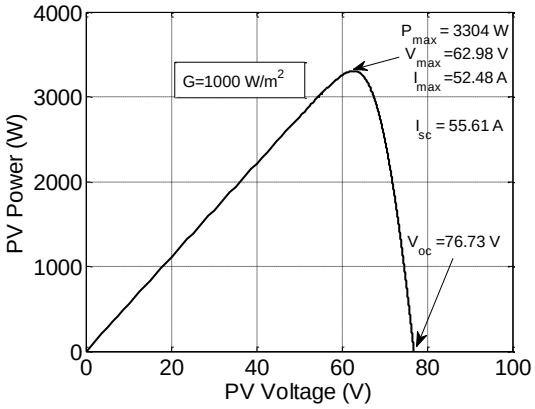
٣-٤ نمذجة مصفوفة كهروضوئية من ٦ سلاسل تفرعية كل سلسلة لوحين على التسلسل:

نحتاج هذه المصفوفة لتغذية المضخة DC حيث تجمع جهود الألواح التسلسلية وتجمع تيارات السلاسل التفرعية كما يوضح الشكل (٣)

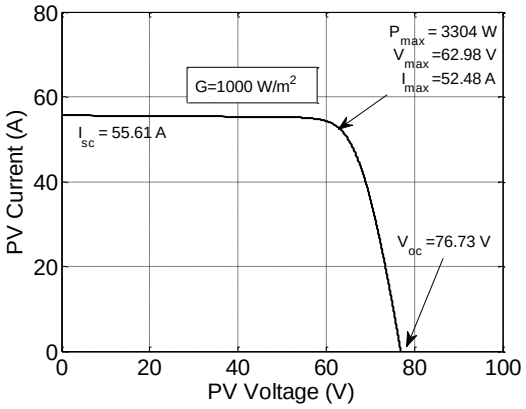


الشكل (٣) نمذجة ٦ سلاسل تفرعية في كل سلسلة لوحين على التسلسل لتغذية المضخة DC

يبين الشكلين (٤) و (٥) المميزات الكهربائية للمصفوفة ٦ سلاسل تفرعية عند شدة إشعاع $1000\ w/m^2$



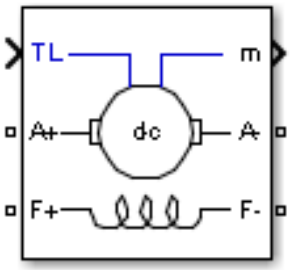
الشكل (4) مميزة الاستطاعة جهد للمصفوفة ٦ سلاسل



الشكل (5) مميزة التيار – جهد للمصفوفة ٦ سلاسل

٣-٥ محاكاة المضخة الغاطسة:

كما ذكرنا سابقاً المضخة الغاطسة مقادة بمحرك تيار مستمر لذلك تم استخدام نموذج محرك التيار المستمر تفرعي التهييج الموجود في مكتبة Matlab/Simulink، كما هو موضح في الشكل (6)، وإدخال البارمترات الخاصة بالمحرك والموضحة بالجدول (٦).



الشكل (6) نموذج محرك التيار المستمر تفرعي التهييج

الجدول (٥) المواصفات الفنية للمحرك الكهربائي المستمر

	استطاعة المحرك	جهد التشغيل	التردد	سرعة الدوران
المحرك المستمر	1[HP] – 750[w]	75 v	٠	19٥٥ r.p.m

تعمل المضخة على رفع الماء من البئر إلى سطح الأرض عبر انابيب بقطر 1.25inch،حيث يبلغ ارتفاع الضاغط الهيدروليكي 60[m]، الطاقة المقدمة من المحرك إلى المضخة يتم حسابها من المعادلة التالية:

$$P = T_e \times w$$

الطاقة الهيدروليكية اللازمة للمضخة P_W

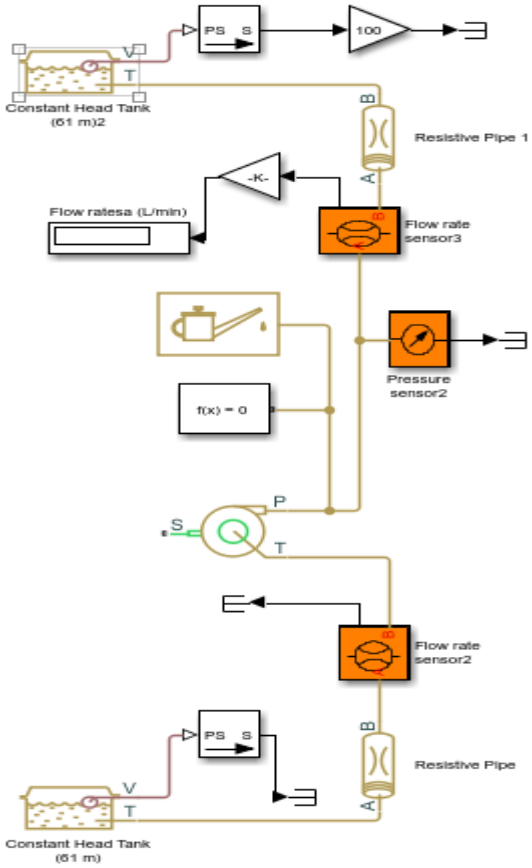
$$P_W = Q.\rho.g.h/3600$$

يمثل h الارتفاع الهيدروليكي (الضاغط الهيدروليكي) والذي يجب على المضخة التغلب عليه ويشمل:

- الارتفاع الثابت (static head): والمتمثل بالفرق في المستوى بين خزان المصدر ونقطة التفريغ
- الضياعات في الأنابيب نتيجة الاحتكاك والذي تم تمثيله في النموذج من خلال عنصر Resistive Pipe الذي يُدخل مقاومة هيدروليكية تعتمد على طول وقطر الأنبوب وخصائص السائل ومعدل التدفق.

في نموذج المحاكاة تم استخدام خزان بارتفاع ثابت لتمثيل الضغط عى مدخل المضخة، أما الارتفاع الكلي فيتم تحديده من خلال:

- الارتفاع الثابت للبئر.
- الخصائص الهيدروليكية للأنبوب.
- معطيات تشغيل المضخة.

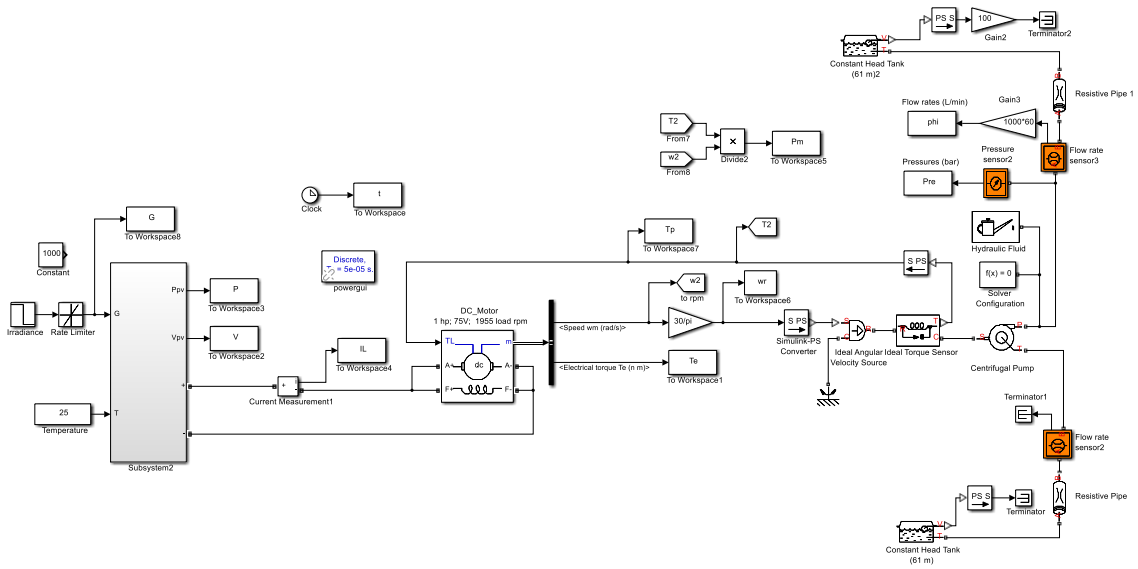


الشكل (٧) نموذج المضخة

لا يوجد في مكتبة برنامج Matlab كتلة (block) خاص بالمضخة الغاطسة لذلك كان النموذج الخاص بالمضخة عبارة عن نموذج رياضي / هيدروليكي عام يركز على محاكاة الأداء الوظيفي للمضخة (العلاقة بين التدفق ، الارتفاع والاستطاعة) وضياعات الاحتكاك في النظام بغض النظر عن التصميم الميكانيكي.

٣-٥ محاكاة عمل نظام الضخ ضمن بيئة Matlab/Simulink:

يبين الشكل (٨) نموذج المحاكاة لنظام الضخ المدروس

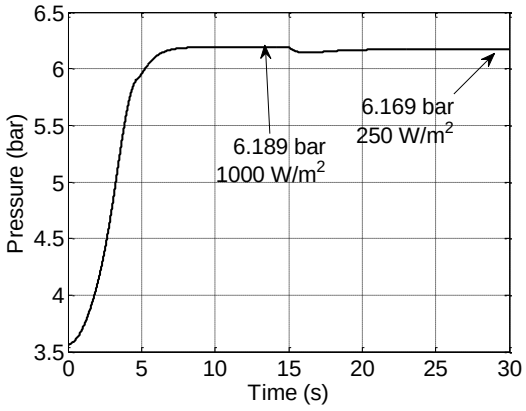


الشكل (٨) نموذج المحاكاة لنظام الضخ المدروس

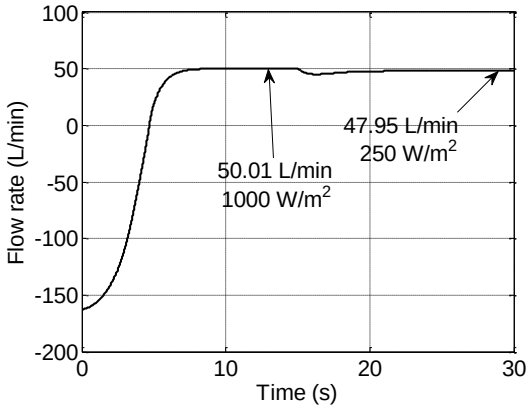
قمنا بمحاكاة تغير في الإشعاع الكهروضوئي وسنقارن حالتين من الإشعاع التقليدي: $1000\ W/m^2$ وأصغر حد اختبار وهو $250\ W/m^2$. بالنسبة للمقادير الميكانيكية يُلاحظ انخفاض التدفق بشكل طفيف حوالي ٢ لتر في الدقيقة بسبب انخفاض سوية الإشعاع كما في الشكل (٩). كما ينخفض الضغط عند انخفاض سوية الإشعاع بمقدار $0.02\ bar$ ، الشكل (١٠). يوضح الشكل (١١) كيف انخفضت السرعة بمقدار 12 rpm عند تغير سوية الإشعاع.

بعد إقلاع المضخة و وصولها إلى الحالة المستقرة ينخفض الحمل على المحرك وبالتالي تنخفض الطاقة المطلوبة للحفاظ على الدوران بشكل كبير وهذا مايفسر عدم فشل النظام عند انخفاض سوية الإشعاع إلى $250\ W/m^2$.

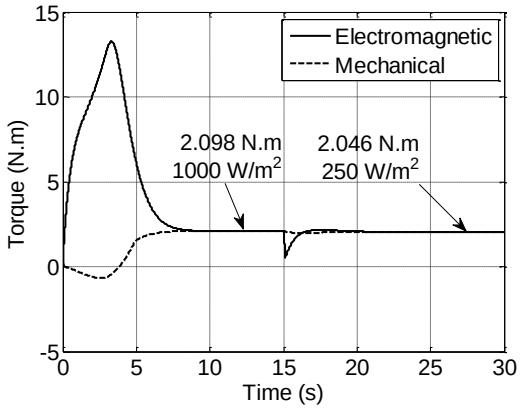
تبلغ الاستطاعة الكلية للمصفوفة $12 \times 275 = 3300\ W$ في حين تبلغ استطاعة المضخة $1\ HP = 746\ W$ ، وبالتالي عند إشعاع $250\ W/m^2$ (25% من الإشعاع القياسي) سيكون إنتاج الألواح: $0.25 \times 3300 = 825\ W$ وهي كافية لاستمرار تشغيل المضخة.



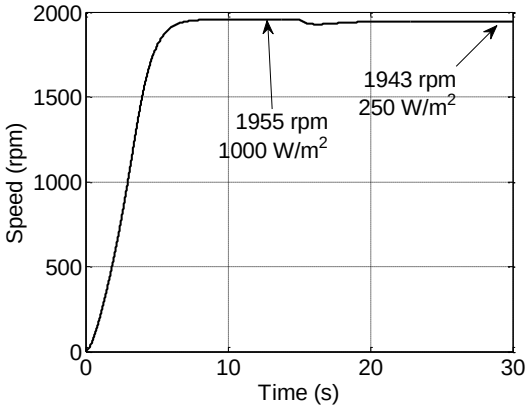
الشكل (١٠) الضغط



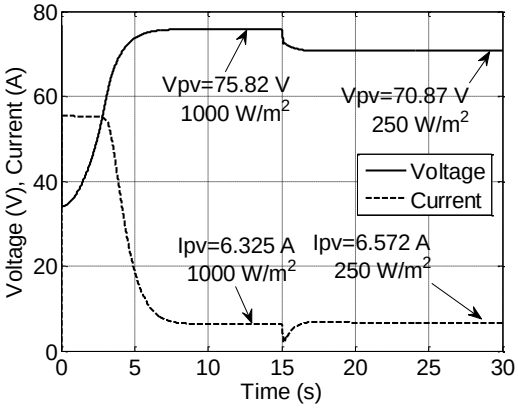
الشكل (٩) التدفق



الشكل (١٢) العزم الميكانيكي والكهرومغناطيسي



الشكل (١١) سرعة المضخة



الشكل (١٣) جهد وتيار المصفوفة الكهروضوئية

نلاحظ من الشكل (١٣) أن جهد البدء حوالي 34V وتيار البدء حوالي 55 A ويوافق تيار القصر للمجموعة الكهروضوئية واستطاعة البدء حوالي 1900 w. وهذا مايفسر الحاجة أيضاً إلى وجود ٦ سلاسل تفرعية في المصفوفة المستخدمة.

٤- نتائج الدراسة ومناقشتها:

تم في هذا البحث دراسة تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي على فعالية نظام ضخ مياه كهروضوئي من خلال نمذجة النظام ومحاكاته باستخدام برنامج Matlab/Simulink، حيث أظهرت النتائج قدرة نظام الضخ على المحافظة على استمرار تشغيل المضخة عند شدة إشعاع $250\ W/m^2$. أظهرت النتائج أيضاً أن حجم المصفوفة المستخدم (2×6) قادر على تغطية تيار الإقلاع المستجر من المصفوفة . أظهر النظام استقراراً مع زمن استجابة مقبول وبالتالي نجاح النموذج المقترح في محاكاة أداء النظام المدروس.

٥- الاستنتاجات:

- حتى تعمل مضخة التيار المستمر تحتاج لوحين على التسلسل لتأمين الجهد المناسب وستة سلاسل على التفرع لتأمين تيار الإقلاع.
- تستطيع المصفوفة الكهروضوئية تلبية الطلب على الاستطاعة خلال فترة الإقلاع مع وجود فائض في الاستطاعة في الحالة المستقرة.
- أظهر النظام مقاومة ملحوظة لتقلبات الإشعاع من خلال عدم تأثر التدفق بشكل كبير مع تغير شدة الإشعاع الشمسي.

٦ – المراجع:

[1] ABDULHAMID, A; TARIQ, I. 2018, *Sizing and Modelling of a large deep Water Solar Water Pumping System for irrigation in Saudi Arabia. in 2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON),* Vancouver, BC, Canada, Oct. 2017, pp. 416–421.

[2] ARTAL-SEVIL, J. S; BERNAL-AGUSTIN, J. L; DUFO-LOPEZ, R; BALLESTIN-BERAND, V. & LUJANO-ROJAS, J. 2023. *Modeling of a stand-alone solar photovoltaic water pumping system for irrigation. Renewable Energy and power Quality Journal* ,Vol. 21, PP 662-667.

[3] BENGHANEM, M; DAFFALLAH, K.O; ALMOHAMMEDI, A. 2018. *Estimation of daily flow rate of photovoltaic pumping systems using solar radiation data. Results In physics,* Vol. 8, PP 949-954.

[4] BISWAS, S; IQBAL, M. T. 2018. *Dynamic modelling of a solar water pumping system with energy storage*. *Journal of Solar Energy,*Vol. 2018, PP 1-12.

[5] DLIMI, S; OUISSAADEN,F.I; EL MOUSSAOUI, N; KAMEL, H; EL MOUTAOUAKIL, A; BAGHAZ, E; KHOUKH A. 2024. *Modeling, simulation and efficiency assessment of a direct coupled water pumping PV system in semi-arid coastal areas*. *Energy Conversion and Management.* Vol. 23, P 100626.

[6] HADOLE, M. V; BAIPAI, P. & TIWARI, K. N. 2022. *Modeling and planning operation of directly coupled solar photovoltaic pump operated drip irrigation system with a case study*. *Clean Technologies and Environmental Policy,* Vol. 24, No. 9, PP 2911–2929.

[7] SHARMA, A; PARMAR, R; KUMAR, S. 9 Aug. 2022. *Performance Analysis of Solar Water Pumping System with Real-Time Outdoor Conditions and Validation with Matlab/Simulink*. *Journal of Renewable energy*, SSRN, Aug. 2022. doi: 10.2139/ssrn.4185437 [8] SHARMA, R; SHARMA, SH; SUMIT, T. 2020. *Design optimization of solar PV water pumping system. Materials Today: Proceedings*,,Vol. 21, PP 1673-1679.

[9] WANG, Q; HOU, Z; GUO, Y; HUANG, L; FANG, Y; SUN, W & GE, Y. 2023. *Enhancing energy transition through sector coupling: a review of technologies and models. Energies (MDPI)*, Vol. 16, N. 13, P. 5226.

[10] ZAHAB, E. A; ZAKI, A. M; El-SOTOUHY, M. M. 2017. *Design and control of a standalone PV water pumping system. Journal of Electrical Systems and Information Technology*, Vol. 4, PP 322-337.