



أطلس تقنيات الطاقة الشمسية (الخلايا الشمسية والطاقة الشمسية المركزة) وطاقة الرياح في ليبيا

- بشارة أحمد^{1*}، رحمة الزير²، محمد أبوقيلة¹، سهيلة محمد¹، علي الخازمي¹، عبد السلام علي أحمد³، إبراهيم أمية⁴، ياسر نصار⁵، عبد القادر الشريف⁶، محمد محمد خليل⁷
- ¹ قسم الهندسة الميكانيكية والطاقات المتجددة، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك، ليبيا
- ² قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة درنة، درنة، ليبيا
- ³ قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، جامعة بني وليد، بني وليد، ليبيا
- ⁴ قسم هندسة الطاقة، كلية الطاقة المتجددة تاجوراء، ليبيا
- ⁵ مركز أبحاث الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة، جامعة وادي الشاطئ، براك، ليبيا
- ⁶ قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية العلوم التقنية، سبها، ليبيا
- ⁷ قسم البحث والتطوير، كلية الطيران المدني، مصراتة، ليبيا

Atlas of solar (PV and CSP) and wind energy technologies in Libya

Bishara Ahmed^{1*}, Rahma Elzer², Mohammed Abouqeelah¹, Suhaila Mohammed¹, Ali Alkhazmi¹, Abdussalam Ali Ahmed³, Ibrahim Imbayah⁴, Yasser Nassar⁵, Abdulgader Alsharif⁶, Mohamed Mohamed Khaleel⁷

- ¹ Mechanical and Renewable Energy Engineering Dept., Faculty of Eng., Wadi AlShatti University, Brack, Libya
- ² Physics Department, Faculty of Science, Derna University, Derna-Libya
- ³ Mechanical and Industrial Engineering Department, Bani Waleed University, Bani Walid, Libya
- ⁴ Department of Energy Engineering, College of Renewable Energy, Tajura-Libya
- ⁵ Research Center for Renewable Energy and Sustainable Development, Wadi AlShatti University, Brack, Libya
- ⁶ Electrical and Electronic Engineering Department, Faculty of Technical Sciences-Sebha, Sebha, Libya
- ⁷ Research and Development Dept., College of Civil Aviation, Misrata, Libya

*Corresponding author

b.mohammed@wau.edu.ly

*المؤلف المراسل

تاريخ النشر: 2023-10-20

تاريخ القبول: 2023-10-12

تاريخ الاستلام: 2023-08-24

الملخص

ليبيا بلد شاسعة المساحة وتشتمل على العديد من التضاريس والظروف المناخية المختلفة، كما تزخر بإمكانيات مؤكدة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وفي إطار توطيد صناعة الطاقات المتجددة في البلاد، تناولت هذه الدراسة تقييم عدة تقنيات من الخلايا الشمسية والطاقة الشمسية المركزة وطاقة الرياح الموجودة في السوق الدولية بهدف تحقيق أكبر عائد من استغلال الطاقات المتجددة المتاحة محليا والتحقق من وملاءمتها للظروف المناخية لعدة مواقع في البلاد. ولتحقيق هذا الهدف تمت الاستعانة ببرنامج المحاكاة الديناميكي (SAM) System Advisor Model لمحاكاة أداء وتوقع إنتاجية حقول الخلايا الشمسية ومحطات الطاقة الشمسية المرززة ومزارع الرياح لعدد 12 موقعا في ليبيا. تم الحصول على البيانات المناخية المطلوبة لتشغيل برنامج SAM من منصة المعلومات المناخية SolarGis، والتي تتضمن على معلومات مناخية لكل 15 دقيقة ولمدة 13 سنة (1 يناير 2007 - 30 يونيو 2020). أظهرت النتائج أن طاقة الرياح والطاقة الشمسية بشقيها الخلايا الشمسية والطاقة الشمسية المركزة قادرة على تلبية جزء كبير من احتياجات الطاقة الكهربائية في المناطق المدروسة. كما تم تحديد أنواع التقنيات القادرة على العمل بكفاءة عالية تحت الظروف المناخية للمواقع المدروسة. يمكن لهذه الدراسة ان تكون مرجعا للمهندسين والمخططين وصناع القرار لاتخاذ قرارات أكثر دقة بشأن تطوير واستثمار مشاريع الطاقات

المتجددة في البلاد. بيثيا، بينت الدراسة ان انشاء محطة طاقة بديلة بقدرة 1000 ميغاوات وبمعامل قدرة 40% سيحول دون انبعاث ما يقدر حوالي 3.82 مليون طن من غاز CO₂ وهذا بدوره سيوفر ما قيمته 286.329 مليون دولار سنويا كضريبة كربون.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الطاقات المتجددة، SAM، LCOE، ليبيا.

Abstract

Libya is a vast country with various terrains and climatic conditions. It also has proven potential for solar and wind energy. Within the framework of localizing the renewable energies industry in the country, this study evaluated several technologies of PV solar, concentrated solar power and wind energy existing in the international market with the aim of achieving the greatest benefits from exploiting the renewable energies available locally and verifying their suitability with the highest efficiency under the climatic conditions of several locations in the country. To achieve this goal, the dynamic simulation program System Advisor Model (SAM) was used to simulate the performance and predict the productivity of solar cell fields and wind farms for 12 sites in Libya. The climate data required to run the SAM program were obtained from the SolarGis climatic data platform and are 15-minute climatic data for a period of 13 years (January 1, 2007 - June 30, 2020). The results showed that wind and solar energy are capable of meeting a large portion of the electrical energy needs in the studied areas. The types of technologies capable of working with high efficiency under the climatic conditions of the studied sites were also identified. By evaluating and analyzing the feasibility of energy projects, which can be a basis for engineers, planners and decision makers to make more accurate decisions regarding the development and investment of renewable energy projects in the country. Environmentally, the present study showed that establishing a renewable power station with a capacity of 1,000 megawatts and a capacity factor of 40% will prevent the CO₂ emission of 3.82 million tons, and this, in turn, will save an amount worth 286,329 million dollars annually as carbon tax.

Keywords: Solar energy, Wind energy, Renewable energy, SAM, LCOE, Libya.

قائمة الاختصارات

الرمز	المعنى
M-Si	Monocrystalline silicon
P-Si	Polycrystalline silicon
A-Si	Amorphous Silicon
T-F	Thin Film
CdTe	Cadmium Telluride
CIGS	Copper Indium Gallium Diselenide
HIT	Heterojunction
SAM	System Advisor Model
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
AHP	Analytical Hierarchy Process
H	Solar heliostat
D	Solar parabolic dish
T	Solar parabolic trough
F	Fresnel Linear reflectors
CPV	Concentrating Photovoltaic

1. المقدمة

تمتلك ليبيا إمكانات ضخمة مؤكدة من الطاقة الشمسية [9-1]، وطاقة الرياح [17-10]، وطاقة الكتلة الحيوية [18-27]، إلا ان مساهمة الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة المتولدة لا تتعدى 1% [20]. حيث تعتمد الدولة الليبية في انتاج الطاقة الكهربائية على الوقود الاحفوري (الغاز الطبيعي 56%، الوقود الخفيف 23%، الوقود الثقيل 13%، النفط الخام 7%) [28]. كما يعتبر قطاع صناعة الطاقة الكهربائية من أكبر القطاعات انبعاثا لغاز ثاني أكسيد الكربون (CO₂) بما نسبته 36% من مجموع الانبعاثات في البلاد [29،30]، والذي يعتبر المسبب الأول في ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ. كشفت الخطة الاستراتيجية للثلاثين سنة المقبلة (2020-2050) عن طموح الدولة الليبية في دمج الطاقات المتجددة في ما يقارب 30% من مزيج الطاقة المنتجة لعام 2030، وبحلول عام 2050، ستكون مساهمة الطاقات المتجددة أكثر من الطاقة الاحفورية في مزيج الطاقة على عكس الوضع الحالي. سيأتي ذلك من طاقة الرياح والطاقة الشمسية المركزة والطاقة الشمسية الكهروضوئية والطاقة الشمسية الحرارية [31]. وذلك سعياً منها لمواكبة التوجه العالمي نحو خفض انبعاث CO₂ وتلطيف تبعياته على المجتمعات البشرية وعلى الانظمة البيئية، وكذلك الحفاظ على النفط الخام واستغلاله في الصناعات

البتروكيميائية التي ستدر على البلاد عائدا ماديا أكبر بكثير من حرقه لإنتاج الطاقة الكهربائية. وأيضا التغلب على مشكلة العجز في امداد الطاقة الامن والمستقر التي تعاني منه البلاد، بسبب زيادة الطلب على الطاقة وتهالك منظومة التوليد والتوزيع في قطاع الطاقة الكهربائية [32-35].

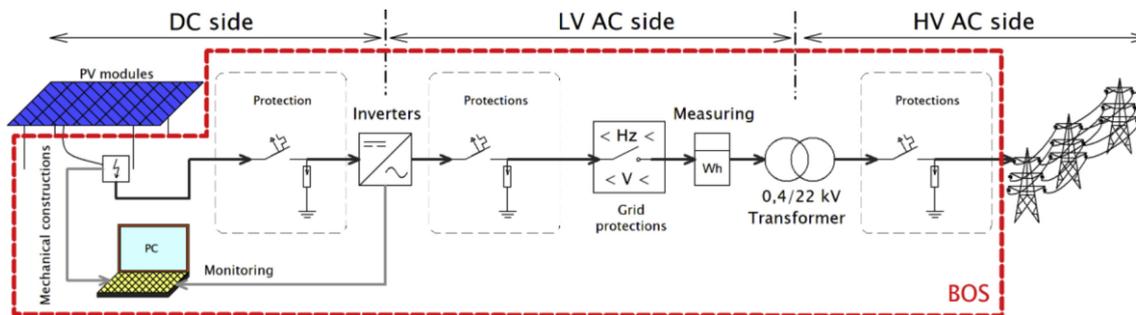
تقع ليبيا في منطقة الحزام الشمسي التي تتمتع بشدة الإشعاع الشمسي وتُعد الأعلى عالمياً، إذ يُقدر متوسط الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي بنحو $2500 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ ، وبنفس القدر من الإشعاع الشمسي العمودي المباشر DNI، وبطول ساعات سطوع شمسي تزيد عن 3500 ساعة سنوياً، وخاصة في وسط وجنوب البلاد [36،37]. كما تتمتع العديد من المواقع الساحلية الجبلية بتيارات هواء تصل الى 8 m/s ، يمكن لها ان تشكل مصدرا هاما لتوليد الطاقة الكهربائية [37]. ان ترويض هذه الامكانيات لتوليد الطاقة الكهربائية مباشرة عن طريق حقول الخلايا الشمسية [38]، ومزارع الرياح [39]، وبالطريقة الغير مباشرة باستخدام حقول المركبات الشمسية [40]، وكذلك توليد الطاقة الحرارية للاستخدامات المنزلية والصناعية [41،42]، يعتبر أساسا لتحقيق التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة والاستغلال الامثل للموارد الطبيعية التي تسعى اليها الدولة الليبية في الوقت الراهن [43-45].

إن المعرفة التامة لتقنيات الطاقات المتجددة مثل: الألواح الشمسية الكهروضوئية (PV) وتوربينات الرياح (WT) والمركبات الشمسية (CSP) تعتبر ضرورية لتحقيق الخطة المعلنة للتحويل نحو الطاقات المتجددة والصدقية للبيئة. وعليه وجب بذل الجهود في اشهر الدور الذي يمكن للطاقات المتجددة ان تلعبه في تحقيق التنمية المستدامة للمجتمع، وتسليط الضوء على مردودها الاقتصادي والبيئي والاجتماعي لصانعي القرار والمستثمرين، وذلك عن طريق اجراء مسح طبوغرافي شامل للبلاد لتحديد نوعية التقنية المناسبة في كل منطقة. وهذا يمثل الهدف من وراء هذا البحث. وبالرغم من أهمية الموضوع وتناوله الواسع حول العالم (كما هو موضح في الأشكال 2،3،4)؛ الا انه لم يلق اهتماما على الصعيد المحلي، حيث انه لا توجد الا مقالتين في مجال الخلايا الشمسية [36،46]، ومقالة واحدة في مجال المركبات الشمسية [40]، ومقالة واحدة أيضا في مجال طاقة الرياح [47]، على حسب علم الباحثين.

1.1 الطاقة الشمسية الكهروضوئية

نمت القدرات العالمية المركبة للطاقة الشمسية الكهروضوئية بشكل مستمر منذ عام 2000. ففي عام 2022، بلغت القدرة المركبة العالمية للطاقة الشمسية الكهروضوئية 1177 جيجاوات. ويعكس هذا النمو في سوق الطاقة الشمسية الكهروضوئية تحولاً في الأسواق العالمية نحو تقنيات الطاقة المتجددة والمستدامة. تقدمتا الصين والولايات المتحدة سوق الطاقة الكهروضوئية العالمية، بقدرة 307 و122 جيجاوات من الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركبة، على التوالي. ومن ناحية أخرى، احتلت تشيلي والهندوراس بأعلى حصة من مزيج الطاقة الكهروضوئية في الطاقة الكلية المنتجة في عام 2022 [48].

تعتبر الألواح الشمسية العنصر الاهم في منظومة الطاقة الكهروضوئية (الشكل 1)، وبالتالي يجب التأكد من أنها تعمل بصورة مرضية تحت الظروف المناخية للموقع. تناولت العديد من الابحاث العلاقة بين الظروف المناخية وانتاجية الخلايا الشمسية لطيف واسع من أنواع الخلايا الشمسية والتي تنقسم في مجملها الى فئتين، الفئة الاولى، خلايا السيليكون البلورية الرقائقية (Wafer-based crystalline silicon cells)، وتضم المجموعة التالية: Monocrystalline silicon String Ribbon - Polycrystalline silicon (P-Si) - (M-Si)، وهي فعالة نسبياً، ولكنها باهظة الثمن. والفئة الثانية تمثل خلايا الأغشية الرقيقة أحادية الوصلة (Single junction thin film cells)، وتضم هذه الفئة: Copper Indium Gallium - Cadmium Telluride (CdTe) - Amorphous silicon (a-Si) Organic photovoltaic (OPV/ DSC/ DYSC) - Selenide (CIG/ CIGS) وهي أقل كفاءة، ولكنها أرخص بكثير، وبالتالي فهي أكثر ملاءمة للتطبيقات الواسعة النطاق [49]. استعرضت العديد من الابحاث أحدث المواصفات والتقنيات الصناعية وتوجهات السوق الدولية وحدود التطبيقات للخلايا الشمسية [50،51].



الشكل 1: رسم تخطيطي مبسط لحقل الخلايا الشمسية متصل بالشبكة العامة للكهرباء [50]

يستعرض الجدول 1 مراجعة سريعة للدراسات التي اهتمت بدراسة تأثير المناخ على أداء الخلايا الشمسية، والتي تؤكد على ضرورة البحث عن النوع المناسب للظروف المناخية لكل منطقة. ويعكس الشكل 2 الانتشار الواسع لاهتمام الوسط العلمي بتحقيق أفضل أداء للخلايا الشمسية باختبار عدة تقنيات مختلفة من الخلايا الشمسية للعمل على اراضيها.

الجدول 1: ملخص للنتائج المتحصل عليها في بعض الدراسات ذات العلاقة.

المرجع	التقنية المناسبة	نوع الدراسة	التقنيات المقارنة	المناخ	الدولة
[52]	HIT	تجريبية	M-Si, P-Si, A-Si, CdTe and CIGS.	صحراوي	الكويت
[53]	P-Si	تجريبية	M-Si, P-Si and A-Si	صحراوي	المغرب
[54]	A-Si and CdTe	تجريبية	M-Si, P-Si, A-Si and CdTe	صحراوي	الجزائر
[55]	M-Si	تجريبية ونظرية	TF, M-Si and P-Si	متعدد	مصر
[56]	Studer VarioTrack VT-65	نظرية HOMER	19 different PVs	متعدد	السودان
[57]	Ingeteam 1164 kVA	نظرية HOMER	15 different PVs	صحراوي	عمان
[58]	M-Si	نظرية AHP	M-Si and P-Si	بارد	اليابان
[59]	M-Si	تجريبية	M-Si, P-Si and A-Si	بارد	هنغاريا
[60]	P-Si	تجريبية	P-Si and A-Si	حار	البرازيل
[61]	M-Si	تجريبية	M-Si, P-Si, and A-Si	بارد	الباكستان
[62]	HIT	تجريبية	M-Si, P-Si, a-Si, CIS and HIT	حار	غانا
[63]	TF	تجريبية	P-Si and TFs	صحراوي	تشيلي
[64]	A-Si and CdTe	نظرية	15 different PVs	متعدد	الهند
[65]	CdTe	تجريبية	A-Si, CdTe and CIGS	بارد	بريطانيا
[66]	M-Si	تجريبية	M-Si, P-Si and A-Si	مناخ شبه صحراوي، حار	مصر، حوان
[67]	M-Si	تجريبية	M-Si, P-Si, A-Si	بارد	تركيا
[68]	TF	تحليلية، PVWatt	TF, M-Si and P-Si		أفغانستان



الشكل 2: البلدان التي اختبرت مدى ملائمة تقنيات الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

أما في ليبيا، استخدم Almakhtar et al. برنامج PVsys لتقييم أداء حقل طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 1 ميغاوات تحت الظروف المناخية لمدينة بنغازي ولأربع تقنيات مختلفة للخلايا الشمسية. بينت الدراسة ان الخلايا الشمسية من نوع-P-Si كان لها أفضل مردود اقتصادي من بقية الانواع وخاصةً للمشاريع الكهروضوئية الاستراتيجية [46]. كما حاكى Nassar et al. أداء حقل شمسي بقدرة 100 MW باستخدام ثلاث تقنيات من الخلايا الشمسية لعدة مناطق في ليبيا، أجريت المحاكاة باستخدام برنامج المحاكاة الديناميكي SAM. وعُرضت النتائج على صورة خريطة للبلاد عليها التقنية المفضلة لكل موقع من المواقع المدروسة [36].

2.1. طاقة الرياح

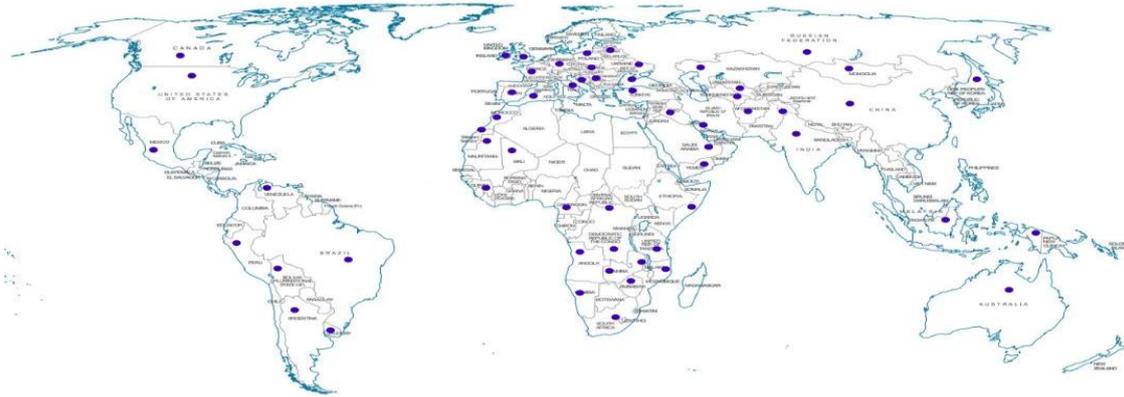
تعتبر طاقة الرياح من أهم مصادر الطاقة المتجددة في العالم، حيث تشكل حلاً مستداماً، وتقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري. على الصعيد العالمي، تم ربط حوالي 77.6 جيجاوات من طاقة الرياح بشبكات الطاقة الكهربائية في عام 2022، ليصل إجمالي قدرة الرياح المركبة إلى 906 جيجاوات. إقليمياً، في أفريقيا والشرق الأوسط، من المتوقع إضافة 17 جيجاوات من القدرات الجديدة في السنوات الخمس المقبلة (2023-2027)، منها 5.3 جيجاوات في جنوب أفريقيا، و3.6 جيجاوات في مصر، و2.4 جيجاوات في المملكة العربية السعودية، و2.2 جيجاوات في المغرب [69]، وللاسف لا توجد أي خطط لاستغلال طاقة الرياح في ليبيا في المدى القريب. كما تأتي أهمية طاقة الرياح كونها الشريك المثالي للطاقة الشمسية في منظومات الطاقات المتجددة الهجينة، وذلك لتمييزها باحتمالية توليد الطاقة على مدار 24 ساعة حسب

سرعة الرياح، خلافا للطاقة الشمسية والتي تعمل فقط خلال ساعات النهار، وبالتالي وجود مزارع الرياح في أنظمة توليد الطاقة الكهربائية الهجينة الاستراتيجية يعتبر ضروريا للتقليل من تكلفة المشروع وأيضا لتقليل الاعتماد على منظومات تخزين الطاقة.

يستعرض الجدول 2 مراجعة سريعة للدراسات التي اهتمت بدراسة تأثير الموقع على انتاجية توربينات الرياح، والتي تؤكد على ضرورة البحث عن النوع المناسب لظروف كل منطقة. ويعكس الشكل 3 الانتشار الواسع لاهتمام الوسط العلمي بتحقيق أفضل أداء لمزارع الرياح عن طريق اختبار عدة أنواع مختلفة من توربينات الرياح للعمل على أراضيها.

الجدول 2: ملخص للنتائج المتحصل عليها في بعض الدراسات ذات العلاقة

المرجع	التقنية المناسبة	نوع الدراسة	التقنيات المقارنة	متوسط سرعة الرياح	الدولة
[70]	Nordex N90	نظرية	General Electric GE 1.5s; Senvion MM92; Repower MM92; Nordex N90 Beta; Wikov W2000-93	4.16 m/s	العراق
[71]	Alstom ECO 100/2000	نظرية	Acciona AW 70/1500; Alstom ECO 100/2000; DeWind D92; Dongiang DF110-2500; Doosan WinDS3000; Enercon E-82 E2/2000; Enercon E-82 E2/37-2.0; Gamesa G97-2.0 MW; Hanjin HJWT2000-93; Leitwind LTW70-2000; Nordex N131/3000; Sinoval SL 3000/115; Vestas V110-2.0MW; Vestas 112-3.0MW; Windtec FC 3000-130	5.56	السعودية
[72]	Hummer H25.0-200 kW (China)	نظرية، باستخدام برنامج HOMER	GE 1.5 SLE (USA); Enercon E44 (Germany); Enercon E53 (Germany); Enercon FD21-100 (Germany); Emergya EWT DW54 (Netherlands); Hummer H25.0-200 kW (China)	2.4 m/s	عمان
[73]	Gamesa/G97	نظرية	Vestas/V100; Vestas/V90; Gamesa/G97 Enercon/E82 General Electric/GE2.5; Wind to Energy/W2E-100/2.55	6.61m/s	بولندا
[74]	Nordex/N131/3000	تجريبية	Vestas/V100; Vestas/V90; General Electric/GE2.5; Fuhrlander/W2E100/2.55; Nordex/N131/3000; Acciona/AW116/3000	6.58 m/s	بولندا
[75]	Bwcl.50	نظرية	Ades 100; Ew50; Bwcl.50; Pge50	5.00 m/s	الجزائر
[76]	G100-2.5MW	نظرية	V110-2.0MW; G100-2.5MW; MySE2.5-135MW		الصين
[77]	WinDS 91.3/3000	نظرية باستخدام GIS	WinDS 91.3/3000; HJWT 87/2000; 25s 90/2500; STX 72/2000; U88/2000	8.4 m/s	كوريا الجنوبية



الشكل 3: البلدان التي اختبرت مدى ملائمة توربينات الرياح على أراضيها.

محلياً، قام Ahwide and Ismail بتقييم مصادر طاقة الرياح في مدينة المقرون في وسط ليبيا، عالجت هذه الدراسة بيانات الرياح للمنطقة، حيث تم تحليل البيانات على المدى الطويل لمتوسط قيمة سرعة الرياح كل عشر دقائق لسنة كاملة، تم التعرف على اتجاه الرياح السائدة وتقييم إنتاج الطاقة الكهربائية باستعمال توربينات متنوعة تتراوح قدرتها 1.65 - 2.0 ميغاوات، وسجلت توربين الرياح من نوع Gamesa 90/2000 أفضل النتائج [11]. كما قام Mohammed et al. باختبار الجدوى الاقتصادية من طاقة الرياح في عدة مواقع من ليبيا. تم التحليل باستخدام تقييم دورة حياة الطاقة

والكربون لعدد من نوريينات الرياح، وبينت الدراسة ان اختيار نوع التوربينة المناسب يعتمد على خصائص الموقع، واستحوذت توربينة الرياح من نوع Gamesa 114-2.0MW كأفضل انتاجية على عدد كبير من المناطق التي وضعت تحت الدراسة، اضافة الى توربينة الرياح Acciona في مدينة الزاوية وتوربينة Enrcon في مدينة درنة [47]، خلافا للدراسات السابقة التي اعتمدت توربينة Gamesa لجميع مناطق ليبيا [12، 16].

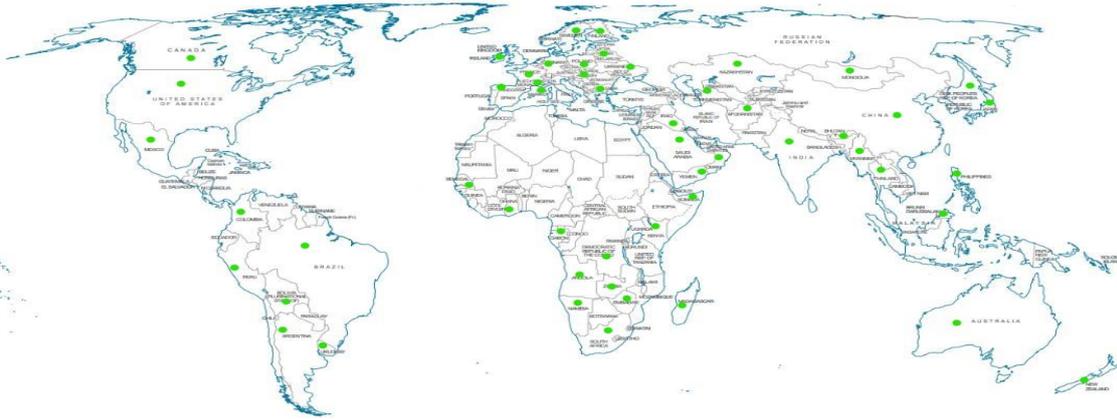
3.1. الطاقة الشمسية المركزة

بلغت القدرات العالمية المركبة للطاقة الشمسية المركزة في عام 2021 حوالي 6.8 جيجاوات. ومع إدراج ثلاثة مشاريع جديدة للطاقة الشمسية المركزة قيد الإنشاء في الصين وفي دبي بالإمارات العربية المتحدة في عام 2023 ليصل الإجمالي إلى حوالي 7.5 جيجاوات [78].

يستعرض الجدول 3 مراجعة سريعة للدراسات التي اهتمت بدراسة انتاجية حقول المركزات الشمسية، والتي تؤكد على ضرورة البحث عن النوع المناسب لظروف كل منطقة. ويعكس الشكل 4 الانتشار الواسع لاهتمام الوسط العلمي بتحقيق أفضل أداء للمركزات الشمسية عن طريق اختبار عدة أنواع مختلفة منها للعمل على أراضيها.

الجدول 3: ملخص للنتائج المتحصل عليها في بعض الدراسات ذات العلاقة

المرجع	LCOE, ¢/kWh	التقنية المناسبة	نوع الدراسة	التقنيات المقارنة	DNI, kWh/m ² /day	الدولة
[79]	5.8	T	نظرية - SAM	H, D, T, F and CPV	9.5	السعودية
[80]	4.45	D	نظرية - SAM	D and CPV	5.5	مصر
[81]	8.6	H	نظرية - SAM	H and T	65.	السودان
[82]	13.67	H	نظرية - SAM	H and T		غانا
[83]	18.24	H	نظرية - SAM	H, D and T	5.2	ماليزيا
[84]	9.44	H	نظرية - SAM	H and F	6.4	اثيوبيا
[85]	9.6	T	نظرية - SAM	D, T and F	7.4	الباكستان



الشكل 4: البلدان التي اختبرت مدى ملائمة تقنيات المركزات الشمسية.

وبالرغم من المقدرات المثبتة للبلاد من الإشعاع الشمسي المباشر (DNI) [37]، والتي كانت هدفا لإنشاء مشروع "الطاقة من الصحراء" الأوروبي والذي يهدف لتوليد الطاقة الكهربائية من تقنيات عديدة للطاقات الشمسية المركزة [86]؛ إلا انه لا توجد دراسات محلية تغطي كافة البلاد الشاسعة، فهناك دراستان اجراها المركز الليبي لبحوث ودراسات الطاقة الشمسية لمدينتي طرابلس والزاوية [87]، ودراسة أخرى لمدينة سبها في الجنوب الليبي [88]. تم اثبات الجدوى الاقتصادية عن طريق إجراء محاكاة للنظام المقترح باستخدام برنامج (SAM) System Advisor Model. بينت نتائج الدراسة أنه يمكن توليد الطاقة الكهربائية بتقنية القطع المكافئ وبأسعار منافسة اقتصادياً. إلا ان الدراسات السابقة جميعها قدمت تحليلاً لنوع واحد من التقنيات المتوفرة فقط وليس لكامل مدن ليبيا.

2. مجال الدراسة

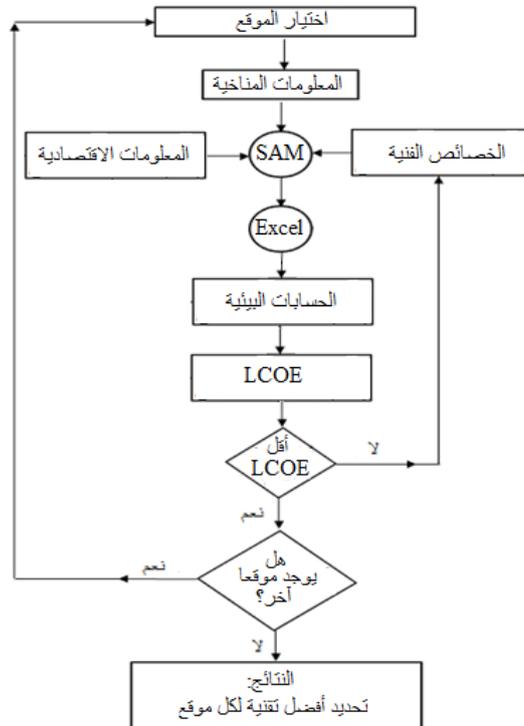
قامت الدراسة بتحليل انتاجية طاقة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية والمركزة في اثنتي عشرة منطقة مختارة (الشكل 5). وقدرت إمكانات الانتاجية من ثلاثة جوانب الجغرافيا والتكنولوجيا والاقتصاد.



الشكل 5: المناطق تحت الدراسة.

3. المواد وطرق العمل

لعدم توفرا البيانات المناخية الضرورية لإجراء التحليل فقد تم الاستعانة بمنصة البيانات المناخية SolarGis والتي قدمت هذه المعلومات مجاناً إستناداً على اتفاقية التعاون بين شركة SolarGis وكلية الهندسة – جامعة وادي الشاطئ. أجريت المحاكاة الديناميكية باستخدام برنامج System Advisor Model (SAM version 2020.11.29) المقدم من معمل بحوث الطاقات المتجددة القومي NREL [89]؛ للحصول على المؤشرات الطاقوية والاقتصادية ومنها: الطاقة السنوية المنتجة وتكلفة رأس المال وتكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية LCOE لكل تقنية ولكل موقع. يوضح



الشكل (6) المخطط الانسيابي للنهج المتبع في الدراسة. mostafaandee1982

الشكل 6: المخطط المتبع لمنهجية الدراسة.

1.3. المواصفات الفنية للألواح الشمسية الكهروضوئية

هناك عدة أنواع من الألواح الشمسية المستخدمة لتوليد الطاقة الشمسية. وفيما يلي بعض أنواع الألواح الشمسية الشائعة في سوق الطاقة الشمسية الدولية:

1. الألواح الشمسية البلورية (Crystalline Solar Panels): تتكون هذه الألواح من خلايا شمسية مصنوعة من السيليكون البلوري. تنقسم إلى نوعين رئيسيين:
 - السيليكون المتعدد البلورة (Multicrystalline Silicon Panels): تتميز بتكلفتها المنخفضة نسبياً وكفاءتها المعتدلة.
 - السيليكون الأحادي البلورة (Monocrystalline Silicon Panels): تتميز بكفاءة أعلى وأداء أفضل في ظروف الإشعاع المنخفض، ولكنها تكلف أكثر.
2. الألواح الشمسية الرقيقة (Thin-Film Solar Panels): تتميز هذه الألواح بسماكة أقل وخفة الوزن، ويتم صنعها عن طريق وضع طبقة رقيقة من المواد الشمسية النشطة مثل الكاديوم والنحاس والغالسيوم على سطح الألواح. تتضمن أنواعاً مثل ألواح السيليكون الرقيق (Amorphous Silicon Panels) وألواح السيليكون المركب (Cadmium Telluride Panels) وألواح السليبيدي (Copper Indium Gallium Selenide Panels).



الشكل 7: صورة لأنواع الثلاثة من تقنيات الخلايا الشمسية [90]

يمثل الجدول (4) أهم الخصائص الفنية والاقتصادية التي تتحكم في أداء الخلايا الشمسية.

الجدول 4: أهم الخصائص الفنية للألواح الشمسية

نوع الخلايا الشمسية	الكفاءة؛ %	معامل درجة الحرارة للقدرة؛ %/°C	التكلفة؛ \$/Wp	درجة حرارة سطح الخلية الاعتيادية [91]
M-Si	18 – 24	-0.446	1.0 – 1.5	46 [92]
P-Si	15 – 17	-0.387	0.9 – 1.0	45 [92]
A-Si	11 – 15	-0.172	0.7 – 1.0	49 [92]
CdTe	10 – 17.1	-0.25	0.8 – 0.85	45 [93]
CIGS	11 – 12.7	-0.36	0.72 – 0.80	47 [93]
HJC	24	-0.26	0.121	46 [94]

وتعتبر المعادلة (1) المعادلة الحاكمة لأداء جميع تقنيات الخلايا الشمسية، والتي تربط الظروف المناخية والتشغيلية والفنية من شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة سطح الخلية الشمسية مع إنتاجية اللوح الشمسي:

$$P_{PV} = P_{STC} \left[1 + \beta_p (T_{cell} - T_{STC}) \right] \frac{H_t}{H_{STC}} \quad (1)$$

حيث يمثل P_{PV} إنتاجية اللوح الشمسي تحت الظروف الحقيقية للتشغيل W/m^2 ، P_{STC} يشير إلى القدرة الاسمية للوح الشمسي تحت الظروف القياسية STC ، β_p يمثل معامل درجة الحرارة للقدرة $\%/^{\circ}C$ ، بينما يمثل T_{STC} و T_{cell} درجة حرارة سطح الخلية الشمسية تحت الظروف الحقيقية للتشغيل وتحت الشروط القياسية $^{\circ}C$ ، على التوالي، H_t و H_{STC} يمثلان شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية الشمسية الحقيقي وتحت الظروف القياسية W/m^2 على التوالي. ويشكل معرفة درجة حرارة سطح الخلية الشمسية تحدياً كبيراً في المعادلة (1)، والتي تتطلب إجراء قياسات معملية لتحديد، وذلك لارتباطها الوثيق بالعديد من المتغيرات الجوية والتشغيلية والفنية. فهي تعتمد على درجة حرارة الهواء الجوي (T_{∞}) وسرعة الرياح وشدة الإشعاع الشمسي (H_t)، وأيضاً على الخصائص البصرية وكفاءة التحويل الفوتوضوئي للخلية الشمسية وكذلك الحمل الكهربائي للخلية. محلياً أجرى Nassar et al., تجربة لتحديد درجة حرارة سطح الخلية (T_{cell}) لمدينة براك الشاطئ في معمل الطاقة الشمسية بقسم الهندسة الميكانيكية والطاقات المتجددة، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، وكانت على الصورة التالية [95]:

$$T_{cell} = T_{\infty} + 7 \times 10^{-2} H_t \quad (2)$$

2.3. المواصفات الفنية لتوربينات الرياح

توربينات الرياح تعتبر أحد الوسائل المستدامة لتوليد الطاقة، وتستخدم على نطاق واسع في العديد من الدول حول العالم كبديل للطاقة التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري. توجد عدة أنواع من توربينات الرياح، وتختلف حسب حجمها وتقنياتها. تستخدم التوربينات الكبيرة في مزارع الرياح الضخمة التي تحتوي على مجموعة من التوربينات المتصلة بالشبكة الكهربائية، بينما يمكن استخدام التوربينات الصغيرة في التطبيقات المنزلية أو التجارية لتوليد طاقة كهربائية محدودة. يتطلب تحديد موقع مناسب لتركيبة توربينة الرياح حيث تكون الرياح قوية ومستمرة بما يكفي لتشغيلها بكفاءة. كما يجب أخذ الاحتياطات اللازمة لضمان سلامة التركيب وتشغيل التوربينة، وتوفير الصيانة الدورية للحفاظ على أدائها الأمثل. وتبلغ تكلفة الصيانة والتشغيل لتوربينات الرياح في المتوسط 0.015 سنتا لكل كيلووات ساعة وحوالي 45 دولارا لكل ميغاوات قدرة في السنة [96]

يمثل الجدول (5) أهم الخصائص الفنية والاقتصادية التي تتحكم في أداء توربينات الرياح.

الجدول 5: أهم الخصائص الفنية لتوربينات الرياح [97]

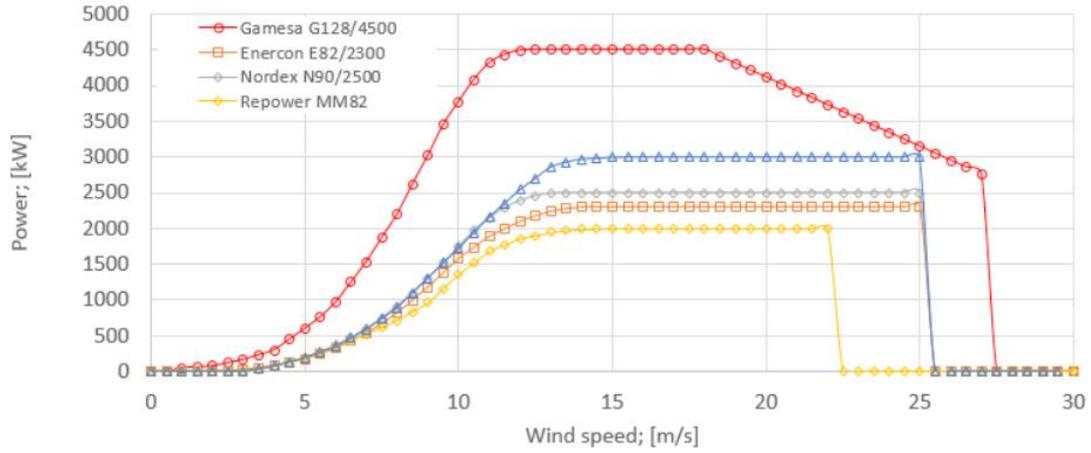
نوع توربينة الرياح	ارتفاع البرج	قطر المروحة	Cutin wind speed	Cut off wind speed	Rated power; kW	بلد المنشأ	تكلفة رأس المال للتوربينة \$
Gamesa (2.0MW)	140	114	2.5	25	2000	ألمانيا	2,945,000
Acciona (1.8MW)	80	77	3.5	25	1800	أسبانيا	2,662,000
Enercon (2.5MW)	149	115	3	34	2500	ألمانيا	3,381,000
Vestas (1.65MW)	108	82	2.5	32	1650	الدنمارك	2,414,000
Gold wind (1.5MW)	100	82.3	3	30	1500	الصين	2,210,000
Nordex (1.0MW)	70	54	3.5	25	1000	ألمانيا	1,361,000
Suzlon (3.3MW)	140	120	4	20	3300	الهند	3,204,000
GE wind (0.85MW)	60	45	3	25	850	فرنسا	1,244,000

بصورة عامة، يمكن تقدير امكانية موقع محدد لإنتاج طاقة الرياح باستخدام المعادلة (3) [98].

$$P_{max}(Z) = 0.2693 \rho_z A V_z^3 \quad (3)$$

حيث يمثل $P_{max}(Z)$ أقصى انتاجية لتوربينة الرياح على ارتفاع Z من سطح الارض W ، ρ_z يمثل كثافة الهواء على نفس الارتفاع kg/m^3 ، A مساحة المروحة m^2 ، V_z يشير الى سرعة الرياح على ارتفاع Z من سطح الارض m/s . كما يمكن تقدير انتاجية مزارع الرياح بمعلومية منحنى القدرة لتوربينات الرياح كما هو مبين في الشكل 8، باستخدام المعادلة (4)

$$P_t = \begin{cases} 0 & V_{z,t} \leq V_{cut-in} \\ P_{rat} \left(\frac{V_{z,t} - V_{cut-in}}{V_{rat} - V_{cut-in}} \right) & V_{cut-in} < V_{z,t} < V_{cut-off} \\ 0 & V_{z,t} \geq V_{cut-off} \end{cases} \quad (4)$$



الشكل 8 منحنيات القدرة لبعض من توربينات الرياح [98]

3.3. المواصفات الفنية لتقنيات الطاقة الشمسية المركزة

توجد خمس تقنيات تجارية لتوليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية المركزة وهي: القطع المكافئ، المرايا الشمسية، عاكسات فريزل، والخلايا الشمسية المركزة [99]. وتتميز هذه التقنيات بقدرتها على تركيز الأشعة الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية، ومن ثم توليد الكهرباء بشكل فعال. يُدرج الجدول 6 الخصائص الفنية والاقتصادية لتقنيات الطاقة الشمسية المركزة.

الجدول 6: الخصائص الفنية والاقتصادية لتقنيات الطاقة الشمسية المركزة [100]

المعيار	القطع المكافئ	المرايا الشمسية	الصحون الشمسية	عاكسات فريزل	الخلايا الشمسية المركزة
رأس المال \$/kWp	4,450	5,940	2,910	6,530	5,160
الصيانة والتشغيل	\$/kWh 0.02	\$/kWh 0.02	\$/kWh 0.02	\$/kWh 0.02	\$/kWh 0.02
عمر المحطة، سنة	25	25	25	25	25
عدد ساعات التخزين	14	14	14	14	-
المضاعف الشمسي	2	2	-	2	-
مساحة الأرض m ² /MWp	87,700	765,566	90,000	18,100	255

4.3. الاعتبارات الاقتصادية والبيئية

تعتبر تكلفة وحدة انتاج الطاقة الكهربائية (LCOE) من أهم المؤشرات الاقتصادية الطاقوية البيئية وتصاغ على الصورة التالية [101]:

$$LCOE = \frac{\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times C_{inv} + C_{o\&m} - C_{c,saving}}{E_R}; \$/kWh \quad (5)$$

حيث يمثل C_{inv} تكلفة رأس المال الكلية (\$)، $C_{o\&m}$ تكلفة الصيانة والتشغيل السنوية (\$)، $C_{c,saving}$ تكلفة الضرر البيئي الناتج عن توليد الكهرباء بالطريقة التقليدية السنوية (\$)، E_R الانتاج السنوي للطاقة المتجددة (kWh)، والرموز n و i تشير الى معدل التضخم وعمر أجهزة ومعدات الطاقات المتجددة بالسنة، على التوالي. وتحسب تكلفة الضرر البيئي $C_{c,saving}$ من المعادلة (6) [102]:

$$C_{CO_2} = EF_C \times E_R \times \phi_{CO_2} \quad (6)$$

حيث يمثل EF_C معامل انبعاث غازات الكربون والذي يساوي 0.967 kgCO₂/kWh [103]، ϕ_{CO_2} تكلفة الضرر البيئي وتقدر بحوالي 75 \$/ton CO₂ [104]. أو في حالة الغازات الدفيئة GHG يمكن اعتبارها 79 \$/tonGHG [105].

كما بين Makhzom et al., أن امداد المستهلك بطاقة كهربائية مقدارها 1MWh يتطلب تدفقا كئليا خلال مسار تدفق الطاقة على النحو التالي: يلزم توريد 6.108 kg من زيت الديزل الى محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الكهرباء.

ويطلب للحصول على هذه الكمية من زيت الديزل تزويد مصفاة الزاوية بما مقداره 25.310 kg من النفط الخام من حقول النفط [106]. وبالتالي فان كمية النفط التي ستوفر جراء استخدام الطاقات المتجددة تقدر من المعادلة التالية:

$$bll = \frac{E_R(MWh) \times 25.31 \left(\frac{kg}{MWh}\right)}{136 \left(\frac{kg}{bll}\right)} \quad (7)$$

5.3. فرضيات وحدود الدراسة ومصادر اللابقيين في النتائج

اعتمدت الفرضيات التالية عند إجراء الدراسة:

1. وجود البنية التحتية اللازمة لنقل وتوزيع الطاقة المنتجة من أنظمة الطاقة المتجددة المقترحة.
 2. تكلفة التشغيل والصيانة ثابتة.
 3. عدم احتساب التكاليف الغير مباشرة والتي تشمل: الضرائب والاستشارات الهندسية، تكلفة شراء وتمهيد الارض ... الخ
 4. الكفاءة ثابتة لجميع التقنيات.
 5. الانتاجية ثابتة على طول عمر المحطة.
 6. معامل انبعاث غاز ثاني اكسيد الكربون واحد لكل محطات توليد الكهرباء.
- تعتبر دراسة حساسية الحسابات الاقتصادية لظروف تغيير اسعار معدات الطاقات المتجددة وأسعار النفط احد اهم حدود الدراسة الحالية، والتي سيفرغ لها الباحثون دراسة خاصة لتعيين حساسية النتائج لبعض الباميترات، وكذلك تأثير اللابقيين في النتائج على اتخاذ القرارات.
- تعتبر المعلومات والبيانات، مثل البيانات المناخية ومعلومات المُصنِّع أكبر مصدراً للابقيين في الدراسات الهندسية الطاقوية والاقتصادية والبيئية. وتسهم نقص المعلومات الاقتصادية، مثل التسهيلات المصرفية المتاحة للحصول على القروض وأسعار الأراضي والفوائد والتضخم، في زيادة اللابقيين في النتائج النهائية للدراسات الاقتصادية للطاقة المتجددة.

4. النتائج والمناقشة

تم اختبار عدد كبير من التقنيات لكا مصدر من مصادر الطاقات المتجددة تحت الاختبار وذلك للحصول على أفضل تقنية من حيث ملائمتها للظروف المناخية للمنطقة المدروسة. وتم اعتماد تكلفة انتاج وحدة الطاقة LCOE \$ لكل كيلوات ساعة كمرجعية للتقنية الافضل. وتمت جدولة النتائج المتحصل عليها من برنامج SAM لكلاً من حقول الخلايا الشمسية وحقول المركزات الشمسية ومزارع توربينات الرياح.

يمثل الجدول (7) النتائج المتحصل عليها لأفضل تقنيات الخلايا الشمسية لحقل الخلايا الشمسية بقدرة 100 ميغاوات وكذلك أقل تكلفة لوحدة انتاج الطاقة الكهربائية.

الجدول 7: نوع تقنية الخلايا الشمسية الافضل لكل منطقة

م	المدينة	أنواع الخلايا الشمسية	بلد المنشأ	التقنية	LCOE (¢/kWh)
1	اجديبيا	CA Solar MS180M	الولايات المتحدة	M-Si	6.1
2	الجفرة	Bangkok Solar BS-52	تايلاند	TF	5.67
3	الكفرة	Global sun Energy FG-1BTN-300W	الولايات المتحدة	TF	6.16
4	بنغازي	Canadin Solar Lnc.c53u-350AG	كندا	P-Si	6.16
5	سبها	GE Energy GE-CIG155	الولايات المتحدة	TF	5.7
6	سرت	A10 Green Tchnology A10J-S72-175	الولايات المتحدة	M-Si	6.4
7	طبرق	Aleo solar P18Y250	المانيا	P-Si	6.1
8	طرابلس	Hansol Technicsco-Ltd HS283SB-A	كوريا الجنوبية	M-Si	6.15
9	غات	Zytech solar ZT230P	اسبانيا	TF	6
10	غدامس	Bosch Solar Thin Film UM-Siplus 110	المانيا	TF	5.93
11	غريان	Banner Solar ISB-20-IB STC-105	الولايات المتحدة	M-Si	5.2
12	مرزق	First Solar Luc.FS-4122-3	الولايات المتحدة	TF	5.76

يتبين من الجدول (7) اختلاف تقنيات الخلايا الشمسية وكذلك تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية LCOE لكل موقع، وهذا يرجع الى التباين الكبير في الظروف المناخية للمدن قيد الدراسة. كما يتبين أيضا ان العائد المالي سيكون كبيرا لجميع المواقع وخاصةً إذا كان ثمن بيع الطاقة الكهربائية للشبكة العامة للكهرباء (Feed-In-Tariff - FIT) يساوي 10 سنتا لكل كيلووات ساعة [47].

يمثل الجدول (8) النتائج المتحصل عليها لأفضل تقنيات الطاقة الشمسية المركزة بقدرة 100 ميغاوات وكذلك أقل تكلفة لوحدة إنتاج الطاقة الكهربائية.

الجدول 8: التكلفة LCOE دولارًا لكل كيلووات ساعة لجميع تقنيات الطاقة الشمسية المركزة

م	المدينة	القطع المكافئ	فرينل	الصحن الشمسي	البرج الشمسي	الخلايا الشمسية المركزة
1	إجدابيا	0.15	0.16	0.16	0.11	0.24
2	الجفرة	0.12	0.13	0.13	0.09	0.20
3	الكفرة	0.10	0.11	0.11	0.08	0.18
4	بنغازي	0.13	0.15	0.15	0.11	0.23
5	سبها	0.11	0.12	0.12	0.09	0.19
6	سرت	0.13	0.14	0.14	0.10	0.21
7	طبرق	0.15	0.16	0.17	0.11	0.24
8	طرابلس	0.14	0.16	0.15	0.11	0.23
9	غات	0.11	0.12	0.12	0.08	0.19
10	غدامس	0.12	0.14	0.13	0.09	0.20
11	غريان	0.14	0.16	0.15	0.11	0.23
12	مرزق	0.11	0.12	0.12	0.08	0.19

يتبين من الجدول تفوق تقنية الابراج الشمسية المركزة عن بقية التقنيات، الا ان تكلفة إنتاج وحدة الطاقة مازالت مرتفعة مقارنة بتلك المنتجة من حقول الخلايا الشمسية. ويرجع سبب ذلك الى ارتفاع تكلفة الاستثمار في هذه التقنيات حيث يصل تكلفة رأس المال حوالي 10 أضعاف تكلفة الاستثمار في حقول الخلايا الشمسية، كما هو واضح من الجدولين 4 و 6.

يمثل الجدول (9) النتائج المتحصل عليها لأفضل أنواع توربينات الرياح لمزرعة رياح بقدرة 100 ميغاوات وكذلك أقل تكلفة لوحدة إنتاج الطاقة الكهربائية.

الجدول 9: نوع توربينة الرياح الافضل لكل منطقة وتكلفة LCOE سننًا لكل كيلووات ساعة

م	المدينة	نوع توربينة الرياح	LCOE; ¢/kWh
1	إجدابيا	NEG Micon Multi-Power 44-750	5.11
2	الجفرة	Enercon E40 1600W	5.89
3	الكفرة	Suzlon S64-950	3.00
4	بنغازي	Siemens SWT-3.6MW-107M	2.09
5	سبها	Vestas V27-225KW	3.88
6	سرت	Pitchwind 14m 30KW	4.37
7	طبرق	GE 1.5sl	1.53
8	طرابلس	Gamesa G114/2000	2.5
9	غات	Bonus 1300	2.97
10	غدامس	Aeolos 18m 50KW	3.75
11	غريان	Xzeres 442SR	1.74
12	مرزق	GE2.5XL	4.1

تعتبر هذه الدراسة الاولى من نوعها من حيث اتساع الرقعة الجغرافية لاختبار اداء مزارع الرياح وكذلك من ناحية كمية توربينات الرياح المقارنة لكل موقع، حيث بلغت عدد توربينات الرياح التي أجريت عليها الحسابات 25 توربينة رياح مختلفة الأنواع والقدرات والخصائص الفنية.

يتبين من الجدول (9) اختلافا كبيرا في أنواع توربينات الرياح وكذلك تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية LCOE لكل موقع، وهذا يرجع الى التباين الكبير في الظروف المناخية للمدن قيد الدراسة. كما يتبين أيضا ان العائد المالي سيكون كبيرا

لجميع المواقع وهو أفضل من الاستثمار في الخلايا الشمسية لجميع المواقع المدروسة. وهذا يجعلنا نطرح تساؤلاً لما ينصب الاهتمام على الألواح الشمسية وليس على طاقة الرياح؟

5. الاستنتاجات

تم محاكاة أداء ثلاثة أنواع من الطاقات المتجددة لإنتاج الطاقة الكهربائية، حقول الخلايا الشمسية ومحطات الطاقة الشمسية المركزة ومزارع الرياح في عدة مناطق باستخدام برنامج المحاكاة الديناميكي SAM. كما تم اختيار تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية LCOE كمرجعية لاختيار انسب تقنية لكل موقع. كما تم ادراج تكلفة الضرر البيئي الناجم من انبعاث غاز CO₂ من محطات توليد الطاقة الكهربائية التقليدية في حساب LCOE. هذا الاجراء يعطي فرصة عادلة للطاقات المتجددة والنظيفة للتنافس في سوق الطاقة حتى في الدول النفطية والدول التي تدعم الكهرباء. وقد تم التوصل إلى أن استخدام طاقة الرياح في جميع المدن التي وضعت تحت الدراسة يعتبر الاستثمار الأمثل من كافة الأنواع الأخرى للطاقات المتجددة ثم تأتي حقول الخلايا الشمسية، غير أن محطات الطاقة الشمسية المركزة تعتبر في وضعها الحالي الأقل جذباً للاستثمار وخاصة في الظروف الحالية من سعر ضريبة الكربون وكذلك قيمة TIF. إلا أن تقنية البرج الشمسي سجلت أقل تكلفة لوحدة إنتاج الطاقة الكهربائية من بين كافة التقنيات الأخرى.

لا شك في أن توطین الطاقات المتجددة في البلاد سيعمل على تلطيف تأثير بصمة الكربون على النظام البيئي المحلي والعالمي وخاصة تحت الظروف التقنية السيئة للصناعة الطاقة الكهربائية في البلاد حيث يصل معامل انبعاث CO₂ في ليبيا الى 0.967 kgCO₂/kWh، وبالتالي فان انشاء محطة طاقة بديلة بقدرة 1000 ميغاوات وبمعامل قدرة 40% سيحول دون انبعاث ما يقدر حوالي 3.82 مليون طن من غاز CO₂ وهذا بدوره سيوفر ما قيمته 286.329 مليون دولار سنويا كضريبة كربون.

6. التوصيات

- 1- تحسين البنية التحتية لتوفير الدعم اللازم للاستثمارات في الطاقة المتجددة، بما في ذلك الطرق والشبكات الكهربائية والتخزين.
- 2- دعم السياسات الحكومية لاستخدام الطاقة المتجددة في ليبيا، بما في ذلك توفير الحوافز والدعم المالي والإداري للمستثمرين في هذا المجال.
- 3- تطوير التكنولوجيا المتعلقة بالطاقة المتجددة في ليبيا، بما في ذلك تحسين كفاءة الخلايا الشمسية وتوربينات الرياح وتحسين التخزين ونقل الطاقة.
- 4- تنمية الكفاءات الفنية في ليبيا لتنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة بفعالية، بما في ذلك التدريب والتعليم وتوفير الموارد البشرية المؤهلة.
- 5- تعزيز الشراكات المحلية والدولية لدعم استخدام الطاقة المتجددة في ليبيا، بما في ذلك الشراكات مع المجتمع المدني والقطاع الخاص والمؤسسات الدولية.
- 6- تقييم الأثر البيئي للاستثمارات في الطاقة المتجددة في ليبيا، وسن التشريعات والقوانين اللازمة لتشجيع نقل وتوطين التقنيات الطاقات المتجددة.

References

- [1] Y. Nassar, S. Alsadi, G. Miskeen, H. El-Khozondar and N. Abuhomoud, "Atlas of PV Solar Systems Across Libyan Territory," in *2022 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS)*, Istanbul, Turkey, 04-06 July 2022.
- [2] I. Tawil, M. Abeid, E. Abraheem, S. Alghoul and E. Dekam, "Review on Solar Space Heating - Cooling in Libyan Residential Buildings," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 7, no. SI, pp. 78-112, 2018.
- [3] M. Abdunnabi, I. Rohuma, E. Endya and E. Belal, "Review on solar water heating in Libya," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 7, no. SI, pp. 1-27, 2018.
- [4] M. Abdunnabi, B. Belgasim and A. Ramadan, "Review on Solar Thermal Desalination in Libya," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 7, no. SI, pp. 28-47, 2018.
- [5] K. Bakouri, T. Foqha, O. Ahwidi, A. Abubaker, N. Yassar and H. El-Khozondar, "Learning lessons from Murzuq-Libya meteorological station: Evaluation criteria and improvement recommendations," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 30-48, 2023.
- [6] S. Abdulwahab, N. Yassar, H. El-Khozondar, M. Khaleel, A. Ahmed and A. Alsharif, "Meeting Solar Energy Demands: Significance of Transposition Models for Solar Irradiance," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 3, pp. 90-105, 2023.
- [7] F. Yasser, R. Elzer, A. Alkhazmi, H. El-Khozondar, M. Essid and A. & M'Baye, "Thermal Analysis of Air-Heating Flat-Plate Thermal Solar Collectors," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 3, p. 129-144, 2023.

- [8] M. Khaleel, Z. Yusupov, N. Yasser, H. El-Khozondar and A. Ahmed, "An Integrated PV Farm to the Unified Power Flow Controller for Electrical Power System Stability," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 1, pp. 18-30, 2023.
- [9] I. Imbayah, A. Ahmed, A. Alsharif, M. Khaleel and A. Alarga, "A Review of the Possibility Integrating the Solar System into the Libyan Railway Transportation," *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*, vol. 2, no. 2, pp. 171-180, 2023.
- [10] A. Teyabeen, F. Akkari, A. Jwaid, A. Zaghwan and R. Abodelah, "Assessment of Wind Energy Potential In Zwara, Libya," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 334-49, 2019.
- [11] F. Ahwide and A. Ismail, "Wind Energy Resources Estimation and Assessment For AL-Maqrun Town - Libya," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 22-41, 2016.
- [12] A. Elmariami, W. El-Osta, Y. Fathi, Y. Khalifa and M. Elfleet, "Life Cycle Assessment of 20 MW Wind Farm in Libya," *Applied Solar Energy*, vol. 59, no. 1, pp. 64-78, 2023.
- [13] Y. Fathi, M. Abdunnabi, M. Sbeta, A. Hafez, K. Amer, A. Ahmed and B. Belgasim, "Dynamic analysis and sizing optimization of a pumped hydroelectric storage-integrated hybrid PV/Wind system: A case study,," *Energy Conversion and Management*, vol. 229, p. 113744, 2021.
- [14] L. Rtemi, W. El-Osta and A. Attaiep, "Hybrid System Modeling for Renewable Energy Sources," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 13-28, 2023.
- [15] A. Abdalla, W. El-Osta, Y. Fathi, W. Husien, E. Dekam and G. Miskeen, "Estimation of Dynamic Wind Shear Coefficient to Characterize Best Fit of Wind Speed Profiles under Different Conditions of Atmospheric Stability and Terrains for the Assessment of Height-Dependent Wind Energy in Libya," *Applied Solar Energy*, vol. 59, no. 3, 2023.
- [16] S. Al-Behadili and W. El-Osta, "Life cycle assessment of Dernah (Libya) wind farm," *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 1227-1233, 2015.
- [17] W. El-Osta and Y. Kalifa, "Prospects of wind power plants in Libya: a case study," *Renewable energy*, vol. 28, no. 3, pp. 363-371, 2003.
- [18] N. Yasser, I. Mangir, A. Hafez, H. El-Khozondar, M. Salem and H. Awad, "Feasibility of innovative topography-based hybrid renewable electrical power system: A case study," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 14, p. 100650, 2023.
- [19] M. Ashur, I. Bengharbia and S. Aldulaimi, "Effect of Solid Content and pH on Biogas Production From Organic Fraction Municipal Solid Waste," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 13-17, 2017.
- [20] A. Miskeen, R. Elzer, I. Mangir, Y. Nassar, H. El-Khozondar, M. Khaleel, A. Ahmed, A. Alsharif and M. Salem, "Energy from Wastewater Treatment stations," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 12, no. 2, 2023.
- [21] T. Hamad, A. Agll, Y. Hamad and J. Sheffield, "Solid waste as renewable source of energy: Current and future possibility in Libya," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 4, no. 11, pp. 144-152, 2014.
- [22] M. Misbah, "Renewable & Sustainable Energy Resources in Libya; The Pyrolysis of Biomass into Biofuel," in *in the 1st Scientific Conference of Oil and Gas, Ajdabiya- Libya*, 8th September 2015.
- [23] I. Hassan, M. Khalid, E. Ahmed and M. Amraje, "Anaerobic Digestion of Biowaste for Biomethane Production Case Study: Albayda, Libya," in *1st International Conference on Renewable and Sustainable Energy*, Bayda, Libya. , October 10-13, 2021.
- [24] S. Abdalla, S. Saad, N. N. and O. Bukra, "Seawater Pumped Hydro Energy Storage in Libya: Location, Design and Calculations," in *2021 IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering MI-STA*, Tripoli, Libya, 2021.
- [25] M. Elmnifi and M. Amhamed, "Future of waste to energy: Case study of Libya," *Advances In Industrial Engineering And Management*, vol. 8, no. 1, pp. 1-3, 2019.
- [26] M. Elmnifi, M. Alshilmany and M. Abdraba, "Potential Of Municipal Solid Waste In Libya For Energy Utilization," *Acta Mechanica Malaysia (AMM)*, 2019, vol. 2, issue 1, 11-15, vol. 2, no. 1, pp. 11-15, 2019.
- [27] M. Elmnifi, O. Abdulrazig, H. Gawili, A. Elbreki and N. Faraj, "Assess the Potential Contribution of Municipal Solid Waste Power Generation Facilities in Libya," *International Journal of Thermal Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 1-4, 2021.
- [28] A. Makhzom, A. Eshdok, F. Yasser, S. Alsadi, T. Foqha, M. Salem, I. AlShareef and H. El-Khozondar, "Estimation of CO2 emission factor for Power Industry Sector in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES 2023)*, Gaza Strip - Palestine, May 8-9, 2023.
- [29] Y. Fathi, K. Aissa and S. Alsadi, " Air Pollution Sources in Libya," *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 63-79, 2018.
- [30] N. Yasser, K. Aissa and S. Alsadi, "Estimation of Environmental Damage Costs from CO2e Emissions in Libya and the Revenue from Carbon Tax Implementation," *Low Carbon Economy*, vol. 8, pp. 118-132, 2017.
- [31] Y. Nassar, H. El- Khozondar, N. Abohamoud, A. Abubaker, A. Ahmed, A. Alsharif and M. Khaleel, "Regression Model for Optimum Solar Collectors' Tilt Angles in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES 2023)*, Gaza Strip, Palestine, May 8-9, 2023.
- [32] A. Almabrouk and S. Abulifa, "The Technology of Renewable Energy and Its Role in Achieving Sustainable Development," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 2, pp. 1-9, 2023.
- [33] M. Khaleel, Z. Yusupov, Y. Nassar, H. El-Khozondar and A. Ahmed, "An Integrated PV Farm to the Unified Power Flow Controller for Electrical Power System Stability," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 1, pp. 18-30, 2023.
- [34] M. Andeef, K. Bakouri, B. Ahmed, A. Gait, F. El-Batta, T. Foqha and H. Qarqad, "The Role of Renewable Energies in Achieving a More Secure and Stable Future," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 2, pp. 11-20, 2023.
- [35] A. Almabrouk and S. Abulifa, "The Technology of Renewable Energy and Its Role in Achieving Sustainable Development," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 2, pp. 1-9, 2023.
- [36] Y. Fathi, S. Alsadi, G. Miskeen, H. El-Khozondar and N. Abuhamoud, "Mapping of PV solar module technologies across Libyan Territory," in *Iraqi International Conference on Communication and Information Technologies (IICCIT)*, Basrah, Iraq, 07-08 September 2022.

- [37] Y. Nassar, H. El-Khozondar, G. Ghaboun, M. Khaleel, Z. Yusupov, A. Ahmed and A. Alsharif, "Solar and wind atlas for Libya," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 3, pp. 27-43, 2023.
- [38] A. Kagiik and A. Tawel, "Performance Analysis of 14 MW Grid-Connected Photovoltaic System," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 11-21, 2015.
- [39] H. Shreif, W. El-Osta and A. Yagub, "Wind Resource Assessment for southern part of Libya: Case Study of Hun," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 12-33, 2019.
- [40] M. Abouqeelah, Y. Nassar, H. El-Khozondar, M. Khaleel, A. Ahmed, A. Alsharif and A. Abubaker, "Atlas of Concentrating Solar Power for Libya," *Solar energy and sustainable development Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 1-20, 2023.
- [41] Y. Fathi, "Thermodynamic Analysis and Optimization Procedure for Domestic Solar Water Heating System," *American Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 2, no. 6, pp. 92-99, 2015.
- [42] Y. Nassar, R. Elzer, A. Alkhazmi, H. El-Khozondar, M. Essid and A. Mbaye, "Thermal Analysis of Air-Heating Flat-Plate Thermal Solar Collectors," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 3, p. 129-144, 2023.
- [43] M. Andeef, K. Bakouri, B. Ahmed, A. Gait, F. El-Batta, F. Foqha and H. Qarqad, "The Role of Renewable Energies in Achieving a More Secure and Stable Future," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 2, pp. 11-23, 2023.
- [44] M. Abdunnabi, N. Etiab, Y. Nassar, H. El-Khozondar and R. Khargotra, "Energy savings strategy for the residential sector in Libya and its impacts on the global environment and the nation economy," *Advances in Building Energy Research*, vol. 17, no. 4, pp. 379-411, 2023.
- [45] M. Khaleel, A. Alsharif and I. Imbayah, "Renewable Energy Technologies: Recent Advances and Future Predictions," *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*, vol. 1, no. 3, pp. 58-64, 2022.
- [46] M. Almaktar, A. Albrek, F. Mohamed, K. Yahya and T. Hussein, "Performance evaluation of different solar photovoltaic technologies in Libya," in *The 11th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Tunisia, 2020.
- [47] S. Mohammed, N. Yasser, W. El-Osta, H. El-Khozondar, A. Miskeen and A. Basha, "Carbon and Energy Life Cycle Analysis of Wind Energy Industry in Libya," *Solar energy and sustainable development journal*, vol. 12, no. 1, pp. 50-69, 2023.
- [48] Statista, "Cumulative installed solar PV capacity worldwide from 2000 to 2022," [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/280220/global-cumulative-installed-solar-pv-capacity/>.
- [49] O. Rosyid, "Comparative performance testing of photovoltaic modules in tropical climates of Indonesia," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1712, no. 020004, pp. 1-8, 2018.
- [50] V. Benda and L. Černá, "PV cells and modules – State of the art, limits and trends," *Heliyon*, vol. 6, no. 12, p. e05666, 2020.
- [51] M. Dambhare, B. Butey and S. Moharil, "Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1913, p. 012053, 2021.
- [52] A. Mabrouk, Al-Qattan, B. A. Alabdulrazzaq and A. Fakhraldeen, "Comparative performance evaluation of different photovoltaic modules technologies under Kuwait harsh climatic conditions," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 2689-2696, 2020.
- [53] A. Bouaichi, A. AumeurEl Amrani, M. Ouhadou, A. Lfakir and C. Messaoudi, "In-situ performance and degradation of three different photovoltaic module technologies installed in arid climate of Morocco," *Energy*, vol. 190, 2020.
- [54] M. Chikh, S. Berkane, M. A. Berkane, R. S. and Y. Nouredine, "Performance assessment of a 400 kWp multi-technology photovoltaic grid-connected pilot plant in arid region of Algeria," *Renewable Energy*, vol. 172, no. 3, pp. 488-501, 2021.
- [55] A. Hossam-Eldin, Gabra and C., "Analysis of Performance of Different PV modules at Different Locations in Egypt," in *International Conference on Power and Energy Engineering*, Ottawa Canada, September 13-15, 2017.
- [56] S. Fadlallah and D. Serradj, "Determination of the optimal solar photovoltaic (PV) system for Sudan," *Solar Energy*, vol. 208, no. 9, pp. 800-813, 2020.
- [57] S. Abdul-Wahab, Y. Charabi, A. Al-Mahruqi, I. Osman and S. Osman, "Selection of the best solar photovoltaic (PV) for Oman," *Solar Energy*, vol. 188, no. 8, pp. 1156-1168, 2019.
- [58] F. Baloa and L. Şağbaşua, "The selection of the best solar panel for the photovoltaic system design by using AHP," *Energy Procedia*, vol. 100, p. 50 – 53, 2016.
- [59] A. Kafui, I. Seres and I. Farkas, "The state of solar PV and performance analysis of different PV technologies grid-connected installations in Hungary," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 141, 2021.
- [60] A. Lenz, B. Zilli, S. Souza, C. Nogueira, J. Siqueira and I. Werncke, "Stand-alone water pumping system powered by amorphous and polycrystalline photovoltaic panels in Paraná - Brazil," *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 941-952, 2021.
- [61] M. Bashir, H. Ali, S. Khalil, M. Ali and A. Siddiqui, "Comparison of Performance Measurements of Photovoltaic Modules during Winter Months in Taxila, Pakistan," *International Journal of Photoenergy*, vol. 3, pp. 1-8, 2014.
- [62] D. Quansah, M. Adaramola, G. Appiah and I. Edwin, "Performance analysis of different grid-connected solar photovoltaic (PV) system technologies with combined capacity of 20 kW located in humid tropical climate," *international journal of hydrogen energy*, vol. 40, no. 3, pp. 1-10, 2016.
- [63] E. Fuentealba, P. Ferrada, F. Araya, A. Marzo, C. Parrado and C. Portillo, "Photovoltaic performance and LCoE comparison at the coastal zone of the Atacama Desert, Chile," *Energy Conversion and Management*, vol. 95, pp. 181-186, 2015.
- [64] S. Chakraborty, R. Kumar, A. Haldkar and S. Ranjan, "Mathematical method to find best suited PV technology for different climatic zones of India," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 8, p. 153-166, 2017.
- [65] R. Gottschalg, T. Betts, A. Eeles, S. Williams and J. Zhu, "Influences on the energy delivery of thin film photovoltaic modules," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 119, no. 12, pp. 169-180, 2013.
- [66] I. Nour-eddine, B. Lahcen, O. Fahd, B. Amin and O. Aziz, "Outdoor performance analysis of different PV technologies under hot semi-arid climate," *Energy Reports*, vol. 6, no. 6, pp. 36-48, 2020.

- [67] E. Elibol, O. Özmen, N. Tutkun and O. Köysal, "Outdoor performance analysis of different PV panel types," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, no. 1, pp. 651-661, 2017.
- [68] K. Mohammadi, N. Sabory, K. Karimi and T. Senjyu, "Performance evaluation of different photovoltaic (PV) modules: A case study," *Journal of Engineering and Technology Revolution*, vol. 1, pp. 1-8, 2020.
- [69] "Global Wind Report 2023," [Online].
- [70] A. Rasham and J. Mahdi, "Performance of Wind Turbines at Three Sites in Iraq," *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, vol. 8, no. 3, pp. 1327-1338, 2018.
- [71] S. Rehman, S. Khan and L. Alhems, "Application of TOPSIS Approach to Multi-Criteria Selection of Wind Turbines for On-Shore Sites," *Applied Science*, vol. 10, p. 7595, 2020.
- [72] Y. Charabi and S. Abdul-Wahab, "Wind turbine performance analysis for energy cost minimization," *Renewables*, vol. 7, no. 5, 2020.
- [73] W. Kuczyński, H. Wolniewicz and H. Charun, "Analysis of the Wind Turbine Selection for the Given Wind Conditions," *Energies*, vol. 14, no. 22, p. 7740, 2021.
- [74] W. Katarzyna, K. Waldemar and Z. Adam, "Method for wind turbine selection basing on in-field measurements," *Journal of Mechanical and Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 77-84, 2019.
- [75] M. Bencherif, B. Brahmi and A. Chikhaoui, "Optimal selection of Wind Turbine Generators," *International Journal of Computer Applications*, vol. 92, no. 10, pp. 1-10, 2014.
- [76] N. Pang, M. Nan, Q. Meng and S. Zhao, "Selection of Wind Turbine Based on Fuzzy Analytic Network Process: A Case Study in China," *Sustainability*, vol. 13, p. 1792., 2021.
- [77] S. Ali and C. Jang, "Selection of Best-Suited Wind Turbines for New Wind Farm Sites Using Techno-Economic and GIS Analysis in South Korea," *Energies*, vol. 12, no. 16, p. 3140, 2019.
- [78] "CSP Projects Around the World," [Online]. Available: <https://www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-projects-around-the-world/>. [Accessed 2023 May 15].
- [79] A. Hafe, Y. Fathi, M. Hammdan and S. Alsadi, "Technical and economic feasibility of utility—scale solar energy conversion systems in Saudi Arabia," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, vol. 44, p. 213–225, 2020.
- [80] A. Ali, E. Karram, Y. Fathi and A. Hafez, "Reliable and economic isolated renewable hybrid power system with pumped hydropower storage," in *The IEEE 22ed international Middle East power systems conference (MEPCON 2021)*, Assiut University, Assiut-Egypt, 2021.
- [81] A. Gamil, P. Li, B. Ali and M. Hamid, "Concentrating solar thermal power generation in Sudan: Potential and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, p. 112366, 2022.
- [82] E. Agyekum and V. Velkin, "Optimization and techno-economic assessment of concentrated solar power (CSP) in South-Western Africa: A case study on Ghana," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 40, p. 100763, 2020.
- [83] M. Islam, N. Huda and R. Saidur, "Current energy mix and techno-economic analysis of concentrating solar power (CSP) technologies in Malaysia," *Renewable Energy*, vol. 140, pp. 789-806, 2019.
- [84] S. Kamel, E. Agyekum, T. Adebayo, I. Taha, B. Gyamfi and S. Yaqoob, "Comparative analysis of Rankine cycle linear Fresnel reflector and solar tower plant technologies: techno-economic analysis for Ethiopia," *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1677, 2022.
- [85] M. Ahmad and M. Zeeshan, "Validation of weather reanalysis datasets and geospatial and techno-economic viability and potential assessment of concentrated solar power plants," *Energy Conversion and Management*, vol. 256, p. 115366, 2022.
- [86] N. Yasser, K. Amer, I. M. and S. Ahmad, "Economical and Environmental Assessment of Electrical Generators: A Case Study of Southern Region of Libya," *International Journal of Energy Policy and Management*, vol. 1, no. 4, pp. 64-71, 2016.
- [87] B. Belgasim, Y. Aldali, M. J. Abdunnabi, G. Hashem and K. Hossin, "The potential of concentrating solar power (CSP) for electricity generation in Libya," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 90, pp. 1-15, 2018.
- [88] M. Sharif, M. Hossin and S. Al-Hashmi, "Simulation and optimization of a Concentrating Solar Power Plant with Thermal Energy Storage in Sebha city by using System Advisor Model (SAM)," *Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences*, vol. 20, no. 4, pp. 125-131, 2021.
- [89] NREL, "System Advisor Model (SAM)," 2020. [Online]. Available: <https://sam.nrel.gov/download.html> (accessed 9.15.20).
- [90] I. Nour-eddine, B. Lahcen, O. Fahd, B. Amin and O. Aziz, "Outdoor performance analysis of different PV technologies under hot semi-arid climate," *Energy Reports*, vol. 6, p. 36–48, 2020.
- [91] J. Appelbaum and T. Maor, "Dependence of PV Module Temperature on Incident Time-Dependent Solar Spectrum," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 3, p. 914, 2020.
- [92] K. Amer, M. Fakher, A. Salem, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altahbao and E. Salim, "Power Losses on PV Solar Fields: Sensitivity Analysis and A Critical Review," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 9, pp. 1000-1007, 2020.
- [93] E. Loos, "Thin-Film Modules: Considerations For Effective Project Design, Installation, And O&M," *Pure Power Engineering*, 22 June June 22, 2022.
- [94] D. Yadav, N. Singh, V. Bhadoria, V. Vita, G. Fotis, E. Tsampasis and T. Maris, "Analysis of the Factors Influencing the Performance of Single- and Multi-Diode PV Solar Modules," *IEEE Access*, 2023.
- [95] Y. Fathi and A. Salem, "The reliability of the photovoltaic utilization in southern cities of Libya," *Desalination*, vol. 209, no. 1-3, pp. 86-90, 2007.
- [96] D. Blewett, "Wind Turbine Cost: How Much? Are They Worth It In 2023?," [Online]. Available: <https://weatherguardwind.com/how-much-does-wind-turbine-cost-worth-it/>. [Accessed 20 March 2023].
- [97] Y. Nassar, H. El-Khozondar, W. El-Osta, S. Mohammed, M. Elnaggar, M. Khaleel, A. Ahmed and A. Alsharif, "Carbon footprint and Energy Life Cycle Assessment of Wind Energy Industry in Libya," *Energy conversion and management*, 2023.

- [98] Y. Fathi and S. Alsadi, "Wind Energy Potential in Gaza Strip-Palestine state," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 41-57, 2018.
- [99] N. Yasser, Solar energy engineering-Active application, Sebha - Libya: Sebha University, 2006.
- [100] M. Andeef, Y. Nassar, H. Awad, H. El-Khozondar and M. Khaleel, "Transitioning to Solar Fuel Instead of Fossil Fuel in The Electricity Industry in Libya," *International Journal of Electrical Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 32-46, 2023.
- [101] Y. Fathi, M. Abdunnabi, M. Sbeta, A. Hafez, K. Ali, A. Hassan and B. Belgasim, "Dynamic analysis and sizing optimization of a pumped hydroelectric storage-integrated hybrid PV/Wind system: A case study," *Energy Conversion and Management*, vol. 229, p. 113744, 2021.
- [102] M. Abdunnabi, N. Etiab, Y. Nassar, H. El-Khozondar and R. Khargotra, "Energy savings strategy for the residential sector in Libya and its impacts on the global environment and the nation economy," *Advances in Building Energy Research*, 2023.
- [103] A. Makhzom, A. Eshdok, Y. Nassa, S. Alsadi, T. Foqha, M. Salem, I. AlShareef and H. El-Khozondar, "Estimation of CO2 emission factor for Power Industry Sector in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability*, Gaza Strip, Palestine, May 8-9, 2023.
- [104] H. El-Khozondar, F. El-batta, R. El-Khozondar, Y. Nassar, M. Alramlawi and S. Alsadi, "Standalone hybrid PV/wind/diesel-electric generator system for a COVID-19 quarantine center," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, pp. 1-18, 2022.
- [105] M. Eteriki, W. El-Osta, Y. Nassar and H. El-Khozonda, "Effect of Implementation of Energy Efficiency in Residential Sector in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability*, Gaza Strip, Palestine, May 8-9, 2023.
- [106] A. Makhzom, K. Aissa, A. Alshanokie, Y. Nassar, H. El-Khozondar, M. Salem, M. Khaleel, M. Bazina and M. Elmnifi, "Carbon Dioxide Life Cycle Assessment of the Energy Industry Sector in Libya: A Case Study," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 3, pp. 145-163, 2023.