



دراسة فعالية ضخ المياه باستخدام الطاقة الفوتوضوئية بمدينة درنة

أحمد حامد موسى، محمود امتويل محمد

¹المعهد العالي للتقنيات الزراعية، درنة، ليبيا

¹المعهد العالي للعلوم والتقنية، شحات، ليبيا

تاريخ الاستلام: 2025/9/20 - تاريخ المراجعة: 2025/9/25 - تاريخ القبول: 2025/9/28 - تاريخ النشر: 2025/10/11

المستخلص:

لقد استخلصنا في هذه الدراسة مدى فعالية استخدام الطاقة الفوتوضوئية في ضخ المياه طبقاً للظروف المناخية بمدينة درنة بليبيا باعتبارها منطقة ساحلية ذات مناخ متوسطي وكذلك تم تصميم المنظومة الفوتوضوئية وحساب الإشعاعات الشمسية على مدار عام كامل ومن الجدوى الاقتصادية توضح لنا أن استخدام الطاقة الفوتوضوئية في ضخ المياه ذات كفاءة عالية في مدينة درنة لكن تعتبر باهظة نسبياً مقارنة بسعر الطاقة الكهربائية في الشبكة العامة، باعتبار ليبيا دولة غنية بالموارد النفطية، ويوفر أيضاً الاستقلالية التامة عن شبكة الكهرباء ويساهم في حل مشكلة انقطاع المياه خلال فترات انقطاع التيار الكهربائي.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الفوتوضوئية، الطاقة الشمسية، ضخ المياه، منظومة فوتو ضوئية.

1. المقدمة

تُعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي يزداد تقديرنا لأهميتها يوماً بعد يوم، خاصة في ظل التحديات العالمية المتعلقة بأمن الطاقة والتغيرات المناخية. وعلى الرغم من أن أشعة الشمس تُغمر سطح الأرض بزوايا متقاربة نتيجة البُعد الكبير بين الأرض والشمس، فإن كمية الإشعاع الشمسي المُستقبلة تختلف من مكان لآخر تبعاً للموقع الجغرافي والظروف المناخية المحيطة. وفي ضوء التوجه العالمي المتزايد نحو اعتماد مصادر طاقة نظيفة وصديقة للبيئة، برزت الأنظمة الكهروضوئية كأحد أكثر التقنيات فعالية في تحويل الإشعاع الشمسي المباشر إلى طاقة كهربائية تُستخدم في العديد من التطبيقات، مثل الإنارة، والتبريد، وتشغيل أنظمة ضخ المياه. [3]

تُعد مدينة درنة في ليبيا إحدى المدن الساحلية التي تنتمي للمناخ المتوسطي، وتتميز بتوافر إشعاع شمسي مناسب يُعزز من جدوى استخدام الأنظمة الكهروضوئية، خصوصاً في تطبيقات مثل ضخ المياه. ويأتي هذا في ظل الانقطاعات المتكررة للكهرباء التي تؤثر سلباً على توفير المياه، لا سيما في المناطق التي تعتمد على مضخات كهربائية لتلبية احتياجاتها اليومية. [4] [14] يركز هذا البحث على دراسة فعالية استغلال الطاقة الكهروضوئية في تشغيل أنظمة ضخ المياه بمدينة درنة، من خلال تحليل الإشعاع الشمسي على مدار عام، وتصميم نظام متكامل للطاقة الشمسية، بالإضافة إلى إجراء دراسة جدوى اقتصادية تأخذ بعين الاعتبار الوضع الحالي للطاقة في ليبيا، حيث تتوفر الكهرباء بأسعار منخفضة نسبياً نتيجة الاعتماد الكبير على الموارد النفطية. وقد تم تنظيم هذا البحث في ثلاثة مباحث رئيسية؛ يتناول المبحث الأول شرحاً مفصلاً لتركيب الأنظمة الكهروضوئية وآلية تشغيلها، بينما يركز المبحث الثاني على تصميم منظومة متكاملة لضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية، مع الاعتماد على بيانات مناخية دقيقة تخص مدينة درنة. ويستعرض المبحث الثالث الجدوى الاقتصادية والفنية للنظام، متضمناً محاكاة تشغيلية سنوية باستخدام برنامج PVSyst لتقييم الأداء في ظل ظروف مناخية متنوعة.

2. المبحث الأول: دراسة المنظومة الفوتوضوئية

تُعرف المنظومة الفوتوضوئية (Photovoltaic System) بأنها منظومة تقنية متكاملة تقوم بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية باستخدام مجموعة من المكونات الأساسية التي تعمل بتناغم لتحقيق أقصى كفاءة ممكنة في إنتاج الكهرباء، كما هو موضح في الشكل (1). [8]



شكل 1. يوضح مكونات المنظومة الفوتو ضوئية
يتم استخدام هذه المنظومات في العديد من التطبيقات الحيوية ومنها ضخ المياه في المناطق التي تعاني من انقطاع التيار الكهربائي أو التي تقع خارج نطاق الشبكة العامة. [1]

1.1.2 الألواح الشمسية (PV Panels)

تُعد الألواح الشمسية من أهم مكونات المنظومة الفوتوضوئية، وهي عبارة عن وحدات من الخلايا الشمسية يتم توصيلها معًا على التوالي والتوازي، ومثبتة داخل إطار معدني.
تصنع هذه الخلايا عادة من مادة السيليكون (Silicon) المعروفة بخصائصها الكهروضوئية [13]
وتنقسم الألواح الشمسية إلى ثلاثة أنواع رئيسية موضحة في الشكل (2):



شكل 2. يوضح الأنواع الرئيسية للألواح الشمسية

- خلايا أحادية التبلور (Monocrystalline): ذات كفاءة عالية وحجم صغير، لكنها أكثر تكلفة.
- خلايا متعددة التبلور (Polycrystalline): أقل تكلفة، بكفاءة معتدلة، وأكثر انتشارًا.
- خلايا الفيلم الرقيق (Thin Film): مرنة وأقل سماكة، لكنها ذات كفاءة أقل مقارنةً بالأنواع الأخرى.

2.1.2 البطاريات (Batteries)

تُستخدم البطاريات في تخزين الطاقة الكهربائية الناتجة عن الألواح الشمسية لاستخدامها في أوقات غياب الإشعاع الشمسي، مثل فترات الليل أو في الأيام الغائمة. وتعتبر بطاريات حمض الرصاص (Lead-Acid) من أكثر الأنواع استخدامًا في أنظمة الطاقة الشمسية بسبب تكلفتها المنخفضة وكفاءتها المقبولة، رغم وجود أنواع أخرى مثل بطاريات الليثيوم ذات الكفاءة الأعلى ولكن بتكلفة أعلى.

3.1.2 منظم الشحن (Charge Controller)

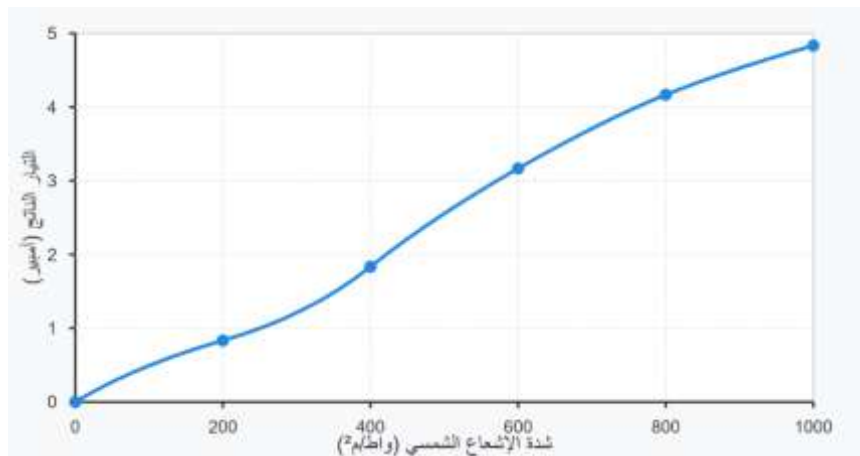
هو جهاز إلكتروني يعمل على تنظيم الجهد والتيار القادم من الألواح الشمسية إلى البطاريات، كما ينظم التيار الخارج من البطاريات إلى الأحمال الكهربائية. يُستخدم منظم الشحن لحماية البطاريات من الشحن الزائد أو التفريغ العميق، مما يُطيل عمرها التشغيلي ويُحسن أداء المنظومة ككل.

4.1.2 محول التيار (Inverter)

نظرًا لأن الألواح الشمسية تُنتج تيارًا كهربائيًا مستمرًا (DC)، فإن هناك حاجة لتحويله إلى تيار متردد (AC) لاستخدامه في تشغيل المضخات الكهربائية وغيرها من الأجهزة التي تعتمد على التيار المتردد. يقوم محول التيار بهذه الوظيفة، وقد أصبح من الشائع دمج المحول مع منظم الشحن في جهاز واحد يُعرف بالـ Inverter-Charge Controller، مما يُبسط التصميم ويقلل من التكاليف. [6]

2.2 طريقة عمل المنظومة الفوتوضوئية

تعتمد المنظومة الفوتوضوئية على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية مباشرة، وذلك من خلال ظاهرة التحويل الكهروضوئي التي تحدث داخل الخلايا الشمسية. عند تعرض الألواح الفوتوضوئية لأشعة الشمس، تقوم الفوتونات الضوئية باصطدام الذرات في الخلية الشمسية، مما يؤدي إلى تحفيز الإلكترونات الحرة داخل المادة شبه الموصلة (وغالبًا ما تكون السيليكون) فتنتقل هذه الإلكترونات وتحرك عبر دائرة كهربائية خارجية، منتجة تيارًا كهربائيًا مستمرًا (DC). [1]

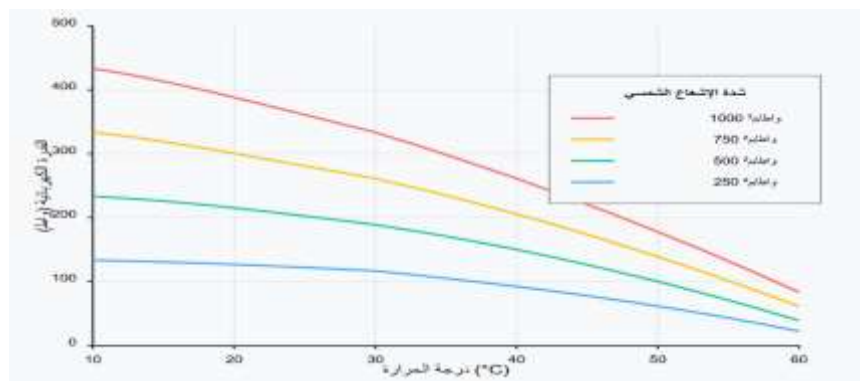


شكل 3. العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والتيار الناتج

يزداد التيار الناتج كلما زادت شدة الإشعاع الشمسي، كما يتضح في الشكل (3). ويُعد هذا المبدأ هو الأساس في تشغيل كافة أنظمة الطاقة الشمسية، حيث يتوقف أداؤها وكفاءتها على كمية الإشعاع الشمسي المتوفر ودرجة حرارة الخلايا. [7]

يتأثر أداء المنظومة الفوتوضوئية بعدة عوامل بيئية، أبرزها:

- **شدة الإشعاع الشمسي: (Solar Irradiance)** حيث تؤدي الزيادة في شدة الإشعاع إلى زيادة في التيار الكهربائي الناتج من الخلايا الشمسية، وبالتالي ارتفاع في القدرة الكلية للنظام.
- **درجة الحرارة: (Temperature)** ارتفاع درجة الحرارة يؤدي عادةً إلى انخفاض الجهد الكهربائي (Voltage) الناتج من الخلية، مما يؤدي إلى تراجع القدرة الكهربائية الكلية، رغم حدوث زيادة طفيفة في التيار كما هو موضح في الشكل (4). [1] [9]



الشكل (4). يوضح تأثير درجة الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي على القدرة الكهربائية

من خلال المنحنيات التجريبية الموضحة في الشكل (4)، نلاحظ العلاقة بين متغيري درجة الحرارة وشدة الإشعاع وتأثيرهم على القدرة الكهربائية فيما يلي:

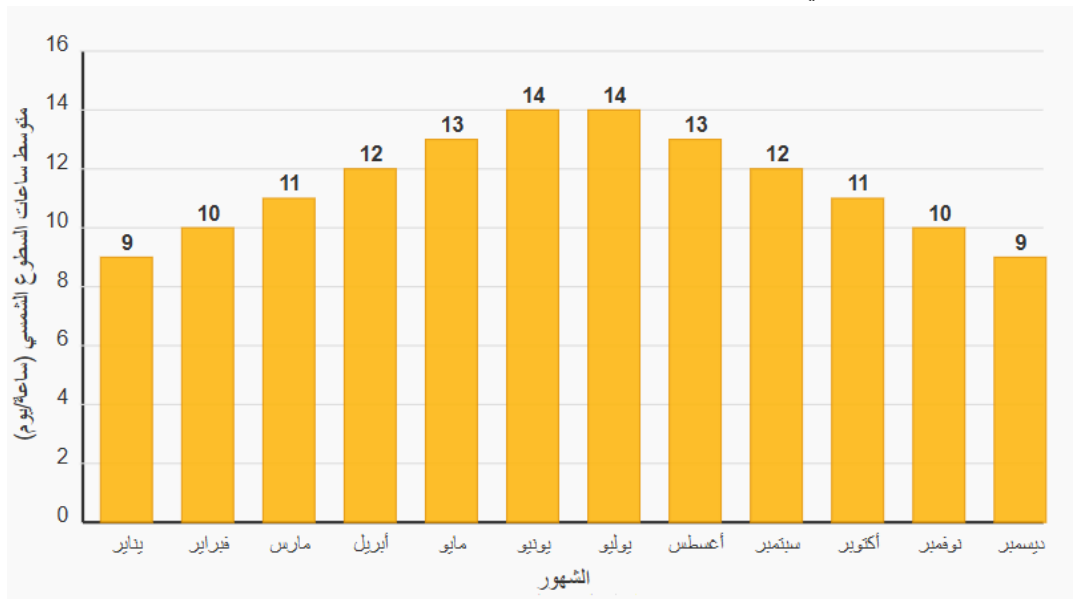
- تزداد القدرة القصوى (Maximum Power Point) للنظام مع زيادة شدة الإشعاع الشمسي.
- يوجد ارتفاع طفيف في الجهد الكهربائي مع تزايد الإشعاع، بينما تزداد شدة التيار بشكل طردي واضح مع زيادة شدة الإشعاع. [9]

وبالتالي يمكن الاستنتاج أن كفاءة المنظومة الفوتو ضوئية ترتبط طردياً بشدة الإشعاع الشمسي، وسلبياً مع ارتفاع درجة الحرارة، مما يستدعي مراعاة الظروف البيئية عند تصميم وتركيب هذه الأنظمة لضمان تحقيق أفضل أداء ممكن. [11]

3. المبحث الثاني: التطبيق العملي لمنظومة ضخ المياه باستخدام الطاقة الفوتوضوئية في منطقة التميمي – جنوب غرب مدينة درنة

1.3 موقع الدراسة والخصائص المناخية

تقع منطقة التميمي جنوب غرب مدينة درنة، وتتميز بموقع جغرافي ملائم لتطبيق تقنيات الطاقة الشمسية، نظراً لارتفاع مستويات الإشعاع الشمسي السنوي فيها. تشير الدراسات إلى أن ليبيا تستقبل أكثر من 3600 ساعة من السطوع الشمسي سنوياً، مما يجعلها من بين الدول ذات الإمكانيات العالية في مجال الطاقة الشمسية. [13] [3]



الشكل 5. متوسط ساعات السطوع الشمسي الشهرية في دولة ليبيا

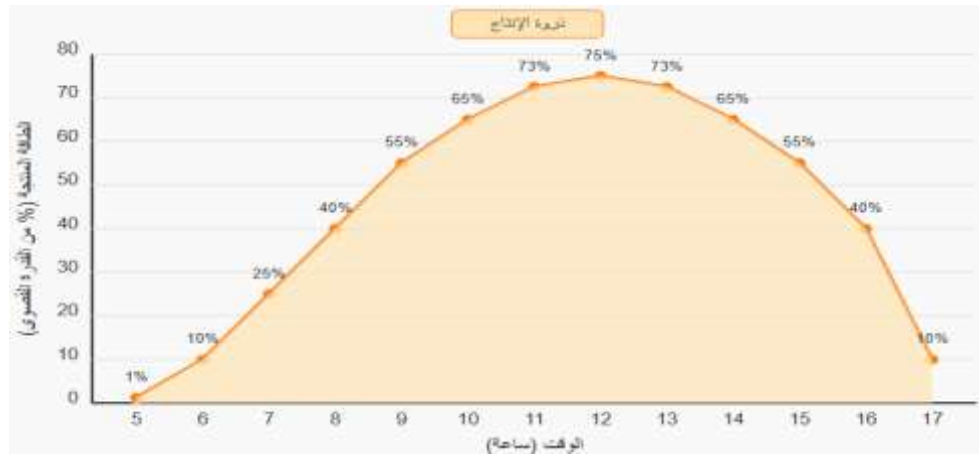
2.3 تصميم المنظومة الفوتوضوئية

بناءً على البيانات المناخية لمنطقة التميمي، تم تصميم منظومة فوتوضوئية لضخ المياه تأخذ في الاعتبار العوامل التالية:

- **الإشعاع الشمسي:** تم استخدام بيانات الإشعاع الشمسي المتاحة لتحديد حجم الألواح الشمسية اللازمة لتوليد الطاقة المطلوبة.
- **درجة الحرارة:** تم اختيار مكونات المنظومة بحيث تتحمل درجات الحرارة المرتفعة التي قد تصل إليها المنطقة خلال فصل الصيف.
- **زاوية الميل:** تم تحديد زاوية ميل الألواح الشمسية بناءً على الموقع الجغرافي للتميمي لتحقيق أقصى استفادة من الإشعاع الشمسي طوال العام. [2] [10]

3.3 الجدوى الاقتصادية والتشغيلية

توصلنا بالبحث والملاحظة إلى أن اعتماد منظومة ضخ المياه المعتمدة على الطاقة الفوتوضوئية في منطقة التميمي جنوب غرب مدينة درنة يمثل خياراً اقتصادياً وتشغيلياً فعالاً على المدى المتوسط والبعيد. وقد تم اختيار منطقة التميمي تحديداً نظراً لكونها تقع في موقع نائي نسبياً، بعيداً عن مركز المدينة، حيث تعاني من ضعف في البنية التحتية الكهربائية وافتقار إلى مصدر طاقة مستقر. كما أن الشبكة الكهربائية القائمة في المنطقة تُعد قديمة وغير اعتمادية، وتتعرض لانقطاعات متكررة، مما يعيق استدامة الخدمات الحيوية كضخ المياه. [12] [5]



الشكل 6. توزيع إنتاج الطاقة الكهربائية الفوتو ضوئية خلال ساعات النهار

وبالتالي، فإن المنظومة الشمسية توفر حلاً مستداماً ومستقرًا يحقق استقلالية تشغيلية عن شبكة الكهرباء العامة، ويُقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري والمولدات الكهربائية التقليدية. كما يُسهم هذا النظام في تحقيق استقرار كهربائي لمرافق الضخ، بما يعزز من كفاءة الخدمة ويُقلل من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل. وتُظهر التقديرات أن الاستثمار الأولي في هذه المنظومة قابل للاسترداد خلال فترة زمنية معقولة، بالنظر إلى انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة، وطول العمر الافتراضي للمعدات المستخدمة. ويمكن تناول ذلك من خلال المحاور التالية: [12]

أولاً: الاستقلالية عن شبكة الكهرباء العامة

- تُمكن المنظومة من تشغيل نظام الضخ بشكل مستقل عن الشبكة العامة، مما يُعد ميزة هامة في المناطق المعزولة والنائية التي قد تفتقر إلى بنية تحتية كهربائية مستقرة.

- الاستقلال يُعزز من استمرارية تشغيل النظام حتى في حالات انقطاع التيار الكهربائي أو ضعف الشبكة الوطنية. [4] [2]

ثانياً: تقليل الاعتماد على الوقود التقليدي

- في الأنظمة التقليدية، تُستخدم مولدات الديزل أو البنزين لتشغيل مضخات المياه، مما يؤدي إلى استهلاك مستمر للوقود.
- باستخدام الطاقة الشمسية، يتم إلغاء هذا الاعتماد، مما يؤدي إلى تقليل التكاليف التشغيلية، ويحد من انبعاثات الغازات الدفيئة، ويدعم جهود التحول إلى الطاقة النظيفة. [5] [3]

ثالثاً: التكلفة الأولية مقابل التكاليف التشغيلية

- التكلفة الأولية: تشمل شراء الألواح الشمسية، المضخات الكهربائية المتوافقة، وحدة التحكم، المحول وتكاليف التركيب.
- نظام مضخة متوسطة (2.5 - 3 حصان)

مواصفات النظام:

- قدرة الألواح الشمسية 6 - 4 كيلو واط
- عمق الضخ: حتى 50 متر
- التدفق: 4000 - 5000 - لتر/ساعة

المكون	المواصفات	السعر بالدولار	السعر بالدينار الليبي
الألواح الشمسية	12 لوح $\times$ 500 واط	\$3,000	14,550 د.ل.
مضخة المياه	3.0-2.5 حصان ثلاثي الأطوار	\$800	3,880 د.ل.
وحدة التحكم	MPPT 60A مع حماية	\$250	1,213 د.ل.
المحول	4000 واط - ثلاثي الأطوار	\$400	1,940 د.ل.
صندوق التحكم	مع حماية من الجهد المنخفض	\$300	1,455 د.ل.
الكابلات والتوصيلات	كابلات عالية الجودة	\$250	1,213 د.ل.
هيكل التثبيت	قوي للرياح العالية	\$500	2,425 د.ل.
أنابيب التوصيل	50 متر أنابيب 2 بوصة	\$300	1,455 د.ل.
المجموع الكلي		\$5800	28,131 د.ل.

- التكاليف التشغيلية: منخفضة جداً مقارنة بالأنظمة التقليدية، إذ لا يوجد استهلاك وقود، ولا حاجة لصيانة يومية معقدة أو متكررة. غالباً ما تقتصر الصيانة على تنظيف الألواح وفحص دوري للمعدات.
- على مدى 5 إلى 10 سنوات، يُظهر التحليل المالي أن التوفير الناتج عن خفض تكاليف التشغيل والصيانة يُعوض التكلفة الأولية، ويحقق عائداً اقتصادياً جيداً (Return on Investment – ROI). [11] [5]

مقارنة الأسعار بالبدائل

تكلفة تشغيل مضخة 3 حصان لمدة سنة على أنواع مختلفة من الأنظمة

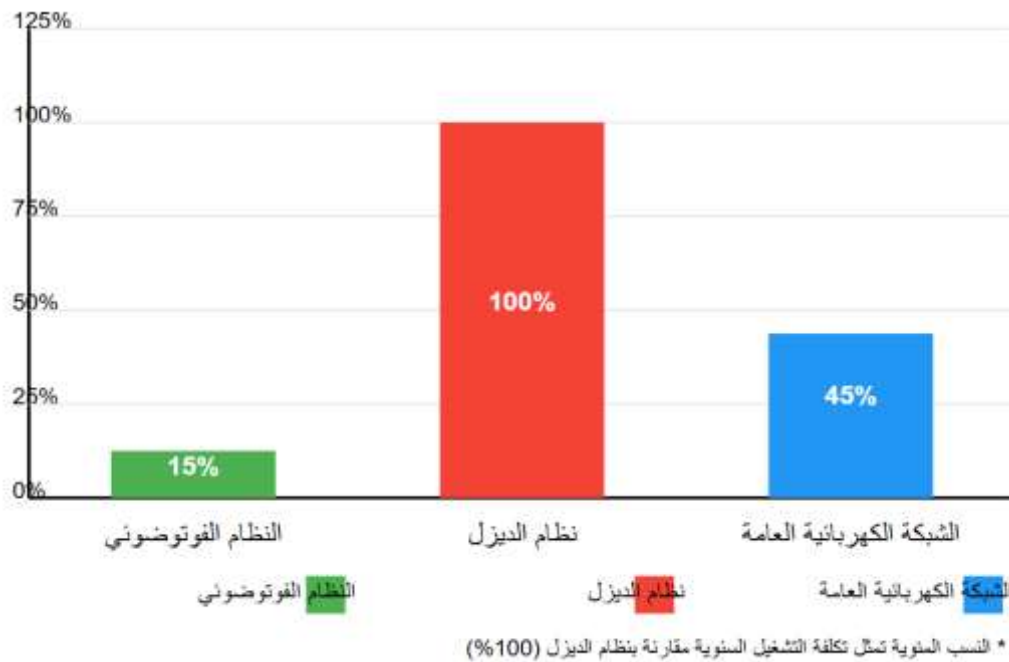
نوع النظام	التكلفة السنوية بالدولار	التكلفة السنوية بالدينار
الطاقة الشمسية	(\$200 صيانة فقط)	970 د.ل.
مولد الديزل	\$2,400	11,640 د.ل.
الكهرباء العامة	\$1,800	8,730 د.ل.

رابعاً: العمر التشغيلي والاستدامة

- المنظومات الفوتوضوئية تمتد أعمارها التشغيلية إلى أكثر من 20 عاماً، مع ضمانات تمتد غالباً إلى 10-15 سنة من الشركات المصنعة.
- هذا يضمن استقرار النظام التشغيلي لفترة طويلة دون الحاجة لتبديل المكونات الرئيسية، مما يُحقق وفورات مالية على المدى الطويل. [7]

خامساً: الأثر الاقتصادي المحلي

- يمكن أن تساهم هذه المشاريع في خلق فرص عمل مؤقتة في مرحلة التركيب، وأخرى دائمة في مجال الصيانة.
- كما أن توفير مصدر مياه موثوق ومنخفض التكلفة يدعم النشاط الزراعي والرعي في المنطقة، ما يعزز الأمن الغذائي والدخل المحلي. [14]



الشكل 7. مقارنة التكاليف التشغيلية السنوية لأنظمة ضخ المياه في ليبيا (بالنسبة المئوية مقارنة بنظام الديزل)

4. المبحث الثالث: الجدوى الاقتصادية والفنية للنظام عبر تقييم الأداء

1.4 منهجية التصميم والمحاكاة للمنظومة الفوتوضوئية

عند تصميم منظومة ضخ المياه باستخدام الطاقة الفوتوضوئية في منطقة التميمي، نحتاج إلى بعض المعلومات الأساسية حول موقع تركيب المنظومة وذلك لإدخالها على برامج المحاكاة المتخصصة في تصميم أنظمة الطاقة الشمسية. يتم استخدام هذه البرامج للحصول على التقديرات الدقيقة للقدرة المطلوبة والأداء المتوقع للمنظومة تحت الظروف المناخية المختلفة. [9] [1]

2.4 استخدام برنامج PVsyst للتصميم والمحاكاة

برنامج PVsyst هو أحد أهم البرامج المستخدمة في مجال تصميم منظومات الطاقة الشمسية، حيث يقوم بالتصميم والمحاكاة والتقييم الاقتصادي وحسابات تأثير الظل. يتميز البرنامج بسهولة الاستخدام وقدرته على عرض النتائج في شكل تقرير كامل يمكن تصديره لاستخدامه في البرامج الأخرى. [10]

تم إدخال الإحداثيات الجغرافية لمنطقة التميمي (خط الطول والعرض) في البرنامج، حيث يقوم البرنامج باستدعاء بيانات الإشعاع الشمسي من قاعدة بيانات وكالة ناسا العالمية. تقع منطقة التميمي على خط عرض 32.72 شمالاً وخط طول 22.43 شرقاً، وترتفع عن مستوى سطح البحر بحوالي 350 متراً.

بعد إدخال البيانات الأساسية، قام البرنامج بحساب الزاوية المثلى لتركيب الألواح الشمسية والتي تم تحديدها بـ 30 درجة باتجاه الجنوب لتحقيق أقصى استفادة من الإشعاع الشمسي على مدار العام. كما تم تحديد الهامش الأمني بنسبة 15% لتعويض الفقد في الطاقة نتيجة ارتفاع درجات الحرارة والغبار وعوامل التظليل المحتملة.

3.4 حساب القدرة المطلوبة للمنظومة

بعد دراسة احتياجات ضخ المياه في المنطقة، تم تحديد أن المضخة المطلوبة تحتاج إلى قدرة كهربائية قدرها 3.75 كيلوواط. وبدراسة عدد ساعات عمل المضخة طبقاً لمعدل استهلاك المياه في المنطقة

وبدرجة حرارة المنطقة والعوامل الأخرى، تقدر عدد ساعات العمل بـ 6 ساعات يومياً بمعدل هامش أمان 15%، مما يعني أن القدرة اليومية التي يجب توفيرها تقدر بـ 22.5 كيلوواط في اليوم.

4.4 استخدام برنامج PVsyst لتحسين كفاءة المنظومة

كما تم الاستعانة ببرنامج PVsyst ، وهو برنامج متخصص يقدم العديد من المزايا المهمة للمهندسين في مجال الطاقة الشمسية، حيث يعطي الكثير من المعلومات عن طريق مخططات ورسومات بيانية. تم استخدام البرنامج لتحديد أفضل المكونات من حيث الكفاءة واستهلاك الطاقة.

الجدول التالي يوضح الفرق بين بعض أنواع المحولات (Inverters) المستخدمة في المنظومات الفوتوضوئية:

نوع المحول	كفاءة التحويل	القدرة اللازمة للتشغيل
Huawei SUN2000	96.5%	كيلوواط 3.89
SMA Sunny Boy	96%	كيلوواط 3.91
Fronius Primo	95.5%	كيلوواط 3.93
ABB UNO-DM	94.8%	كيلوواط 3.96

الصف المميز يشير إلى المحول الأمثل من حيث الكفاءة والقدرة

الشكل 8. مقارنة أنواع المحولات الكهربائية للأنظمة الفوتو ضوئية

من الجدول السابق يتضح أن محول Huawei SUN2000 هو الأنسب من حيث كفاءة التحويل واستهلاكه للطاقة.

5.4 تصميم المنظومة الفوتوضوئية

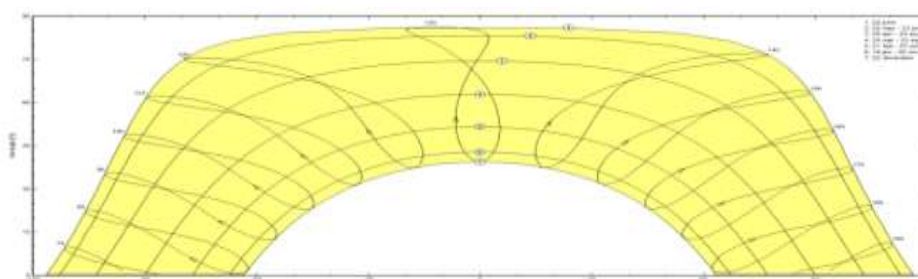
بعد الحصول على القدرة الكهربائية اللازمة لتشغيل منظومة ضخ المياه، تم تصميم منظومة فوتوضوئية لتوليد القدرة المطلوبة على مدار العام، مع الأخذ في الاعتبار حساب الإشعاع الشمسي الساقط وعدد الألواح المطلوبة وعدد البطاريات وخصائص المنطقة كدرجة الحرارة والغبار وغيرها.

نتائج المحاكاة باستخدام برنامج PVsyst أظهرت أن المنظومة تتكون من:

1. الألواح الشمسية 18: لوح شمسي بقدرة 450 واط لكل لوح، مما يعطي قدرة إجمالية تبلغ 8.1 كيلوواط ذروة.
2. المحول (Inverter): محول بقدرة 5 كيلوواط من نوع Huawei SUN2000.
3. البطاريات: مجموعة بطاريات ليثيوم-أيون بسعة إجمالية 20 كيلوواط ساعة، تكفي لتشغيل المنظومة لمدة يوم كامل في حالة الطقس الغائم.
4. وحدة التحكم: تحتوي على أنظمة حماية وتحكم متطورة تضمن استمرارية عمل المنظومة والحماية من التيارات الزائدة.

6.4 نتائج المحاكاة ومعدلات الإنتاج

يقدم برنامج PVsyst نتائج المحاكاة في شكل تقرير كامل وكذلك يعرض التفاصيل عن طريق الرسوم البيانية والجدول. تشير نتائج المحاكاة إلى أن المنظومة المصممة قادرة على توليد 13,250 كيلوواط ساعة سنوياً، بمعدل 36.3 كيلوواط ساعة يومياً، وهو ما يكفي لتشغيل منظومة ضخ المياه بكفاءة عالية طوال العام.



الشكل 9. زوايا سقوط أشعة الشمس في بداية وقت الشروق على جنوب غرب درنة

كما أظهرت المحاكاة أن نسبة الأداء (PR) Performance Ratio للمنظومة تبلغ 78%، وهي نسبة جيدة تضمن كفاءة عالية للمنظومة في ظل الظروف المناخية لمنطقة التميمي.

7.4 تفاصيل التصميم النهائي للمنظومة

تستند عملية التصميم النهائي للمنظومة على نتائج المحاكاة وتحليل الاحتياجات الفعلية في منطقة التميمي. يمكن تلخيص مواصفات المنظومة النهائية كما يلي:

1. مكونات المنظومة الفوتوضوئية :

- 18 لوح شمسي أحادي البلورة (Monocrystalline) بقدرة 450 واط
- محول كهربائي (Inverter) بقدرة 5 كيلوواط
- وحدة تحكم بالشحن (MPPT (Maximum Power Point Tracking
- بطاريات ليثيوم بسعة 20 كيلوواط ساعة
- هيكل تثبيت الألواح الشمسية مصنوع من الألمنيوم المقاوم للصدأ
- نظام مراقبة وتحكم عن بعد

2. مضخة المياه :

- مضخة غاطسة بقدرة 3.75 كيلوواط
- معدل تدفق 15 متر مكعب/ساعة
- عمق الرفع 40 متراً

أكدت نتائج التصميم والمحاكاة باستخدام برامج PVsyst و SOLKAN أن المنظومة الفوتوضوئية المصممة ستكون قادرة على تلبية احتياجات ضخ المياه في منطقة التميمي بشكل مستدام وفعال اقتصادياً. وتظهر بيانات المحاكاة أن المنظومة ستعمل بكفاءة عالية تحت مختلف الظروف المناخية التي تشهدها المنطقة على مدار العام، حيث ستوفر طاقة كهربائية نظيفة ومستقرة بمعدل 36.3 كيلوواط ساعة يومياً، وبإجمالي سنوي يبلغ 13,250 كيلوواط ساعة.

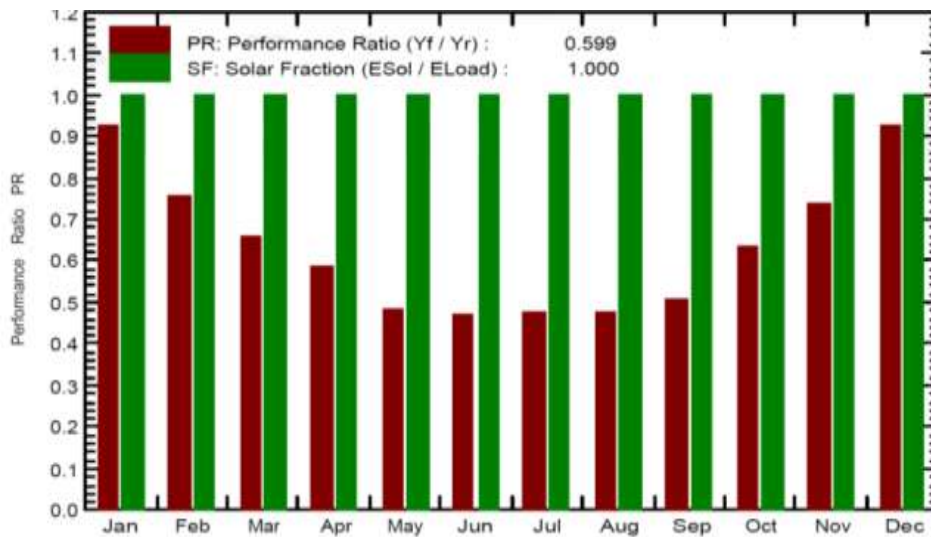
كما أن استخدام تقنية التتبع النقطة للقصى (MPPT) مع المحول من نوع Huawei SUN2000 ذي الكفاءة العالية (96.5%) سيضمن الاستفادة المثلى من الطاقة الشمسية المتاحة، مما سيُسهم في تحسين معيشة السكان من خلال توفير مصدر مياه موثوق به ومستدام. وبالإضافة إلى الفوائد الاقتصادية المباشرة المتمثلة في تقليل تكاليف التشغيل والصيانة، ستسهم المنظومة في تقليل البصمة الكربونية للمنطقة وتعزيز الاستقلال الطاقوي وتشجيع الأنشطة الزراعية والتنمية المستدامة في منطقة التميمي جنوب غرب مدينة درنة.

نتائج الدراسة

استناداً إلى البيانات والتحليلات التي توصلنا لها بالدراسة، يتضح إمكانية الاعتماد بشكل فعال على الطاقة الشمسية في جنوب غرب مدينة درنة الليبية، والمناطق ذات الظروف المناخية المقاربة بشكل عام، خاصة في المواقع النائية التي لا تصلها خدمات الشبكة الكهربائية العامة. تظهر القياسات معدلات مرتفعة للإشعاع الشمسي على مدار العام في هذه المناطق، مما يوفر ظروفاً مثالية لتشغيل أنظمة الطاقة الشمسية بكفاءة عالية وقدرات إنتاجية جيدة.

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail MWh	EUnused MWh	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	SolFrac
January	71.6	106.9	1.417	0.000	106.4	106.9	1.000
February	80.2	96.8	1.530	0.000	96.6	96.8	1.000
March	114.9	130.0	1.989	0.218	132.5	130.0	1.000
April	138.8	136.9	2.190	0.608	140.4	136.9	1.000
May	165.3	141.6	2.471	0.847	145.4	141.6	1.000
June	138.8	121.1	2.417	0.832	124.8	121.1	1.000
July	146.2	129.5	2.615	0.982	133.1	129.5	1.000
August	151.8	145.3	2.383	0.756	148.9	145.3	1.000
September	114.6	122.6	2.046	0.487	125.4	122.6	1.000
October	101.3	124.6	1.764	0.190	126.6	124.6	1.000
November	74.2	107.8	1.460	0.000	109.5	107.8	1.000
December	67.4	103.4	1.371	0.000	104.8	103.4	1.000
Year	1356.1	1468.5	23.652	4.920	1496.5	1468.5	1.000

الشكل 10. يوضح قيم الإشعاع الشمسي والطاقة المتاحة بالمنظومة على مدار العام



الشكل 11. يوضح أداء المنظومة الفوتو ضوئية على مدار العام

بينت مؤشرات الأداء للمنظومة الفوتو ضوئية التجريبية نتائج إيجابية تعزز إمكانية الاعتماد على الطاقات المتجددة كمصدر أساسي للكهرباء في المنطقة. ومع ذلك، تواجه مشاريع الطاقة الشمسية تحديات رئيسية، أبرزها ارتفاع التكلفة الأولية للتركيب مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية. يمكن تقليل هذه التكلفة من خلال ترشيد استخدام البطاريات والتحكم في الأجهزة المستهلكة للطاقة، كتجنب استخدام وتشغيل المنظومة خلال فترات انخفاض الإشعاع الشمسي التي لا يتحقق المردود المطلوب فيها.

تتميز تقنيات الطاقة الشمسية بسهولة التركيب وعدم الحاجة إلى مهارات فنية متخصصة أو معدات معقدة، مما يجعلها خيارًا عمليًا للمجتمعات المحلية. كما تمثل فرصة استثمارية جاذبة في حال تطوير آليات لبيع الإنتاج الفائض إلى شبكات توزيع الكهرباء الوطنية. تبقى مشكلة تراكم الغبار والأتربة على الألواح الشمسية من أهم المعوقات التي تؤثر سلبًا على كفاءة الأنظمة في دولة ليبيا بشكل عام، بالإضافة إلى أن تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية لا تزال مرتفعة نسبيًا مقارنة بأسعار الكهرباء المدعومة من الشبكة العامة، إلا أن التطورات التكنولوجية المستمرة والمنافسة المتزايدة في الأسواق العالمية تبشر بانخفاض هذه التكاليف مع مرور الوقت.

التوصيات

نوصي في نهاية ورقتنا البحثية بتقديم الدعم المالي والمعنوي لتعزيز البحث العلمي في مجال الطاقة الشمسية، مع إنشاء قاعدة بيانات شاملة لرصد مؤشرات الإشعاع الشمسي، درجات الحرارة، سرعة الرياح، ومستويات الغبار، وغيرها من المعلومات الضرورية لتطوير تطبيقات الطاقة المتجددة في ليبيا، حيث يواجه الباحثون صعوبات كبيرة بسبب نقص البيانات الموثوقة. كما نقترح تنفيذ مشاريع ريادية واسعة النطاق لإدخال الطاقة الشمسية كمصدر بديل للطاقة في دولة ليبيا، وتخصيص مساحات أرضية مناسبة لتحقيق أقصى إنتاج ممكن من الطاقة الشمسية، مع تهيئة المناخ الاستثماري المشجع في قطاع الطاقات المتجددة من خلال سياسات تحفيزية وإجراءات مبسطة تجذب المستثمرين المحليين والدوليين.

المصادر والمراجع:

- [1] د. سلمان حبيب. (2023). النمذجة التقنية لنظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية الفوتوضوئية وتحليل الأداء. مجلة Heliyon، مارس.
- [2] د. محمود سبيته. (2021). أداء نظام ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية في ليبيا. مجلة الطاقة الشمسية والتنمية المستدامة، ليبيا.
- [3] د. سالم سالم. (2021). تطبيقات الطاقة الشمسية الفوتوضوئية في ليبيا: التحديات والإمكانات. ScienceDirect. استرجع في 2025/3/25 من الموقع.
- [4] المحرر مجهول. (2024). توفير اليونيسف لمياه نظيفة باستخدام نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية في درنة، ليبيا. وكالة Xinhua News، سبتمبر. استرجع في 2025/4/11 من الموقع.
- [5] د. فصيل عبد السلام الفقي. (2022). تحليل الجدوى الاقتصادية للطاقة الشمسية في ليبيا. مركز STCRS، ليبيا.
- [6] د. معمر محمود شيباني. (2017). النمذجة والتحكم والتحليل الديناميكي لنظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية في ليبيا. مجلة Hindawi للبحوث المتجددة.

- [7] د. علي عمر مكا. (2021). تقييم الأداء في الموقع لنظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية الفوتوضوئية. مكتبة Biblioteka Nauki.
- [8] د. فيمال تشاند سونتافي. (2016). نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية الفوتوضوئية. ScienceDirect. استرجع في 23/3/2025 من الموقع.
- [9] د. محمود طارق إقبال. (2024). النمذجة والتحكم والتحليل الديناميكي لنظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية في ليبيا باستخدام تقنيات MPPT. Academia.edu. استرجع في 2025/3/18 من الموقع.
- [10] د. علي عمر مكا. (2022). تصميم ومحاكاة وتحليل أداء نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية الفوتوضوئية باستخدام PVsyst. De Gruyter Brill.
- [11] د. نسمة محمد أحمد. (2023). تقييم الأداء والموثوقية لنظام ضخ المياه الجوفية بالطاقة الشمسية الفوتوضوئية. مجلة Nature.
- [12] د. عبد الحميد راجي. (2021). استراتيجية إدارة الطاقة للتحكم الأمثل في نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية المستقلة للتطبيقات الزراعية. arXiv، أغسطس. استرجع في 2025/3/22 من الموقع.
- [13] د. سري راما شيتتوري. (2018). كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية الفوتوضوئية في المناطق الجبلية. arXiv، أكتوبر. استرجع في 2025/4/2 من الموقع.
- د. أنيتا أنيانجو. (2024). محطة تحلية المياه في درنة، ليبيا، تُعاد تشغيلها. Pumps Africa. استرجع في 2025/4/18 من الموقع.