Optimal Design and Evaluation of a Photovoltaic Water Pumping System

Dr. Ali Ahmad Mahmoud*
Dr. Ali badi Khaddour**
Samer Mohammed Hossaien***

(Received 18 / 10 / 2022. Accepted 5 / 1 / 2023)

□ ABSTRACT □

Water pumping systems using photovoltaic panels are one of the most promising and important applications, as these systems help in protecting the environment and reduce co_2emissions compared to systems that use diesel generators.
This research studies the use of a photovoltaic-powered water pumping system and the research shows technical, economic and environmental studies that compare photovoltaic and diesel pumping solutions. The kwh cost of a PV pumping system is (0.149) $/kwh, while the kwh cost of a diesel pump system is (0.304) $/kwh.

Keywords: PV module,PV water pumping,Batteries,electrical generator.

* **Professor – Faculty of technical engineering, Automation Department -Tartous University- Tartous-Syria.**
** **Professor – Faculty of technical engineering, Technologies renewable energy Department -Tartous University- Tartous- Syria.**
*** **Postgraduate student(PhD) – Faculty of technical engineering, Technologies renewable energy Department -Tartous University- Tartous- Syria.**

التصميم والتقييم الأمثل لنظام ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية

د. علي أحمد محمود*

د. علي بديع خضور **

سامر محمد حسين ***

(تاريخ الإيداع 18 / 10 / 2022. قُبِل للنشر في 5/ 1 / 2023)

□ ملخّص □

تُعتبر أنظمة ضخ المياه باستخدام الألواح الكهروضوئية من التطبيقات الواعدة والمهمة، حيث تساعد هذه الأنظمة في حماية البيئة والتقليل من انبعاثات غاز CO_2 بالمقارنة مع الأنظمة التي تستخدم مولدات الديزل.

يدرس هذا البحث استخدام نظام ضخ المياه الذي يعمل بالطاقة الكهروضوئية، ويظهر البحث الدراسات الفنية والاقتصادية والبيئية التي تقارن بين حلول الضخ الكهروضوئية والديزل. تبلغ تكلفة الـ kwh لنظام الضخ الذي يعمل بالطاقة الكهروضوئية $0.149\ \$/kwh$ بينما تبلغ تكلفة الـ kwh لنظام الضخ الذي يعمل بالديزل $0.304\ \$/kwh$.

الكلمات المفتاحية: ألواح كهروضوئية (PV)، ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية، مدخرات، مولد كهربائي

*أستاذ – كلية الهندسة التقنية – قسم الأتمتة الصناعية – جامعة طرطوس – طرطوس – سورية.

**أستاذ – كلية الهندسة التقنية – قسم تقانات الطاقات المتجددة – جامعة طرطوس – طرطوس – سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه)– كلية الهندسة التقنية– قسم تقانات الطاقات المتجددة – جامعة طرطوس – طرطوس– سورية.

مقدمة:

يعمل قسم كبير من السوريين وخاصة في محافظة طرطوس في مجال الزراعة، كما ينتشر في ريف طرطوس عدد كبير من الآبار المستخدمة في ري المحاصيل الزراعية. كان الاعتماد في وقت سابق على المضخات الميكانيكية العاملة على الديزل لتشغيل هذه الآبار ثم تحول المزارعون إلى استخدام الغاطسات الكهربائية بدلاً من المضخات العاملة على الديزل [1]. مع بداية الحرب التي فرضت على سوريا تكبد قطاع الكهرباء خسائر كبيرة أدت إلى حصول عجز لدى الشبكة الكهربائية في تغطية الأحمال الكهربائية دفع وزارة الكهرباء إلى تطبيق نظام تقنين على الشبكة الكهربائية وعلاوة على ذلك هناك العديد من المزارع بعيدة عن الشبكة و يوجد صعوبة في مد شبكات الكهرباء إليها. كل هذه الصعوبات أدت إلى الاهتمام أكثر باستغلال مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة في بلدنا و لعل أهمها هي الطاقة الشمسية نظراً لما تتمتع به سوريا من موقع جغرافي مميز يصل فيها عدد الأيام المشمسة إلى ما يزيد عن 310 يوم مشمس في العام [2] ، كما تبين الدراسات [3] أن نظم ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية مناسبة لري المحاصيل و لتأمين مياه الشرب في المناطق التي لا تتوفر فيها مصادر أرخص للطاقة، كما أن أنظمة الضخ الكهروضوئية يمكن أن تكون أكثر فعالية من حيث التكلفة من محركات الديزل في المناطق البعيدة و الأرياف [5,4].

ذكر الباحث Ghoneim [6] أن أحد أفضل تطبيقات الأنظمة الكهروضوئية هو استخدامها كمصدر للطاقة لضخ المياه. أيضًا ، يمكن للنظام استخدام خزانات المياه بدلاً من البطاريات.

قام الباحث Ajao [7] بإجراء تحليل اقتصادي لتكلفة نظام طاقة هجين (ألواح كهروضوئية + عنفات ريحية) و قارنها مع تكاليف الكهرباء من الشبكة العامة، أشارت النتائج إلى أن النظام الهجين ليس رخيصًا اقتصاديًا. أيضًا، كان زمن استرداد النظام ثلاثة وثلاثين عامًا.

صمم الباحث Salam [8] نظام كهروضوئي يؤمن التغذية الكهربائية لمختبر باستخدام برنامج Homer ، حيث اقترح البرنامج استخدام ألواح / v 12-w 140/ موصولة على التسلسل للحصول على جهد v 24 بالإضافة لاستخدام أربع مدخرات بجهد v 6 و بسعة Ah 360 ، كما بلغت تكلفة النظام $ 13500 و بلغت كلفة التشغيل $817 $/year فيما بلغت كلفة توليد الكيلو وات ساعي : $1.354 $/kwh.

ناقش Elhassan استخدام برنامج Homer لتصميم نظام هجين فعال اقتصاديًا مكون من / ألواح كهروضوئية + عنفات ريحية / لتغذية المناطق السكنية في الخرطوم بالكهرباء. كانت الغاية الاستفادة من المساحات الشاسعة للصحراء في السودان بالإضافة إلى أشعة الشمس المتوفرة بكثرة وتصميم طريقة مجدية اقتصاديًا لبناء محطات طاقة شمسية واسعة النطاق. اعتمد الباحث على بيانات متوسط الإشعاع العالمي لوكالة ناسا ، وتم استخدام بيانات القياس الشهرية لمتوسط عوامل الرياح من SEI. تم استخدام برنامج Homer في عملية التصميم والمحاكاة. أظهرت نتائج المحاكاة أن التصميم الهجين / شبكة عامة مصدر الطاقة المتجددة (RES)/ ملائم من الناحية الاقتصادية بالمقارنة مع الشبكة العامة. كان وقت الاسترداد 14 عامًا ويمكن تحقيق انخفاض بنسبة 65 ٪ في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

اقترح Chaichan [9] تشغيل أضواء الطريق باستخدام نظام هجين / ألواح كهروضوئية +الرياح + مدخرات / و مقارنة ذلك بتصميم مماثل قائم على مولد ديزل. استخدم الباحثون برنامج Homer للحصول على التصميم الأمثل للنظام. أظهرت النتائج أن كلفة الكيلو وات ساعي للنظام الهجين هي $0.4 $/kwh . أما بالنسبة لنظام مولدات الديزل، فقد أظهرت النتائج أن كلفة الكيلو وات ساعي هي $3.164 $/kwh.

صمم عدد من الباحثين [10] نظامًا شمسيًا باستطاعة 9kw لتشغيل عيادة صحية تحتاج $42.307\ kwh/day$. استخدم الباحثون برنامج Homer لتصميم النظام، وتفاصيل تكاليف مكونات النظام. نتج عن المحاكاة أن كلفة النظام الأمثل تبلغ $0.418\$\ /kwh$ على عكس تكلفة مولد ديزل يقوم بتشغيل نفس الحمل ، وهو $0.5581\ \$/kwh$عند مقارنة النظامين ، وجد أنه على الرغم من ارتفاع كلفة إنشاء النظام الكهروضوئي ، إلا أنه لا يزال حلاً أكثر جدوى من نظيره الذي يعتمد على الديزل على المدى الطويل بسبب الحجم الكبير لانبعاثات الغازات الضارة وتكاليف الصيانة.

من خلال الدراسات المرجعية التي تم استعراضها لوحظ أن برنامج Homer هو أكثر برامج تحليل الأنظمة استخدامًا عندما يتعلق الأمر بأنظمة الطاقة غير المتجددة والمتجددة و لمهمة محاكاة هذه الأنظمة مع المدخلات المرغوبة ، سيتم استخدام Homer وتحديداً الإصدار التجريبي من البرنامج HOMER Pro® [11].

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث إلى تصميم وتقييم نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية من حيث التكلفة والتلوث. باستخدام برنامج Homer، تم من خلال المحاكاة اقتراح العديد من الحلول المختلفة التي تحتوي على الطاقة الشمسية الكهروضوئية والديزل جنبًا إلى جنب مع المدخرات لتوليد الكهرباء. تم اقتراح ثلاثة أنظمة طاقة مختلفة، مولدات الديزل فقط، الطاقة الشمسية الكهروضوئية / مع أو بدون مدخرات.

طرائق البحث و مواده:

3-1 مكونات نظام الضخ:

يمكن وصف نظام الضخ بمكوناته الأساسية على النحو التالي:

- مضخة الماء، وهي أهم عنصر في النظام. تصميمه ضروري لتلبية متطلبات الري. تختلف أنواع المضخات حسب مكان تركيبها وكيفية استخدامها. تم اقتراح مضخة طرد مركزي غاطسة في هذا البحث.
- مصدر الطاقة يوفر تيار متناوب لتشغيل مضخة المياه. يمكن أن يكون أي مصدر طاقة يمكن استخدامه بواسطة المضخة. يمكن استخدام مولدات الديزل أو الألواح الكهروضوئية. مولدات الديزل تنتج التيار المتناوب مباشرة؛ أما الألواح الكهروضوئية تحتاج إلى عاكس (انفرتر) لتحويل التيار المستمر إلى متناوب
- نظام التخزين يمكن أن يكون نظام كهربائي (مدخرات) أو نظام مائي (خزان مياه).

❖ يمكن أن يكون نظام الري حديث (شبكة أنابيب) أو أي نظام مشابه (من صهاريج التخزين) يمكن استخدامه للري الفعلي للمحاصيل. هذا إذا تم استخدام النظام للأغراض الزراعية كالعادة. إذا لم يكن الغرض منه زراعيًا، فيمكن استبداله بنظام توصيل للتطبيقات السكنية.

الشكل(1) متوسط شدة الإشعاع الشمسي لأشهر السنة للموقع المدروس.

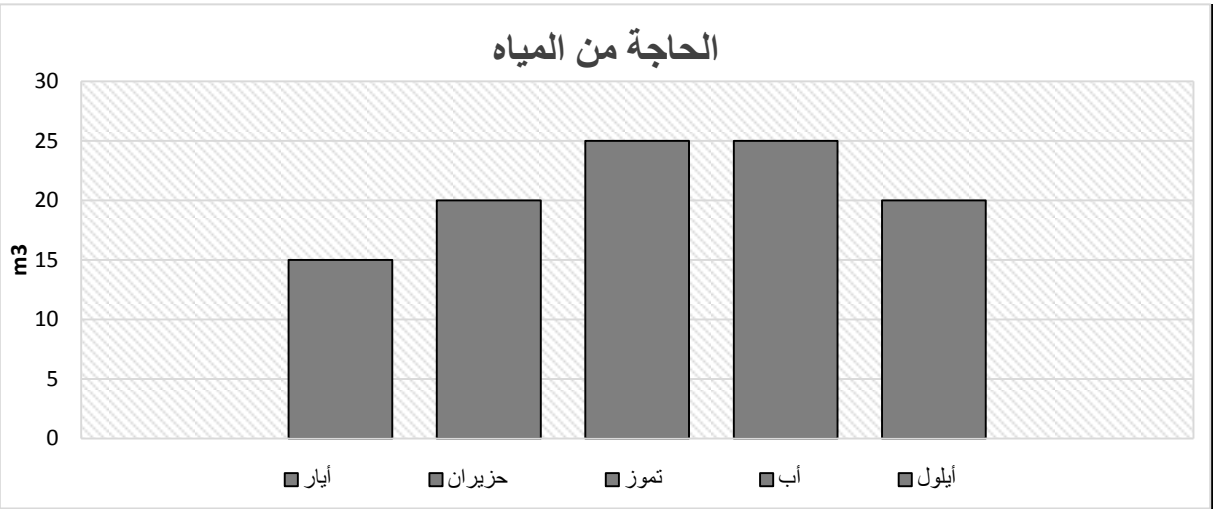
2-3 اختيار التصميم الأنسب:

يتم اختيار التصميم الأنسب المطلوب لتشغيل المضخة من خلال اتباع الخطوات التالية:

❖ تفاصيل الموقع: تقع المزرعة في ريف محافظة طرطوس و تضم بئر مياه يستخدم لري أشجار استوائية بالإضافة لسقاية بيت محمي خلال فصل الشتاء. خطوط الطول و العرض للموقع هي (34.53°N , 35.53°E).

❖ بيانات الإشعاع الشمسي: اعتمدت بيانات شدة الإشعاع الشمسي للموقع المدروس بالاعتماد على قاعدة بيانات خاصة ببرنامج Homer بناءً على إحداثيات الموقع المدروس و يوضح الشكل (1) بيانات شدة الإشعاع الشمسي لأشهر السنة للموقع المدروس و التي ستصل في شهر حزيران إلى $8.1\ kwh/m^2/day$ كمتوسط شهري للإشعاع الشمسي.

❖ تحديد الحاجة من المياه: المضخة تستخدم لسقاية الأشجار خلال فصل الصيف ، كما أنه لا يتم تحديد الطلب على المياه كل يوم ولكن هناك تقلبات تحدث على أساس شهري كما هو موضح في الشكل(2)، و عند تفاوت الكمية يجب أن نعتمد الكمية الأكبر التي نتوقع أن نستهلكها و التي هي $Q = 25\ m^3/day$.



الشكل(2):الحاجة من المياه

❖ حساب ارتفاع الضاغط الديناميكي(THD):

عمق البئر 50 m

ارتفاع الخزان عن سطح الأرض 2 m

الضياعات الناتجة عن الاحتكاك و عن وجود الأكواع تؤخذ عادة بنسبة 5% من الارتفاع الكلي:

$$52 \times 0.05 = 2.6\,m$$

و بالتالي يكون ارتفاع الضاغط الكلي:

$$TDH = 50 + 2 + 2.6 = 54.6 \approx 55\,m$$

❖ **تحديد استطاعة المضخة:**

يمكن حساب قدرة المضخة من خلال تطبيق العلاقة التالية [8]:

$$P = \frac{TDH \times Q \times \rho \times g}{\eta}$$

P : الاستطاعة الكهربائية المطلوبة للمضخة.

ρ: كثافة الماء $(998kg/m^3)$.

g: ثابت الجاذبية (9.81).

TDH : ارتفاع الضاغط الديناميكي.

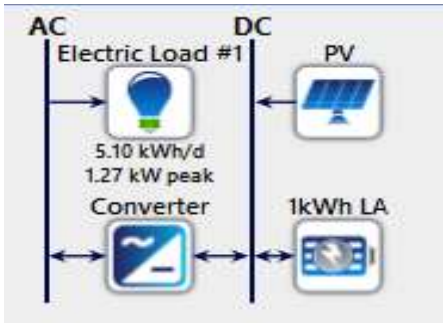
Q : معدل التدفق (m^3/s).

η : هي كفاءة المضخة (65٪).

يبلغ إجمالي ارتفاع الضاغط الديناميكي $58.5\,m$ ومعدل التدفق الأقصى $25\,m^3/day$. بالتعويض في المعادلة السابقة تكون استطاعة المضخة المطلوبة 0.65kw وبالتالي سنختار مضخة باستطاعة [HP]1.

❖ **تحجيم النظام الكهروضوئي:**

بناءً على استطاعة المضخة يمكن تحديد الألواح الكهروضوئية المطلوبة باستخدام برنامج Homer، وكما هو موضح في الشكل (3) الذي يبين جميع المكونات الكهربائية لنظام الضخ.



الشكل (3) رسم تخطيطي للحل الأول المقترح عند النمذجة باستخدام Homer

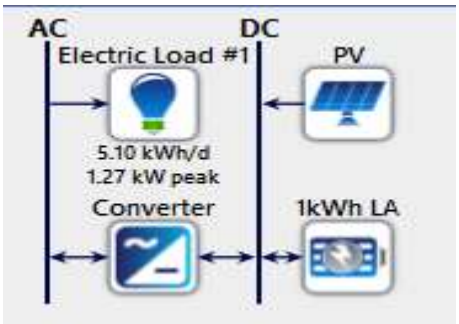
تم إدخال بيانات الإشعاع الشمسي الموضحة سابقاً في الشكل (4) مع بيانات الحمل اليومي خلال فصل الصيف.

الشكل (4) بيانات الحمل

تم النظر في ثلاث حلول مقترحة عند نمذجة النظام باستخدام Homer:

- نظام ضخ كهروضوئي مع وجود مدخرات.
- نظام ضخ كهروضوئي بدون وجود مدخرات.
- مولد كهربائي يعمل بوقود الديزل.

يأخذ الحل الأول بعين الاعتبار استخدام نظام ضخ كهروضوئي مع وجود مدخرات، يبين الشكل (5) رسم تخطيطي للحل الأول عند النمذجة باستخدام Homer.



الشكل(5) رسم تخطيطي للحل الأول عند النمذجة باستخدام Homer.

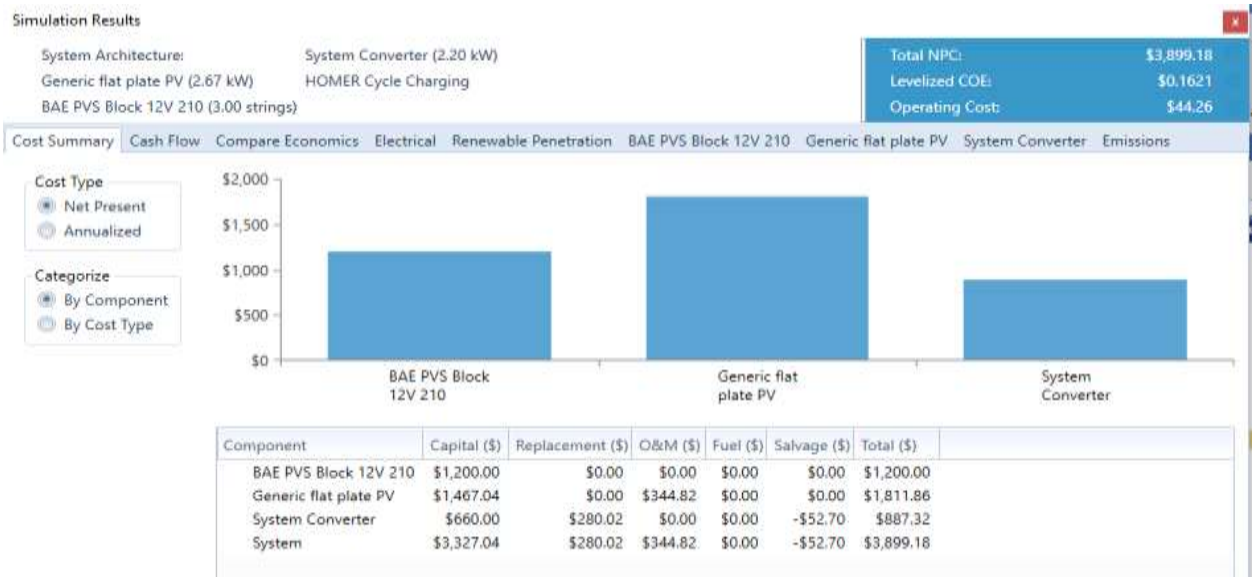
من الشكل (4) نلاحظ أن المضخة تعمل لمدة 6 ساعات يوميًا من الساعة 10 صباحًا حتى الساعة 4 مساءً. الهدف هو الاستفادة من الإشعاع الشمسي قدر الإمكان، في وضح النهار، لا سيما خلال وقت الذروة،

تبين نتائج المحاكاة للحل الأول باستخدام برنامج Homer أنه تم اختيار نظام كهروضوئي مكون من ألواح كهروضوئية باستطاعة 2.19 kw ، وانفرتر 2.2 kw، و 3 مدخرات (210 Ah، 12 v). كنظام مستقل سيكون مصدر الطاقة هذا كافياً لضخ الكمية المطلوبة من المياه مع إمكانية الاستفادة من الكهرباء المولدة في أوقات توقف نظام الضخ عن العمل.

تظهر نتائج المحاكاة النظام الأمثل كما هو موضح في الشكل(6)، حيث تبلغ الكلفة الإجمالية للنظام $ 3573 و كلفة التشغيل السنوية $/yr 39.45، في حين تبلغ كلفة التوليد $/kwh 0.149

الشكل (6) نتائج المحاكاة للحل الأول المقترح

الشكل (7) يبين توزيع التكاليف الاقتصادية لمكونات النظام حسب Homer، نلاحظ أن كلفة المدخرات هي $ 1200 في حين تبلغ كلفة الألواح $ 1467.04، أما الانفرتر فتبلغ كلفته $ 660.



الشكل(7) توزيع التكاليف الاقتصادية للحل الأول المقترح

بالنسبة للحل الثاني و نظراً لأن نظام الضخ مخصص لري الأشجار و المحاصيل خلال فصل الصيف حيث يكون احتمال وجود طقس غائم ضعيف و إن وجد فهو يستمر لبضع ساعات خلال اليوم، بالتالي يمكن الاستغناء عن وجود المدخرات مع العلم أنه ليس من الضروري سقاية الأشجار بشكل يومي، كما أنه لا يوجد ضرورة لتشغيل النظام أثناء الليل، و هذا سيؤدي بدوره إلى تقليل الكلفة الاقتصادية للنظام إلى $ 2088، يبين الشكل (8) رسم تخطيطي باستخدام Homer للحل الثاني:

الشكل(8) رسم تخطيطي للحل الثاني المقترح عند النمذجة باستخدام Homer

أما الحل الذي يعتمد على استخدام مولد الديزل كبديل للنظام الكهروضوئي و بالاعتماد على برنامج Homer تم إجراء الحسابات الاقتصادية و البيئية، يبين الشكل (9) رسم تخطيطي باستخدام Homer للحل الثالث:

الشكل(9): رسم تخطيطي للحل الثالث المقترح عند النمذجة باستخدام Homer

تبين نتائج المحاكاة للحل الثالث باستخدام برنامج Homer أنه تم اختيار مولد باستطاعة $2Kw$ ، تبلغ كلفة شراء المولد $ 350 في حين تبلغ كلفة التوليد $0.304\ \$/kwh$ و كلفة التشغيل الكلية $605.28\ \$/year$ ،ينتج مولد الديزل طاقة مقدارها $1862\ kwh/yr$ ، تظهر نتائج المحاكاة النظام الأمثل كما هو موضح في الشكل(10).

RESULTS

Summary | Tables | Graphs | Calculation Report

Compare Economics | Column Choices...

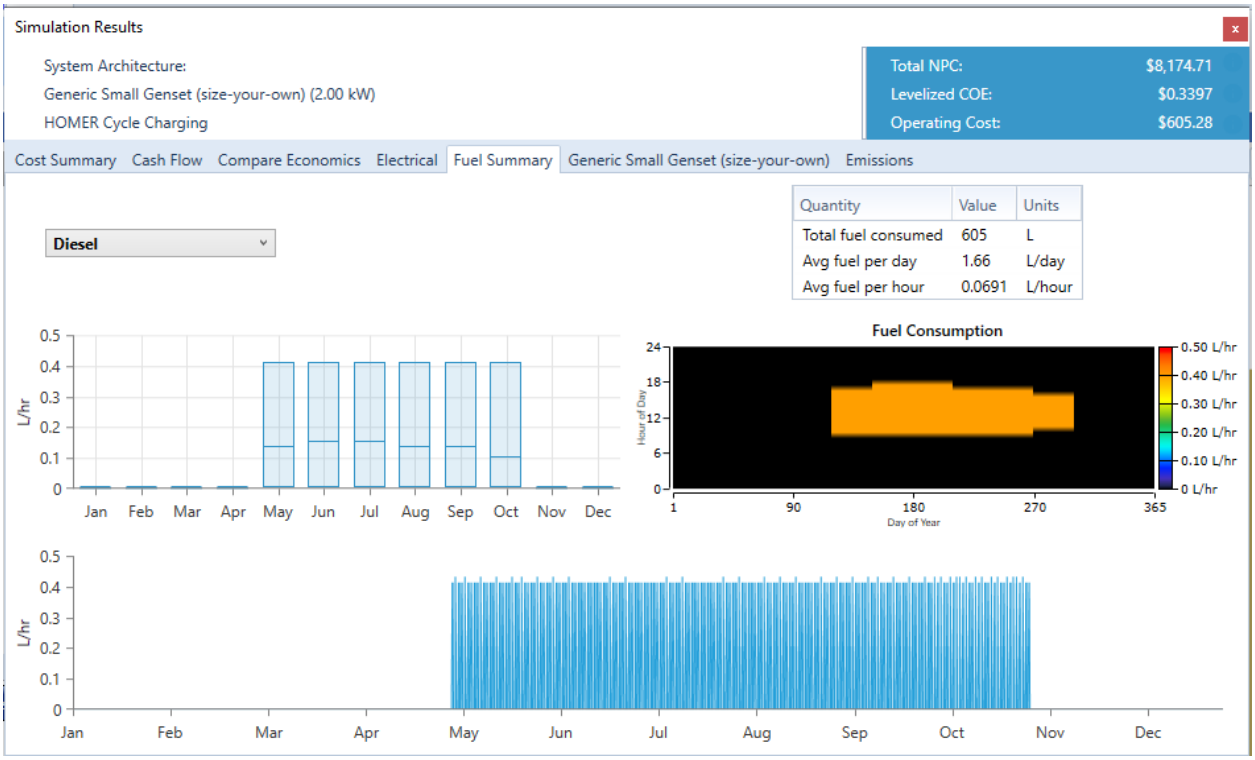
Export... | Optimization Results | Categorized | Overall

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Architecture		Cost				System		Gen50				
Gen50 (kW)	Dispatch	NPC ($)	COE ($)	Operating cost ($/yr)	Initial capital ($)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost ($/yr)	Fuel Cost ($/yr)
2.00	LF	$8,175	$0.340	$605.28	$350.00	0	605	1,471	1,862	605	0	605

الشكل (10) نتائج المحاكاة للحل الثالث المقترح

كما يبين الشكل (11) معدل استهلاك الوقود بالنسبة للمولد الكهربائي، حيث يبلغ معدل استهلاك الوقود يومياً $1.66\ L/day$ و سنوياً $605\ l/yr$، و باعتبار سعر لتر وقود الديزل وفق البرنامج $1\ \$/L$ فإن كلفة الوقود السنوية تبلغ $605\ \$/yr$.



الشكل (11) معدل استهلاك الوقود للمولد الكهربائي العامل على الديزل (Homer)

النتائج المناقشة:

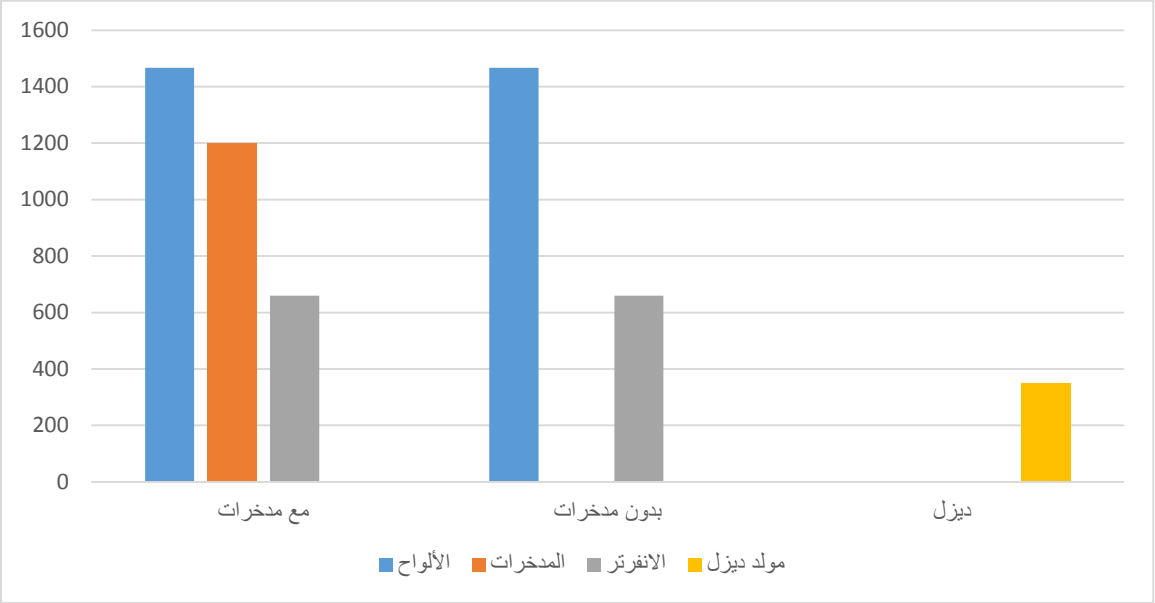
تم إجراء تحجيم نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية على نطاق واسع وتحليله اقتصاديًا، تظهر نتائج عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها باستخدام برنامج HOMER إمكانات كبيرة في تصميم الأنظمة الكهروضوئية، على الرغم من ارتفاع التكاليف التأسيسية للأنظمة الكهروضوئية مقارنة بالديزل إلا أن تكاليف أنظمة التوليد التقليدية (التشغيل والصيانة ، والاستبدال ، وتكاليف الوقود ، وما إلى ذلك) تتجاوز كلفة نظام الضخ الكهروضوئي.

يبين الجدول (1) توزيع التكاليف للحلول الثلاث المقترحة

الجدول (1) التكاليف الاقتصادية للحلول المقترحة

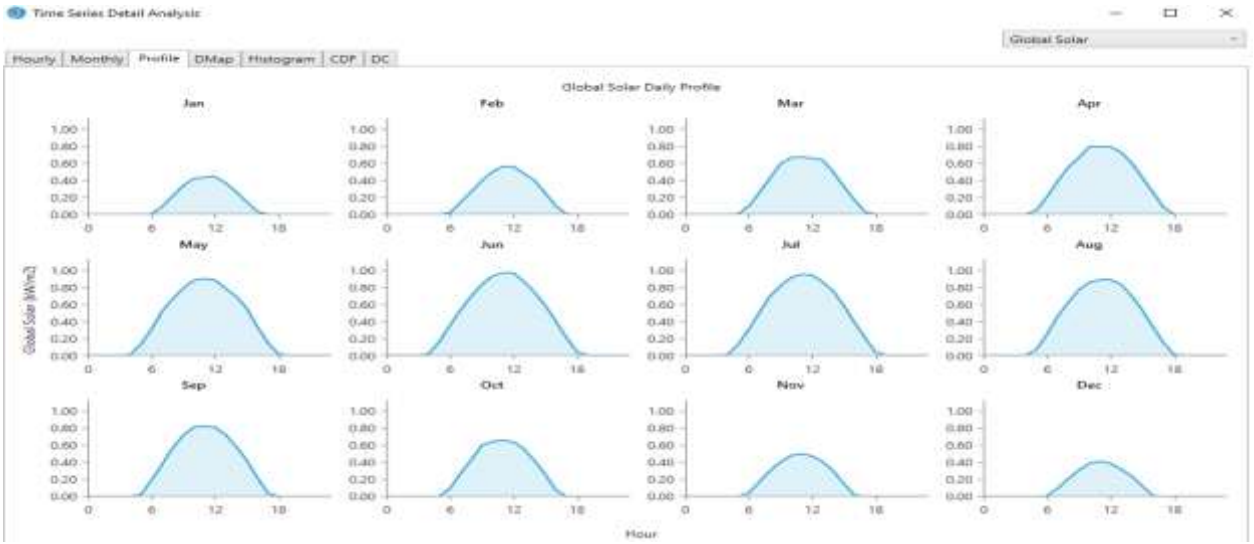
	نظام ضخ كهروضوئي مع مدخرات		نظام ضخ كهروضوئي بدون مدخرات		نظام ضخ يعتمد على مولد ديزل
الكلفة التأسيسية $	ألواح	1467.04 $	ألواح	1467.04 $	350
	مدخرات	1200$	مدخرات	0	
	انفرتر	660 $	انفرتر	660 $	
كلفة التوليد $/kwh	0.149		0.149		0.304
كلفة التشغيل السنوية $/yr	39.45		39.45		605.28

السبب الرئيسي الذي يدفع المستخدمين للابتعاد عن حلول الضخ التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية هو ارتفاع تكاليف رأس المال مقارنة بالخيار الذي يعمل بالديزل. كما يوضح الشكل(12)، على الرغم من ارتفاع تكلفة رأس المال، فإن النظام الكهروضوئي يقدم نفسه كخيار أفضل اقتصاديًا بسبب تكاليف التشغيل والصيانة المطلوبة لنظرائه الذين يعملون بالديزل.



الشكل (12) الكلفة التأسيسية للحلول الثلاث المقترحة.

إن الطاقة الكهربائية المقدمة من الألواح تتغير كل شهر كما هو موضح في الشكل (13)، حدثت ذروة إنتاج الطاقة في حزيران و تموز و أب، بينما حدث أقلها في شهري كانون الأول و الثاني. وبالمثل، أظهر الطلب على المياه نفس التباين حيث أن الري في الصيف يتطلب أكثر من المواسم الأخرى.



الشكل(13) انتاج الطاقة الكهربائية من الألواح على مدار عام كامل.

تُظهر نتائج الدراسة البيئية أن استبدال مولد الديزل بنظام ضخ كهروضوئي سيحمي البيئة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وتشمل هذه الانبعاثات المبينة في الجدول (2) كميات مختلفة من الغازات الضارة، هي على الشكل

التالي: $1585\ Kg/yr$ من ثاني أكسيد الكربون و $9.89\ Kg/yr$ من أول أوكسيد الكربون و $0.436\ Kg/yr$ من الهيدروكربونات غير المحترقة و $0.0593\ Kg/yr$ من الجسيمات الدقيقة و $3.88\ Kg/yr$ من ثاني أكسيد الكبريت و $9.30\ Kg/yr$ من أكاسيد النتروجين.

الجدول(2) كمية الغازات المنبعثة

الغازات المنبعثة	الانبعاثات السنوية من الغازات Kg/yr		
	نظام ضخ كهروضوئي بدون مدخرات	مولد ديزل	نظام ضخ كهروضوئي مع مدخرات
Carbon dioxide	0	1585	0
Carbon monoxide	0	9.89	0
Unburned hydrocarbons	0	0.436	0
Particulate matter	0	0.0593	0
Sulfur dioxide	0	3.88	0
Nitrogen oxides	0	9.30	0

الاستنتاجات و التوصيات:

تُعد أنظمة ضخ المياه بالطاقة الشمسية حلاً عملياً و اقتصادياً لمشاريع الري في الساحل السوري بالنظر إلى موقعها الجغرافي و أيضاً في ظل أزمة المشتقات النفطية التي تمر بها سوريا. تم النظر في ثلاث حلول مقترحة لتأمين التغذية الكهربائية لمضخة غاطسة استطاعتها 1 HP مركبة ضمن بئر عمقه $50\ m$ لتأمين احتياج يومي من الكهرباء حوالي $25\ m^3/day$، اثنين من الحلول قائمين على الطاقة الكهروضوئية و حل ثالث يعتمد على مولد ديزل.

تظهر النتائج المبينة سابقاً أن الحلول القائمة على الطاقة الكهروضوئية أكثر فعالية من حيث التكلفة الاقتصادية من الحلول التي تعمل بالديزل، كما أن الاعتماد على النظام الكهروضوئي في تشغيل المضخة يحمي البيئة من الغازات الضارة الناتجة عن حرق الوقود وكذلك التوفير في ثمن المشتقات النفطية.

لذا يوصى من الناحية الاقتصادية و البيئية بالتوجه للاستثمار في مجال الطاقات المتجددة وخاصة في مجال نظم ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية.

References:

[1] Ahmad, Aziz, Zafar Khan and Dayanand. "Design & Simulation of Photovoltaic water pumping system and MPPT Algorithm in Simulink." *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 5.4 (2015). 539-543.
[2] Scientific Studies and Research Senter (SSRC).
[3] C.Kelly, E.Gilbertson, A.Sheikh, D.Steven,S.Dubowsky,"On the feasibility of solar-powered irrigation", Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:2669-82.
[4] Ahmad, Aziz, Zafar Khan and Dayanand. "Design & Simulation of Photovoltaic water pumping system and MPPT Algorithm in Simulink." *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 5.4 (2015). 539-543.
[5] Hammad B, Al-Abed M, Al-Ghandoor A, et. al., Modeling and analysis of dust and temperature effects on photovoltaic systems' performance and optimal cleaning frequency: Jordan case study, Renewable and Sustainable Energy Reviews (2017)
[6] A. A. Ghoneim, "Design optimization of photovoltaic powered water pumping system", Energy Conversion & Management", Vol. 47, No. 11-12, pp. 1449–1463, 2006.
[7] K. R. Ajao, O. A. Oladosu, O. T. Popoola, "Using HOMER power optimization software for cost benefit analysis of hybrid-solar power generation relative to utility cost in Nigeria", International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, Vol. 7, No. 1, 2011.
[8] M. Salam, A. Aziz, A. H. A. Alwaeli, H. A. Kazem, "Optimal sizing of photovoltaic system using HOMER for Sohar, Oman", International Journal of Renewable Energy Research, Vol. 3, No. 2, 2013.
[9] M. T. Chaichan, H. A. Kazem, A. M. J. Mahdy, A. A. Al-Waeely, "Optimal sizing of a hybrid system of renewable energy for lighting street in Salalah-Oman using Homer software", International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS), Vol.2, No. 5, pp. 157-164, 2016.
[10] H. A. Kazem, S. Ali, A. H. A. Alwaeli, K. Mani, M. T. Chaichan, "Life-cycle cost analysis and optimization of health clinic PV system for a rural area in Oman", Proceeding of the World Congress on Engineering. London, 2013.
[11] HOMER PRO. HOMER Energy (Version 3.5.2) [Computer application software], 2014. Retrieved from http://www.homerenergy.com/