

تقييم إمكانات الإشعاع الشمسي لأنظمة الخلايا الكهروضوئية: دراسة حالة لمركز الخمس الطبي في ليبيا

مبروكة محمد عبدالرحمن^{1*}، حنان صالح المصروب¹، عبدالناصر أبو زيد أبو حنيك^{2,1}
¹قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا
²مركز البحوث والاستشارات والتدريب، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا
^{1*}mb.m.abdulrahman@elmergib.edu.ly

Assessment of Solar Radiation Potential for Photovoltaic Systems: A Case Study of Al-Khums Medical Center in Libya

Mabruka Mohamed Amar Abdelrahman^{1*}, Hanan Saleh Mohammed Elmasroub²,
Abdelnasser A. Abouhnik^{1,2}

¹Department of Physics, Faculty of Education, Elmergib University, Al-Khums, Libya,

²Research, Consulting & Training Center (RCTC), Elmergib University, Al-Khums, Libya,

ملخص

أصبحت مصادر الطاقة البديلة أكثر ضرورة في الآونة الأخيرة لعدة عوامل منها تغير المناخ، التلوث واستنفاد الوقود التقليدي بوتيرة متسارعة. ونظراً للتذبذب والانقطاعات المتكررة في التيار الكهربائي في ليبيا تبرز الحاجة الملحة إلى مصادر طاقة بديلة مستدامة، حيث تعتبر الطاقة الشمسية واحدة من أكثر مصادر الطاقة المتجددة المتاحة في ليبيا.

وتهتم هذه الدراسة بتقييم إمكانات الإشعاع الشمسي في منطقة الخمس وبالتحديد مركز الخمس الطبي والذي يقع على ساحل البحر الأبيض المتوسط في ليبيا، كخطوة تمهيدية نحو نشر أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المستقبل. حيث تم تحليل البيانات المستمدة من الأقمار الصناعية من خلال نظام المعلومات الجغرافية للطاقة الشمسية الكهروضوئية (PVGIS) للفترة من 2013 إلى 2023، وهي فترة طويلة نسبياً ومفيدة لعملية التقييم، وتمت معالجة قيم الإشعاع الشمسي الشهرية على منطقة الدراسة وذلك عند زاوية الميل المثلى لتحديد المتوسطات الشهرية، ومستويات الإشعاع السنوية، والتقلبات الموسمية.

وبينت النتائج أن الإشعاع الشمسي مرتفع باستمرار على مدار العام، وأن هناك وفرة في موارد الطاقة الشمسية في موقع الدراسة مع تسجيل أعلى القيم خلال أشهر الصيف وأدنى المستويات في ديسمبر. وعلى الرغم من التقلبات الموسمية، يظل متوسط الإشعاع السنوي مرتفعاً بما يكفي لدعم توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

وتبين أيضاً أن كمية الإشعاع الشمسي الشهري تُظهر أنه بالإمكان توفير الطاقة النظيفة وتحويل الوحدات الطبية والمختبرات إلى وحدات ومختبرات صديقة للبيئة بتكلفة أقل مع إمكانية ربطها بالشبكة الوطنية. أي أن المركز الطبي في مدينة الخمس يمتلك

إمكانات كبيرة لتطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية. ولذلك يوفر هذا التقييم توصيفًا أساسيًا للموارد لدعم تصميم الأنظمة المستقبلية، وتحليل الأحمال، ودمج تخزين الطاقة، مما يُسهم في تحسين موثوقية الطاقة واستدامتها في قطاع الرعاية الصحية. **الكلمات المفتاحية:** الإشعاع الشمسي، الطاقة المتجددة، إمكانات الطاقة الشمسية، أنظمة الخلايا الكهروضوئية، تصميم النظام.

Abstract

Alternative energy sources have become recently more necessary and essential due to several factors, including climate change, pollution, and the rapidly depleting of traditional fuels. Moreover, due to the frequent power outages and fluctuations in Libya's electricity supply, the urgent need for sustainable alternative energy sources is paramount, with solar energy being one of the most readily available renewable energy sources in the country.

This study assesses the solar radiation potential in the Al-Khums region, specifically at the Al-Khums Medical Center, located on Libya's Mediterranean coast, as a preliminary step towards the future deployment of photovoltaic (PV) solar energy systems. Data obtained from satellites using the Solar PVGIS Geographic Information System were analyzed for the period from 2013 to 2023, a relatively long and useful timeframe for the assessment. Monthly solar radiation values for the study area were processed at the optimal tilt angle to determine monthly averages, annual radiation levels, and seasonal variations.

The results indicate consistently high solar radiation throughout the year and abundant solar energy resources at the study site, with the highest values recorded during the summer months and the lowest levels in December. Despite seasonal fluctuations, the average annual irradiance remains high enough to support photovoltaic solar power generation. The monthly solar irradiance also indicates that clean energy can be provided, transforming medical units and laboratories into environmentally friendly facilities at a lower cost, with the potential for connection to the national grid.

This means the medical center in Al-Khums has significant potential for photovoltaic solar energy applications. Therefore, this assessment provides a fundamental resource profile to support the design of future systems, load analysis, and the integration of energy storage, contributing to improved energy reliability and sustainability in the healthcare sector.

Keywords: photovoltaic (PV) systems, Renewable energy, Solar energy potential, Solar irradiance, System design.

1. المقدمة

تزرع العديد من دول العالم بمعدلات سطوع شمسي عالية بما فيها ليبيا، وبالرغم من ذلك تُشكّل انقطاعات التيار الكهربائي المتكررة تحديات كبيرة أمام عمل المراكز الطبية فيها، مما يُبرز الحاجة إلى مصادر طاقة بديلة ومستدامة. وتُعتبر الطاقة الشمسية طاقة نظيفة ومن أكثر خيارات الطاقة المتجددة الواعدة في ليبيا نظرًا لموقعها الجغرافي والتميز، حيث تتوفر مستويات إشعاع شمسي عالي. وقد أبرزت دراسات سابقة ملاءمة الطاقة الشمسية لتطبيقات متنوعة في شمال إفريقيا؛ إلا أن التقييمات الخاصة بمواقع محددة للمرافق الصحية لا تزال محدودة. وتُعدّ هذه التقييمات ضرورية لتوفير معلومات دقيقة قبل تطبيق أنظمة الخلايا الكهروضوئية، لا سيما في البيئات الحساسة كالمستشفيات.

يُعدّ تقييم الإشعاع الشمسي الخطوة الأولى والأهم في تقييم جدوى دمج الطاقة الكهروضوئية. فمن خلال تحديد كمية الطاقة الشمسية المتاحة في موقع معين، يستطيع صانعو القرار فهم الفوائد والقيود المحتملة لتطبيق الطاقة الشمسية بشكل أفضل. ولذلك، تركز هذه الدراسة على تقييم خصائص الإشعاع الشمسي في مركز الخمس الطبي كخطوة تمهيدية نحو تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المستقبلية التي تهدف إلى تعزيز موثوقية الطاقة في قطاع الرعاية الصحية. حيث تم الاعتماد على قواعد بيانات عالمية موثوقة لتقييم الإشعاع الشمسي في موقع الدراسة.

ونظراً لأهمية الطاقة الشمسية كطاقة بديلة نظيفة ومستدامة فإن العديد من الدراسات البحثية حول الطاقة الشمسية أسهمت وتسهم في إيجاد حلول تعمل على تحسين كفاءة الألواح الشمسية وتقليل تكلفتها. وهنا تُبرز الأبحاث الحديثة بشكل متزايد أهمية أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في تعزيز موثوقية الطاقة في البنية التحتية الحيوية، لا سيما في المناطق ذات الإمكانيات الشمسية العالية كمنطقة البحر الأبيض المتوسط وشمال أفريقيا. في هذه السياق، يُمكن لدمج أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية مع أنظمة تخزين الطاقة أن يُقلل بشكل كبير من الاعتماد على شبكة الكهرباء، ويُحسن استمرارية الإمداد للأحمال الحيوية خلال فترات ذروة الطلب وانقطاعات الشبكة، وهو أمر بالغ الأهمية لمرافق مثل المستشفيات.

يعتبر تقييم إمكانيات الطاقة الشمسية عنصراً أساسياً في تخطيط أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية. تُظهر التقييمات الكمية لموارد الطاقة الشمسية في منطقة البحر الأبيض المتوسط ومنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا تبايناً مكانياً كبيراً، ولكن بمستويات إشعاع شمسي عالية بشكل موحد، مما يُشجع على نشر استخدام الطاقة الشمسية. ويتراوح متوسط قيم الإشعاع الأفقي العالمي (Global Horizontal Irradiance (GHI) في المناطق المذكورة بين (4.57 و6.46) كيلوواط ساعة/م²/يوم، مع إنتاجية نوعية للخلايا الكهروضوئية تتجاوز (1700) كيلوواط ساعة/كيلو واط ذروة/سنة في المناطق الأكثر ملاءمة، مما يشير إلى إمكانيات كبيرة لتوليد الطاقة الكهروضوئية وجدوى اقتصادية في التطبيقات كثيفة الاستهلاك للطاقة (Anas & El Mghouchi, 2025).

وفي دراسة أخرى مبنية على أسس تقييمية تجريبية لإمكانيات الطاقة الشمسية في مناطق شمال ليبيا، تبين إن ليبيا تقع في قلب الحزام الشمسي لشمال إفريقيا، وتتمتع ببعض أعلى الإمكانيات الشمسية في حوض البحر الأبيض المتوسط. كما توفر البيانات المستقاة من قاعدة بيانات الطاقة المتجددة التابعة لوكالة ناسا (2000-2022) ومن محطة الأرصاد الجوي طرابلس وكذلك التقييمات التجريبية بيانات تفيد بأن متوسط الإشعاع الشمسي اليومي يتراوح بين (6.0 و7.5) كيلوواط ساعة/م²/يوم في المناطق الساحلية في ليبيا، مع أكثر من (3200) ساعة سطوع شمسي على مدار العام مما يبين أن مستويات الإشعاع الشمسي هذه من بين أعلى المستويات المسجلة عالمياً، ويعتبر ذلك دليل قوي على جدوى المنطقة لاستيعاب مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق (Kassem et al., 2020; Saad, 2025).

وتعزز الدراسات المحلية في ليبيا إن الموارد الوفيرة للطاقة الشمسية في ليبيا تجعل الاعتماد على الطاقة الكهروضوئية خياراً مقنعاً للطاقة. وتؤكد ارتفاع مستويات الإشعاع المناسبة لتشغيل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الأماكن السكنية الليبية، والذي يعتبر العامل الأساسي في إنتاج الطاقة الكهروضوئية، في حين تأثير العوامل المناخية والتمثلة في ارتفاع درجات الحرارة وكثافة الغبار تقلل بشكل كبير من كفاءة توليد الطاقة الكهروضوئية (A. R. M. Isdayrah and A. R. H. Mohamed, 2025). وتشير الدراسات الإقليمية إلى ضرورة مراعاة التغيرات في أنماط الطقس، وخاصة درجات الحرارة والغبار، في نمذجة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية والتخطيط التشغيلي لضمان استمرارية توليد الطاقة في ظروف التشغيل الفعلية.

وتجدر الإشارة إلى أن تقييم موارد الطاقة الشمسية من خلال استخدام البيانات الجغرافية المكانية وبيانات الأقمار الصناعية ضرورية لتحديد إمكانات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوجيه اختيار المواقع.

تُمكن الأساليب المتقدمة التي تستخدم بيانات ناسا باور (NASA POWER) ومجموعات بيانات الإشعاع الشمسي على مدى طويل من توصيف أنماط الإشعاع الشمسي المكانية والزمانية بدقة، ويُعد هذا أمر غاية في الأهمية لدراسات الجدوى والتقييمات التقنية والاقتصادية لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في مناخ شمال إفريقيا والبحر الأبيض المتوسط (Anas & El, 2020; Mghouchi, 2025; Kassem et al., 2020). حيث تشكل هذه التقييمات الأساس التجريبي لتصميم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والتنبؤ بأدائها، واستراتيجيات دمجها في القطاعات الحساسة للطاقة، مثل قطاع الرعاية الصحية. وبمأن موثوقية الطاقة واستدامتها يعتبر امر بالغ الأهمية فإن التقييم الدقيق لموارد الطاقة الشمسية يُعد من ضروريات تصميم النظام، لا سيما للتطبيقات الحيوية مثل مرافق الرعاية الصحية

وفي دراسة تقييمية لموارد الطاقة الشمسية في ليبيا وإمكانية استغلالها في مختلف القطاعات من خلال التركيز على خصائص الإشعاع الشمسي وبالاعتماد على بيانات مناخية واشعاعية طويلة الأمد، تبين أن متوسط الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي اليومي يتجاوز (6) كيلوواط ساعة/م²، مما يدعم توليد الطاقة الكهروضوئية بشكل موثوق (Hewedy et al., 2022). في سياق اخر قدم باحثون مراجعة لتطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في بعض المناطق في ليبيا، معتمدين على بيانات المتوفرة عن الإشعاع الشمسي الاستثنائي الذي تتمتع به البلاد وطول فترة سطوع الشمس. حيث تمت مناقشة التحديات التي تواجه انتشار أنظمة الخلايا الكهروضوئية بما في ذلك العوامل البيئية كالحرارة والغبار بالإضافة الي المعوقات المؤسسية والاقتصادية. خلص الباحثون إلي أن ليبيا لديها فرص واعدة في مجال استغلال الطاقة الشمسية التي تمثل خيار مستدام لتعزيز أمن الطاقة وبديل للاعتماد على الوقود الاحفوري (Maka et al., 2021)..

كما قام باحثون لدراسة تأثير زوايا الميل المثلى لألواح الخلايا الكهروضوئية معتمدين على بيانات الإشعاع الشمسي المقاسة على مدى طويل في اثنتي عشرة مدينة ليبية رئيسية. حيث تم استخدام نموذج ليو وجوردان مع تقنيات الانحدار غير الخطي لاستخلاص زوايا الميل المثلى الشهرية، الفصلية والسنوية بغرض زيادة الإشعاع الشمسي الساقط إلى أقصى حد. حيث يؤدي اختيار زاوية الميل المثلى إلي زيادة في كمية الإشعاع الشمسي تصل إلي حوالي (17.24%) اذا ما تم مقارنتها بالأسطح الأفقية، وبذلك تركز الدراسة على الإمكانيات الشمسية القوية لليبيا، و توفر مرجعاً عملياً مهماً لتحسين تصميم وأداء أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (Teyabeen, 2024).

أيضا قام باحثون بدراسة الجدوى الفنية والاقتصادية، وكذلك البيئية لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية للمنازل السكنية، حيث يشكل استهلاك المنازل (60%) من إجمالي الاستهلاك. وتم استخدام برنامج HOMER Pro لنمذجة الطاقة المتجددة لتقييم تقني لنظام الطاقة الشمسية المتصلة لعدد من المنازل المتصلة بالشبكة الوطنية للكهرباء، وطبق في ست مدن ليبية. حيث فُدرت قدرة نظام الطاقة الشمسية للمنزل السكني بقدرة (15) كيلوواط، وأشارت النتائج إلى أن التصميم المقترح لنظام الطاقة الشمسية يلبي ما يعادل (85%) من الاحتياجات الكهربائية للمنزل الواحد. وكانت منطقة الكفرة، الموقع الأمثل ضمن الدراسة من الناحية الاقتصادية والبيئية وحققت تكلفة الطاقة (0.0314) دولار أمريكي. وبالتالي، يرى الباحثون أن أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة تعتبر خياراً فعالاً لإدارة الطاقة في معظم المدن (Elmnifi, 2024).

وتبرز هنا أهمية التقييم الدقيق طويل الأجل للإشعاع الشمسي والتي تُعد أساس قوي للتخطيط الفعال لنشر أنظمة الطاقة الشمسية بهدف دعم امدادات الطاقة في العديد من المناطق لدعم امداد الطاقة الموثوقة للمرافق الحيوية وخاصة في المناطق التي تشهد سطوع شمسي عالي على مدار العام.

وعليه فإن هذه الدراسة تتبنى هذا الأساس وذلك من خلال دراسة عميقة متأنية وعملية لإمكانات الإشعاع الشمسي في الموقع موضوع الدراسة لإثراء تخطيط منظومة الطاقة الشمسية وتقييم موثوقيتها. وقد تم الحصول على بعض البيانات الكهربائية لبعض الأجهزة الطبية من المركز الطبي الخمس موضحة في الجدول رقم (1) كنموذج لحساب الاحمال لكل جهاز ومن تم مجموع الاحمال الكلي وسيتم مستقبلاً العمل على دراسة الاحمال الكهربائية للوحدات داخل المركز الطبي وتحديد نظام متكامل للطاقة الشمسية متصل بالشبكة الوطنية للكهرباء.

الجدول 1. البيانات الكهربائية لبعض الاجهزة في مركز الخمس الطبي

رقم	اسم الجهاز	التيار بالأمبير	الجهد بالفولت	القدرة/واط	التردد/ هيرتز	نوع التغذية
1	جهاز تحليل السيولة Coagulometer	1	12 فولت	12	-	تيار مستمر
2	جهاز الطرد المركزي Hettich Rotofix 32A	1.4	240-208	300	60-50	أحادي الطور
3	جهاز تحليل الكيمياء الحيوية COBAS INTEGRA 400 PLUS	-	200-240	1000	60-50	أحادي الطور
4	جهاز تحليل مكونات الدم CBC Automated Hematology Analyzer XP-300	0.8	230	160	60-50	أحادي الطور

2. منطقة الدراسة

تتميز ليبيا بشكل عام بمتوسط اشعاع شمسي عالي ونسبة سطوع عالية على مدار السنة، ويقع المركز الطبي في مدينة الخمس بالقرب من ساحل البحر الأبيض المتوسط. حيث تتميز منطقة الدراسة بوفرة في الإشعاع الشمسي على مدار العام وبمناخ متوسطي شبه جاف، وبالتالي يعد موقع المركز مثاليًا للاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية والاعتماد عليها كلياً أو بشكل جزئي في ظل التذبذب والانقطاعات في امدادات الطاقة الكهربائية من شبكة الكهرباء المحلية. وعليه تم تحديد الإحداثيات الدقيقة للموقع باستخدام أدوات رسم الخرائط الجغرافية كمدخلات لاستخراج بيانات الإشعاع الشمسي. وهذا يجعل الموقع المختار نموذجياً جيداً للاحد مرافق الرعاية الصحية في ليبيا.

3. البيانات والمنهجية

1.3. مصدر بيانات الإشعاع الشمسي

تم الحصول على البيانات والمعلومات حول الإشعاع الشمسي المستخدمة في التقييم تم الحصول عليها من مركز المعلومات الجغرافية للخلايا الكهروضوئية، حيث تم الاستناد إلى قاعدة بيانات الأقمار الصناعية (European PVGIS-SARAH3 Commission, 2023) حيث توفر هذه القاعدة بيانات عالية في الدقة لتقييم الموارد الكهروضوئية. أما الموقع الجغرافي لمركز الخمس الطبي فقد تم تحديده عند خط عرض (32.638°) شمالاً وخط طول (14.274°) شرقاً كما تم اختيار زاوية الميل المثالية والتي تبلغ (30°) كما نص به (PVGIS) وذلك لزيادة الإشعاع الشمسي السنوي الساقط على سطح مائل. وبذلك تم استخراج بيانات الإشعاع الشمسي الشهري في الفترة ما بين (2013 وحتى 2023)، وهذه المدة تضمن تقييم على مدى طويل للتغيرات المناخية بشكل موسمي أو سنوي.

2.3. معالجة البيانات وتحليلها

تمت معالجة البيانات المستخرجة لتحديد متوسط قيم الإشعاع الشمسي الشهري. وتم حساب متوسط الإشعاع لكل شهر لكل السنوات خلال الفترة المحددة، حيث تم تحديد المؤشرات الرئيسية التالية:
تم تحديد الشهر الذي يحدث فيه أعلى إشعاع شمسي مع أعلى سطوع وهو الشهر الأنسب لإنتاج الطاقة الشمسية وكذلك تم تحديد الشهر الذي فيه أدنى إشعاع شمسي وهنا يجب أخذه في الاعتبار لتخطيط النظم المستقبلية للطاقة الشمسية. كما تم حساب متوسط الإشعاع الشمسي السنوي، وذلك حتى تتمكن من تقديم تقييم شامل للإمكانات الشمسية في موقع الدراسة.

4. النتائج

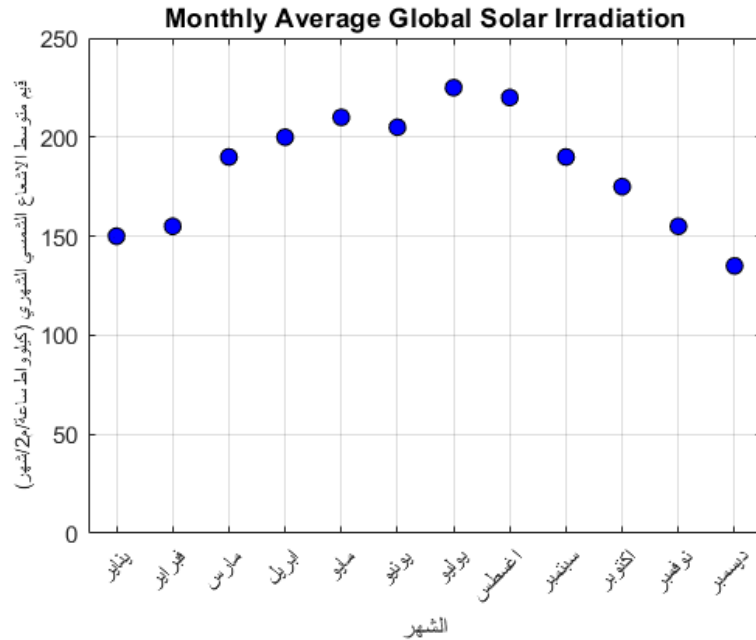
يتبين من خلال تحليل بيانات نظام المعلومات الجغرافي أن موقع الدراسة البحثية (مركز الخمس الطبي) يتميز بمستوى إشعاع كهروضوئي عالي ومستقر في الطاقة الشمسية وبالتالي عند زاوية الميل المثالية يبلغ متوسط الإشعاع السنوي حوالي (2265) كيلوواط ساعة/م²/سنة وهذا يعني انه مثالي لتوليد الطاقة.
كما تبين أن متوسط الإشعاع الشمسي على المدى الطويل يتراوح بين (118) كيلوواط ساعة/م²/شهر خلال شهر ديسمبر والذي يمثل المستوى الأدنى خلال الموسم) إلى (230) ساعة/م²/شهر (في يوليو والذي يمثل الذروة أو المستوى الأعلى في فترة الصيف)، وبالتالي فإن هذا التوزيع يظهر نمطاً موسمياً واضحاً، بحيث تكون مستويات الإشعاع الشمسي خلال أشهر الصيف مرتفعة ومستويات الإشعاع الشمسي في فصل الشتاء منخفضة. ورغم ذلك فإن مورد الطاقة الشمسية يظل قوياً بما يكفي على مدار العام للتوليد المستمر للطاقة الكهربائية. ويبين الجدول (2) المعدلات الشهرية لمستويات الإشعاع الشمسي.

الجدول 2. قيم متوسط الإشعاع الشمسي الشهري عند زاوية الميل المثلى (30°)

الشهر	متوسط الإشعاع الشمسي كيلوواط ساعة/م ² /شهر
يناير	≈ 155
فبراير	≈ 168
مارس	≈ 202
إبريل	≈ 208
مايو	≈ 190
يونيو	≈ 215
يوليو	≈ 230

أغسطس	≈ 223
سبتمبر	≈ 204
أكتوبر	≈ 198
نوفمبر	≈ 148
ديسمبر	≈ 118

يوضح الشكل (1) التباين الشهري في متوسط الإشعاع الشمسي، حيث نلاحظ أن أعلى القيم كانت في الفترة من يونيو إلى أغسطس، وذلك لزيادة ساعات السطوع وارتفاع زاوية الشمس، في حين تنخفض القيم خلال أشهر الشتاء، بحيث حُدد شهر ديسمبر كشهر حرج. وبالرغم من الانخفاض الموسمي فإن متوسط الإشعاع مرتفعاً بما يكفي لدعم تطبيقات الطاقة الشمسية والاستفادة منها كطاقة نظيفة.



الإشعاع

شكل 1. متوسط

الشمسي الشهري عند زاوية الميل المثلى (30°)

5. المناقشة

خلصت النتائج التي تم التوصل إليها إلى أن منطقة الدراسة (مركز الخمس الطبي) تتمتع بإمكانات هائلة في مجال الطاقة الشمسية، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات الخلايا الكهروضوئية. حيث تشير مستويات الإشعاع الشمسي المرتفعة خلال معظم أشهر السنة إلى أن الطاقة الشمسية يمكن أن تلعب دوراً مهماً في دعم إمدادات الكهرباء في المرافق الطبية. كما يعد تحديد الشهر الحرج أمر مهم وذلك لتخطيط أنظمة الخلايا الكهروضوئية مستقبلاً، حيث يتم التركيز على الفترة التي تشهد أدنى مستويات توافر الطاقة الشمسية. وعلى الرغم من أن هذه الدراسة لا تتضمن تصميم النظام أو تحليل التخزين، إلا أن النتائج المعروضة تُوفّر أساساً متيناً لإجراء دراسات أكثر تفصيلاً، مثل تحديد حجم أنظمة الخلايا الكهروضوئية ودراسات موثوقيتها لتطبيقات الرعاية الصحية.

6. الخلاصة:

هذه الدراسة تقدم تقييمًا لإمكانات الإشعاع الشمسي في مركز الخمس الطبي باستخدام بيانات مستمدة من الأقمار الصناعية PVGIS خلال الفترة 2013-2023. حيث أظهرت النتائج المستنتجة إمكانية الحصول على مستويات عالية من الإشعاع الشمسي العالمي تمتد على مدار العام، مع تباين موسمي ملحوظ يتميز بقيم قصوى خلال أشهر الصيف ومستويات دنيا في ديسمبر. وعلى الرغم من هذا الانخفاض الموسمي، يظل متوسط الإشعاع السنوي مرتفعًا بما يكفي لدعم توليد الكهرباء الكهروضوئية بشكل موثوق.

وعليه تؤكد النتائج أن موقع الدراسة يتمتع بوفرة في موارد الطاقة الشمسية، بما يتوافق مع التقييمات الإقليمية في ليبيا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط والشرق الأوسط وشمال أفريقيا، مما يعزز الملاءمة التقنية لنشر أنظمة الطاقة الكهروضوئية في مرافق الرعاية الصحية. كما يُمكن تحديد الفترات التي ينخفض فيها الإشعاع الشمسي والشهر الحرج مؤشراً أساسياً لتحديد حجم النظام في المستقبل واعتبارات الموثوقية، لا سيما للتطبيقات الطبية التي يُعد فيها توفير الطاقة بشكل مستمر أمراً حيوياً.

أن هذه الدراسة تُرسي أساساً أولياً متيناً لدمج تقنيات الطاقة الكهروضوئية في مركز الخمس الطبي. وبناءً على النتائج المتحصل عليها وللحاجة الماسة لتوفير مصدر موثوق ومستمر للطاقة، نسعى كباحثون إلى أن تُوسّع الأبحاث المستقبلية نطاق تقييم هذه الموارد من خلال دمج تحليل تفصيلي لأحمال الأجهزة والمعدات الطبية في الوحدات الحساسة بالمركز، ومن ثم الاحمال الكلية بما فيها الانارة، وبالتالي اقتراح منظومة طاقة شمسية متكاملة. بالإضافة إلى ذلك ينبغي العمل على تحسين الجوانب التقنية والاقتصادية، ونمذجة أداء النظام، ووحدات تخزين الطاقة، وذلك بغرض تعزيز استمرارية الإمداد ومرونته بكفاءة. وبالتالي ستكون هذه الدراسات المتكاملة حاسمة لترجمة الإمكانيات الشمسية الاستثنائية للمنطقة إلى حلول طاقة عملية ومستدامة تُعزز البنية التحتية للرعاية الصحية وتُقلل الاعتماد على مصادر الكهرباء التقليدية.

7.References:

- A. R. M. Isdayrah and A. R. H. Mohamed. (2025). Evaluating the effect of weather patterns on solar PV using historical data in Libya, . *Middle East J. Pure Appl. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 41-47 .
- Anas, H., & El Mghouchi, Y. (2025). Solar energy potential assessment in the MENA and Mediterranean Regions. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 37. <https://doi.org/10.1007/s44444-025-00052-4>
- Elmnifi, M., Mhmood, A.H., Saieed, A.N.A., Alturaihi, M.H., Ayed, S.K., Majdi, H.S. (2024). A technical and economic feasibility study for on-grid solar PV in Libya. . *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, , Vol. 11, No. 1, pp. 91-97. <https://doi.org/10.18280/mmep.110109>

-
- European Commission, . (2023). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): Solar Radiation Data* . ,
- Hewedy, I., Mansor, N., & Ben Sauod, K. (2022). EVALUATION OF SOLAR ENERGY AND ITS APPLICATION IN LIBYA .
- Kassem, Y., Camur, H., & Abughinda, O. A. M. (2020). Solar Energy Potential and Feasibility Study of a 10MW Grid-connected Solar Plant in Libya. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(4), 5358-5366. <https://doi.org/10.48084/etasr.3607>
- Maka, A. O. M., Salem, S., & Mehmood, M. (2021). Solar photovoltaic (PV) applications in Libya: Challenges, potential, opportunities and future perspectives. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100267. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100267>
- Saad, A. (2025). EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE SOLAR ENERGY POTENTIAL IN THE GULF OF LIBYA. *International Journal of Applied Mathematics*, 38, 472-487. <https://doi.org/10.12732/ijam.v38i7s.494>
- Teyabeen, A. A., & Mohamed, F. (2024). . (2024). Estimation of the Optimum Tilt Angle of Solar PV Panels to Maximize Incident Solar Radiation in Libya .*Energies*, . *Energies*, 17(23), 5891. <https://doi.org/10.3390/en17235891>