Comprehensive Journal of Science
Volume (11), Issue (42), (Sapt, 2026)
ISSN: 3104-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (11) العدد 42 سبتمبر 2026
ردمد: 3104-6266

تقييم الأداء الفيزيائي والاقتصادي للطاقة الشمسية في مزارع الجفرة منطقة ودان دراسة استطلاعية ميدانية

مبروكة معيوف أذياب[1] ، صلاح امحمد محمد مسعود[2] ، هنادي الحسناوي عطا الله[3]

[1]قسم الفيزياء، كلية التربية ودان، جامعة الجفرة ، مدينة الجفرة ، دولة ليبيا
[2] قسم الفيزياء، كلية التربية العجيلات، جامعة الزاوية ، مدينة العجيلات ، دولة ليبيا
[3]قسم الفيزياء، كلية التربية ودان، جامعة الجفرة ، مدينة الجفرة ، دولة ليبيا

Assessment of the Physical and Economic Performance of Solar Energy in Al-Jufra Farms: The Waddan Area – A Field Exploratory Study

Mabrouka Maiouf Adhyab [1], Salah Mhammed Mohammed Masoud [2], Hanadi Al-Hasnawi Atallah [3]
1 Department of Physics, College of Education – Waddan, University of Al-Jufra, Al-Jufra, Libya
2 Department of Physics, College of Education – Al-Ajaylat, University of Zawia, Al-Ajaylat, Libya
3Department of Physics, College of Education – Waddan, University of Al-Jufra, Al-Jufra, Libya
Corresponding Author's Email: Smasoud@zu.edu.ly

تاريخ الاستلام: 2026/09/02 –تاريخ المراجعة:2026/09/08– تاريخ القبول: 2026/10/06– تاريخ للنشر : 2026 /11/03

الملخص

الخلايا الشمسية أو الكهروضوئية هي أجهزة تعمل على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية من خلال استغلال التأثير الكهروضوئي، حيث تتكون من مجموعة من الخلايا المرتبطة مع بعضها البعض لتكوين ألواح قادرة على إنتاج الطاقة، وقد شهدت هذه التقنية تطوراً كبيراً خلال العقود الماضية، وتعد من أهم مصادر الطاقة المتجددة في العالم.
[13]يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في تشغيل مضخات المياه في مزارع التمور بمدينة ودان بمنطقة الجفرة، نظراً لما تتمتع به المنطقة من وفرة في الإشعاع الشمسي، إضافة إلى التحديات التي تواجه مصادر الطاقة التقليدية مثل ارتفاع تكاليف الوقود وعدم استقرار التيار الكهربائي. يتناول البحث الجوانب النظرية المتعلقة بعمل الخلايا الشمسية، والعوامل المؤثرة على كفاءتها مثل درجة الحرارة وتراكم الغبار، كما يتطرق إلى تطبيقاتها في المجال الزراعي، خاصة في أنظمة ضخ المياه. ومن الجانب العملي، تم حساب القدرة اللازمة لتشغيل المضخة وتصميم نظام شمسي متكامل يتناسب مع ظروف المنطقة. وقد أظهرت النتائج أن استخدام الطاقة الشمسية في مزارع التمور يعد خياراً فعالاً ومستداماً، حيث يساهم في تقليل التكاليف التشغيلية وتحسين كفاءة الري، إضافة إلى الحد من التأثيرات البيئية الناتجة عن استخدام مصادر الطاقة التقليدية.
(استُقبلت يوم/شهر/سنة، رُوجعت يوم/شهر/سنة، قُبلت يوم/شهر/سنة)

الكلمات المفتاحية
الطاقة المتجددة
الخلايا الشمسية
المضخات الشمسية
الري بالطاقة
مزرع التمور

Abstract

Solar or photovoltaic cells are devices that convert sunlight into electrical energy by utilizing the photoelectric effect. These cells are interconnected to form panels capable of power generation. This technology has evolved significantly over the past decades, becoming one of the most critical renewable energy sources worldwide. This research aims to investigate the feasibility of utilizing solar energy to power water pumps in date palm farms in the city of Wadden, located in the Al-Jufra region. This study is prompted by the region's abundant solar radiation, alongside challenges facing

Keywords: (up to 6 keywords)
Renewable Energy 1
Solar Cells 2
Solar-Powered Pumps 3
Solar-Powered Irrigation4
Date Palm Farm 5

conventional energy sources, such as rising fuel costs and grid instability. The research covers the theoretical aspects of solar cell operation and the factors affecting their efficiency, including temperature and dust accumulation. Furthermore, it explores agricultural applications, specifically in water pumping systems. On the practical side, the power requirements for the pump were calculated, and an integrated solar system was designed to suit the region's environmental conditions. The results demonstrate that adopting solar energy in date palm farms is an effective and sustainable option, contributing to reduced operational costs, improved irrigation efficiency, and a mitigation of the environmental impacts associated with traditional energy source

1 المقدمة

تعد الزراعة من أهم القطاعات الاقتصادية في ليبيا، خاصة في المناطق الصحراوية مثل منطقة الجفرة، التي تعتمد بشكل أساسي على المياه الجوفية في ري المحاصيل، وعلى رأسها زراعة النخيل. ونظرا لندرة الأمطار واعتماد الزراعة على الضخ المستمر للمياه فإن توفير مصدر طاقة مستقر وفعال لتشغيل مضخات المياه يمثل أحد أهم التحديات التي تواجه هذا القطاع. وتزداد أهمية استخدام الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي مع التوسع في زراعة النخيل بالمناطق الصحراوية, حيث تحتاج المزارع إلى مصدر طاقة مستمر لتشغيل أنظمة الري وضمان توفير المياه بشكل منتظم, خاصة في ظل ارتفاع تكاليف الوقود وصعوبة الاعتماد الكامل على الشبكة الكهربائية [1] وتتميز مدينة ودان بالارتفاع معدل الإشعاع الشمسي وعدد ساعات السطوع الشمس خلال أغلب أيام السنة , مما يجعلها من المناطق المناسبة لتطبيق أنظمة الطاقة الشمسية في المجال الزراعي. وفي هذا السياق، تعتبر أنظمة الري بالطاقة الشمسية حلا مستداما وفعالا لتشغيل مضخات المياه في المزارع، حيث تقوم الألواح الشمسية بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية تستخدم في تشغيل المضخات سواء السطحية أو الغاطسة، مما يساهم في تقليل تكاليف الوقود والكهرباء. كما تتيح هذه الأنظمة توفير عملية ري مستمرة، خاصة في المناطق النائية، وتدعم تطبيق نظم الري الحديثة مثل الري بالتنقيط والرش، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة استخدام المياه وزيادة الإنتاج الزراعي يتم استخدام الطاقة الشمسية في ري المزارع التمور عن طريق تحويل الألواح الكهروضوئية ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء لتشغيل والصيانة[2]، وتناسب المناطق النائية

مشكلة الدراسة

تواجه مزارع التمور في مدينة ودان بمنطقة الجفرة العديد من التحديات المرتبطة بتوفير الطاقة اللازمة لتشغيل مضخات المياه، والتي تعد العنصر الأساسي في استمرارية عمليات الري والإنتاج الزراعي. وتعتمد أغلب المزارع على مصادر طاقة تقليدية مثل مولدات الديزل أو الشبكة الكهربائية، إلا أن هذه المصادر تعاني من ارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة وعدم الاستقرار في توفير الطاقة، مما يؤثر على كفاءة عمليات الري واستمراريتها. كما أن الظروف البيئية الصحراوية، مثل ارتفاع درجات الحرارة وتراكم الغبار، وتفرض تحديات إضافية عند تصميم وتشغيل أنظمة الطاقة المستخدمة في المزارع.

تساؤل الدراسة الرئيسي

كيف يمكن تصميم نظام ري بالطاقة الشمسية في مدينة ودان يجمع بين الكفاءة الفنية (فيزيائياً) والجدوى الاقتصادية، مع مراعاة الظروف البيئية المحلية لضمان استدامة الري وخفض التكاليف؟

اهدف الدراسة

تصميم نظام متكامل لضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية لتشغيل أنظمة الري في مزارع التمور بمدينة ودان، بما يساهم في تحسين كفاءة استخدام المياه وتقليل تكاليف التشغيل وتحقيق الاستدامة الزراعية. ومنها التعرف على المشاكل المرتبطة باستخدام مولدات الديزل والشبكة الكهربائية في تشغيل المضخات ،والتعرف على مبدأ عمل

الخلايا الشمسية والعوامل المؤثرة على كفاءتها، وتحديد عدد الألواح الشمسية المناسبة لتشغيل النظام بكفاءة، ودراسة الجدوى الاقتصادية للنظام الشمسي من حيث تكاليف التشغيل والصيانة

أهمية الدراسة

تكمن أهمية هذا البحث في دراسة أحد الحلول الحديثة والمستدامة لتوفير الطاقة في القطاع الزراعي، خاصة في المناطق الصحراوية التي تعاني من ارتفاع تكاليف الوقود وضعف الشبكات الكهربائية ،وتبرز أهمية البحث في الاستفادة من الطاقة الشمسية المتوفرة بكثرة من مدينة ودان
وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري ومولدات الديزل وخفض تكاليف تشغيل مضخات المياه على المدى الطويل وكذلك تحسين استقرار عمليات الري وزيادة كفاءة استخدام المياه.

فرضيات الدراسة

يعتمد هذا البحث على مجموعة من الفرضيات التي سيتم التحقق منها من بينها توفر الإشعاع الشمسي في مدينة ودان بشكل كافٍ لتشغيل مضخات المياه وإمكانية استخدام الطاقة الشمسية كبديل فعال للديزل والكهرباء التقليدية وتأثر كفاءة الألواح الشمسية بالعوامل البيئية مثل الغبار وارتفاع درجات الحرارة.

منهجية الدراسة

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي في هذه الدراسة لتحليل البيانات المتحصل عليها من الاستبيان الموجه إلى عدد من المزارعين والمستخدمين لأنظمة الطاقة في منطقة الدراسة. وقد تم إدخال البيانات ومعالجتها باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، حيث تم استخراج التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، وذلك بهدف وصف خصائص العينة وتحليل آراء المشاركين حول كفاءة أنظمة الطاقة المستخدمة والمشكلات التشغيلية المرتبطة بها. واعتمد التحليل على الأساليب الإحصائية الوصفية نظراً لصغر حجم العينة البالغ عددها (4) مفردات، مما يجعل النتائج مؤشرات وصفية تساعد في فهم واقع استخدام الطاقة بالمزارع محل الدراسة ويهدف هذا التحليل إلى تقديم صورة وصفية دقيقة عن واقع استخدام الطاقة داخل المزارع محل الدراسة، وربط النتائج بالجانب الفني والهندسي للنظام المقترح، بما يساعد في دعم الاستنتاجات والتوصيات النهائية للدراسة.

الإشعاع الشمسي

هو الطاقة التي تصدرها الشمس على شكل موجات كهرومغناطيسية تصل إلى الأرض، ويمكن تحويلها إلى كهرباء وحرارة لتلبية احتياجات الطاقة، وهو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة من الأرض ،وهو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية على سطح الأرض وغلافها الجوي، ويعتبر المصدر الأكثر وفرة للطاقة على كوكبنا[3] . تنتج الشمس هذه الطاقة من خلال تفاعلات اندماج نووي تحول الهيدروجين إلى هيليوم، مطلقة فرق الكتلة على شكل طاقة، ويبلغ متوسط الطاقة الشمسية عند سطح الشمس حوالي 130 ميجاوات لكل متر مربع ويمثل الإشعاع الشمسي معدل عدد ساعات دروة الشمس في اليوم، ويعرف بأنه كمية الإشعاع الساقطة على سطح الارض أو مساحة اللوح الشمسي، وبها نستفيد من الطاقة المتجددة ،ويمكن تصنيف الإشعاع الشمسي عند وصوله إلى الأرض إلى عدة أنواع

- **الإشعاع المباشر:** هي الأشعة على سطح الأرض مباشرة دون أي إعاقة، وترتفع نسبتها في الأجواء الصافية صيفا، ما يزيد دلك من كفاءة النظام الشمسي

- **الإشعاع المنتشر:** هي الأشعة التي تنتشر في اتجاهات مختلفة نتيجة وجود السحب، أو قطرات مياه، أو غيوم، أو الغازات المتواجدة في الغلاف الجوي للأرض، وتزيد نسبتها في الشتاء ما يؤثر على إنتاجية الألواح الشمسية.

- **الإشعاع المنعكس:** ينتج عن الأشعة المباشرة والمنتشرة على سطح الأرض والبحار، ويتأثر بناء على نوع السطح وقدرته على عكس الأشعة، وتزيد نسبة الأشعة المنعكسة في البحار أو الأرضيات التي بها نسبة انعكاس عالية

قانون الإشعاع الشمسي

$$G = Gb + Gd + Gr \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 1$$

- **G**←الإشعاع الشمسي الكلي
- **G_b**←الإشعاع المباشر
- **G_d** ←الإشعاع المنتشر
- **G_r** ←الإشعاع المنعكس

يمثل هذا القانون مجموع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الألواح الشمسية، والدي يكون من الإشعاع المباشر والمنتشر والمنعكس

تطبيقات الإشعاع الشمسي

يمكن تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية وحرارية باستخدام تقنيات مثل:

- الطاقة الكهروضوئية: لتوليد الكهرباء
- الطاقة الحرارية الشمسية: لتسخين المياه أو المنازل
- الطاقة الشمسية السلبية: لتصميم المباني وتكييف الهواء وتستخدم هذه الطاقة في الكهرباء المنزلية، الزراعة، النقل، والتنمية الريفية، وتعتبر أساسا للعديد من مصادر الطاقة المتجددة.

الخلايا الشمسية

الخلايا الشمسية هي عبارة عن جهاز وأداة على شكل خلايا مرصوفة بجانب بعضها البعض تقوم بتحويل أشعة الشمس إلى كهرباء من خلال استغلال التأثير الضوئي الجهدي. وتعد الخلايا الشمسية موفرا أساسيا للطاقة حيث لا تحتاج إلى تفاعلات كيميائية أو وقود لإنتاج الطاقة الكهربائية، وعلى عكس المولدات الكهربائية، فإنها لا تملك أي أجزاء متحركة [7]تصنع الخلية الشمسية من مواد تمثل بإعطاء شحنة سالبة لمادة السليكون بإضافة عنصر الفسفور وسمى بالسليكون

مبدأ عمل الخلايا الشمسية

يقوم مبدأ عمل الألواح الشمسية على السماح للفوتونات بإطلاق الإلكترونات من الدرات، مما يولد تيارا كهربائيا، فالألواح الشمسية تتكون من وحدات صغيرة تسمى الخلايا الكهروضوئية، التي تحول ضوء الشمس إلى كهرباء، وتشكل العديد من خلايا المتصلة ببعضها لوحا شمسيا، وكل خلية من الخلايا الكهروضوئية مكونة من شريحتين من مادة شبه موصلة مثل السيليكون، وتقوم الخلايا الكهروضوئية على إنشاء مجال كهربائي عند فصل الشحنات المعاكسة للحصول على المجال الكهربائي تقوم الشركات المصنعة بدمج السيليكون بمواد أخرى، مما يشحن كل شريحة من شريحتي السيليكون بشحنة كهربائية، مثلا يخلط الفوسفور مع الشريحة العلوية من السيليكون، فيجعل شحنتها سالبة، أما الشريحة السفلية تخلط البرون فتكتسب شحنة موجبة، وينتج عن هذا المجال كهربائي، وعندما يقوم فوتون ضوء الشمس بتحرير إلكترون فإن الحقل الكهربائي سيدفع هذا الإلكترون، ثم تقوم اللوحات المعدنية الموصلة على جوانب الخلية بجمع الإلكترونات ونقلها إلى الأسلاك، بالتالي يتدفق التيار الكهربائي ويمكن تصنيع ألواح الخلايا الشمسية من عدة مواد وبطرق مختلفة، لكن جميع الخلايا الشمسية تشترك في مبدأ عملها، وهي تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.



شكل (1) يوضح طريقة عمل الخلية الشمسية

أنواع الخلايا الشمسية

- خلايا شمسية سيليكونية أحادية البلورة
- الخلايا الشمسية الرقيقة
- خلايا زرنيخيد
- الخلايا الشمسية متعددة الوصلات
- الخلايا الشمسية العضوية
- خلايا شمسية سيليكونية متعددة البلورات
- الخلايا الشمسية ذات الكفاءة العالية
- زرنيخيد الغاليوم
- الخلايا التكنولوجية المُستجدة
- الخلايا الشمسية الصبغية

نظام الري بالطاقة الشمسية

في ظل التحديات المتزايدة التي يواجها القطاع الزراعي، خاصة تلك التحديات المتعلقة بندرة المياه وارتفاع تكاليف الطاقة التقليدية، وبرزت انظمة الري بالطاقة الشمسية كحل مستدام وفعال لدعم المزارعين وتحقيق الأمن

الغذائي. تعتمد هذه الأنظمة على استغلال الطاقة الشمسية النظيفة لضخ المياه ونقلها إلى الحقول، مما يقلل الاعتماد على مصادر الطاقة الأحفورية المكلفة والملوثة للبيئة. في هذا المقال نستعرض مكونات نظام الري بالطاقة الشمسية، وأهم فوائد استخدام الطاقة الشمسية في الري، وخطوات تحديد نظام الري بالطاقة الشمسية Future (pump, 2024).

مكونات نظام الري بالطاقة الشمسية

يتكون نظام الري بالطاقة الشمسية من مجموعة من المكونات هذه المكونات هي:

الواح الطاقة الشمسية :تقوم هذه الألواح بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية، هذه الطاقة الكهربائية تستخدم في نظام الضخ والري.

مضخة المياه : هي مضخة تعمل بالطاقة الكهربائية الناتجة عن الألواح الشمسية، قد تكون هذه المضخة سطحية أو غاطسة، حسب مصدر المياه بئر أو خزان أو النهر.

منظم الشحن : يتحكم هذا المنظم في تدفق الكهرباء إلى البطاريات لمنع الشحن الزائد أو الفريغ العميق، بالتالي فهذا الجزء مرتبط بوجود البطارية وفي حال عدم وجودها لا يتم استخدامه، يستخدم هذا الجزء أيضا ليحسن عمر البطاريات وكفاءة النظام.
البطاريات: استخدام البطاريات في النظام اختياري، حيث تستخدم لتخزين الطاقة الشمسية للاستخدام عند ضعف أشعة الشمس أو خلال الليل، بالتالي هي ليست ضرورية في الأنظمة التي تعمل نهارا فقط.
العاكس الشمسي لأنظمة الري : يتحول التيار الكهربائي المستمر (DC) القادم من الألواح أو البطاريات إلى تيار متردد (AC) يناسب المضخات التقليدية.
هياكل التثبيت : تستخدم لتركيب الألواح الشمسية وتوجيهها بزوايا مناسبة للحصول على أفضل تعرض لأشعة الشمس.
أنابيب ومواسير الري: الممرات بها شبكة التوصيل بين مصدر المياه والحقول.

حساسات وتحكم دكي : بعض الأنظمة الحديثة تتضمن حساسات رطوبة التربة وأنظمة تحكم دكية لضبط السقي والري بالطاقة الشمسية تلقائيا حسب الحاجة.



شكل (2) يوضح مكونات النظام الري بالطاقة الشمسية

المميزات التي يمكن الحصول عليها عند استخدام الطاقة الشمسية.

توفير الطاقة وتقليل التكاليف: تعتمد انظمة الري بالطاقة الشمسية على طاقة الشمس المجانية، مما يقلل من التكاليف الكهرباء أو الوقود المستخدمة في التشغيل مضخات الري التقليدية.

- الاستدامة وحماية البيئة: الطاقة الشمسية نظيفة ومتجددة، وتقلل من انبعاثات الكربون وتلوث الهواء مقارنة بأنظمة الري بالديزل أو الكهرباء التقليدية.
- انخفاض تكاليف الصيانة: أنظمة الطاقة الشمسية الحديثة تحتاج إلى صيانة أقل مقارنة بالمولدات التقليدية، مما يوفر وقتا وجهدا وأموالا إضافية.

- تشغيل تلقائي ومرن: يمكن ربط النظام بمؤقتات أو مستشعرات للرطوبة، مما يسمح بالتحكم الأتوماتيكي بعملية الري حسب الحاجة الفعلية للنباتات.
- تحسين كفاءة الري: باستخدام مضخات الطاقة الشمسية، يمكن تحسين توزيع المياه وتقليل الهدر مما ينعكس على زيادة إنتاجية المحاصيل.

مضخات المياه بالطاقة الشمسية

هي مضخات خاصة تعمل باستخدام الكهرباء التي يتم توليدها من خلال الالواح الشمسية، وهي أحد مكونات انظمة الري بالطاقة الشمسية، تستخدم هذه المضخات لضخ المياه من الآبار، أو الأنهار، أو الخزانات بغرض الري، أو الشرب، دون الحاجة إلى مصادر كهرباء تقليدية أو وقود. توجد العديد من أنواع مضخات المياه بالطاقة الشمسية تشمل هذه الأنواع ما يلي:

مضخات غاطسة : تركب تحت سطح الماء داخل البئر أو الخزان العميق، وهي مثالية لرفع المياه من أعماق كبيرة.

مضخات سطحية : تركب فوق الأرض وتستخدم لسحب المياه من أعماق قليلة، وهي مناسبة للأنهار الضحلة أو البرك أو الخزانات القريبة السطح.

مضخات متعددة المراحل : مصممة لتوفير ضغط عالي عند الحاجة إلى ضخ المياه لمسافات طويلة أو إلى ارتفاعات عالية. تستخدم عندما تكون المسافة الأفقية أو الرأسية لضخ المياه كبيرة.

مضخات الطرد المركزي : تعمل هذه المضخات على دفع المياه بقوة عن طريق استخدام قوة الطرد المركزي الناتجة عن دوران المروحة الموجودة داخل المضخة. وهي مناسبة للري بالرش الحقول الكبيرة.

انظمة الري بالطاقة الشمسية

توجد العديد من الأنواع من انظمة الري بالطاقة الشمسية [4] من أشهر هذه الأنواع ما يلي:

نظام الري بالتنقيط بالطاقة الشمسية: يستخدم هذا النظام لضخ الماء ببطء وتوصيل الماء إلى جدور النباتات عبر أنابيب بها نقاط تصريف. يتميز هذا النظام بما يلي: قلة كمية الماء المستخدمة فيه، وهو مثالي للأراضي الزراعية الصغيرة والمتوسطة.

نظام الري بالرش بالطاقة الشمسية : هنا يستخدم المزارع مضخات لتشغيل رشاشات توزع الماء على شكل رداد فوق المزروعات. وهذا النظام له العديد من المميزات مثل: أنه مناسب للمحاصيل الواسعة والمراعي، كما أنه يستهلك ماء أكثر من التنقيط.

نظام الري السطحي بالطاقة الشمسية : يتم ضخ المياه إلى قنوات مفتوحة تسقي الأرض مباشرة، ويتميز هذا النظام ببساطته وقلة تكلفته.

نظام الري بالضباب بالطاقة الشمسية :يستخدم مضخات دقيقة لرش ضباب مائي لترطيب الهواء والنباتات، هو مثالي للبيوت الزراعية الحديثة، ويحافظ على مناخ مناسب للنباتات الحساسة.

انتقال الطاقة الشمسية في المزارع

لنقل الطاقة الشمسية للألواح في المزارع، يجب اتباع الخطوات التالية:

1. **تحديد احتياجات الطاقة:** يتم تحديد استهلاك المضخات وأنظمة الري والمعدات الأخرى داخل المزرعة.
2. **اختار عدد الألواح الشمسية:** يتم اختيار عدد الألواح بناء على حجم الاستهلاك وعدد ساعات التشغيل اليومية.
3. **تصميم النظام:** يتم تصميم النظام المناسب لتحقيق تشغيل مستقر وفعال بأقل تكلفة ممكنة.

تركيب الألواح الشمسية: يتم اختيار النظام للتأكد من أنه يعمل بشكل صحيح وفعال.

العوامل التي تؤثر على تصميم النظام في المزارع

تصميم النظام الزراعي يتطلب دراسة عوامل خاصة تختلف عن المشاريع الأخرى، ومن أهمها:

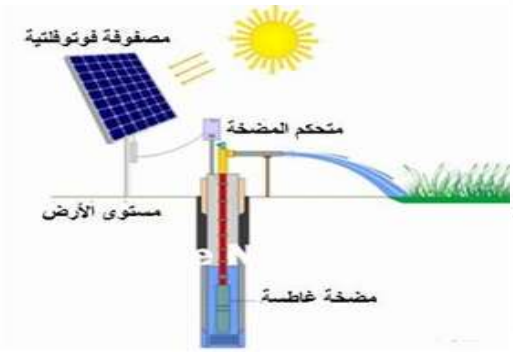
- عمق البئر وقدرة المضخة
- عدد ساعات التشغيل
- موقع المزرعة ومستوى الإشعاع الشمسي
- كمية المياه المطلوبة يوميا
- مساحة الأرض المتاحة لتركيب الالواح

كل هذه العوامل تؤثر بشكل مباشر على حجم النظام وعدد الألواح المطلوبة.

المضخات الشمسية الكهربائية

محطة ضخ مياه بالطاقة الشمسية باستخدام مضخة السطحية , نظرا لبساطة وسهولة هذا النوع فإن المضخة يمكن ان تكون قابلة للنقل من مكان لآخر, كدلك تركب محطة الفوتوفلتية على عجلات لسهولة نقل كل محطة الضخ من مكان لأخر , وتستخدم المضخة الغاطسة [8] إما كوحدة كاملة مدمجة مع المحرك أو يركب المحرك أو يركب المحرك على سطح البير, إن كفاءة هذا النوع منخفضة نظرا لمفقودات الطاقة الناتجة من عمود ادارة الحركة بين المحرك والمضخة, ومن عيوبها ارتفاع تكاليف التركيب وتستخدم مضخة غاطسة ومحرك يعمل بالتيار المستمر, وفي هذا النوع تحتوي المحطة على وحدة تحكم تتكون من نظم للتيار الكهربي وأجهزة الاستشعار لمنسوب المياه والغرض من هذه الوحدة:

- مطابقة الكهرباء التي تصل إلى المضخة مع الكهرباء المتولدة من ألواح الفوتوفلتية
- وقاية المضخة ضد انخفاض ارتفاع الجهد، حيث يتم إيقاف نظام الخروج الكهرباء إدا كان الجهد منخفضا جدا أو مرتفعا جدا عن مدى جهد تشغيل المضخة.



شكل (3) ضخ المياه باستخدام مضخة سطحية



شكل (4) ضخ المياه باستخدام مضخة غاطس

كيفية اختيار نظام ضخ مياه بالطاقة الشمسية

اختيار النظام المناسب لتشغيل المضخات يعتمد على عدة عوامل:

1-نوع المضخة غاطسة أو سطحية
2- عمق مصدر المياه
3-كمية المياه المطلوبة يوميا
4- ساعات التشغيل

في الأنظمة الاحترافية، يتم ربط تشغيل المضخة مباشرة بأشعة الشمس، بحيث تعمل بكفاه أعلى خلال ساعات الدروة.

الدراسة الميدانية

قام البحاث بزيارة ميدانية إلى إحدى مزارع التمور بمدينة ودان، بالإضافة إلى زيارة شركة زادكو للطاقة الشمسية المتخصصة في تركيب أنظمة الطاقة الشمسية الخاصة بالمزارع، وكان الهدف من هذه الزيارة التعرف بشكل عملي على طريقة تشغيل أنظمة الري بالطاقة الشمسية ودراسة المكونات المستخدمة في النظام وخلال الزيارة لوحظ أن أشجار النخيل مزروعة على شكل صفوف طولية، كما أن المسافة بين كل نخلة والأخرى تقدر بحوالي 7 أمتار ، حيث يعتمد النظام على الري بالتنقيط عن طريق شبكة خراطيم مصنوعة من النايلون ومتصلة مباشرة بالمضخة الغاطسة داخل البئر. وتمت ملاحظة طريقة تركيب الألواح الشمسية والهيكل المعدني الحامل لها، [10] بالإضافة زاوية ميل الألواح وطريقة توجيهها نحو الجنوب للحصول على أفضل استفادة من الإشعاع الشمسي، ومن خلال الحديث مع المهندسين العاملين بالمزرعة والشركة، تم التعرف على أنواع المضخات والانفرترات المستخدمة وأسباب اختيارها للعمل في المناطق الصحراوية مثل مدينة ودان.



شكل (.5) يوضح زاوية ميل الالواح الشمسي

دراسة الواقع الحالي لاستخدام الطاقة في مزارع التمور بمدينة ودان

من خلال الزيارة والمقابلات التي قامت بها الباحثة مع أصحاب المزارع والمهندسين، تبين أن اغلب مزارع التمور بمدينة ودان تعتمد على مولدات الديزل أو الكهرباء التقليدية لتشغيل مضخات المياه، كما لاحظت أن هذه الأنظمة تعاني من عدة مشاكل أهمها ارتفاع أسعار الوقود وكثرة الأعطال وصعوبة الصيانة المستمرة، بالإضافة إلى انقطاع الكهرباء المتكرر [11] في بعض المناطق. وأوضح أصحاب المزارع أن هذه المشاكل تؤثر بشكل مباشر على انتظام عملية الري وعمل الثلاجات في تخزين التمور، وأيضا يسبب ضعفا في نمو أشجار النخيل يؤدي إلى انخفاض الإنتاج في بعض الأحيان. ومن خلال الدراسة تبين أن استخدام الطاقة الشمسية يعتبر من أفضل الحلول المناسبة لمدينة ودان بسبب ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي طوال معظم أشهر السنة بالإضافة إلى توفر المساحات المفتوحة المناسبة لتركيب الألواح الشمسية.

جدول (1) يوضح عينة الدراسة

مصدر	استخدام	كاف	مقارنة	فائدة	مشكلة	غبار	قطع غيار	صيانة	تنظيف	تومسية	توسع	مضخة	الساعات
٤	٤	٤	٤	٤	٤	٤	٤	٤	٣	٤	٤	٤	٤
٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١	٠	٠	٠	٠

نمط مصادر الطاقة وتعدد الاعتماد

أظهرت النتائج أن مصادر الطاقة المستخدمة تتوزع بالتساوي بين الكهرباء العامة (50%) والديزل (50%)، وهذا يعكس غياب الاعتماد على مصدر واحد للطاقة داخل المزارع، ووجود نظام مزدوج أو بديل للطاقة.
هذا التوازن يشير إلى أن المزارع تعتمد على الديزل غالبًا في الحالات التي تكون فيها الكهرباء غير مستقرة أو غير متوفرة، بينما تُستخدم الكهرباء العامة عندما تكون الشبكة متاحة. هذا النمط يعكس واقعًا شائعًا في المناطق الزراعية التي تعاني من عدم استقرار البنية التحتية الكهربائية.

جدول (2) توزيع أفراد العينة حسب مصدر الطاقة المستخدم في المزرعة

		تكرار	النسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة المئوية تراكمية
بيانات صحيحة	كهرباء عامة	2	50.0	50.0	50.0
	ديزل	2	50.0	50.0	100.0
	مجموع الكلي	4	100.0	100.0	

ساعات السطوع الشمسي في منطقة ودان

تتميز منطقة ودان بعدد كبير من ساعات سطوع الشمس طوال السنة، ساعات السطوع 3000 ساعة سنويا،ويزداد الإشعاع الشمسي خلال أشهر الصيف، خاصة في (مايو، يونيو، يوليو، أغسطس) مما يساعد على رفع إنتاجية النظام الشمسي خلال موسم الري الزراعي.

التوصيف الفني والزراعي للمزرعة النموذجية

وصف المزرعة محل الدراسة

اعتمدت في هذه الدراسة على مزرعة تمور كنموذج عملي لتصميم منظومة الري بالطاقة الشمسية, ودلك بسبب طبيعة المنطقة الزراعية واعتمادها الكبير على المياه الجوفية في ري أشجار النخيل , حيث تبلغ مساحة المزرعة حوالي 4 هكتارات أي ما يعادل تقريبا $4000m^2$ وتحتوي على ما يقارب 440 شجرة نخيل, مزروعة بطريقة منتظمة على شكل صفوف متوازية, حيث تبلغ المسافة بين كل نخلة والأخرى حوالي 7 أمتار, ودلك لتسهيل عمليات الري والصيانة وتحسين توزيع المياه داخل المزرعة, وتعتمد المزرعة على نظام الري بالتنقيط بهدف تقليل استهلاك المياه وتحسين كفاءة الري الزراعي, كما تحتوي المزرعة على بئر مياه بعمق يقارب 70m , ويتم ضخ المياه مباشرة إلى شبكة الري باستخدام مضخة غاطسة.



شكل (6) يوضح مزرعة الدراسة

الاحتياج المائي اليومي لأشجار النخيل

يعتمد الاحتياج المائي للنخيل على عدة عوامل أهمها (درجة الحرارة، نوع التربة، عمر النخلة، مرحلة النمو والإنتاج الظروف المناخية) ومن خلال الدراسة الزراعية للمزرعة تبين أن الاحتياج المائي للنخيل يختلف حسب الموسم الزراعي، يزداد استهلاك المياه خلال فترات التزهير وعقد الثمار والنضج بسبب ارتفاع درجات الحرارة وزيادة احتياج الأشجار للمياه.

تم تقدير الاحتياج المائي لنخيل التمر باستخدام منهجية FAO56،حيث يتم حساب الاحتياج المائي للحصول (Crop Evapotranspiration) وفق المعادلة التالية:

$$ETC = ET0 \times KC \dots\dots\dots\dots 3$$

حيث:

- ET_C : الاحتياج المائي للمحصول (mm/day)
- ET_0 : البخر-نتح المرجعي (mm/day)
- K_C : معامل الحصول حسب مرحلة النمو

وقد تم اعتماد قيمة ET_0=5.5mm/day كمتوسط مناخي مناسب لمنطقة الدراسة وفق توصيات منظمة FAO، بينما تم تحديد قيم K_C وفق مراحل نمو نخيل التمر (تزهير، عقد الثمار، نضج الثمار، وما بعد الحصاد). وبعد حساب ET_C، تم تحويل القيم من وحدة mm/day إلى لكل متر مربع يوميا وفق العلاقة:

$$1mm = 1L/m2$$

أي:

$$ETC(L/m2/day) = ETC(mm/day)$$

ثم تم حساب الاحتياج المائي للنخلة الواحدة باستخدام المعادلة التالية:

$$W = ETC \times A \dots\dots\dots\dots 4$$

حيث:

الاحتياج المائي للنخلة (L/day) و A المساحة الفعالة للنخلة (m^2) ، وتم اعتماد مدى يتراوح بين 40- $45m^2$ ، وهي مساحة مستخلصة من مسافات الزراعة الشائعة بين 6 إلى سبعة أمتار بين الأشجار، بما يعكس تأثير منطقة انتشار الجدور لكل نخلة.

تقدير الاحتياج المائي التصميمي

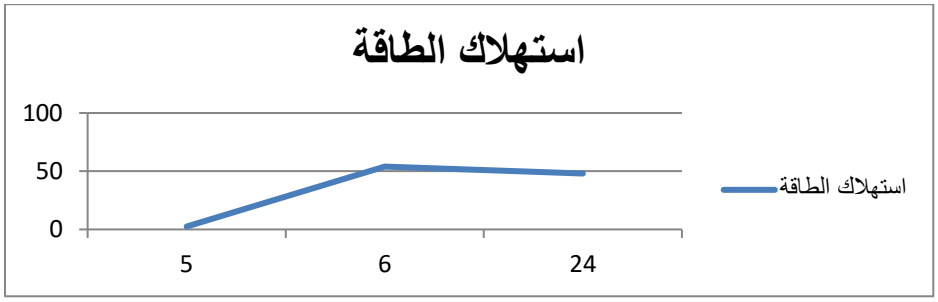
تم اعتماد متوسط احتياج مائي يومي للمزرعة يساوي تقريبا $100m^3/day$ ودلك لاستخدامه كأساس في تصميم منظومة الضخ بالطاقة الشمسية وحساب قدرة المضخة المطلوبة. وقد تم الوصول إلى هذه موضح في الجدول، حيث تراوحت القيم بين ($97-123m^3/day$) في مرحلة عقد الثمار، وصولا إلى أعلى قيم في مرحلة نضج التمور ($110-141m^3/day$) وبناء على دلك، تم حساب متوسط تقريبي للقيم اليومية عبر الموسم الزراعي مع إعطاء أهمية خاصة للفترة الحرجة التي تشهد أعلى استهلاك للمياه (فصل الصيف) ، مما أدى إلى اختيار قيمة تصميمية مناسبة تبلغ حوالي $100m^3/day$ وتعد هذه القيمة تمثيلا علميا للاحتياج المائي التشغيلي للمزرعة، بحيث تضمن تغطية احتياجات الري خلال مختلف مراحل النمو مع توفير هامش أمان لتقلبات الظروف المناخية وزيادة الاستهلاك في الفترات الحرجة.

الحسابات الهيدروليكية وحصر الأحمال

تهدف الحسابات الهيدروليكية إلى تحديد القدرة المناسبة لمضخة المياه والنظام الشمسي المستخدم في تشغيل منظومة الري بالمزرعة، ودلك اعتمادا على عمق البئر وضغط المطلوب لشبكة الري بالتنقيط ومعدل التدفق المطلوب.

منحنى الحمل الكهربائي اليومي (Load Profile)

يتغير استهلاك الطاقة الكهربائية داخل المزرعة حسب ساعات التشغيل اليومية وفصول السنة



الشكل (7) يوضح العلاقة بين زمن اليومي واستهلاك الطاقة الكهربائية للأحمال المختلفة بالمزرعة ويوضح الاشكل أن استهلاك الطاقة يعتمد على كل من القدرة الكهربائية للحمل وعدد ساعات تشغيله، حيث يزداد الاستهلاك بزيادة زمن التشغيل وقدرة الكهربائية معا.

ملاحظة:

هذا الرسم يعتمد على أحمال مختلفة (إنارة، مضخة، تبريد) لدلك العلاقة ليست خطية تماما لأن قدرات الأحمال مختلفة. لأن العلاقة تتناسب طرديا مع الزمن وفق العلاقة

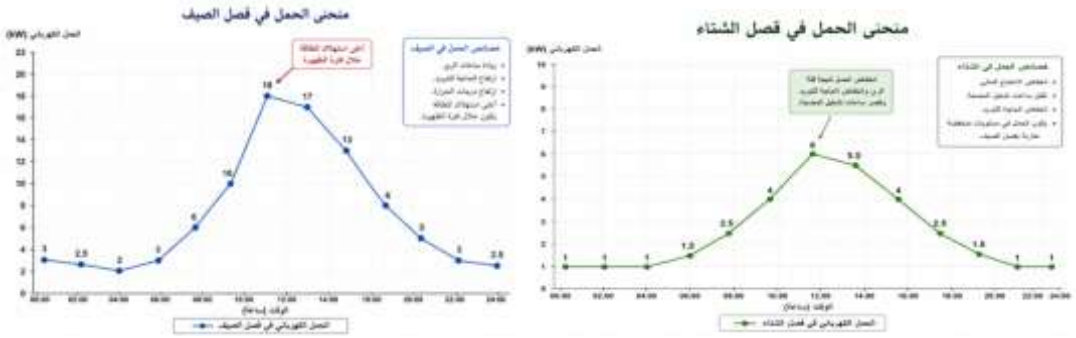
$$E = P \times t \dots\dots\dots\dots\dots 5$$

منحنى الحمل في فصل الصيف

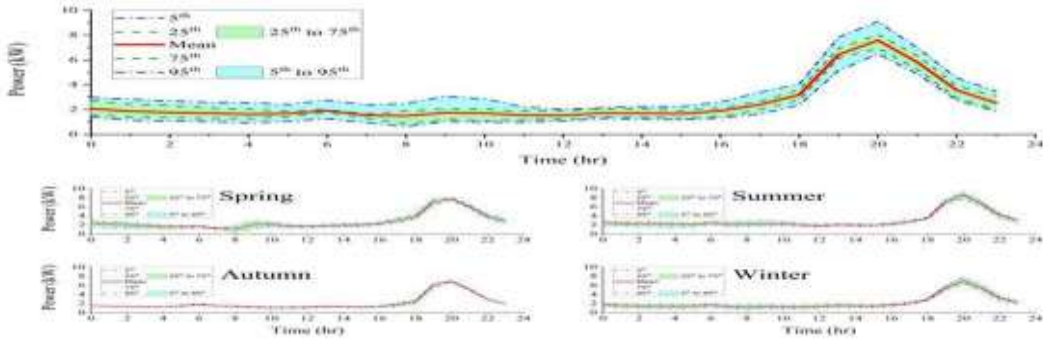
يزداد الحمل الكهربائي خلال فصل الصيف بسبب زيادة ساعات الري، ارتفاع الحاجة للتبريد، ارتفاع درجات الحرارة ويكون أعلى استهلاك للطاقة خلال فترة الظهيرة

منحنى الحمل في فصل الشتاء

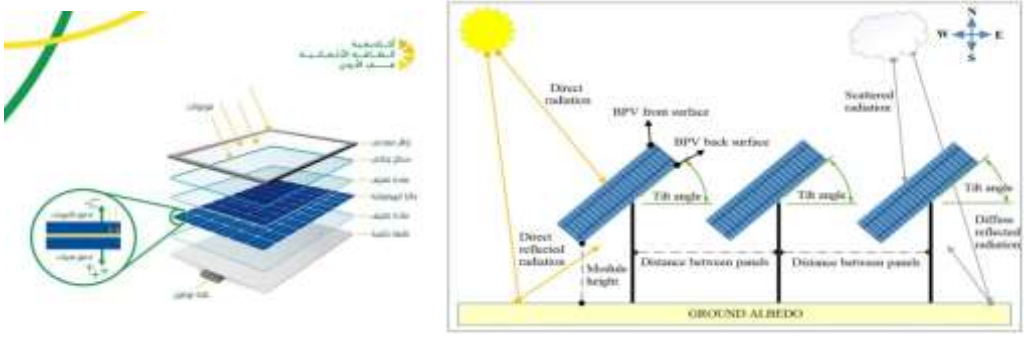
ينخفض الحمل الكهربائي خلال فصل الشتاء نتيجة انخفاض الاحتياج المائي، وتقليل ساعات تشغيل المضخة، وانخفاض الحاجة للتبريد



شكل (8) يوضح منحنى فصل الشتاء شكل (9) يوضح منحنى فصل الصيف



شكل (10) يوضح صور لمنحنى الحمل الكهربائي



شكل (11) يوضح صور توضيحية للإشعاع على السطح المائل

التصميم الهندسي للمنظومة وتحديد أبعاد مكوناتها (Technical Sizing)

تم في هذه الدراسة تصميم منظومة طاقة الشمسية متكاملة لتشغيل مضخة المياه الخاصة بالمزارع، النخيل مع مراعاة الظروف المناخية والبيئية لمنطقة الجفرة، إضافة إلى الاحتياجات المائية اليومية للمزرعة. ويهدف التصميم إلى توفير قدرة كهربائية مستقرة في تشغيل نظام الري بالتنقيط وتقليل الاعتماد على الوقود والكهرباء التقليدية.



الشكل (12) يوضح تصميم هندسي للمنظومة ضخ المياه بالطاقة الشمسية

دراسة زاوية الميل والاتجاه المثالي

تؤثر زاوية ميل الألواح الشمسية [8] واتجاهها بشكل مباشر على كمية الطاقة المنتجة طوال السنة، ودلك تم دراسة زاوية الميل المثلي للألواح الشمسية بما يتناسب مع موقع الجغرافي لمنطقة الجفرة.

زاوية الميل المثالية

بناء على بيانات الإشعاع الشمسي لمنطقة ودان تم اعتماد زاوية الميل تساوي 45 حيث تساعد هذه الزاوية على تحقيق أفضل استقبال للإشعاع الشمسي خلال أغلب أشهر السنة.

الاتجاه المثالي للألواح

تم توجيه الألواح الشمسية نحو الجنوب 180 للحصول على أعلى إنتاج للطاقة الكهربائية.

التغيير الموسمي لزاوية الميل

يمكن تعديل زاوية الميل حسب فصول السنة لزيادة كفاءة النظام حيث

فصل	زاوية الميل
الصيف	◦20 - ◦25
الشتاء	◦30 - ◦35

لكن في هذه الدراسة تم اعتماد زاوية الميل ثابتة لتقليل تكاليف التركيب والصيانة

إعدادات برنامج المحاكاة

تم اعتماد على بيانات الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة الخاصة بمنطقة ودان، والتي تم الحصول عليها من قاعدة بيانات Global Solar Atlas، ودلك الإجراء محاكاة تقريبية لأداء النظام الشمسي كما تم إدخال المواصفات الفنية الخاصة بمكونات المنظومة، والتي تشمل: ألواح شمسية أحادية البلورة من شركة JA Solar بقدرة 710W وعدد الألواح الشمسية 18 لوحا والقدرة الكلية للمنظومة 12.78kWp، وانفرتر شمسي من نوع Veichi بقدرة 11kw

،ومضخة غاطسة بقدرة HP12 ، وزاوية ميل الألواح الشمسية 45درجة واتجاه الألواح نحو الجنوب 180درجة ،نظام ضخ مباشر بدون بطاريات (Direct Pumping System)

وتهدف عملية المحاكاة إلى تقدير الطاقة المنتجة وتحليل كفاءة تشغيل النظام خلال ساعات النهار المختلفة.

مخطط مفقودات النظام

تتعرض المنظومة الشمسية إلى مجموعة من الفواقد التي تؤثر على كمية الطاقة المنتجة، ومن أهمها:

الفواقد الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة ،وتراكم الغبار والأتربة على الألواح الشمسية

،والفواقد الكهربائية داخل الكابلات والانفرتر ،واختلاف شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار

وقد لوحظ أن البيئة الصحراوية بمنطقة الجفرة تؤدي إلى زيادة تراكم الغبار على سطح الألواح الشمسية، مما يسبب انخفاضا في كفاءة الإنتاج الكهربائي، لذلك يوصي بإجراء تنظيف دوري للألواح للحفاظ على كفاءة التشغيل.

نتائج احتياج المائي للشجرة النخيل

وبناء على معادلة (4) من فصل الثالث تم استخراج الاحتياج المائي النهائي لكل مرحلة نمو، كما هو موضح في جدول التالي:

جدول (3) يوضح الاحتياج المائي حسب المواسم الزراعية

المرحلة الزراعية	الفترة التقريبية	الاحتياج المائي للنخلة الواحدة	الاحتياج الكلي للمزرعة
مرحلة التزهير	فبراير- مارس	180 – 220 L/day	79- 97 m^3/day
مرحلة عقد الثمار	أبريل – يونيو	220 – 280 L/day	97 – 123 m^3/day
مرحلة نضج التمور	يوليو – سبتمبر	250 – 320L/day	110 – 141 m^3/day
مرحلة ما بعد الحصاد	أكتوبر – يناير	140 – 180L/day	62 – 79 m^3/day

ملاحظة:

تم الاعتماد على البيانات الاحتياجات المائية لنخيل التمور الواردة في منظمة الأغدية والزراعة للأمم المتحدة (FAO)، مع حساب الاحتياج الكلي للمزرعة وفق عدد النخيل محل الدراسة وتم حساب الاحتياج الكلي للمزرعة بضرب الاحتياج المائي للنخلة الواحدة في عدد النخيل بالمزرعة (440 نخلة)، ثم تحويل الناتج من لتر إلى متر مكعب بقسمة القيمة على1000 وقد تم متوسط الاحتياج المائي للمزرعة حوالي 87m^3/day ، وبعد إضافة هامش أمان تصميمي لمواجهة ظروف التشغيل وارتفاع درجات الحرارة في منطقة الجفرة ، تم اعتماد 100m^3/dayكاحتياج مائي تصميمي للمزرعة، واعتمدت هده القيمة في جميع الحسابات اللاحقة الخاصة بتصميم المنظومة الشمسية.

حساب العمق الديناميكي للبئر

يعرف العمق الديناميكي بأنه المسافة الفعلية التي تعمل المضخة على رفع المياه خلالها أثناء التشغيل، ويشمل:

حساب الارتفاع الكلي من خلال الدراسة الميدانية تم اعتماد البيانات التالية:

عمق البئر= $70m$

فاقد الاحتكاك داخل الأنابيب = $10m$

الضغط المطلوب داخل شبكة الري =$10m$

$$TDH = 70 + 10 + 10 = 90mh$$

تم اعتماد قيم تقريبية للعمق الساكن والعمق الديناميكي اعتمادا على طبيعة الآبار الزراعية في منطقة الجفرة، ودلك لعدم توفر قياسات ميدانية مباشرة للبئر.

فاضغط التشغيل $10m$ مأخوذ كقيمة تصميمية لأن أنظمة الري بالتنقيط تعمل عادة عند ضغط بين 0.5 و2.5 بار حسب أدلة FAO، ومتر 10 = بر1 عمود ماء. لدلك تم اعتماد 1 بار $(10m)$ كقيمة مناسبة للتصميم.

أما فاقد الاحتكاك $10m$ فليس رقما ثابتا من FAO، بل قيمة تقديرية هندسية شائعة تستخدم في تصميم الألي عندما لا تتوفر بيانات طول الأنابيب وأقطارها ومعدل التدفق، لأن فاقد الاحتكاك يتغير حسب مواصفات الشبكة.

حساب التدفق المطلوب لشبكة الري

تم تقدير المائي اليومي للمزرعة بحوالي$100\ day/m^3$ ومع تشغيل المضخة لمدة 6 ساعات يوميا فإن التدفق المطلوب يساوي:

$$Q = 100/6$$

$$Q = 16.7m3/h = 0.0046m3/s$$

أي ما يعادل:

حساب القدرة الهيدروليكية للمضخة

تم حساب القدرة الهيدروليكية باستخدام العلاقة التالية:

$$Ph = \rho gQH \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 5$$

حيث:

$$\rho = 1000\ kg/m3$$

$$g = 9.81m/s2$$

$$Q = 0.0046m3/s$$

$$H = 90m$$

وبالتعويض:

$$Ph = 4.1Kw$$

ومع اعتبار كفاءة المضخة:

$$eta = 65$$

فإن القدرة الكهربائية المطلوبة للمضخة تساوي:

$$Pactual = 4.1/0.65$$

$$Pactual = 6.3kW$$

$$12HP = 9kW$$

القدرة الهيدروليكية المحسوبة كانت $4.1KW$، وبعد أخذ كفاءة المضخة والخسائر بعين الاعتبار أصبحت القدرة المطلوبة حوالي $6.3KW$ لدلك تم اختيار مضخة بقدرة 12 حصان $9KW$لتوفير هامش أمان واستقرار أفضل في التشغيل تحت الظروف الصحراوية.

حصر الأحمال الكهربائية بالمزرعة

بالإضافة إلى مضخة المياه، توجد بعض الأحمال الكهربائية الأخرى داخل المزرعة والتي تحتاج إلى تغذية كهربائية

جدول (4) يوضح الأحمال الكهربائية

الحمل الكهربائي	العدد	القدرة التقريبية	ساعات التشغيل
مضخة المياه	1	9KW	6 ساعات
إنارة المزرعة	10 مصابيح	0.5KW	5 ساعات
نظام تبريد التمور	1	2KW	24 ساعة

ملاحظة:

تم تحديد الأحمال الكهربائية بالمزرعة اعتمادا على متطلبات التشغيل المتوقعة لمزرعة تمور نموذجية بمنطقة الجفرة، وقد تم اختيار مضخة غاطسة بقدرة اسمية $12HP$ أي ما يعادل تقريبا $(9KW)$ بناء على الاحتياج المائي التصميمي للمزرعة والارتفاع الكلي الديناميكي المحسوب، مع مراعاة توفير هامش أمان تشغيلي لضمان استمرارية عمل المنظومة. أما أحمال الإنارة ونظام تبريد التمور فقد تم اعتمادها وفق متطلبات التشغيل الزراعي الشائعة واستخدامها في تقدير إجمالي استهلاك الطاقة الكهربائية اليومي للمزرعة.

حساب الطاقة الكهربائية اليومية

يتم حساب الطاقة اليومية من معادلة 10

$$E = P \times t \dots\dots\dots\dots\dots\dots 10$$

1. **مضخة المياه**

$$E = 6 \times 9 = 54KWh/day$$

2. **إنارة المزرعة**

$$E = 0.5 \times 5 = 2.5KWh/day$$

3. **ثلاجة تبريد التمور**

$$E = 2 \times 24 = 48KWh/day$$

إجمالي الاستهلاك اليومي للطاقة

$$Etotal = 54 + 2.5 + 48 = 104.5KWh/day$$

حساب درجة حرارة الخلية الشمسية

تم حساب درجة حرارة الخلية الشمسية [28] باستخدام العلاقة التقريبية التالية:

$$Tc = Ta + G\,\frac{NOCT - 20}{800}$$

وباعتبار:

متوسط درجة حرارة الجو في الجفرة: $40C$

متوسط الإشعاع: $800W/m2$

قيمة: $NOCT = 45C$

تم اعتماد متوسط درجة حرارة جوية قدره $40◦C$ استنادا إلى البيانات المناخية السائدة بمنطقة الجفرة خلال أشهر الصيف وقيمة $NOCT = 45◦C$ استنادا إلى المواصفات الفنية النموديجية للألواح الشمسية أحادية البلورة (Mon crystalline PV Modules)، حيث تتراوح قيمة درجة حرارة التشغيل الاسمية للخلية عادة بين $43◦C$ و $47◦C$ أما بنسبة $800W/m2$ قيمة إشعاع شمسي وفق شروط اختيار NOCT القياسية المستخدمة من قبل الشركات المصنعة للألواح الشمسية عند تحديد درجة حرارة التشغيل الاسمية للخلية

تم حساب درجة حرارة الخلية بقانون:

$$TC = 40 + \frac{45-20}{800} \times 800 = 40 + 25 = 65°$$

تصميم مصفوفة الألواح الشمسية

يعتمد تصميم المصفوفة الشمسية على القدرة الكهربائية المطلوبة لتشغيل المضخة والأحمال الكهربائية الأخرى داخل المزرعة. ومن خلال الحسابات السابقة تم تقدير القدرة المطلوبة بحوالي: 12KW ولدلك تم اختيار ألواح شمسية أحادية البلورة من شركة JA Solar بقدرة: 710W لكل لوح شمسي [49]

جدول (5) يوضح موصفات اللوح الشمسي المستخدم

الخاصية	القيمة
نوع اللوح	Mono crystalline
القدرة الاسمية	$710W$
جهد الدائرة المفتوحة Voc	$48.60V$
جهد التشغيل Vmpp	$40.80\ V$
تيار القصر Isc	$18.51A$
تار التشغيل Impp	$17.40\ A$
الكفاءة	22.9%

تم حصول على البيانات اللوح الشمسي المستخدم من ورقة المواصفات الفنية (Datasheet)الصادرة عن شركة JA Solar الخاصة باللوح أحادي البلورة بقدرة $710w$ ، وتم اعتماد القيم الاسمية عند ظروف الاختبار القياسية (STC: Standard Test conditions) في إعداد حسابات وتصميم المنظومة الشمسية.

حساب عدد الألواح الشمسية

تم حساب العدد الكلي للألواح [10] باستخدام العلاقة:

$$N = \frac{P\ system}{P\ panel}$$

$$P\ system = 12kw = 12w$$

$$N = \frac{12000}{710} = 16.9 = 17$$

حيث: $N = 17$ لوح شمسي في تصميم النظام.

حساب عدد الألواح على التوالي

تم توصيل الألواح على التوالي للحصول على الجهد المناسب للانفرتر، وبفرض أن جهد المطلوب للانفرتر حوالي $400V$ فإن عدد الألواح على التوالي يساوي

$$NS = \frac{400}{40.8} = 9.8$$

أي ان يساوي 10 ألواح ويكون جهد السلسلة $10 \times 40.8 = 408v$

تحليل مخرجات الطاقة السنوية

أظهرت نتائج المحاكاة أن المنظومة الشمسية المقترحة قادرة على إنتاج طاقة كهربائية كافية لتشغيل مضخة المياه الخاصة بالمزرعة خلال فترات التشغيل اليومية، تم حساب الطاقة اليومية المنتجة اعتمادا على قدرة النظام الشمسي ومتوسط الإشعاع الشمسي ومتوسط الإشعاع الشمسي اليومي وفق العلاقة التالية:

$$E = Ppv \times Hsun\, E = 12 \times 6 = 72kWh/day$$

ولحساب الطاقة السنوية المنتجة:

$$72 \times 365 = 26280\ kWh/year = 26.28MWh/year$$

وقد بينت النتائج أن هذه الطاقة كافية لتغطية احتياجات تشغيل مضخة الري بالمزرعة خلال ساعات النهار.

نتائج المحاكاة وتحليل المخرجات

اعتمادا على المعطيات التصميمية والظروف المناخية السائدة بمنطقة ودان بهدف تقييم كمية الطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها ومدى كفايتها لتشغيل مضخة الري. وقد مكنت عملية المحاكاة من الحصول على مجموعة من النتائج المتعلقة بالإنتاج الطاقي وكفاءة تشغيل النظام، والتي سيتم عرضها وتحليلها ومناقشتها تم الاعتماد على متوسط الإشعاع الشمسي بمنطقة الجفرة، والدي يتراوح بين و(6 − 5.5) kWh/m^2/day، أظهرت النتائج المحاكاة أن المنظومة الشمسية المقترحة قادرة على إنتاج طاقة كهربائية يومية تتراوح بين(70 و 80 kWh/day)، بمتوسط يقارب

(76.7 $kWh/day.$) وبالتالي فإن الطاقة السنوية المنتجة تساوي:

$$E\ year = 76.7 \times 365 = 28\ year/MWh$$

وقد بينت النتائج أن الطاقة المنتجة كافية لتشغيل مضخة المياه بقدرة .اكتب المعادلة هناHP12 خلال ساعات النهار، وتوفير كمية مياه مناسبة لري مزرعة النخيل دون الحاجة إلى بطاريات تخزين.

الإنتاجية النوعية للنظام

تم حساب الإنتاجية النوعية للنظام باستخدام العلاقة:

$$Specific\ Yield = \frac{Eannual}{Ppv}$$

وبالتعويض:

$$Eannual = 27995\ kWh/year$$
$$Ppv = 12.78\ kWp$$

فإن:

$$SY = \frac{27995}{12.78} = 2190\ kWh/kWp/year$$

مما يدل على أن النظام الشمسي المقترح يتمتع بإنتاجية جيدة، وأن الظروف المناخية السائدة بمنطقة الجفرة مناسبة لتطبيقات ضخ المياه بالطاقة الشمسية.

مؤشرات الأداء الفني للمنظومة

تم تقييم الأداء الفني للمنظومة الشمسية باستخدام مجموعة من المؤشرات الهندسية التي تساعد على تحديد كفاءة تشغيل النظام.

- **نسبة الأداء العام للمنظومة (Performance Ratio – PR)**

تعبر نسبة الأداء عن مدى كفاءة النظام الشمسي بعد احتساب جميع الفواقد الناتجة عن ظروف البيئية والمعدات الكهربائية، وقد تراوحت القيمة التقديرية لنسبة الأداء للنظام المقترح بين 80% - 75% وتعتبر هذه القيمة جيدة لأنظمة الطاقة الشمسية المستخدمة في المناطق الصحراوية.

- **الإنتاجية النوعية للنظام (Specific Yield)**

تمثل الإنتاجية النوعية كمية الطاقة الكهربائية المنتجة لكل كيلو واط من الألواح الشمسية المركبة خلال السنة، وتم حسابها باستخدام العلاقة التالية:

$$Specific\ Yield\ = \frac{26280}{12} = 2190Wh/kWp/year$$

وبالتالي فإن الإنتاجية النوعية للنظام تساوي تقريبا:

تعتبر هذه القيمة مناسبة نتيجة ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي في منطقة ودان.

التحليل المالي والجدوى الاقتصادية والبيئية

يعتبر التحليل المالي والاقتصادي من المراحل المهمة في دراسة أنظمة الطاقة الشمسية، حيث يساعد على تقييم مدى جدوى استخدام المنظومة الشمسية مقارنة بالأنظمة التقليدية المستخدمة في تشغيل مضخات المياه الزراعية، بالإضافة إلى تحديد التكاليف التشغيلية والعوائد الاقتصادية المتوقعة للمزرعة.

هيكل التكاليف المالي للمشروع

تنقسم التكاليف الخاصة بمنظومة الري بالطاقة الشمسية إلى نوعين رئيسين، هما التكاليف الرأسمالية الأولية وتكاليف التشغيلية السنوية.

التكاليف الرأسمالية الأولية (CAPEX)

تشمل التكاليف الرأسمالية جميع المصاريف الخاصة بتركيب النظام الشمسي وتشغيله لأول مرة، ومن أهمها:

تكلفة الألواح الشمسية أحادية البلورة ،وتكلفة الانفرتر من نوع Veichi ،وتكلفة المضخة الغاطسة

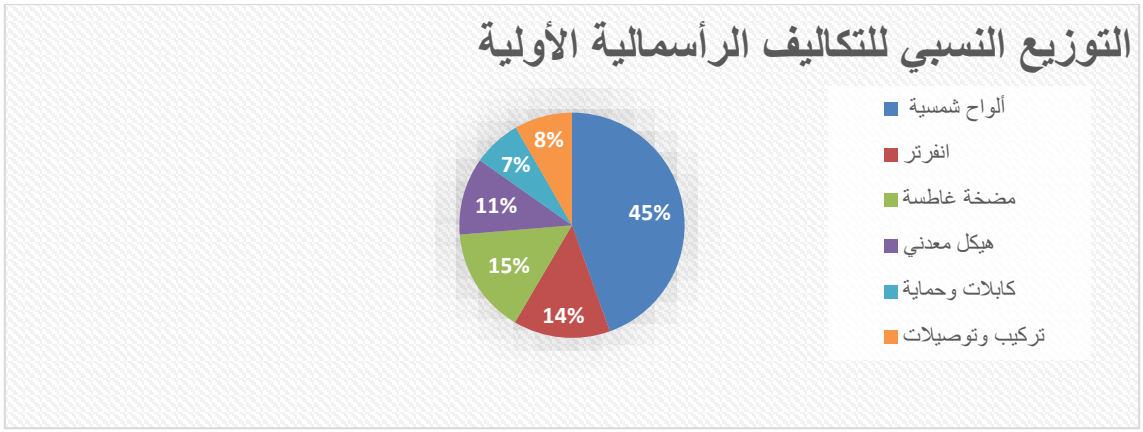
تكلفة الهيكل المعدني وقواعد التثبيت الخرسانية ،وتكلفة الكابلات ووسائل الحماية الكهربائية

،وتكلفة حفر والتركيب والتوصيلات

وقد تعتبر هذه التكاليف مرتفعة نسبيا في بداية المشروع، إلا أنها تساهم في تقليل مصاريف التشغيل على مدى الطويل.

جدول (6) يوضح التكاليف الرأسمالية الأولية (CAPEX)

الرقم	البند	الكمية	الوحدة	السعر التقريبي (د.ل)	الإجمالي (د.ل)
1	ألواح شمسية أحادية البلورة JA Solar	22	لوح	730	16060
2	عاكس انفرتر شمسي Veichi	1	جهاز	5000	5000
3	مضخة غاطسة HP12	1	جهاز	5500	5500
4	هيكل معدني وقواعد تثبيت	1	مجموعة	4000	4000
5	كابلات ووسائل حماية كهربائية	1	مجموعة	2500	2500
6	أعمال الحفر وتركيب والتوصيلات	1	مجموعة	3000	3000
الإجمالي الكي للتكاليف					36069



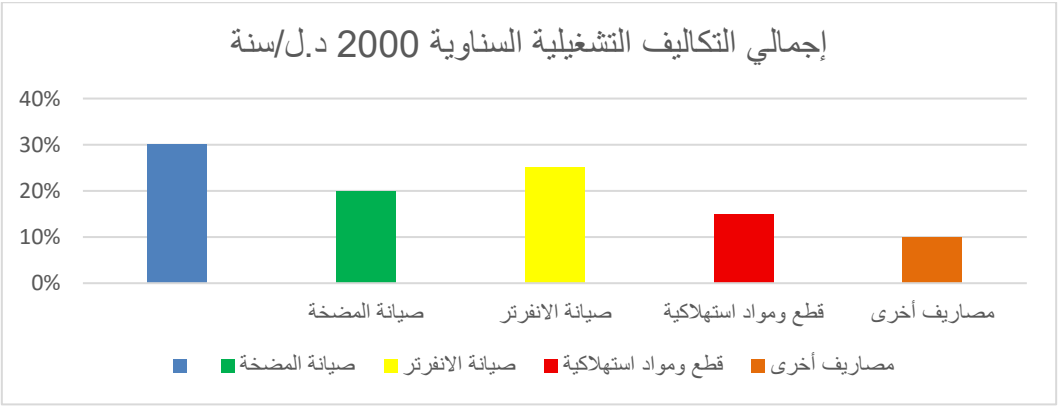
شكل (13) التوزيع النسبي للتكاليف الرأسمالية الأولية

التكاليف التشغيلية (OXEX)

تشمل التكاليف التشغيلية المصاريف الدورية اللازمة للحفاظ على كفاءة تشغيل المنظومة الشمسية ومن أهمها :تنظيف الألواح الشمسية بصورة دورية بسبب تراكم الغبار والأتربة وأعمال الصيانة الدورية للمضخة والانفرتر ،واستبدال بعض القطع الكهربائية عند الحاجة ،وتكاليف المياه المستخدمة في تنظيف الألواح الشمسية وتعتبر تكاليف تشغيل وصيانة الأنظمة الشمسية منخفضة مقارنة بأنظمة الديزل التقليدية.

جدول (7) يوضح التكاليف التشغيلية (OXEX)

	البند	الوحدة	التكلفة السنوية (د.ل)	الملاحظات
1	تنظيف الالواح شمسية	مرتان سنويا	600	مياه + أجور عمال
2	صيانة دورية للمضخة	سنوي	400	فحص وتزييت واستبدال أجزاء بسيطة
3	صيانة الانفرتر والاجهزة الكهربائية	سنوي	500	فحص وتنظيف ومتابعة
4	استبدال قطع صغيرة ومواد استهلاكية	سنوي	300	فيوزات – قواطع – مواد تنظيف.... إلخ
5	مصاريف أخرى متفرقة	سنوي	200	نقل – متابعة ميدانية.... إلخ
الإجمالي السنوي للتكاليف التشغيلية (OPEX)				2000



شكل(14) تكاليف التشغيلية و السنوية

جدول (8) التكلفة التقديرية لتوصيل الكهرباء التقليدية لمزرعة تبعد 3.5 كم عن أقرب نقطة للشبكة الكهربائية

البند	الكمية التقريبية	السعر التقريبي (د.ل)
أعمدة خشبية	40 عمود	40000
أسلاك نحاس	3500 م	55000
عوازل ومثبتات وملحقات	-	5000
محول أو لوحة توزيع وقاطع ثلاثي	1	500
عداد ثلاثي الأطوار	1	2000
أعمال الحفر والتركيب والنقل	-	15000
أجور العمالة	-	7000
إجمالي التكلفة التوصيل التقليدي		124500 د.ل تقريبا

ملاحظة تم تقدير الأسعار وفق المكونات المستخدمة فعليا في شبكات الكهرباء الزراعية المحلية ، والتي تعتمد على الأعمدة الخشبية والأسلاك النحاسية، مع الاخذ في الاعتبار الأسعار التقريبية المتداولة في السوق الليبي لعام 2026

جدول (9) التكلفة التقديرية لتوصيل الكهرباء بالطاقة الشمسية

البند	السعر التقريبي (د.ل)
ألواح الشمسية	15000
انفرتر الشمسي	6000
مضخة غاطسة	5500
هيكل تثبيت	2500
كوابل وحمايات	2000
التركيب والتوصيلات	3000
احتياطي وصيانة أولية	2000

إجمالي تكلفة المنظومة الشمسية 36000 د.ل تقريبيا

الاستنتاج:

إن البعد المزرعة بمسافة 3.5 عن الشبكة العامة، تصبح التكلفة توصيل الكهرباء التقليدية مرتفعة جدا حوالي (124500 د.ل) ، بينما تبلغ التكلفة إنشاء منظومة ضح تعمل بالطاقة الشمسية حوالي 36 ألف د.ل فقط، [6] مما يجعل الطاقة الشمسية أكثر جدوى اقتصادية، خاصة مع انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة وعدم تأثرها بانقطاعات الشبكة الكهربائية.

جدول (10) مقارنة تكلفة تزويد المزرعة بالطاقة باستخدام الشبكة الكهربائية والتقليدية ومنظومة الطاقة الشمسية

البند	التوصيل الكهربائي التقليدي	منظومة الطاقة الشمسية
التكلفة الأولية	134000 د.ل	36000 د.ل
مصدر الطاقة	الشبكة العامة	الإشعاع الشمسي
تكلفة التشغيل السنوية	6000 د.ل	صفر
تكلفة الصيانة السنوية	2500 د.ل	2000 د.ل
التأثر بانقطاع الكهرباء	مرتفع	منخفض
العمر التشغيلي	يعتمد على الشبكة	25 سنة تقريبا
اعتماد على الوقود أو الشبكة	مرتفع	غير موجود
الأثر البيئي	انبعاثات غير مباشرة	طاقة نظيفة

الجدوى الاقتصادية على مدى الطويل	متوسطة	مرتفعة

تم إعداد الجدول اعتمادا على الأسعار التقريبية المتداولة في السوق الليبي خلال عام 2026، وبيانات الشركة العامة للكهرباء، وموردي أنظمة الطاقة الشمسية، مع افتراض أن المزرعة تبعد مسافة 3.5 كم عن أقرب نقطة للشبكة الكهربائية.

تحليل ومناقشة نتائج الاستبيان

استخدامات الطاقة داخل المزارع

توزعت استخدامات الطاقة بين إنارة المزرعة (50%) وتشغيل معدات أخرى (50%)، مما يدل على أن الطاقة لا تُستخدم لغرض واحد فقط، بل تُعد عنصرًا تشغيليًا أساسيًا داخل النظام الزراعي. هذا التنوع في الاستخدام يعكس أن الطاقة أصبحت جزءًا أساسيًا من العمليات الإنتاجية وليس فقط خدمة ثانوية، وهو ما يزيد من أهمية كفاءة واستمرارية مصدر الطاقة.

جدول (11) توزيع أفراد العينة حسب استخدامات الطاقة داخل المزرعة

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	انارة المزرعة	2	50.0	50.0	50.0
	معدات اخرى	2	50.0	50.0	100.0
	مجموع كلي	4	100.0	100.0	

كفاية الطاقة وتقييم المستخدمين

أوضحت النتائج أن 75% من المشاركين يرون أن الطاقة كافية مقابل 25% يرون أنها "إلى حد ما كافية".هذا يشير إلى أن النظام الحالي يلبي الاحتياجات الأساسية لمعظم المستخدمين، لكنه لا يصل إلى مستوى الكفاية الكاملة للجميع، مما يعني وجود فجوة محدودة بين الطلب الفعلي والإمداد المتاح، قد تكون مرتبطة بزيادة الأحمال أو عدم استقرار التشغيل في بعض الفترات.

جدول (12) توزيع أفراد العينة حسب مدى كفاية الطاقة المستخدمة

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	نعم	3	75.0	75.0	75.0
	الى حد ما	1	25.0	25.0	100.0
	مجموع كلي	4	100.0	100.0	

الكفاءة المقارنة وتقييم الأداء

أظهرت النتائج أن 75% يعتبرون النظام أفضل مقارنة بالبدائل، بينما 25% يرونه أقل كفاءة. هذا يعكس وجود رضا عام مرتفع نسبيًا عن النظام، لكنه ليس مطلقًا، حيث توجد فئة ترى أن الأداء غير مثالي. ويمكن تفسير ذلك بأن تقييم الكفاءة يعتمد على تجارب تشغيل مختلفة، مثل اختلاف ساعات التشغيل أو نوع الأحمال المستخدمة.

جدول (13) توزيع أفراد العينة حسب تقييم كفاءة النظام مقارنة بالبدائل

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	افضل	3	75.0	75.0	75.0
	اقل كفاءة	1	25.0	25.0	100.0
	مجموع كلي	4	100.0	100.0	

الفوائد الأساسية للنظام

تمثلت أبرز فائدة للنظام في أنه مناسب للمناطق البعيدة (75%)، تليها سهولة التشغيل (25%).

هذا يدل على أن القيمة الأساسية للنظام ليست فقط في الأداء التقني، بل في قدرته على توفير الطاقة في بيئات غير مخدومة بالشبكة الكهربائية، وهو عامل حاسم في البيئات الزراعية النائية.

جدول (14) توزيع أفراد العينة حسب أهم فوائد نظام الطاقة المستخدم

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات الصحيحة	سهولة التشغيل	1	25.0	25.0	25.0
	مناسبة للمناطق البعيدة	3	75.0	75.0	100.0
	مجموع كلي	4	100.0	100.0	

المشكلات التشغيلية

أظهرت النتائج تساوي نسبتين مهمتين: ضعف الأداء أحيانًا (50%)، تأثير الغبار (50%).

وهذا يشير إلى أن المشكلات ليست تقنية فقط، بل أيضًا بيئية، وضعف الأداء قد يكون مرتبطًا بعدم استقرار الحمل أو كفاءة النظام، بينما الغبار يمثل عاملًا بيئيًا مهمًا في المناطق الجافة، حيث يؤدي إلى تقليل كفاءة التشغيل وزيادة الحاجة إلى الصيانة. هذا يوضح أن النظام يعمل في بيئة تحدياتها مزدوجة: تشغيلية ومناخية.

جدول (15) توزيع أفراد العينة حسب أبرز المشكلات التشغيلية

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة المئوية تراكمية
بيانات الصحيحة	ضعف الاداء احيانا	2	50.0	50.0	50.0
	الغبار وتأثيره	2	50.0	50.0	100.0
	مجموع الكلي	4	100.0	100.0	

تأثير الغبار بشكل أدق

رغم أن 50% ذكروا أن الغبار يمثل مشكلة، فإن 75% أكدوا أنه يؤثر بشكل "قليل" فقط. هذا التناقض الظاهري يعني أن الغبار موجود لكنه لا يصل إلى مستوى التعطيل الكامل، وإنما يؤثر بشكل تراكمي على الأداء، خصوصًا على المدى الطويل إذا لم تتم الصيانة الدورية.

جدول (16) توزيع أفراد العينة حسب مدى تأثير الغبار على أداء النظام

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	نعم	1	25.0	25.0	25.0
	قليلا	3	75.0	75.0	100.0
	مجموع الكلي	4	100.0	100.0	

الصيانة وقطع الغيار

تظهر النتائج أن 75% يؤكدون توفر قطع الغيار، مقابل 25% يرون أنه "أحيانًا". هذا مؤشر إيجابي يدل على أن النظام مدعوم لوجستيًا بشكل جيد نسبيًا، مما يساعد في تقليل الأعطال طويلة المدة. لكن في المقابل، نتائج الصيانة غير مستقرة (تباين واضح في الإجابات)، مما يشير إلى أن المشكلة ليست في توفر القطع، بل في تنظيم أو انتظام عمليات الصيانة نفسها.

جدول (17) توزيع أفراد العينة حسب توفر قطع الغيار والصيانة

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	نعم	3	75.0	75.0	75.0
	احيانا	1	25.0	25.0	100.0
	مجموع الكلي	4	100.0	100.0	

التنظيف وأثره التشغيلي

تشير النتائج إلى أن التنظيف يتم غالبًا بشكل شهري (66.7%) مقارنة بالأسبوعي (33.3%).هذا يشير إلى أن إجراءات التنظيف ليست مكثفة بما يكفي، وهو ما قد يفسر جزئيًا وجود مشكلات الغبار وضعف الأداء أحيانًا، لأن التنظيف غير الدوري قد يؤدي إلى تراكم الأتربة وتقليل الكفاءة التشغيلية.

يمكن تفسير ذلك بأن الفوائد (خاصة في المناطق البعيدة) تفوق سلبيات النظام.

جدول (18) وزيع أفراد العينة حسب معدل تنظيف الألواح الشمسية

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	اسبوعيا	1	25.0	33.3	33.3
	شهريا	2	50.0	66.7	100.0
	مجموع الكلي	3	75.0	100.0	
مفقودة	النظام	1	25.0		
مجموع الكلي		4	100.0		

التوصية والتوسع المستقبلي

أظهرت النتائج أن:

75%يوصون باستخدام النظام

75%يؤيدون التوسع فيه وهذا يعكس مستوى قبول مرتفع، ويشير إلى أن المستخدمين رغم وجود مشكلات تشغيلية، إلا أنهم يرون أن النظام مهم وذو قيمة عملية واضحة.

جدول (19) توزيع أفراد العينة حسب التوصية باستخدام النظام

		تكرار	نسبة مئوية	نسبة مئوية صحيحة	نسبة مئوية تراكمية
بيانات صحيحة	نعم	3	75.0	75.0	75.0
	لا	1	25.0	25.0	100.0
	مجموع الكلي	4	100.0	100.0	

3.1 المناقشة العامة للنتائج

أظهرت نتائج الدراسة أن المنظومة الشمسية المقترحة قادرة على تلبية احتياجات المزرعة بكفاءة، حيث تم تصميم نظام بقدرة 12.78kWp باستخدام 18 لوحا شمسيا بقدرة 710W لكل لوح، لتشغيل مضخة غاطسة بقدرة 12 حصان. كما بينت الحسابات أن الاحتياج المائي للمزرعة $100m^3/day$، وهو ما تم الاعتماد عليه في تصميم منظومة وحساب القدرة المطلوبة. وأوضحت نتائج المحاكاة أن الطاقة المنتجة كافية لتشغيل نظام الري خلال ساعات النهار، بينما أكدت المقارنة الاقتصادية أن استخدام الطاقة الشمسية أكثر جدوى توصيل الكهرباء التقليدية للمزرعة على المدى الطويل. وبشكل عام، تؤكد النتائج نجاح التصميم المقترح وإمكانية تطبيقه في مزارع النخيل بمنطقة الجفرة.

الاستنتاجات

1. أظهرت الدراسة أن منطقة ودان تتمتع بظروف شمسية مناسبة لاستغلال الطاقة الشمسية في تشغيل مضخات الري، مما يجعلها بديلا علميا لمصادر الطاقة التقليدية في المزارع.
2. بينت الحسابات الهندسية أن الاحتياج المائي للمزرعة يتغير حسب المرحلة الزراعية ويبلغ أعلى مستوياته خلال مرحلة نضج التمور ، وهي مرحلة مهمة للحفاظ على جودة وإنتاج المحصول .

3. أظهر تصميم المنظومة المقترحة إمكانية توفير الطاقة اللازمة لتشغيل مضخة الري بقدرة12 حصان ، باستخدام مصفوفة ألواح شمسية بقدرة إجمالية مناسبة للأحمال المطلوبة.
4. بينت الدراسة أن اعتماد زاوية ميل°45 باتجاه الجنوب يوفر وضعية مناسبة للألواح في تصميم المنظومة المقترحة ، بما يساعد على الاستفادة من الإشعاع الشمسي المتاح في منطقة الدراسة.
5. أظهرت نتائج الاستبيانات توافقا بين اراء المزارعين والمهندسين وفنيين حول أهمية الطاقة الشمسية في تشغيل مضخات الري، مما يدعم الجانب العملي من الدراسة.

التوصيات

1. توصي الدراسة بأن تعمل الدولة الليبية على دعم المزارعين من خلال إنشاء برامج ومشروعات مدعومة لتركيب أنظمة الطاقة الشمسية في المزارع،
2. إعطاء أولوية للمزارع الواقعة في المناطق التي تعاني من انقطاع الكهرباء لفترات طويلة ، خصوصا خلال موسم نضج التمور شهري يوليو و أغسطس وسبتمبر
3. تقديم دعم مالي أو قروض ميسرة للمزارعين لتقليل تكلفة شراء وتركيب الألواح الشمسية والمضخات والانفرترات ، نظرا لارتفاع التكلفة الأولوية للمنظومات
4. الاهتمام بتنظيف الألواح الشمسية بصورة دورية ، خاصة أن الغبار والظروف الصحراوية في ودان يمكن أن تؤدي إلى انخفاض إنتاجية الألواح .
5. التوسع في استخدام الطاقة الشمسية ليس فقط لتشغيل مضخات الري وإنما أيضا لتوفير الطاقة اللازمة لتبريد وحفظ التمور، خصوصا خلال فترات انقطاع الكهرباء في موسم الانتاج .

الخلاصة

بناء على النتائج هده الدراسة ، فإن دعم الدولة الليبية للتحول نحو الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي يمكن أن يمثل خطوة مهمة نحو الحد من تأثير انقطاع الكهرباء على مزارع النخيل، والمحافظة على استمرارية الري والإنتاج وحفظ التمور، خاصة خلال موسم نضج التمور في منطقة الجفرة ومدينة ودان، بما يساهم في دعم المزارع المحلي وتحسين استدامة الإنتاج الزراعي .

المراجع

.1Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO.(

.2Boyle, G. (2012). Renewable Energy: Power for a Sustainable Future (3rd ed.). Oxford University Press.

.3Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). Crop Water Information: Date Palm. Rome: FAO.

.4Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). Solar-powered Irrigation Systems.

.5International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). Solar PV in Africa: Costs and Markets.

.6International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Renewable Power Generation Costs.

.7Kalogirou, S. A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems (2nd ed.). Academic Press.

.8National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2024). Best Practices for Photovoltaic System Design and Tilt Angle Optimization.

.9ResearchGate. (2020). Thermal Performance of Monocrystalline PV Modules.

.10WHC Solar. (2024). Harnessing the Power: A Comprehensive Guide to Solar Water Pumps.