الطاقة الشمسية
والتنمية المستدامة
مجلة علمية محكّمة نصف سنوية تصدر
عن مركز بحوث ودراسات الطاقة الشمسية

مقارنة اقتصادية ـ تقنية مبسطة لمنظومة ضخ الماء بالطاقة الكهربية الشمسية مقابل منظومة ضخ الماء بالطاقة الكهربية التقليدية للأغراض الزراعية في منطقة «أوجلة»

قاسم عبدالسلام الزين [1] و امراجع حمد لالي [2]

[1] كلية الهندسة جامعة سبها، ص ب 19758 سبها

[2] شركة الزويتينة للنفط و باحث و مستشار فني ـ جمعية أوجلة الزراعية

بريد إلكتروني: g_azzain@yahoo.com [1], laliimraga@Gmail.com [2]

الملخص: تقدم هذه الورقة مقارنة مبسطة تبين الجدوى الاقتصادية لاستخدام المضخات الشمسية مقابل المضخات التقليدية في الزراعة القائمة على الري بالتنقيط مثل الخضراوات و الأشجار وخصوصاً النخيل في المناطق الزراعية حول أوجلة. حيث تمت مقارنة المواصفات التقنية بين نموذجين من المضخات الشمسية بسعتين متباينتين - كبيرة و صغيرة. كما تمت مقارنة تأثير إنتاجية المضختين على فاعلية التغطية المنشودة لبرامج الري المقصودة لأشجار النخيل و الخضراوات. كما أنجزت أيضاً مقارنة مباشرة بين تكاليف الضخ التقليدي و الضخ الشمسي للمياه الزراعية في حالة محددة لبئر يبعد 500 متر عن خط الإمداد بالطاقة الكهربية التقليدية. و قد تم في هذا البحث الاعتماد على المقاربة الحاسوبية باستخدام برنامج موثوق لأحد الشركات العالمية المتخصصة في تصنيع مضخات المياه العاملة أساساً على تقنية الطاقة الشمسية. حيث و اعتماداً على الاستقراء و المحاكاة الرقمية لعمليات ضخ مياه الري الزراعي سجلت تقنية الضخ الشمسية معدلات أداء تقني - اقتصادي عالية جداً مقابل الضخ الكهربي التقليدي. و قد تم الحصول على نتائج مرضية لتدفقات المياه ترجح استخدام المنظومات الاصغر و الأقل تكلفة للضخ الشمسي على المنظومات الأكبر في الحالة قيد الدراسة و ما شابهها، كما أن تلك النتائج قد بينت أفضلية اقتصادية بارزة للمنظومات الشمسية على المنظومات التقليدية على المدى المتوسط و البعيد. و بشكل عام، فقد أثبتت نتائج هذا البحث، أنه و حيثما تتوفر المياه بشكل عام فإنه يمكن النجاح و بجدوى اقتصادية عالية في الاستفادة من الإمكانات الهائلة للطاقة الشمسية و معداتها في تشجيع الزراعة الإنتاجية بعيدة المدى في أي مكان يبعد و لو قليلاً عن الخطوط التقليدية لنقل الطاقة الكهربية. و نظراً لما توفره هذه العملية من فرص عمل و استثمار زراعي و صناعي و بشري و تنمية مستدامة في الكثير من المناطق المشابهة فإنها سوف تحتاج إلى المساندة بجملة من السياسات، و القوانين، و التسهيلات، و المحفزات المالية ، المؤدية إلى تحقيق هذه الرؤية، ضمن شروط الجدوى الاقتصادية، و من ضمنها توفير التمويل و تفعيل السوق و التأهيل البشري.

An Economical -Technical Comparison of Solar Electrical Water Pumping System Versus Conventional Electrical Water Pumping System for Agricultural Purposes in the Area of "Awjila"

Gassem Azzain[1], and Imraga Lali[2]

[1]Sebha University; Faculty of Energy and Mining Engineering, Sebha-Libya

[2] Zueitina Oil Company and Researcher And Technical Consultant - Agricultural Association Awjila

***Abstract*:** This paper presents a simplified comparison to show the economic feasibility of the use of solar pumps versus conventional pumps in dripping based cultivation, such as

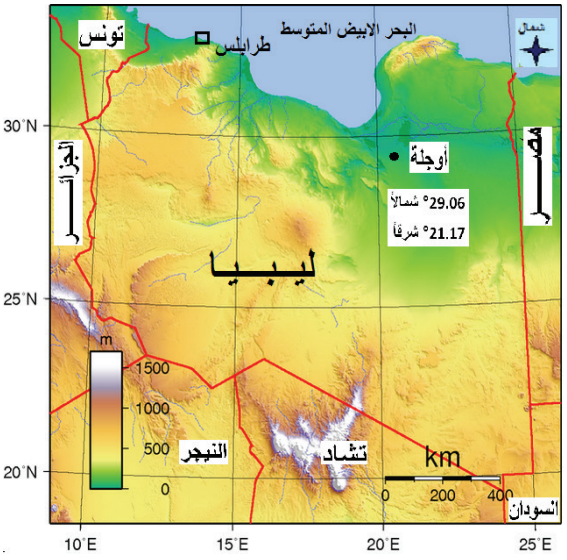
vegetables and palm trees, especially in the agricultural area about Awjila. Some technical specifications of two models of solar pumps with two different capacities - large and small - were compared. Also compared the effect of was the productivity of the two pumps on the effectiveness of desired coverage of irrigation plans intended to palm trees and vegetables. A direct comparison was made also between the traditional pumping costs and the solar pumping of agricultural water in a particular case of a well located 500 meters from the line of conventional AC power supply. In this paper we relied on computer program approach using a trusted specialized code made by an international company manufacturing water pumps operating mainly on solar energy technology. Depending on the extrapolation and digital simulation of the processes for agricultural irrigation; solar water pumping technique recorded very high techno-economical performance rates over the traditional electrical pumping. Satisfactory results were obtained for water flows that suggest the use of smaller solar pumping systems and lowest-cost over the larger systems in the case under consideration and the like. The results have shown that solar systems have prominent economic advantage over conventional systems in the medium and long range. In general results of this research, have proven, that where water is generally available, it can successfully and at high economic feasibility benefit from the tremendous solar energy potential and its equipment in the promotion of productive long term agriculture anywhere even if is not far from the traditional transmission lines of electric power. And as solar pumping technique provides is beneficial for job opportunities, agricultural, industrial and human investment and sustainable development in many of the same regions; they need support by a set of policies, laws, facilities with financial incentives leading to the realization of this vision within the economic feasibility conditions, and including the provision of funding and market activation with human habilitation.

countries through dividing them into oil producing countries and non- oil producing ones .In the third axis, tools of econometrics are used to predict the international trend and that of the Arab countries , both oil and non-oil to renewable energy . The last part estimates the standard model about the possible impact of moving energies on economic growth rates in the Arab countries. The study concluded that the growing renewable energies will be different in the constituent countries of the study sample, in addition to the weak impact of the move towards renewable energies on economic growth in the Arab countries.

كلمات استدلالية: : ضخ المياه، منظومات فوتوفولتية، طاقة شمسية، زراعية، معدلات التدفق، مضخة غاطسة.

1. المقدمة

تقع منطقة أوجلة كما يبين الشكل 1 في بلدية الواحات عند تقاطع خط عرض 29°06' شمالاً و خط طول 21°17' شرقاً، و تشتهر هذه المنطقة بإنتاجها الزراعي المميز من التمور و الخضراوات، و هي تعتمد في هذا الإنتاج على مخزون هائل من المياه الجوفية عالية الجودة و المتوفرة على أعماق قريبة متباينة. تعتبر مدينة أوجلة من أقدم المدن الصحراوية في شمال أفريقيا و هي مرشحة للمزيد من الجذب و الاستثمار السياحي، حيث يعتبر مسجدها العتيق أقدم المعالم الأثرية الإسلامية في ليبيا، بالإضافة إلى عدد من المواقع الأثرية و التاريخية الأخرى.



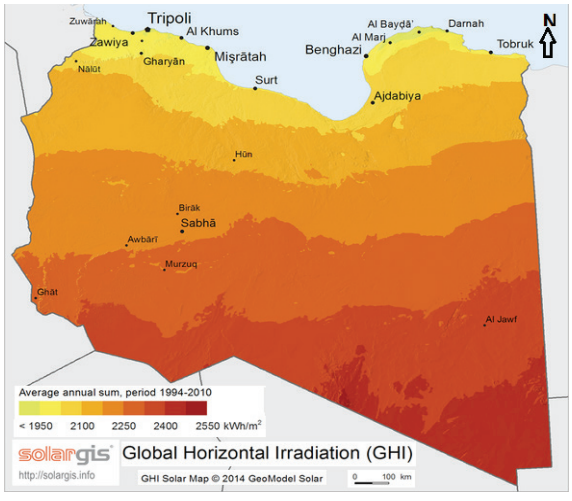
الشكل (1). الموقع الجغرافي لمنطقة أوجلة.

إن منطقة أوجلة تقع ضمن أهم مناطق الإشعاع الشمسي الأعلى و شبه الدائم عالمياً، و إن تلك المستويات العالية من الفيض الإشعاعي لا شك تسترعي الاهتمام بشكل كبير و تدعو إلى الاستثمار فيها كمصدر للطاقة المتجددة لمختلف الأنشطة البشرية الخدمية و الصناعية و السياحية، و مع ذلك فإن التركيز في هذا البحث سيكون مكرساً للأنشطة الزراعية منها فقط و ذلك تماشياً مع النشاط البشري الاقتصادي الرئيس في المنطقة و المعتمد على وفرة المياه العذبة و التربة الخصبة على مساحات واسعة محيطة بالمنطقة. إن المشكلة الرئيسة التي تواجه هذه المنطقة و مناطق الواحات المشابهة العديدة في ليبيا تتمثل في كيفية الاستفادة من مواردها المائية الجوفية الوفيرة في التنمية وزيادة المساحات المزروعة بالأشجار المثمرة و أشجار الغابات و الخضراوات على وجه الخصوص مع توافر الأراضي الصالحة للزراعة و امتدادها بعيداً عن خطوط نقل الطاقة الكهربية التقليدية. و الحل المقترح في سياق هذا البحث يكمن في التأكيد على الاستفادة من توفر الطاقة الشمسية المتجددة في المنطقة بدلاً من الطاقة الكهربية التقليدية في أعمال الري كلما برزت الإمكانية العملية لذلك ، و تسهيل الحصول على الموارد المالية اللازمة لتغطية التكلفة المبدئية لمنظومات الضخ الشمسي و التوفيق بينها و بين وفرة المياه الجوفية و في وجود التربة الزراعية الجيدة و العنصر البشري المؤهل، و هذا و كما يقترح موضوع هذا البحث، في ظل توقع جدوى عالية من الناحية الإقتصادية و التقنية.

2. معدلات الإشعاع الشمسي

إن الطاقة الشمسية هي المصدر الأهم و الأكثر وفرة ضمن مصادر الطاقات المتجددة في المنطقة قيد الدراسة، حيث و كما يوضح الشكل 2 [2 - نت] و حسب العديد من القياسات المعتمدة محلياً و دولياً كما في المصادر من [1] إلى [5]، فإن قيمة المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي الأفقي الكلي يبلغ حوالي 2,880 كيلوات ساعة على المتر المربع.

إن هذا الفيض الهائل من الإشعاع الشمسي هو من أعلى المعدلات العالمية التي يتوجب الاستفادة منها و توظيفها بصورة مثلى من أجل المساهمة في تنمية المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية الواقعة بمنطقة الدراسة، و ذلك بالاستعانة بأحدث تقنيات الطاقة الشمسية لضخ و توزيع المياه، الأمر الذي سيؤدي و بصورة مباشرة إلى التمكن من تزويد الكثير من المناطق الحضرية القريبة من المدن و الأرياف و المراعي بالمياه اللازمة للأغراض المنزلية و الخدمية و الزراعية و الرعوية، بل أيضاً استغلال و استصلاح الكثير من الأراضي الجرداء البعيدة عن خطوط نقل الطاقة الكهربية التقليدية و خصوصاً مع توفر المياه الجوفية بها و على أعماق ليست بالكبيرة. حيث أن أحد أهم غايات هذا البحث هو بيان أفضلية الاعتماد على الطاقة الشمسية في تغطية احتياجات الري في مثل تلك المناطق على الطاقة الكهربية التقليدية المرسلة على خطوط الشبكة العامة و بشكل خاص في المناطق القريبة نسبياً في حدود نصف كيلومتر و أكثر من تلك الخطوط.



الشكل (2). توزيع المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي الأفقي الكلي على المتر المربع في ليبيا [2 - نت].

3. منظومات ضخ المياه بالطاقة الشمسية

بدأت المشاريع في مجال ضخ المياه بالطاقة الشمسية في ليبيا عام 1983 ، حيث تم استخدام النظام الفوتوفولتي

لضخ المياه لأغراض الري في العجيلات. و قد تكون هذا المشروع لضخ المياه من 10 منظومات بلغ إجمالي القدرة التقديرية القصوى لهذا التطبيق 40 كيلووات [6]. كما تم لاحقاً إجراء هذا التطبيق في عدة أماكن أخرى في المنطقة الغربية و الوسطى و الجنوبية في ليبيا ، كما في الجدول 1.

الجدول (1). بعض مواقع التطبيقات التجريبية المبكرة لضخ المياه بالطاقة الشمسية في ليبيا [7].

الموقع	عدد الآبار
المنطقة الغربية	5
بئر جودائم	1
آبار المنطقة الوسطى	4
مركز دراسات الطاقة الشمسية	3
مركز الدراسات الصحراوية- مرزق ، المنطقة الجنوبية	3
الإجمالي	16

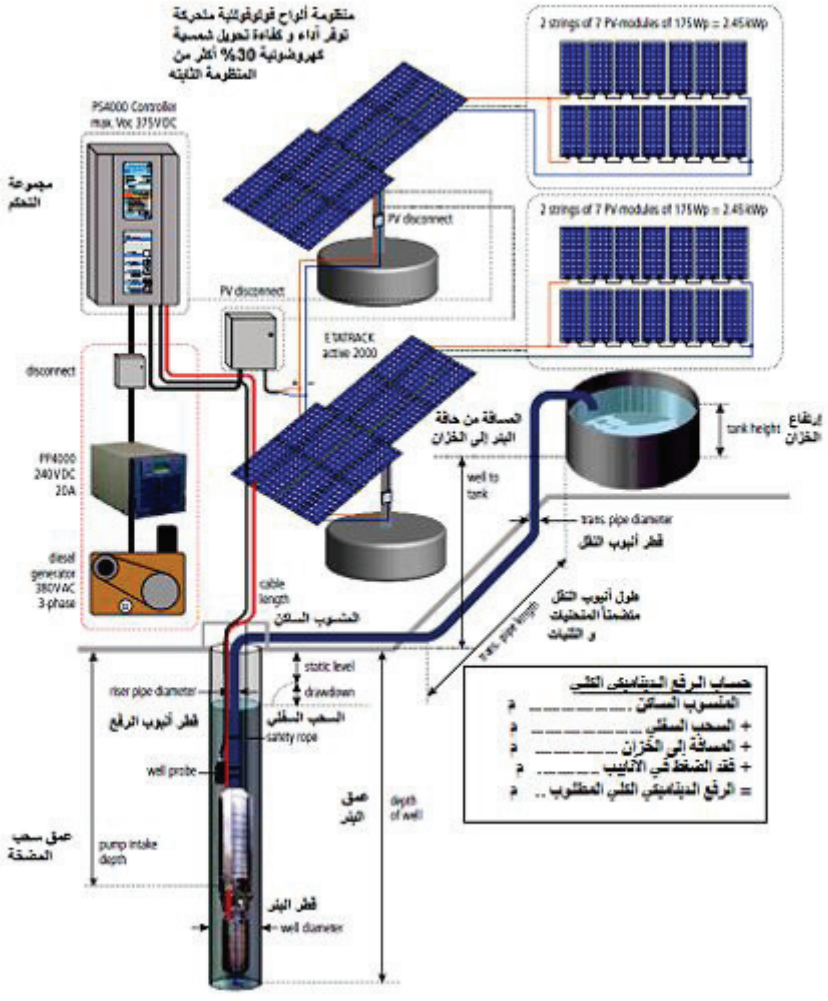
1.3 - تركيب المنظومات الشمسية لضخ المياه

تتركب منظومة ضخ المياه بالطاقة الشمسية و كما يبين الشكل 3 من نمطين هما أولاً: منظومة التيار الكهربي المباشر (DC current) و هي التي تعتمد على مضخة ماء متغيرة السرعة (Variable speed submersible water pump) للآبار ذات الأعماق القليلة و المتوسطة (Low and medium wells) و يمكنها التزود بالطاقة الكهربية مباشرةً من الألواح الفوتوفولتية (PV solar panels)مروراً بمنظم الشحنة (Charge controller) أو منظم للتيار. و ثانياً: منظومة التيار الكهربي المتردد (AC current)) و تعتمد على مضخات ماء تقليدية متغيرة السرعة (Classical variable speed submersible water pump) للآبار ذات الأعماق الكبيرة (Deep wells) و تتزود بالطاقة الكهربية عن طريق مبدل و مقوم للتيار (Inverter)يحول الكهرباء المباشرة من الخلايا الشمسية إلى كهرباء مترددة. و بشكل عام فإن المنظومات الحديثة تتمتع بالكثير من المرونة في العمل على كلا النوعين من التيار الكهربي. إن كلتا المنظومتين لها نفس العناصر أي الألواح الشمسية الفوتوفولتية و منظم الشحنة و الاختلاف بينهما هو في وجود محول التيار المباشر إلى تيار متردد أو العكس في حال استخدام مضخة تقليدية تعمل بالتيار المتردد من الشبكة أو من أي مولد كهربي بوقود الديزل أو استعمال مضخة شمسية تعمل بالتيار المباشر مع نفس المولد الذي يعمل على الديزل أو تتزود بالتيار الكهربي من الشبكة. إن الشكل 3 يبين نفس التركيب العام للمنظومة بفارق وجود الألواح الفوتوفولتية الثابتة بالإضافة إلى الألواح الشمسية الفوتوفولتية المتحركة التي يمكنها تتبع الإشعاع الشمسي العمودي طوال فترة السطوع الشمسي المتغيرة حسب فصول السنة بحيث يقوم بالتقاط معدل أكبر من الإشعاع الشمسي و تحويله إلى تيار كهربي بنسبة زيادة تصل إلى أكثر من 30 % أكثر من ذلك الذي يمكن الحصول عليه من منصة الألواح الثابتة. و هذا يعني أن مساحات الألواح الفوتوفولتية اللازمة لتشغيل نفس المضخة و تغطية نفس المعدل المطلوب من المياه ستكون أقل بكثير من تلك التي ستحتاجها منظومة الألواح الثابتة الأقل سعراً. و من أجل تحديد النوعية الأنسب من الألواح فإنه يمكن إجراء دراسة مقارنة إقتصادية فنية من أجل التوصل إلى الحل الأمثل لأية حالة وفقاً لظروفها المحلية من حيث مقدار الاستفادة من الزيادة في قيمة الإشعاع الشمسي و تأثيرها على معدلات ضخ المياه من الأعماق المحددة مع موازنة التكاليف و العوائد المالية و البيئية و الاجتماعية لهذه العملية من أجل تحديد جدواها الاقتصادية. و على العموم فإن هذا البحث يهتم ببيان المواصفات العامة للمضخة الأنسب لمعدل الضخ المطلوب إلى الخزان الرئيس أعلى البئر و من العمق المحدد سلفاً فقط، و هذا يعني ضمنياً تدفق الماء إلى ذلك الخزان بسرعة يمكن تحديدها بالنسبة لقطر الأنبوب و بناءاً عليه يمكن أيضاً تحديد الضغط الممكن للماء في أنابيب شبكة التوزيع في حالة الرغبة في توزيع الماء عبر شبكات كما هو الحال في شبكات توزيع المياه البلدية. و حيث إن تفاصيل مسألة استخدام تلك المياه بهذه الصورة تخرج عن نطاق اهتمام هذا البحث، و يمكن دراستها بصورة مستقلة في بحث آخر أكثر تخصصاً، فإن هذا البحث يهتم فقط بمنظومات شبكات الري الزراعي بالتنقيط أو الصب أو الرش أو ما شابه.

1.4 دراسة إمكانيات ضخ المياه بالطاقة الشمسية

إن ما سلف من توقعات بخصوص الاستفادة الصريحة من الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة من أجل ضخ المياه بالإضافة إلى الاستفادة الضمنية كمصدر و سوق للعمل و للاستثمار يحتاج إلى تحديد نوعية المضخات اللازمة على أساس معدلات المياه المطلوب سحبها بالمتر المكعب في الساعة و الأعماق التي ينبغي سحبها منها، و الجدول 2 يبين السعة و العمق المطلوب للتزود بالمياه للزراعة في منطقة الدراسة المحددة بخطي الطول و العرض لذلك الموقع و التي تم وصفها ضمن هذا البحث من أجل تعيين قيمة الإشعاع الشمسي المتوفر، و بناءًا عليه و بتغذية اللوحة الرئيسية لبرنامج الحاسوب [9] المبينة في الشكل 2.3 بهذه البيانات على هيئة مدخلات أساسية كما هي مفصلة في الفقرة 2.4 يتم حساب و تحديد حجم المضخات الشمسية اللازمة

و مساحة ألواح المنظومات الفوتوفولتية و عددها و طريقة توصيلها و التي يجب تركيبها في المنطقة المحددة ضمن الإقليم المعني بالدراسة. و بالاستعانة بقاعدة بيانات واسعة يمكن الحصول على أفضل تكوين للمنظومة الأنسب تقنياً و اقتصادياً قياساً على عمق البئر و سعة الري المطلوبة.



الشكل (1.3). الشكل العام و بعض التفاصيل الفنية لمنظومة فوتوفولتية لضخ المياه بالطاقة الشمسية و أبعاد التشغيل بألواح لاقطة متحركة أو ثابته [4 ـ نت].

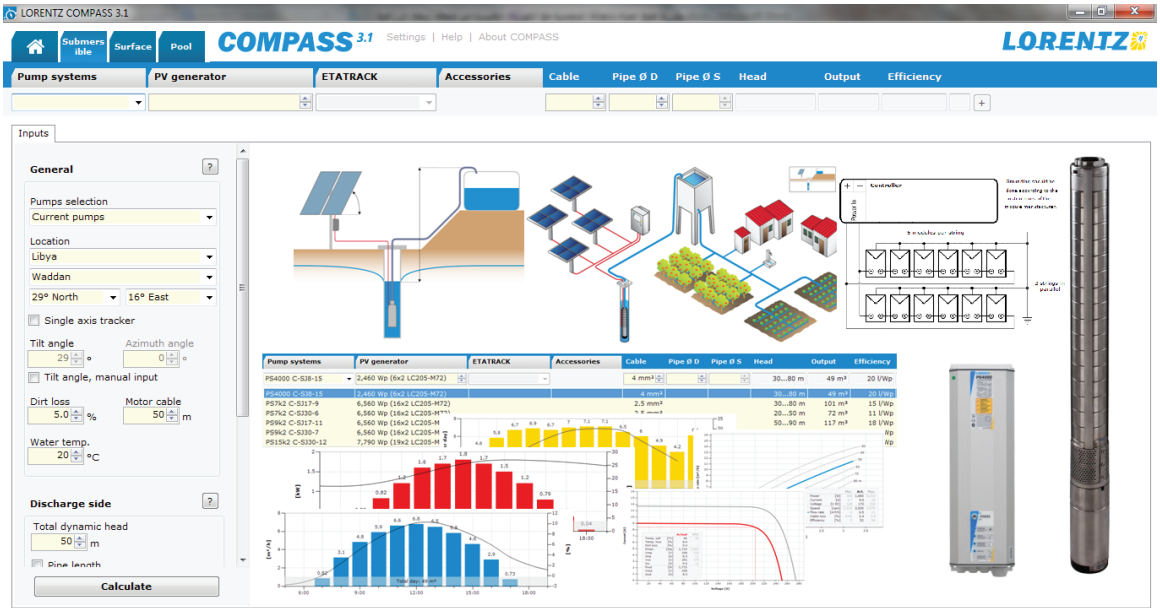
1.4 مدخلات و مخرجات النظام و معطيات المعالجة في عملية المحاكاة:

تتكون مدخلات النظام المبين في الشكل 2.3 من بيانات حول اختيار المضخة محل الاختبار من قاعدة بيانات تشمل كل أنواع المضخات المتوفرة لدى الجهة المصنعة و اختيار الموقع محل الدراسة (البلد و المنطقة محددة بخطي الطول و العرض) و معطيات تثبيت و توجيه زاوية ميل الألواح الفوتوفولتية على أساس (اللوح الثابت) أو (المتحرك أحادي المحور) أو المتحرك وفقاً (لزاويتي السمت و الميل) و معطيات حول (درجة نقاء الماء و طول سلك التوصيل و درجة حرارة الماء) و من جانب التفريغ هناك بيانات (الرفع الرأسي الكلي المطلوب) و (طول الأنبوب)، بالإضافة إلى المتطلبات التي سيتم على أساسها حساب المخرجات مثل (الإنتاجية الإسمية اليومية المطلوبة م^3) و (حساب حجم التدفق نسبةً إلى المتوسط الشهري أو للشهر الأكثر أو الأقل إنتاجية أو لشهر أو لموسم إختياري أو طبقاً ليوم شمسي محدد أو وفقاً للشهر الأكثر جفافاً).

2.4 معطيات المناخ المتوفرة في منطقة أوجلة

إن معدلات السطوع الشمسي هي العامل الحاسم في تحديد مدى قدرة الألواح الشمسية على العمل و التحويل الفوتوفولتي لذا يجب أولاً تقديم عرض لتلك المعدلات في

المنطقة المعنية بهذا البحث كمؤشر على الجدوى الفنية المبدئية لهذا التطبيق، و قد تم تحصيل هذه البيانات عن طريق المعالجة الرقمية باستخدام برنامج حاسوبي متطور [4. نت] اعتمد فيه على بيانات متيورولوجية رقمية صادرة عن وكالة «ناسا» [10] ، متوافقة مع القيم المعروفة لمعدلات الاشعاع الشمسي الموثقة في المراجع المشار إليها في هذا البحث من [1] إلى [5]. و الشكل 4 يوضح معدلات الإشعاع الشمسي الساعي و اليومي و الشهري و السنوي و التغير في درجات الحرارة الجوية المحسوبة لمنطقة أوجلة.



الشكل (2.3). الواجهة الرئيسة لبرنامج محاكاة منظومات ضخ المياه بالطاقة الشمسية [9].

5. نتائج عمليات المحاكاة الرقمية

هذا الجزء من البحث يقدم نتائج عملية محاكاة ضخ المياه بمنظومات شمسية باستخدام البرنامج الحاسوبي المشار إليه في الفقرة السابقة وذلك و فقاً لمعدل الضخ المطلوب و العمق، حيث في الجدول 3 تم بيان سعة المنظومات الفوتوفولتية و أنواع ألواحها و قوة المضخات بالحصان و القدرة القصوى التي تحتاجها كل منظومة للعمل على العمق المحدد و سعة الضخ المطلوبة في 5 ساعات للمناطق المشابهة في نطاق بلدية الواحات.

الاختبار المقدم هنا كتمهيد لدراسة حالة الضخ الشمسي للمياه الزراعية في منطقة أوجلة هو اختبار ضخ المياه من بئر افتراضي من مركز أوجلة تحديداً و باستخدام المقاربة الرقمية و الاستقراء الحاسوبي المشار إليه سابقاً [9] لمعدلات القدرة بالوات و كميات الطاقة الشمسية المتوفرة للمنظومة بالكيلوات ساعة و معدلات التدفق الساعي و اليومي للمياه بالمتر المكعب و كذلك مؤشرات أداء المضخة الشمسية و مؤشرات أداء المنظومة الفوتوفولتية، كما تبين الأشكال من 5 إلى 8.

الجدول (2). بيانات موقع البحث و سعات سحب المياه و عمق البئر

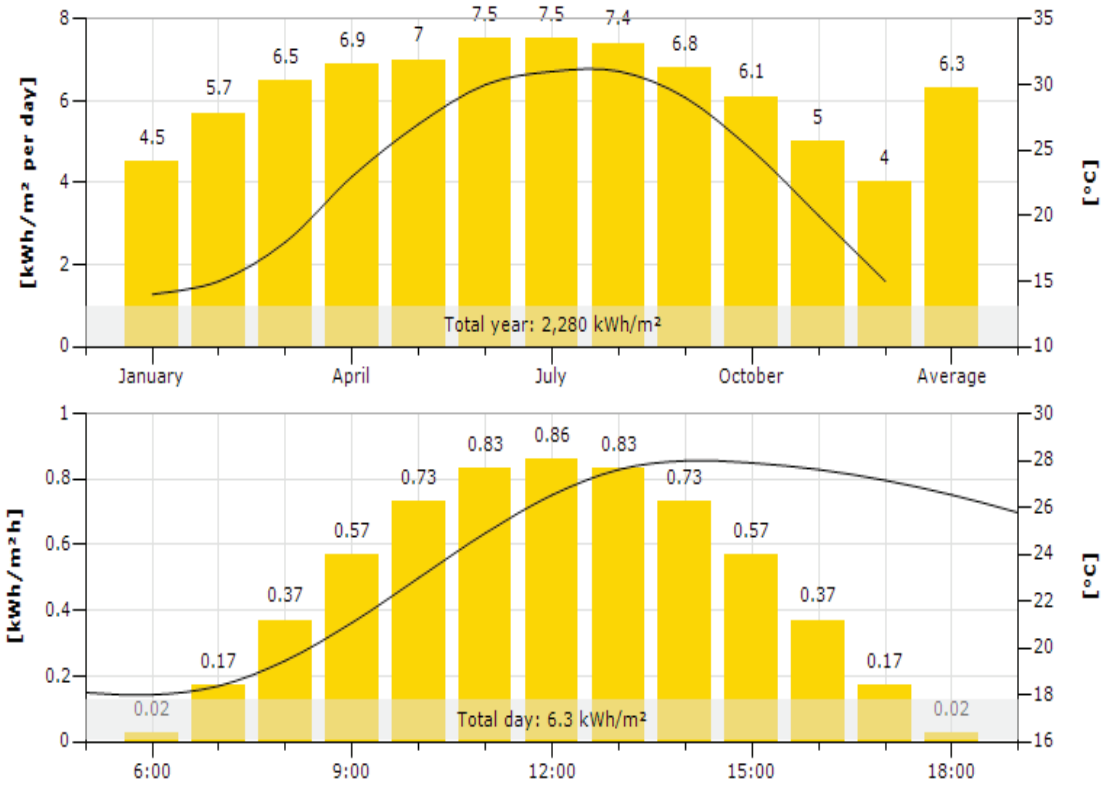
رقم	الموقع			اسم البئر	السعة* (م^3\س)	عمق إنزال* المضخة (م)
	أوجلة	'07°21	‹08°29	مركز اوجلة	26	40 إلى 75

* بيانات تقديرية مقترحة لموقع الدراسة

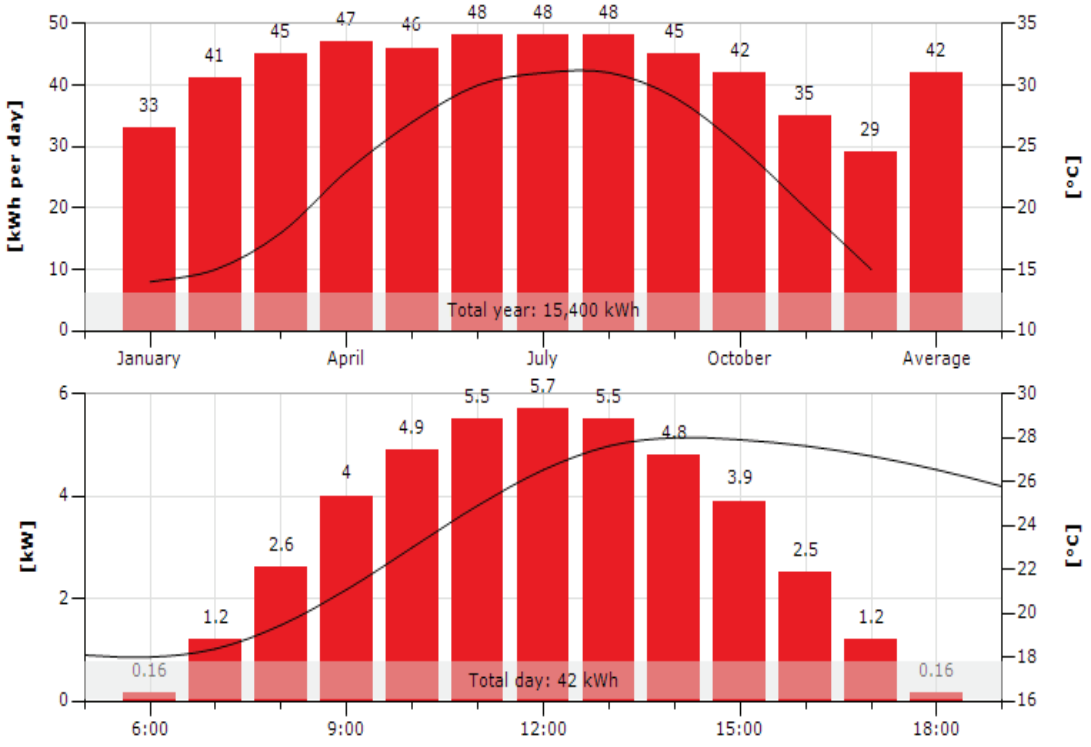
الجدول (3). مثال على سعة الضخ المطلوبة في 5 ساعات تشغيل، و قدرة المضخة، و قدرة المنظومة اللازمة للتشغيل حسب نوع المضخة المستخدمة

الموقع	اسم البئر	سعة الضخ اليومية 5 ساعات (م^3\اليوم)	قدرة المضخة القصوى ك وات / حصان	نوع المضخة و توزيع الالواح و سعة اللوح الواحد بالوات و نوعه (€)	القدرة القصوى للمنظومة بالوات (€)
أوجلة	مركز اوجلة	130	20 / 15	PS15k C-SJ30-12 (16x7 LC185-24M)	20,720

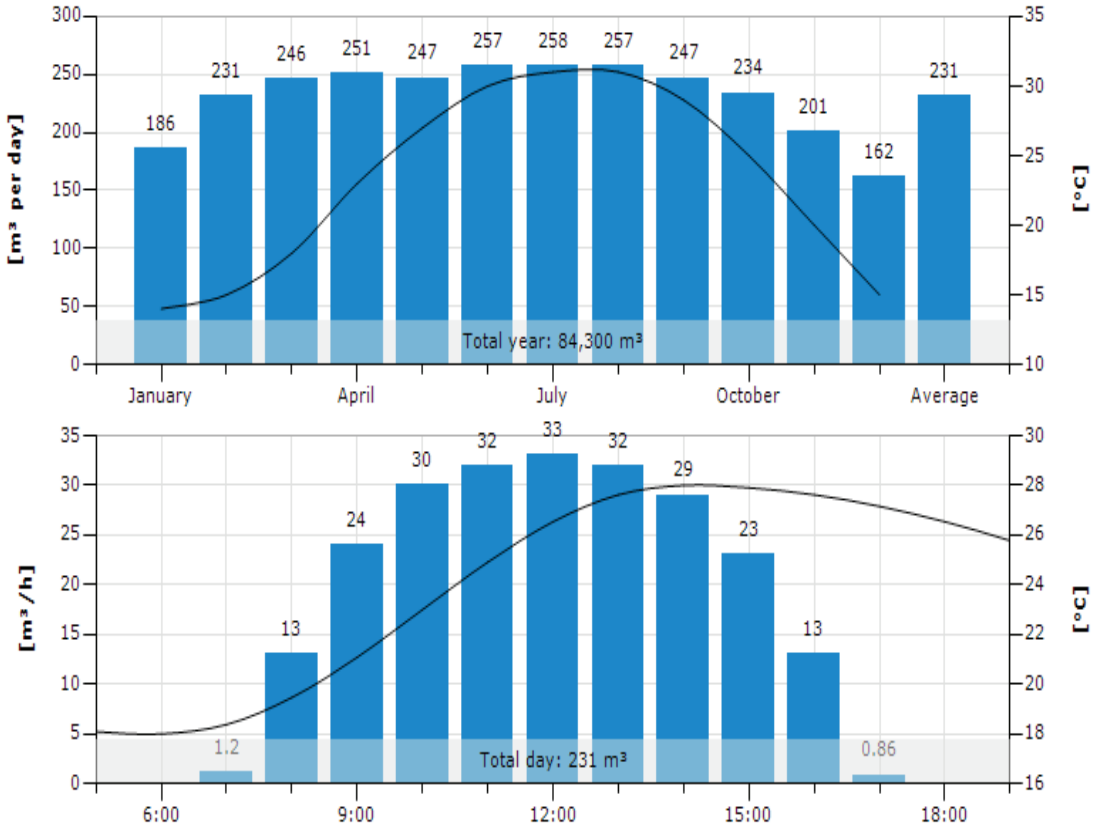
(€) حسب مواصفات الشركة المصنعة للمنظومة



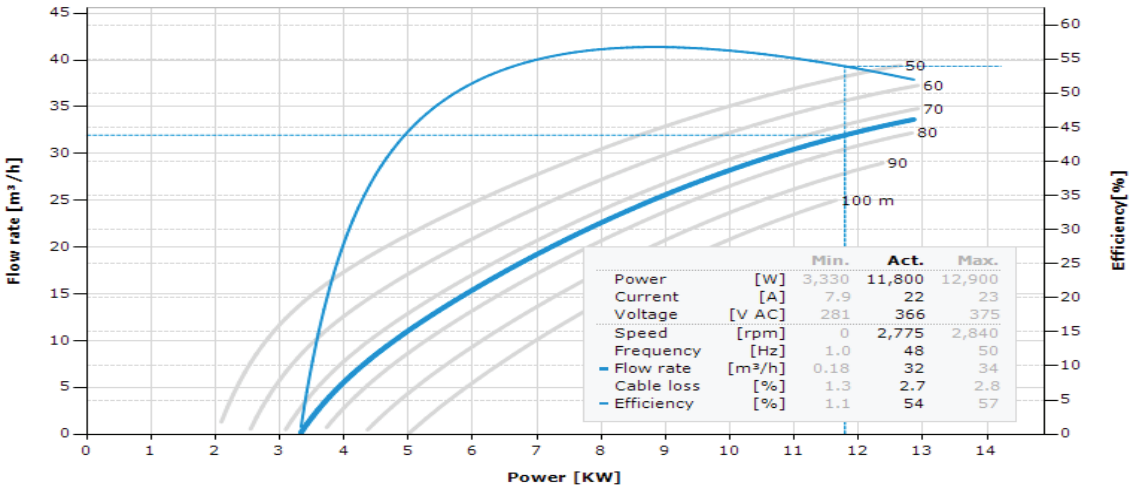
الشكل (4). متوسطات التغير الساعي و اليومي و الشهري لمعدلات الإشعاع الشمسي العمودي المباشر و التغير المصاحب في درجات الحرارة الجوية على منطقة البحث.



الشكل (5). معدلات ساعية للقدرة الشمسية العمودية المباشرة (0.16 ك وات حد أدنى و 5.7 ك وات حد أعلى) ومعدلات الطاقة الشمسية المتوفرة للمنظومة بمتوسط يومي (42 ك وات س)

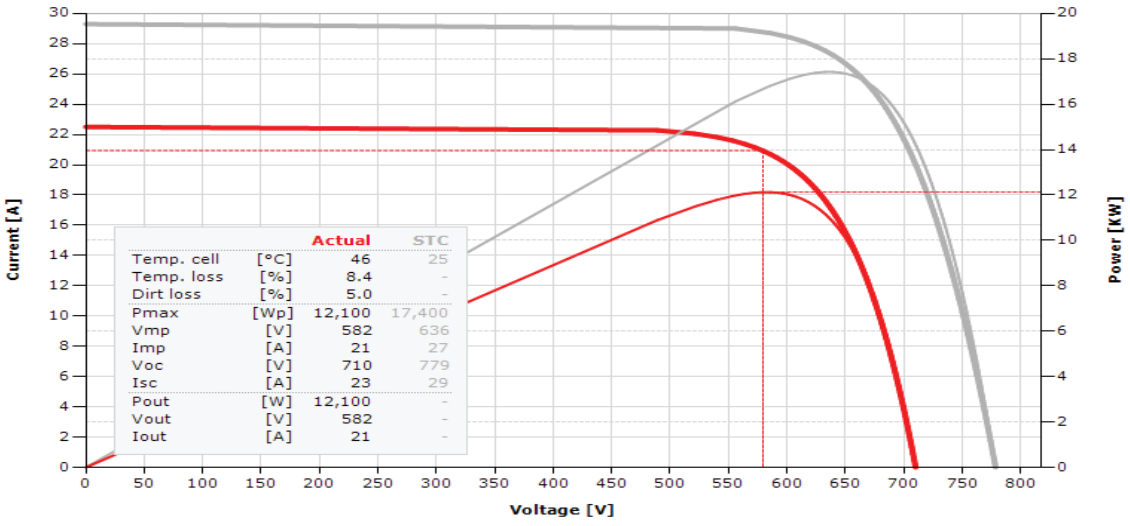


الشكل (6). معدلات التدفق الساعي (0.86 م³ حد أدنى و 33 م³ حد أعلى) و بمتوسط يومي (231 م³) و إجمالي سنوي (84,300 م³)



الشكل (7). مؤشرات الأداء الميكانيكي للمضخة الشمسية (معدلات التدفق و الكفاءة مقابل القدرة الشمسية)

و يمكن ملاحظة حدود التغير بالزيادة أو النقص في معدل التدفق الساعي للمياه بالمتر المكعب مع الزيادة أو النقص في الطاقة الفوتوفولتية المتوفرة بالكيلووات ، كما يلاحظ التغير المصاحب في منحنى كفاءة التشغيل الذي يظهر أن أقصى كفاءة ممكنة لهذه المنظومة هي 57% عند التشغيل بقدرة 9 كيلووات و هي تعطي معدلات تدفق متباينة تعتمد أساساً على عمق البئر.



الشكل (8). مؤشرات الأداء الكهربي للمنظومة الفوتوفولتية (التيار و القدرة مقابل الجهد)

6. دراسة حالة ـ الجدوى الاقتصادية لاستخدام الطاقة الشمسية في الري بمنطقة اوجله:

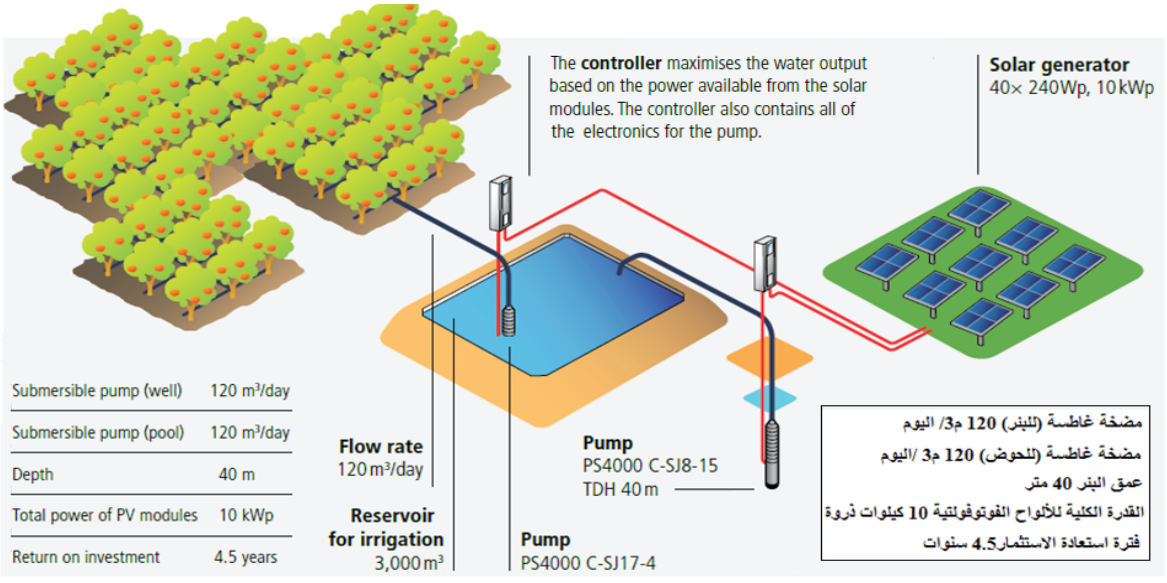
أولاً و قبل الدخول في المقارنة موضوع هذا البحث و التي ستكون في وجهها الاول بين مضختين شمسيتين بسعتين صغيرة و كبيرة ثم بين منظومة ضخ المياه الشمسية الفوتوفولتية و منظومة ضخ المياه الكهربية التقليدية فإنه و على سبيل التمهيد سيكون من المناسب عرض ملخص لنتائج المقارنة بين تكاليف الطاقة المستهلكة في ضخ مياه الري يوميا بسعة 120 م^3 في منطقة وجدة بالمغرب كما في الجدول 4 اعتماداً على مولد يعمل بالديزل و مولد آخر يعمل بغاز الميتان و هما نوعا الوقود الأرخص سعراً و بين منظومة شمسية فوتوفولتية 100 كيلوات [8]، حيث تم التأكيد على أفضلية المنظومة الشمسية بشكل عام مع ملاحظة أن المقارنة موضوع البحث هنا هي بين منظومة ضخ المياه بالطاقة الكهربية التقليدية الرخيصة نسبياً و هي المصدر الوحيد لتزويد مضخات الري بالطاقة في ليبيا، و منظومة ضخ المياه الفوتوفولتية المقترحة.

الجدول (4). مقارنة تكلفة الاحتياجات المائية و الطاقة على التوالي 120 م^3 ، 30 كيلوات ساعة يومياً [8]

مصدر الطاقة	الديزل	البيوتان	فوتوفولتية
الكفاءة %	30	32	15.1 / اللوح
الطاقة اللازمة - كيلوات ساعة	100	100	100
المحتوى الطاقي للوقود - كيلوات ساعة	9.29 / لتر	160.23 / قارورة	-
الوقود المستهلك	10.76 لتر	0.62 قارورة	-
التكلفة على الوحدة	0.864 $/لتر	5.28 $/قارورة	$ 0
التكلفة اليومية للوقود $	9.30	3.30	$ 0
التكلفة الشهرية للوقود $	283	100	$ 0
التكلفة السنوية للوقود $	3,395	1,203	$ 0
التكلفة لخمس سنوات تشغيل			
تكلفة الوقود $	16,973	6,014	$ 0
تكلفة تسليم الوقود - إعادة التعبئة $	3,000	3,000	$ 0
خدمة المحرك - استبدال قطع غيار	3,600	3,000	$ 0
تكلفة مبدئية $	2,400	2,400	16,800
التكلفة الإجمالية $	25,973	14,414	16,800
التكلفة لكل متر مكعب من الماء $	0.12	0.07	0.08

من أجل إبراز أحد المظاهر العملية لتطبيق تقنية ضخ المياه بالطاقة الشمسية بمنطقة أوجلة على سبيل المثال ، و خصوصاً

في عمليات الري الزراعي و سقي الحدائق و الغابات و المساحات الخضراء المختلفة و باستخدام إحدى المنظومات الموصوفة سلفا و كما في الشكل 9 المصدر [8] أو في المصدر [4 . نت]، فقد تم في هذه الدراسة المبسطة مقارنة إمكانيات الضخ الإنتاجي بين مضختين تعملان بالطاقة الشمسية ، صغرى بقوة 5.5 (حصان) و أقصى معدل تدفق 14 (م^3 / س) و هي (PS4000 C-SJ8-15) و كبرى بقوة 27 (حصان) و أقصى معدل تدفق 43 (م^3 / س) و هي (PS21K C-SJ30-16) ، ثم المفاضلة بين تكاليف و إمكانيات الضخ للمضخة الشمسية الصغرى مع مضخة تقليدية من نفس الحجم تعتمد على الكهرباء التقليدية عبر مقارنة الأداء العام في عمليات ري أشجار النخيل بحجمين صغير و كبير، و قد تم بيان ذلك في الجداول من 4 إلى 10 و مقارنة التكاليف الابتدائية و تكاليف التشغيل و الصيانة و التكلفة الإجمالية بين المنظومتين كما في الجدول 11 و من ثم و على هذا الأساس تلخيص مؤشرات الأداء العام لهذه العملية و مقارنة بعضها ببعض و عرض نسب تميز الضخ الشمسي عن الضخ التقليدي في الجدول 12.



الشكل (9). الضخ الشمسي و عمليات سحب و توزيع و تخزين مياه الري .[7]

و كما يبين الجدول 5 ، تم اقتراح الفرضيات المبدئية للدراسة حول طريقة الري «بالتنقيط» لأسباب اقتصادية مرتبطة بشروط استدامة الموارد الطبيعية حيث تقل السعات المطلوبة للري و يقل حجم و تكلفة المنظومة.

الجدول 5. الفرضيات المبدئية للدراسة حول طريقة الري (*)

نوع الري المقترح	تنقيط
عدد النقاطات لكل نخلة	16
معدل دفق النقاط (ل/ س)	4
كمية المياه المطلوبة لكل نخلة صغيرة باللتر/ يوم	100
كمية المياه المطلوبة لكل نخله كبيرة باللتر / يوم	200

(*) المصدر : نتائج حسابات عملية من واقع الخبرة المباشرة للباحث 2 (جمعية أوجلة الزراعية) [11].

أما الجدول 6 فهو يقدم مقارنة بين المواصفات الفنية لمضختين شمسيتين من نفس الجهة المصنعة و لكن بقوتين مختلفتين و سعتين متباينتين و فارق كبير في معدلات التدفق القصوى و العمق الذي يتم سحب المياه منه و أيضاً بتكلفتين مختلفتين.

و الجدول 7 يعرض عملية ري النخيل بالتنقيط باستخدام المضختين المقترحتين (PS4000 C-SJ8-15) و (PS21K C-SJ30-16) و يوضح أيضاً الفرق بينهما في معدلات التدفق و عدد أشجار النخيل الممكن ريها باستخدام أي من المضختين مع تساوي عدد النقاطات في كل متر طولي و معدل التدفق من كل نقاط باللتر على الساعة و كذلك تساوي مدة الري في حالتي النخل الصغير و الكبير.

الجدول (6). مقارنة المواصفات الميكانيكية لمنظومتي ضخ المياه بالطاقة الشمسية [9] و [4- نت]

رمز المضخة	15-PS4000 C-SJ8
اقصى عمق (م)	80
القوة (حصان)	5.5
اقصى تدفق (م^3/ س)	14
السعر التقريبي (د.ل)	12,000

الشكل (1.10) . المضخة الأصغر [9] و [4- نت]

رمز المضخة	16-PS21K C-SJ30
اقصى عمق (م)	120
القوة (حصان)	27
اقصى تدفق (م^3/ س)	43
السعر التقريبي (د.ل)	65,000

الشكل (2.10). المضخة الأكبر [9] و [4- نت]

والجدول 8 يقدم وبشكل أكثر تحديداً عملية ري النخيل بالتنقيط باستخدام المضخة (**PS4000 C-SJ8-15**) ذات الإنتاجية في حدود 28 (م^3 / س) ، و بقوة 5.5 (حصان) أي المضخة الأصغر حجماً، حيث يمكن ملاحظة أنه يمكن ري نفس عدد النخيل بتشغيل المضخة الصغرى لثلاث فترات، أي طول اليوم.

الجدول (7). مقارنة ري النخيل بالتنقيط باستخدام المضختين المقترحتين (*).

رمز المضخة	15-PS4000 C-SJ8	16-PS21K C-SJ30
معدل التدفق (م^3/س)	14	43
عدد النقاطات	16	16
تدفق النقاطات (ل/ س)	64	64
عدد أشجار النخيل	219	672
مدة الري للنخل الصغير بالساعة	1.56	1.56

مدة الري للنخل الكبير بالساعة	3.13	3.13
(❖) المصدر : نتائج حسابات عملية من واقع الخبرة المباشرة للباحث 2 (جمعية أوجلة الزراعية) [11].		

الجدول (8). ري النخيل بالتنقيط باستخدام مضخة ذات انتاجية في حدود 28 (م^3 / س) ، قوة 5.5 (حصان) (*)

عدد النقاطات	تدفق النقاطات (ل/ س)	عدد النخيل	مدة الري للنخل الصغير بالساعة	مدة الري للنخل الكبير بالساعة
16	64	438	1.56	3.13

(*) المصدر : نتائج حسابات عملية من واقع الخبرة المباشرة للباحث 2 (جمعية أوجلة الزراعية) [11].

و حيث أن لطريقة الري تأثيراً مباشراً على مقدار الطاقة المطلوبة لتشغيل المنظومات فإن الجدول 9 يبين مقارنة توقعات ري النخيل بالغمر في حالة استخدام المضختين المقترحتين. و هو يظهر بوضوح الزيادة الكبيرة في عدد أشجار النخيل الممكن ريها في حالة الري الشمسي بالتنقيط مع الاستغلال الأمثل لمنظومة الضخ الشمسي و تشغيلها طول اليوم مقارنة بالري بالغمر الذي يهدر المياه هدراً كبيراً.

الجدول (9). مقارنة توقعات ري النخيل بالغمر في حالة استخدام المضختين المقترحتين (*)

رمز المضخة	15-PS4000 C-SJ8	16-PS21K C-SJ30
معدل التدفق (م^3/س)	14	43
عدد النقاطات (غمر بالمياه)	1	1
تدفق النقاطات (ل/ س)	140	140
عدد النخيل	100	300
مدة الري للنخل الصغير بالساعة	0.71	0.71
مدة الري للنخل الكبير بالساعة	1.43	1.43

(❖) المصدر : نتائج حسابات عملية من واقع الخبرة المباشرة للباحث 2 (جمعية أوجلة الزراعية) [11].

و من أجل بيان الصورة الكاملة للتكلفة الرأسمالية الابتدائية المتوقعة لتوصيل الكهرباء التقليدية إلى موقع زراعي افتراضي يقع على بعد 500 م فقط من الخط العام لشبكة الكهرباء فإن الجدول 10 يعطي تفصيلاً لكافة المعدات اللازمة لضخ المياه متضمنة الأعمدة و المحول و الأسلاك الهوائية المعزولة و غيرها من معدات التحكم الكهربية الضرورية و الأسلاك و المفاتيح بالإضافة إلى سعر المضخة التقليدية و الرسوم و المصاريف الإدارية الواجبة.

و الجدول 11 كما هو مبين يقدم مقارنة رأسمالية بين منظومة ضخ المياه بالتيار الكهربي العام من الشبكة مقابل منظومة ضخ المياه بالطاقة الشمسية و ذلك في فترة تشغيلية 10 سنوات هي فترة ضمان المضخة الشمسية، و قد بين هذا المؤشر الجدوى الاقتصادية و التقنية العالية لمصلحة المنظومات الشمسية.

الجدول (10). تكاليف مبدئية لمد شبكة ضغط عال 11 ك، لمسافة 500 م، و تركيب مضخة تقليدية غاطسة 5.5 حصان (*)

البيان	العدد	تكلفة الوحدة د.ل	الإجمالي الفرعي د.ل
اعمدة جهدعال	10	450	4,500
محول 100KVA 11KV/380	1	6,400	6,400
سلك هوائي معزول (م)	1,500	1.8	2,700
عوازل حمل	27	15	405
عوازل شد	6	15	90
قاطع منصهر جهد عال	1	300	300
قاطع سكينه جهد منخفض	1	350	350
كابل تغذية 10 مم مربع (م)	40	5.5	220

رسوم ربط	1	650	650
أعمال يدوية (م)	500	2.5	1,250
مضخة 5.5 حصان	1	1,000	1,000
مفتاح تشغيل	1	400	400
الاجمالي الرئيس د.ل	--	--	18,265.00

(❖) المصدر : نتائج حسابات عملية من واقع الخبرة المباشرة للباحث 2 (جمعية أوجلة الزراعية)[11].

الجدول (11). مقارنة التكاليف التقديرية لتركيب المنظومة بمضخة 5.5 حصان و تشغيل لمدة 10 سنوات وبمعدل 8 ساعات يوميا.

نوع التكلفة	التكلفة الرأسمالية (#)	
	منظومة الضخ بالتيار العام	منظومة الضخ بالطاقة الشمسية
تكاليف انشائيه إبتدائية متضمنة زمن التركيب و سعر المضخة	18,265	12,500
تكاليف استهلاك كهرباء 300 درهم للكيلوات ساعة	5,284	0
تكاليف صيانة	250	125
الاجمالي د.ل	23,799	12,625

(#) حسابات بناءًا على الخبرة العملية في المجال الزراعي للباحث 2 و بيانات الشركة المنتجة للمضخات الشمسية

و الجدول 12 يقدم موجزاً لكل مؤشرات الأداء المنطقية و قد تم حسابها على أساس بيانات التكلفة في الجدول 11 و هي المتعلقة بتشغيل منظومة الضخ الشمسي للمياه لغرض الزراعة وفقاً للتصميم الذي سبق وصفه في هذه الورقة، حيث اشتمل ضمنياً على الفترة الزمنية اللازمة لأعمال التركيب و جودته، و درجة الجودة التقنية أثناء فترة التشغيل و عدم الحاجة للصيانة المتكررة و المكلفة، و درجة الأفضلية الرأسمالية كمؤشر إقتصادي عام، ثم التغطية الكهربية و ضمان استمرارية الخدمة، و المؤشر البيئي للاستدامة من خلال استغلال الطاقة الشمسية النظيفة و الاستعمال المرشد للموارد المائية، و في النهاية مؤشر جاهزية المنظومة للاستجابة للطلب بسبب وجود التخزين الهيدروليكي للطاقة في خزان الماء ذي التكلفة المنخفضة و الفاعلية التي تغني عن استخدام التخزين الكهروكيميائي عالي التكلفة و اللابيئي في البطاريات.

الجدول 12. مقارنة منطقية لمؤشرات الأداء العامة حول الضخ الشمسي للمياه و نسب التميز عن «الضخ التقليدي»

نوع المؤشر	نسبة التميز (%)	نوع المؤشر	نسبة التميز (%)
الإنشائي (زمن الإنجاز و الجودة)	32+	التغطية الكهربية (ضمان عدم إنقطاع الخدمة)	100+
الصيانة المتوقعة (الجودة التقنية)	50+	البيئي (الحفاظ على البيئة و الموارد المائية)	100+
الإقتصادي العام (التكلفة الرأسمالية و التشغيلية)	53+	تخزين الطاقة (الجاهزية و الاستجابة للطلب)	100+

7. الاستنتاجات

توفر الإشعاع الشمسي في منطقة أوجلة و بمعدلات عالية جداً.

توفر التقنية الشمسية لضخ المياه للأغراض الزراعية.

إمكانية تغطية الاحتياجات المائية بمضخة شمسية أصغر حجما و بنفس الفاعلية و الري بتكلفة أقل.

بينت المؤشرات أن لمنظومة الضخ الشمسي الأفضليات التالية على منظومة الضخ الكهربي التقليدي:

أفضلية إنشائية و تقنية و سرعة في التنفيذ بجدوى اقتصادية عالية بين 32 و 53%،

نجاعة بيئية و جاهزية كهربية و استجابة لتغطية الاحتياجات المائية بنسب تصل إلى 100 %،

توفير إمكانية عالية للاستزراع في أي مكان تتوفر به المياه و التربة الصالحة،

أفضلية للضخ الشمسي في الري حتى للمناطق قرب الخط العام للكهرباء في حدود نصف كيلومتر و أكثر.

حل مشكلة ارتفاع التكلفة الابتدائية لمنظومات الري الشمسي يكمن في توفير التمويل اللازم للإقراض التنموي و السداد عبر نظام التقسيط.

8. المراجـــــــــــع:

[1]-IBRAHIM M. SALEH» PROSPECTS OF RENEWABLE ENERGY IN LIBYA", International Symposium on Solar Physics and Solar Eclipses (SPSE) 2006.

[2]-Müller-Steinhagen Hans, "Technical Workshop on Concentrating Solar Power CSP", Institute of Technical Thermodynamics German Aerospace Center (DLR), Weec2006, Tripoli –Libya.

[3]-Azzain Gassem, "Dynamic Simulations of Complex Domestic Solar Energy Systems with Thermal Storage Alternatives", Ph.D. Thesis, ITC, MEiL, PW, Warsaw University of Technology, 2007, Warsaw – Poland.

[4]-Azzain Gassem, "Generation of First Typical Meteorological Year (TMY) for Sebha City", Bulletins of Institute of Heat Engineering (IHE), 2003, Polytechnic Warsaw (PW). Poland.

[5]-I. M. Saleh Ibrahim Al-Jadi, M. A. EKhlat**, N. M. Krema** "PHOTOVOLTAIC IN LIBYA APPLICATIONS AND EVALUATION", Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries-2006.*

[6]-Ezzeddin S. Aburas, " National Energy Statistics Libya" Ministry of Electricity and Renewable Energy, General Electrical Company of LIBYA (GECOL), Muscat, Oman Mar. 2014.

[7]-Issa Atawaijr, "Renewable Energies in Libya Reality and the Future," World Renewable Energy and Environment Conference , (WREEC-2006). Tripoli, Libya.

[8]- "Solar Water Pumping for Irrigation in Oujda - Morroco., Case Study", 05.01.2013 . Lorentz company. Siebenstücken 24 - 24558 Henstedt-Ulzburg.

[9]-Software "Lorentz COMPASS 3.1.0.44, Solar Pump System Planner". Bernt Lorentz GmbH & Co. KG.

[10]-Data source: Monthly average insolation values from NASA Langley Research Center Atmospheric Sciences Data Cenrer POWER Project. Hourly values by the time-dependent autoregressive Gaussian model of Aguiar and and Collares-Pereira.

[11]-**Imraga H. Lali ,** (جمعية أوجلة الزراعية) *Awjila Agricultural Association, Nov. 2013.*

[1-نت.]	http://ar.wikipedia.org/wiki/سكان_ليبيا
[2 . نت]	http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Libya-en.png
[3-نت.]	http://www.populationdata.net/index2.php?option=pays&pid=121&nom=libye
[4 . نت]	http://www.lorentz.de/en/partnernet/products/manuals.html?pnetID=KBH5UU http://www.lorentz.de/pdf/lorentz_ps4000_manual_en.pdf