

Research Article

Transitioning to Solar Fuel Instead of Fossil Fuel in
the Electricity IndustryMostafa Andcef^{1*}, Yasser F. Nassar¹, Hilmy Awad², Hala J. El-Khozondar^{3,4}, Mohamed Khaleel⁵¹ Mechanical & Renewable Energy Eng. Dept., Engg. Faculty, Wadi Alshatti University, Brack, Libya² Faculty of Technology and Education, Helwan University, Cairo, Egypt³ Elec. Eng. and Smart Systems Dept., Engg. Faculty, The Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine⁴ Department of Materials and London Centre for Nanotechnology, Imperial College, Exhibition Road, London SW7 2AZ, UK⁵ Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Karabuk University, Karabuk, Turkey*Corresponding author: m.abdulwahab@wau.edu.ly

Received: August 24, 2023

Accepted: September 30, 2023

Published: October 16, 2023

This is an open access article under the BY-CC license

Abstract: This study confirms the economic feasibility and environmental benefits of using concentrated solar power (CSP) as an alternative fuel source for electricity generation in the gas-fired power plant at the Ubari station. This aims to promote sustainable development in the region by reducing oil depletion by a certain percentage and utilizing it in the petrochemical industries with higher economic returns. The System Advisor Model (SAM) program compared several technologies for generating electricity from concentrated solar energy, with varying hours and storage capacities. The levelized cost of energy (LCOE) was adopted as a reference for comparing the options. The results showed that the CSP technology of the solar heliostat field is the best, with an optimal solar energy mix of about 43.6% in the electricity generation system. The ideal design characteristics of the proposed generation system were obtained, including a CSP field capacity of about 400 MW, a thermal storage tank of 11,332 m³, and a total area of about 508 hectares required for field construction. The project capital cost is about \$186,102,644, and the LCOE is about €13.48 for kWh production. The amount of crude oil saved annually was estimated to be about 3,187,726 barrels, representing about \$243,637,912. The annual amount of CO₂ prevented from being released into the atmosphere was estimated to be about 1,735,060 tons per year, with an estimated environmental damage cost of about \$130,129,247 annually.

Keywords: Solar multiple; Concentrated solar mirror field; Concentrated parabolic trough collectors; LCOE.

التحول إلى الوقود الشمسي عوضاً عن الوقود الأحفوري في صناعة الطاقة الكهربائية

مصطفى النظيف¹، ياسر نصار¹، حلمي عواد²، هالة الخزندار^{3,4}، محمد خليل⁵¹ قسم الهندسة الميكانيكية والطاقات المتجددة، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك-اشاطي، ليبيا² كلية التكنولوجيا والتربية، جامعة حلوان، القاهرة، مصر³ قسم الهندسة الكهربائية والأنظمة الذكية، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين⁴ دائرة المواد ومركز دراسة مواد النانو، أمبيريال كوليج، لندن، بريطانيا⁵ قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية الهندسة، جامعة كارابوك، كارابوك، تركيا

المخلص: أكدت هذه الدراسة الجدوى الاقتصادية والمردود البيئي لاستخدام الطاقة الشمسية المركزة كمصدر بديل للوقود الأحفوري في محطات توليد الطاقة الكهربائية، وذلك لتعزيز التنمية المستدامة وتقليل استنزاف النفط والاستفادة منه في الصناعات البترولية والكيميائية ذات المردود الاقتصادي الأعلى. أخذت محطة توليد الطاقة الكهربائية الغازية بأوباري بقدرة 600 MW والتي تعمل على النفط الخام كحالة دراسية. استخدم برنامج المحاكاة الديناميكي (System Adviseor Model – SAM) لدراسة

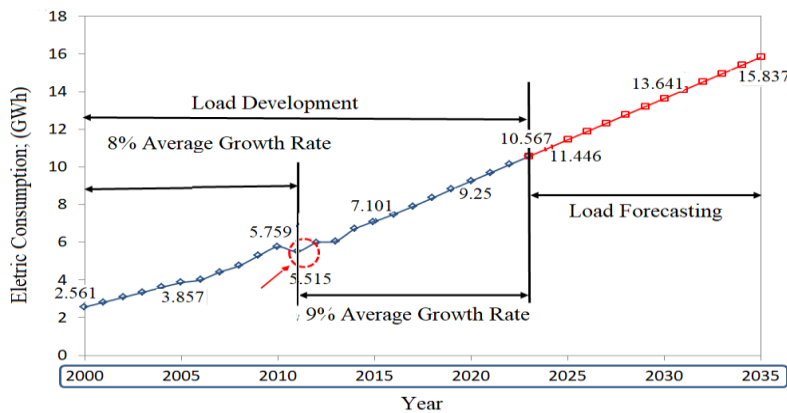
أداء نوعين من تقنيات الطاقة الشمسية المركزة وهما: حقل المرايا الشمسية المركزة وحقل القطع المكافئ المركزة، ويحدد ساعات وقدرات تخزين متفاوتة. واعتمدت تكلفة سعر إنتاج الوحدة الكهربائية (Levelized Cost Of Energy LCOE) كمرجعية للمفاضلة بين الخيارات المتاحة. أظهرت النتائج المتحصل عليها والمعتمدة على ظروف تشغيلية وجوية أن تقنية حقل المرايا الشمسية المركزة هي الأفضل، وبلغت النسبة المثالية لمشاركة الطاقة الشمسية في مزيج توليد الكهرباء حوالي 43.6%. كما تم الحصول على الخصائص التصميمية لمنظومة التوليد المثالية المقترحة وهي كالتالي: تعدد الشمسية 0.43، سعة حقل المرايا حوالي 400 MW، وسعة الخزان الحراري حوالي 311332 m³ ولمدة ساعتين، وإن المساحة الاجمالية اللازمة لإنشاء الحقل حوالي 508 هكتارا، وبلغت تكلفة رأس مال المشروع حوالي \$186,102,644، وقدر سعر إنتاج الوحدة الكهربائية بحوالي 13.48 ¢ لكل kWh، وبلغت كمية النفط الخام التي تم توفيرها سنويا حوالي 3,187,726 برميلا، ويقدر ثمنها بسعر النفط اليوم 21 يونيو 2023 بحوالي \$243,637,912 في السنة. وقدرت كمية GHG التي حبست من الانطلاق في الهواء الجوي بحوالي 1,735,060 طن في السنة والذي يقدر تكلفة الضرر البيئي الناجم منها بحوالي \$130,129,247 في السنة.

الكلمات المفتاحية: تعدد الشمسية؛ حقل المرايا الشمسية المركزة؛ حقل مجمعات القطع المكافئ المركزة؛ تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية.

1. المقدمة

تعتبر الطاقة (بكافة صورها) المحرك الرئيس لتطور المجتمعات البشرية. وتشير الإحصائيات إلى أن حوالي 80% من إجمالي الطاقة الأولية المستهلكة في جميع أنحاء العالم من الوقود الأحفوري [1-3]. كما يؤدي النمو السريع في استهلاك الطاقة العالمي إلى استنزاف الموارد الطبيعية، وتقليل فرص التنمية المستدامة في الدول النامية. حيث تشير التقديرات إلى أن كمية الطاقة الكهربائية المستخدمة ستضاعف خلال العشرين سنة القادمة، ويعود سبب هذه الزيادة في الطلب على الطاقة إلى زيادة عدد السكان والتطور التكنولوجي [4-6]. ومن جهة أخرى سيؤدي ذلك إلى زيادة الضغط على البيئة وسيرافقه تغيرا كبيرا في النظام البيئي، وهذا بدوره أدى إلى ظهور العديد من المشاكل البيئية مثل، ظاهرة الاحترار الكوني، وتغيير المناخ، وانتشار الأمراض، والمجاعات، والجفاف، والتصحر. وبالنظر إلى المخاطر الناجمة عن استخدام الوقود الأحفوري وانعكاساتها السلبية على البيئة، فإن التحدي الكبير الذي يواجهه العالم هو الحفاظ على البيئة من جهة، ومن جهة أخرى امداد المجتمعات البشرية بالطاقة اللازمة للحياة [7-10].

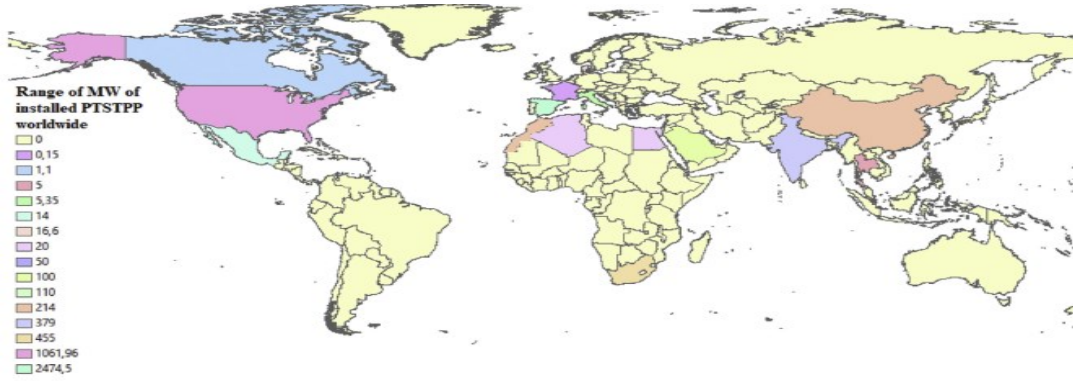
والوضع مشابه في ليبيا، حيث أدت زيادة النمو السكاني والاقتصادي في البلاد إلى زيادة الطلب على الطاقة، مما زاد الضغط بدوره على محطات توليد الطاقة الكهربائية وشبكات التوزيع. الأمر الذي استدعى إلى العديد من الاستثمارات الضخمة في إنتاج الطاقة الكهربائية وشبكات الكهرباء ومحطات التحكم [11-14]. استنادا على بيانات الشركة العامة للكهرباء والطاقات المتجددة الليبية (GECOL)؛ يكشف الشكل (1) الزيادة في الطلب الموسع على الكهرباء في ليبيا، بينما قدرت الزيادة السنوية للطلب على الكهرباء بنسبة تتراوح بين 8-10%. ومن المتوقع أن يزداد هذا الطلب إلى 9 جيجاتوات بحلول عام 2024. وتغطية هذه الزيادة في الطلب على الكهرباء، تخطط شركة GECOL لبناء محطات توليد طاقة جديدة، وتحديث شبكة النقل لزيادة قدرة التوليد والتوزيع في ليبيا [15-19]. ومن أجل الحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري، وحل المشاكل البيئية المصاحبة لعمليات التوليد التقليدية، هدفت ليبيا لإنتاج 10% من إجمالي الكهرباء من الطاقة المتجددة بحلول عام 2025، ولكن توقفت هذه الخطة في عام 2011 بسبب الأوضاع الأمنية التي مرت بها البلاد [20-26]. وبعد الاستقرار النسبي في عام 2020، أعادت الدولة جدولة خطتها الاستراتيجية والتي أعلنت عنها في مؤتمر COP27 المنعقد في مدينة شرم الشيخ بمصر في الفترة من 6 إلى 18 نوفمبر عام 2022، والتي تهدف إلى زيادة نسبة مساهمة الطاقات المتجددة في مزيج إنتاج الطاقة الكهربائية في ليبيا، بحيث تصل إلى 30% في عام 2030 وستتعدى 50% بحلول عام 2050 [27-29]. وسيتم تحقيق ذلك باستخدام الطاقة الشمسية المركزة وطاقة الخلايا الكهروضوئية الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الكتلة الحيوية [30-34].



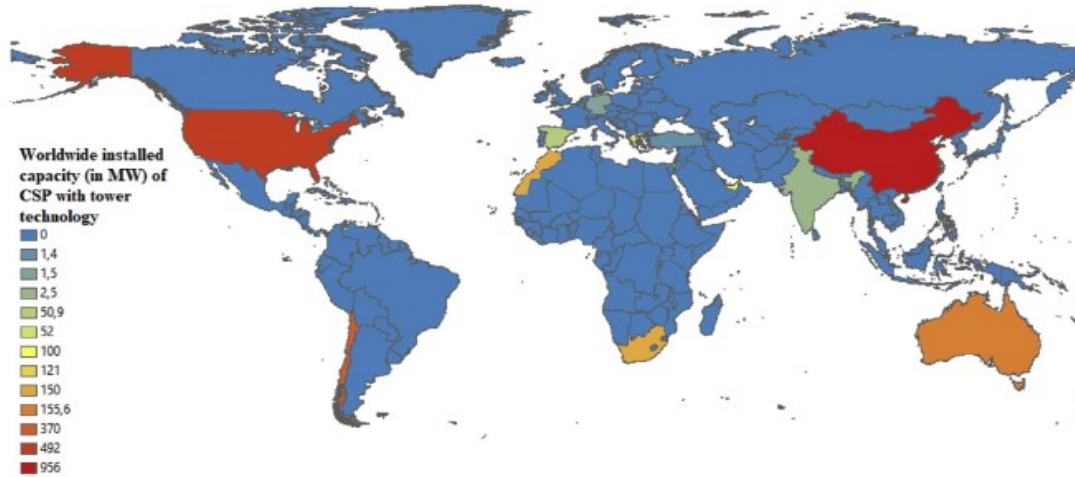
الشكل (1): تطور زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية

تعتبر مصادر الطاقة المتجددة من بين الخيارات الواعدة كبديل للطاقة التقليدية، كونها مستدامة وصديقة للبيئة [35]. تعد محطات الطاقة الشمسية المركزة من أفضل التقنيات المستخدمة لتوليد الكهرباء، خاصة في البلدان التي تتمتع بشدة اشعاع شمسي عالي وعدد ساعات سطوع طويلة. أفادت الوكالة الدولية للطاقات المتجددة IRENA بأن هذه التقنيات تلقى اهتماماً متزايداً بسبب استدامتها، ونظافتها، وقدرتها على التكامل مع أنظمة أخرى، حيث بلغت الطاقة التي تولدها هذه المحطات في عام 2021 إلى 8,378 ميجاواط على المستوى العالمي بنسبة زيادة تقارب 33% عن سنة 2015، وتصدر اسبانيا والولايات المتحدة الأمريكية الدول الرائدة في هذا المجال بنسبة 61% و 18% من الطاقة الكلية المولدة على التوالي.

وقد شهدت دول أخرى في المنطقة مثل المغرب ومصر والامارات العربية المتحدة والسعودية اهتماماً متزايداً بهذه التقنيات، وذلك بفضل وفرة الموارد الشمسية وإصرار حكوماتها على تنفيذ خطة التحول من التوليد التقليدي الى التوليد النظيف. يعتمد استخدام تقنيات الطاقة الشمسية المركزة على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية والتي بدورها تحرك عنفات التوربينات، وتتنوع أنظمة الطاقة الشمسية المركزة بين الوحدات الصغيرة التي تولد بضعة كيلوواط، إلى المحطات الضخمة المرتبطة بالشبكة العامة للكهرباء والتي تولد عدة ميجاواط [35-40]. تستعرض خريطة GIS الانتشار العالمي للمحطات العاملة على تقنيات الطاقة الشمسية المركزة (شكل 2-أ) حقول مجمعات القطع المكافئ المركزة والشكل 2-ب حقول المرايا الشمسية المركزة). تشير احصائيات مؤسسة IRENA الى أن إجمالي السعات المركبة حول العالم من محطات القطع المكافئ المركزة بلغت حوالي 5243 ميجاواط، ومن محطات المرايا الشمسية المركزة حوالي 2587 ميجاواط.



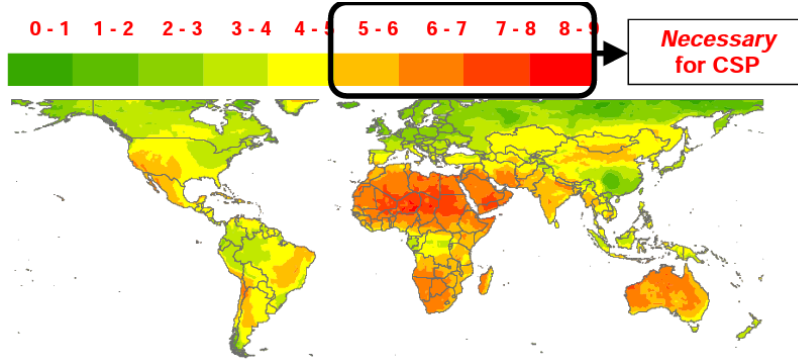
الشكل (2-أ): خريطة لمواقع محطات القطع المكافئ المركزة والقدرات الانتاجية في جميع أنحاء العالم [41]



الشكل (2-ب): خريطة لمواقع محطات حقل المرايا المركزة والقدرات الانتاجية في جميع أنحاء العالم (MW) [41]

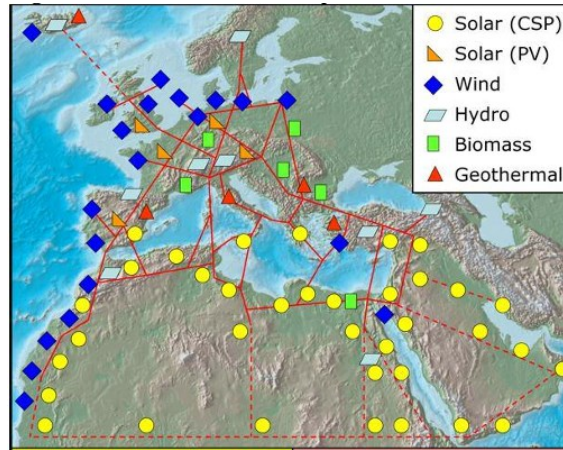
تحاول ليبيا استغلال الطاقة البديلة والنظيفة لتحقيق التنمية المستدامة، وللوفاء بالتزاماتها تجاه معاهدة باريس والمجتمع الدولي، بالحد من التلوث وتلطيف الأضرار الناجمة من الاحتباس الحراري والتغير المناخي، وذلك عن طريق تخفيض كمية انبعاثات الغازات الدفينة. وبالنظر الى مستويات التلوث في البلاد، فإن قطاع صناعة الطاقة الكهربائية يعتبر القطاع الأكثر تلويثاً من كافة القطاعات الأخرى، حيث تبلغ مساهمة قطاع صناعة الطاقة الكهربائية حوالي 34% من مجموع انبعاثات الغازات الدفينة في البلاد [33-37]. تقع ليبيا في وسط شمال إفريقيا وتمتد على مساحة 1,759,540 كيلومتر مربع، وغالبية البلاد صحراء، مما يجعلها من الدول الأكثر حظاً لتسخير الطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية، ولما لها من إمكانات

هائلة من الاشعاع الشمسي الأفقي والعمودي المباشر ($5,000Wh/m^2/day$) كما هو موضح في الشكل 3، وعدد سطوع شمسي تصل الى 4000 ساعة سنويا [38-45]. وبحسب تقرير المركز الجوي الألماني، فإن كل كيلومتر مربع من هذه المنطقة يمكن له أن يولد كمية من الطاقة الشمسية تعادل مليون ونصف برميل نطف خام سنويًا.



الشكل (3) خريطة الاشعاع الشمسي العمودي المباشر الكلي اليومي

وعلى هذا الأساس، وافق المجلس الأوروبي على الخطة الإقليمية لتوليد 20 جيجاواط من الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في البلدان حول البحر الأبيض المتوسط. تتمحور خطة الطاقة الشمسية حول شبكة تربط شمال إفريقيا وأوروبا من شأنها الاستفادة من موارد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح الهائلة في شمال إفريقيا لتغذية أوروبا بالطاقة النظيفة كما هو موضح في الشكل 4.



الشكل (4): خطة اوروبا لاستغلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا

تم إجراء العديد من الدراسات حول العالم للتأكد من الإمكانيات التقنية والاقتصادية لتقنيات الطاقة الشمسية المركزة في أماكن متعددة حول العالم. أجرى Hafez وآخرون مقارنة اقتصادية وتقنية لطيف واسع من تقنيات توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية في السعودية، شملت الخلايا الفوتوضوئية الثابتة والمتحركة، والمركبات الشمسية مثل: الصحن الشمسي المركز، ومجمع القطع المكافئ، وحقل المرايا وعاكسات فريزل الخيطية. وباعتبار أقل تكلفة لإنتاج وحدة الطاقة الكهربائية (LCOE) كمرجعية للتفاضل. بينت النتائج المتحصل عليها أن هذه التقنيات لها ارتباطاً كبيراً مع الظروف الجوية والأحمال الكهربائية، وكان توزيع التقنيات متبايناً جغرافياً [46]. كما قدم Ali وآخرون تصميماً لمنظومة هجينة تتكون من حقل الصحن الشمسية المركزة ومزرعة طاقة رياح بالتكامل مع منظومة تخزين الطاقة الهيدروليكية، لتغطية 100% من الاحمال الكهربائية لمدينة الغردقة على الساحل الشرقي لجمهورية مصر. بينت النتائج المتحصل عليها أن استخدام الصحن الشمسية المركزة أفضل من استخدام الخلايا الشمسية [47]. أجرى Islam وآخرون تقييماً تقنياً واقتصادياً لتقنيات الطاقة الشمسية المركزة المختلفة في ماليزيا. وخلصت الدراسة إلى أن تقنية القطع المكافئ (PTC)، وحقل المرايا الشمسية (STP) هما أفضل تقنيات الطاقة الشمسية المركزة، كما تم تحديد أفضل المواقع لإنشاء محطات توليد الطاقة في ماليزيا [48].

كما قام Abaza وآخرون بتقييم الإمكانات التقنية والاقتصادية لمحطة طاقة شمسية بقدرة 10 ميغاواط لمصنع يزود بالطاقة الشمسية بنسبة 100٪. أشارت الدراسة أن حقل المرايا الشمسية المركزة بالتكامل مع وحدة تخزين حرارية سيكون الخيار الاقتصادي لتشغيل دورة رانكن بقدرة 10 MW [49]. قيم Aly وآخرون إمكانات دمج تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة في مزيج توليد الطاقة في تنزانيا. وخلصت الدراسة إلى تأكيد الجدوى الاقتصادية للطاقة الشمسية المركزة في تنزانيا [50]. أجرى Andika وآخرون دراسة حول التأثير الاقتصادي التقني لتغييرات التصميم في أنظمة الطاقة الشمسية المركزة نوع TES. وأشارت الدراسة إلى أن تكلفة النظام تتغير مع نوع التخزين المستخدم [51]. قام Purohit and Purohit بتحليل الإمكانات التقنية والاقتصادية للطاقة الشمسية المركزة في الهند. توضح النتائج المتحصل عليها من الدراسة أن تقنية الطاقة الشمسية المركزة مجدية في الجزء الشمالي الغربي من البلاد وعلى وجه التحديد في ولايتي راجستان وغوجارات [52]. تحقق Fritsch وآخرون من الجدوى الاقتصادية لمحطة الطاقة الحرارية الشمسية المركزة باستخدام كلوريد الصوديوم السائل كسائل لنقل الحرارة [53]. كما قام Zhang وآخرون بتقييم علاقة سعة التخزين الحراري وتكلفة رأس المال وتكلفة الإنتاج [54].

تتطلع هذه الدراسة إلى الحفاظ على التوازن بين الطلب على الطاقة والحفاظ على البيئة المحلية لتحقيق التنمية المستدامة، وذلك عن طريق توطين صناعة الطاقة الشمسية المركزة في البلاد. وتسلط الدراسة الحالية الضوء على المردود الاقتصادي والبيئي من استخدام الطاقة الشمسية المركزة كوقود شمسي عوضاً عن الوقود الأحفوري في صناعة توليد الطاقة الكهربائية. إن الهدف الرئيس لهذه الورقة هو تقديم تقييم فعّال لإمكانات الطاقة الشمسية المركزة في ليبيا. كما تشكل هذه الدراسة خارطة طريق لتنفيذ مشاريع الطاقة الشمسية المركزة في ليبيا، والتي سوف تُساعد على التخطيط للمستقبل واتخاذ القرارات السياسية بهذا الشأن في البلاد. كما تتوقع الدراسة أن يتم استخدام هذه التكنولوجيا الجديدة في تطوير محطات توليد الطاقة الشمسية المركزة في منطقة الصحراء الكبرى والشرق الأوسط. علاوةً على ذلك، تشمل الدراسة تقييماً للوضع الطاقوي-البيئي-الاقتصادي، عن طريق تسليط الضوء على الموارد البيئية المتوفرة واحتياجات الطاقة والميزان الاقتصادي للبلاد، وصولاً إلى التكامل والتوازن بين المتاح والعرض والطلب. يتم في هذا السياق عرض نظم الطاقة الشمسية المركزة وتقييم عوامل نجاح تطبيقاتها. يشتمل باقي البحث على ثلاثة أجزاء رئيسية؛ عرضت نبذة مختصرة عن موقع الدراسة في الجزء الثاني. وتضمن الجزء الثالث الطرق ومنهجية البحث، حيث سردت الطرق المتبعة للمحاكاة الديناميكية لتقنيات الطاقة الشمسية المركزة المقارنة، ولتحقيق أهداف الدراسة. بينما استعرض الجزء الرابع النتائج المتحصل عليها وكذلك تمت مناقشتها. ودرجت الاستنتاجات والتوصيات في الجزء الخامس، وختمت الدراسة بقائمة المراجع المستخدمة في الدراسة.

2. الأحمال الكهربائية لموقع الدراسة

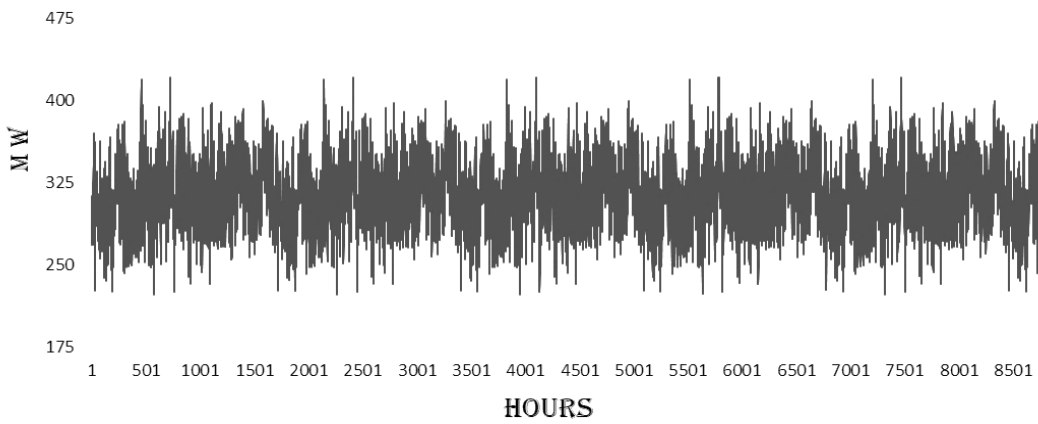
تقع محطة أوباري الغازية في مدينة أوباري في غرب ليبيا بين خطي طول 26.566 و عرض 12.679 على بعد حوالي 900 كيلومتر جنوب العاصمة طرابلس. تعتبر الأحمال الكهربائية وكمية استهلاك الوقود من أهم العناصر التصميمية التي يجب مراعاتها عند تصميم وتنفيذ أي محطة كهربائية [55-58]. وبناء على المعلومات المقدمة من وحدة التحكم والمراقبة والتشغيل في محطة أوباري لعام 2022، فقد بلغ إنتاج الطاقة الكهربائية السنوي (2748.397 GWh/year). وبلغت كمية استهلاك الوقود السنوية (5,594,118) برميل نפט. يوضح الشكلان 5 و6 إنتاجية الطاقة الكهربائية واستهلاك الوقود الساعي على مدار سنة 2022 في محطة أوباري الغازية على التوالي.

3. منهجية البحث

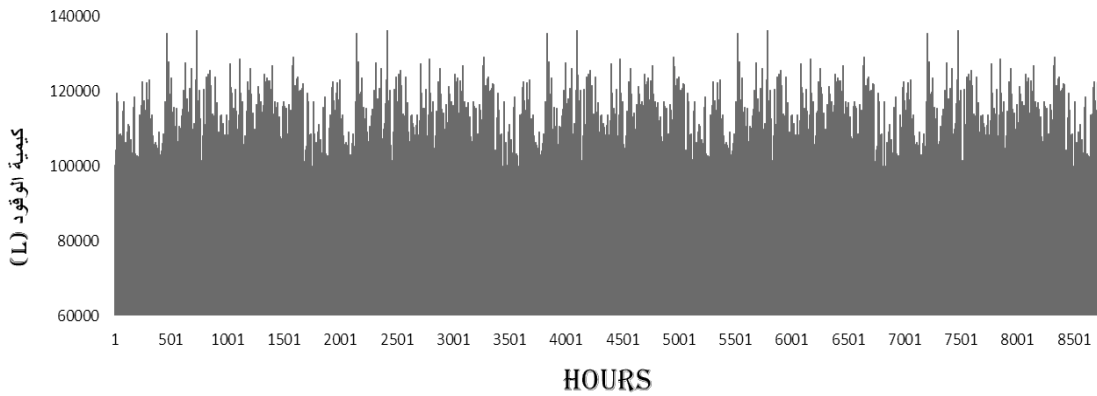
تناولت الدراسة المقارنة الاقتصادية بين تقنيتين لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية المركزة وهي: حقل المرايا الشمسية، وحقل القطع المكافئ، وفيما يلي شرحاً مبسطاً عن كل تقنية.

1.3 حقل القطع المكافئ المركزة Parabolic trough

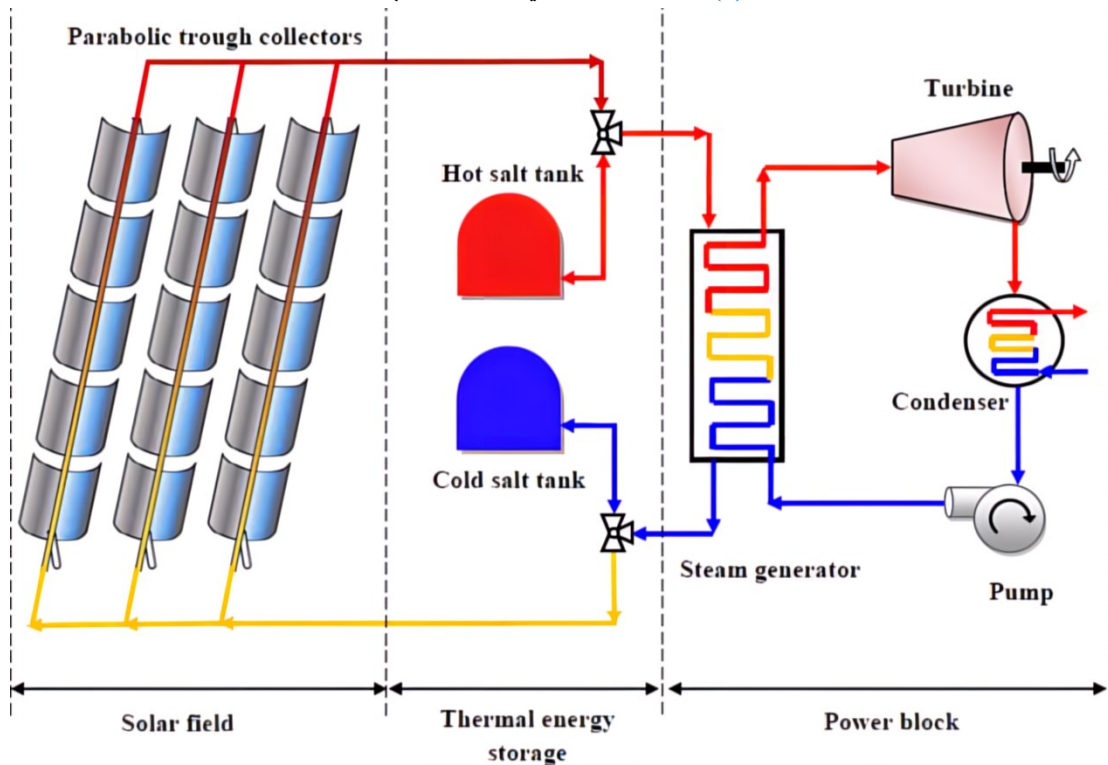
تعتبر محطة الطاقة الشمسية Parabolic trough من أكثر التقنيات نضوجاً وتطوراً ونجاحاً في توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية. يوضح المخطط الوصفي (الشكل 7) رسماً توضيحياً لمحطة حوض القطع المكافئ المركزة. تجتمع عدة مجمعات للطاقة الشمسية Parabolic trough في الحقل الشمسي، وتتكون من مجموعة من المرايا المنحنية داخل الأحواض المكافئة. ويتدفق السائل الحراري (مثل الملح المصهور أو الزيت أو الماء في حالة الأنظمة المباشرة لتوليد البخار) داخل الأنابيب الموضوع في البؤرة الخطية لحوض القطع المكافئ. يتم ترتيب مجمعات الطاقة الشمسية في سلسلة من الحلقات موجهة نحو الاتجاه الشمالي والجنوبي لتتبع الشمس. كما يمكن استخدام تخزين الطاقة الحرارية للمحافظة على إنتاج الكهرباء حتى بعد غروب الشمس، ويتم استخدام الطاقة الحرارية المستخرجة من الحقل الشمسي لتوليد البخار. وتتميز هذه الأنظمة إلى مرونتها في التكامل مع أنظمة الطاقة التقليدية أو المتجددة الأخرى [59-61].



الشكل (5): انتاج الطاقة الكهربائية في محطة أوباري



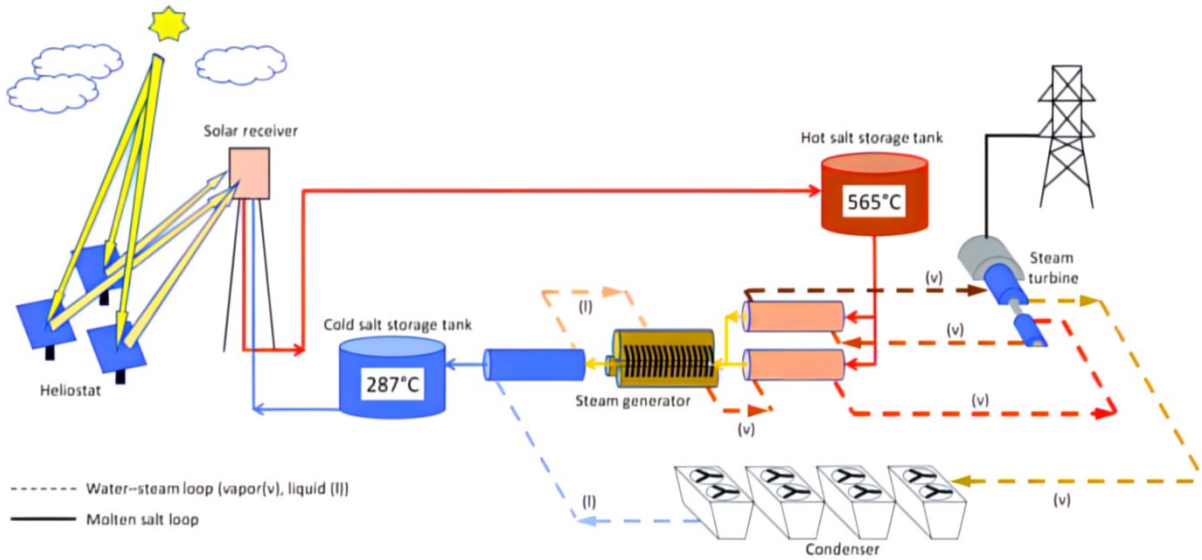
الشكل (6): استهلاك الوقود في محطة أوباري الغازية



الشكل (7): محطة توليد طاقة كهربائية على اساس القطع المكافئ المركزة

2.3. حقل المرايا الشمسية المركزة

يعرف هذا النظام أيضا بتقنية المستقبل المركزي، ويتألف الحقل الشمسي من عدة صفوف من متتابعات دائرية محورية تحتوي على عدد من المصفوفات المسطحة أو قليلة الانحناء. تم جمع هوليوسنات من مجموعة كبيرة من مرايا تتبع الشمس وتركز الإشعاع الشمسي على جهاز استقبال مركزي لإنتاج حرارة عالية. وتصنف المستقبلات المركزية حسب الحجم، والتجفيف، الجسيمات والمستقبلات الخارجية، وتصل درجة حرارة هذه الأنظمة إلى 800 درجة مئوية بتركيز ما بين 600-1,000 ضعف شمسي. الشكل 8 يوضح الرسم التخطيطي لمحطة طاقة Solar tower. وتعتبر الصين الدولة الرائدة في هذا المجال، حيث تمتلك ما قيمته 37% من إجمالي القدرات المركبة حول العالم والتي بلغت حوالي 6.8 جيجاواط في عام 2021، تليها الولايات المتحدة بنسبة 19%. يمتاز هذا النظام بدرجة حرارة عالية تصلح لدفع مختلف أنواع دورات الطاقة بما في ذلك دورات بخارية رانكين وبرابتون بسبب مرونتها، ويمكن دمجها مع أنظمة TES في توليد الطاقة بعد غروب الشمس [62]. يوضح المخطط الوصفي (الشكل 8) رسما توضيحيا لمحطة حقل المرايا المركزة لتوليد الطاقة الكهربائية.



الشكل (8): محطة حقل المرايا المركزة لتوليد الطاقة الكهربائية

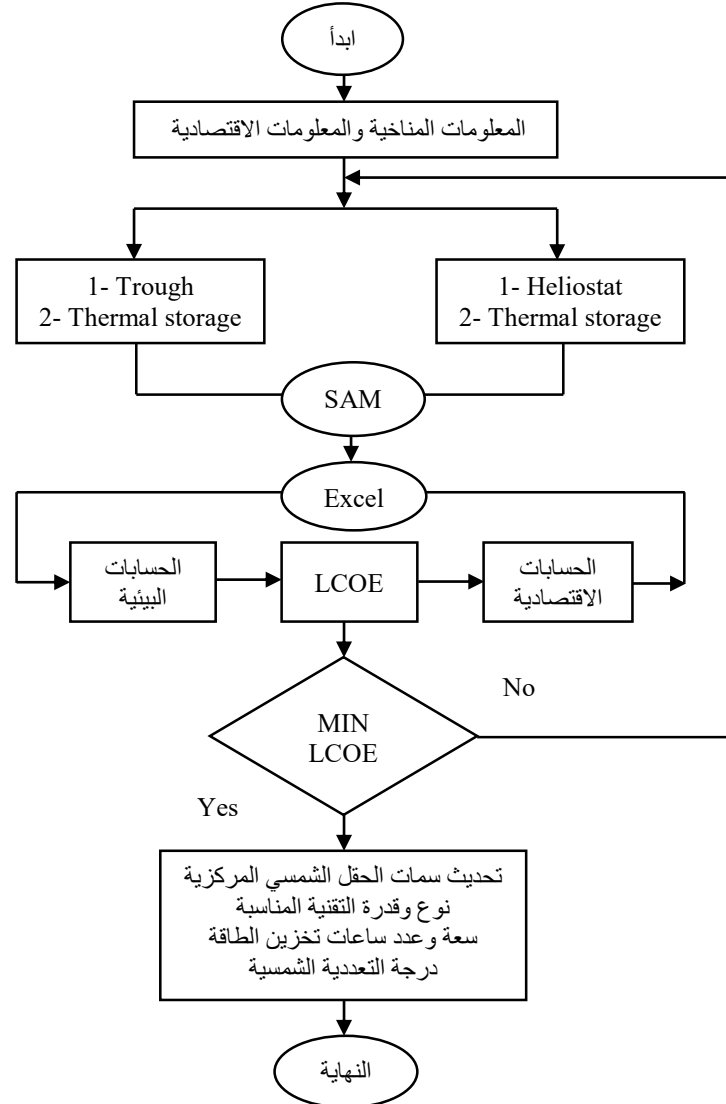
يضم الجدول 1 مقارنة بين أنظمة الطاقة الشمسية المركزة، ومن بين هذه الأنظمة، فإن Parabolic trough و Heliostat filed مناسبة لتوليد الطاقة بين 10-200 ميجاواط، وبالنسبة لكفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء، فإن Parabolic trough يحقق كفاءة أقل من Heliostat filed. كما يمكن دمج Parabolic trough مع تخزين الطاقة إما مباشرة أو غير مباشرة باستخدام خزائين ملح مصهور، ويمكن استخدام أنظمة التخزين المباشرة لحقل المرايا الشمسية المركزة [63].

جدول (1): المقارنة بين أنظمة الطاقة الشمسية المركزة

المؤشر	الوحدة	Parabolic trough	Heliostat filed
حدود السعة	MW	200 – 10	200-10
نسبة تركيز	-	80 – 70	1000-300
نظام التتبع	-	Single-axis	Two-axis
درجة حرارة التشغيل	°C	390 – 290	500-250
دورة الطاقة	-	Steam and organic Rankine	Steam Rankine and Brayton
الكفاءة الشمسية / الكهربائية السنوية	%	15	35-20
رأس المال	\$/kW	3972	4000<
رأس المال	\$/m ²	424	476
تكلفة التشغيل والصيانة	\$/kWh	0.02 – 0.012	0.034

2-3 (wet cooling)	3 (wet cooling)	m^3/MWh	استهلاك الماء
0.25 (dry cooling)	0.3 (dry cooling)		
0.036	0.025	km^2/MW	استخدام الأراضي

تمت عملية محاكاة منظومات الطاقة الشمسية المركزة لكل من حقل المرايا وحقل القطع المكافئ المركزة باستخدام برنامج المحاكاة الديناميكي SAM (System Advisor Model). ويبين الشكل (9) تدفق البيانات وسير العمليات الحسابية المتبعة في البحث.



الشكل (9): المخطط الانسيابي لمنهجية البحث

4. التقييم الاقتصادي-البيئي للطاقة الشمسية المركزة

لا يوجد مصادر محددة تتحدث عن التقييم الاقتصادي للطاقة الشمسية المركزة LCOE في ليبيا، ولكن بعض المصادر تتحدث عن الإمكانيات والفرص المتاحة للاستثمار في هذه التقنية في البلاد [64]. يمكن استخدام مصادر مختلفة لتحديد LCOE، بما في ذلك تكلفة الاستثمار والصيانة والتشغيل والإيرادات المتوقعة. ومن المهم ملاحظة أن تقييم LCOE يختلف من بلد لآخر ويتأثر بعوامل مثل الطقس وتكلفة الوقود الأحفوري والتشريعات المحلية وغيرها.

$$LCOE = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} C + OM - EDC \quad (1)$$

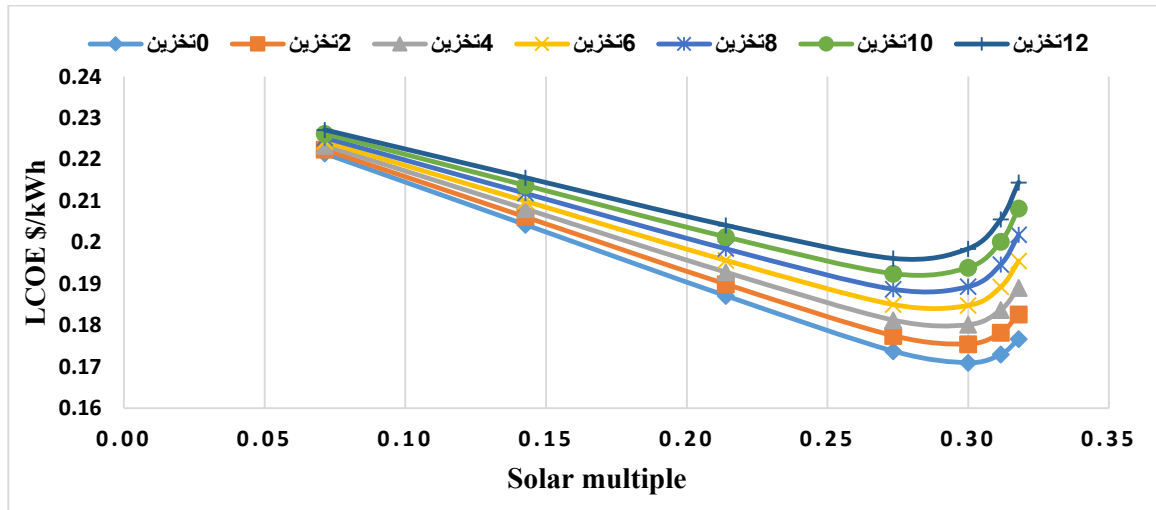
حيث: تمثل C_{CPC} متوسط التكاليف الرأسمالية للنظام بالدولار الأمريكي، $\sum o_{CPC}$ هي تكاليف التشغيل والصيانة للنظام، يشير $\sum E_{CPC}$ إلى إنتاجية الطاقة السنوية $KWh/year$ ، و EDC وهي تكلفة العائد البيئي، و i هو معدل الفائدة ويفترض أنه يساوي 8%، و n هو عمر النظام ويفترض أن يكون 30 عامًا [67-65].

5. النتائج والمناقشة

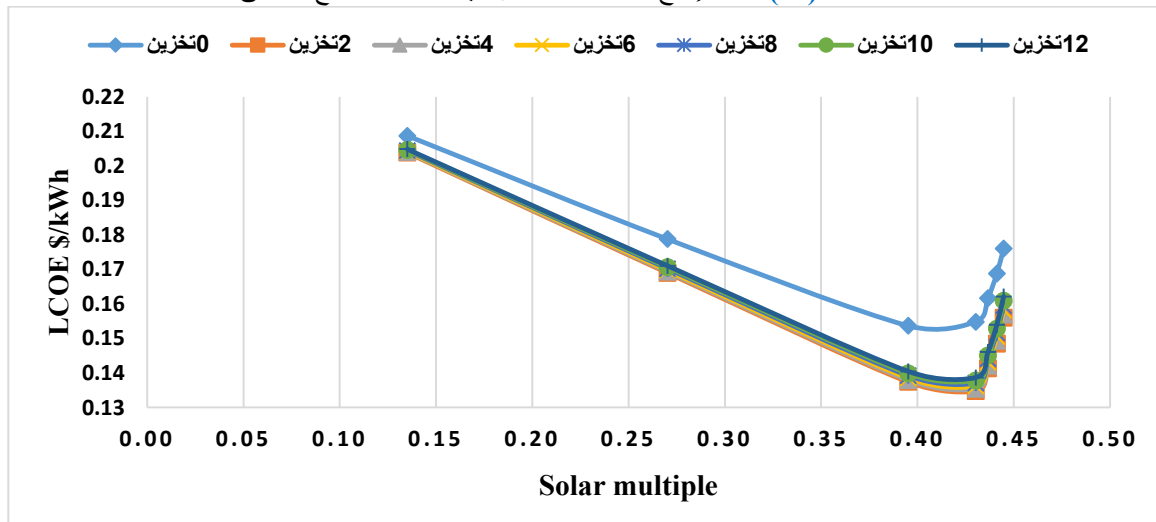
تم دراسة نوعين من تقنيات توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية المركزة وهما حقل المرايا الشمسية وحقل القطع المكافئ، وبقدرة مختلفة (100-200-300-400-500-600-700) ميغاوات ولساعات تخزين متعددة (0-2-4-6-8-10-12) ساعة باستخدام برنامج المحاكاة SAM الاصدار 29.2.2020.

1.5. التحليل الاقتصادي والبيئي

تعتبر درجة التعددية الشمسية (Solar Multiple) للحقل الشمسي المركز المفتاح لمعايير تصميم الطاقة الشمسية المركزة، حيث أن الحجم الكبير للحقل يكون مكلفاً، ومن جهة أخرى، قد يعيق الحقل الصغير الوظيفة الأساسية للحقل ويؤدي إلى سوء استخدام رأس مال المستثمر [69,68]. يمكن أن تشكل الطاقة الشمسية المركزة بالتكامل مع وحدة تخزين حرارية خياراً مربحاً ومرئياً لمحطات توليد الطاقة الكهربائية الاستراتيجية، خاصة في ظل التوجه العام إلى زيادة مشاركة الطاقات المتجددة النظيفة في مزيج توليد الطاقة الكهربائية [71,70]. لهذه الأسباب، قيمت هذه الدراسة تأثير كل من درجة التعددية الشمسية وسعة الخزان الحراري لكلا النوعين وتم اعتماد أقل LCOE كمرجعية للتفاضل بين الخيارات المتاحة. بينت نتائج التحليل في الشكل 10 و 11 الخيارات المتاحة لكليهما.



الشكل (10): تكلفة إنتاج الطاقة LCOE بتقنية مجمعات القطع المكافئ



الشكل (11): تكلفة إنتاج الطاقة LCOE لتقنية الابراج الشمسية

يعتبر النفط الليبي الخام مورداً هاماً للاقتصاد الوطني، حيث يتم استخدامه في العديد من الصناعات المختلفة. ومن بين هذه الصناعات، تأتي الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية، حيث يتم استخدام النفط الخام لإنتاج مواد كيماوية وبتروكيماوية مختلفة مثل البلاستيك والأسمدة والأصبغ والأدوية [72]. كما يتم استخدام النفط الليبي الخام في صناعة الوقود، حيث يتم تحويله إلى مصادر أخرى للطاقة مثل الكيروسين والديزل والغاز الطبيعي المسال ومن هنا جاءت فكرة البحث للتقليل من حرق النفط الخام واستخدام الوقود الشمسي عوضاً عن ذلك في إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات توليد الطاقة في ليبيا حيث بلغت القيمة الحرارية للنفط الخام 3.09 kWh/l مأخوذة من محطة أوباري لتوليد الطاقة الكهربائية بالنفط الخام، ووصل سعر برميل النفط الليبي 76.705 دولار بتاريخ 2023/6/8 مع العلم أن حجم برميل النفط الواحد يساوي 159L [73]. أما بالنسبة للتحليل البيئي فإن تكلفة الضرر البيئي لاستخدام النفط الخام في إنتاج الطاقة الكهربائية تعتمد على عدة عوامل، مثل كمية الانبعاثات التي تترتب على استخدام النفط، وتأثير هذه الانبعاثات على البيئة والصحة العامة، وتكلفة إصلاح الأضرار الناجمة عنها [75,74]. وبشكل عام، يمكن القول إن استخدام النفط الخام في إنتاج الطاقة الكهربائية يترتب عليه انبعاثات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري، وهذا يؤدي إلى زيادة درجات الحرارة في الأرض وتغير المناخ، مما يؤثر على الحياة البرية والبحرية وصحة الإنسان. حيث بلغ معامل انبعاث غاز CO₂ 1.154 kg CO₂/KWh وتقدر تكلفة الضرر البيئي لكل 1 طن من ثاني أكسيد الكربون (CO₂) حوالي 75 دولارًا أمريكيًا، وهذا يعني أن استخدام النفط الخام في إنتاج الطاقة الكهربائية يترتب عليه تكلفة ضخمة من الضرر البيئي [76-81]. ولذلك، يجب العمل على استبدال أو التقليل من النفط الخام واستخدام الطاقات المتجددة لإنتاج الكهرباء وتقليل الانبعاثات الضارة المترتبة على استخدام النفط الخام، للحفاظ على البيئة وصحة الإنسان [82-87].

6. الاستنتاجات

في هذه الدراسة تم عرض الإمكانيات التقنية والاقتصادية لنظامين مختلفين STP و PTC لمحطة توليد الطاقة. والتحليل الذي تم القيام به للتأكد من التكنولوجيا المثلى للطاقة الشمسية المركزة في ليبيا وبلدانها وأيضاً الدول المجاورة ذات الموارد الشمسية المماثلة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو توفير معلومات حول التقنيتين للحكومة الليبية وكذلك للمهندسين خلال مراحل التصميم. ومن نتائج المحاكاة تبين أن:-

- أقل قيمة لوحدة إنتاج الطاقة الكهربائية LCOE لحقل المرايا الشمسية المركزة كانت 13.48 سنت/كيلووات ساعة بينما LCOE لحقل القطع المكافئ 17.09 سنتا/كيلووات ساعة.
- تبلغ سعة حقل المرايا الشمسية المثالية حوالي 400 ميغاوات ومعامل التغطية حوالي 43.6% من الطاقة الكهربائية المنتجة في المحطة، بينما تبلغ سعة حوض القطع المكافئ 500 ميغاوات وبمعامل تغطية 29.9% من الطاقة المنتجة.
- حقل المرايا الشمسية لديه وقت تخزين يصل إلى ساعتين بينما الحوض المكافئ لديه 0 ساعة من وقت التخزين.
- تبلغ مساحة حقل المرايا الشمسية 5,076,220 متراً مربعاً بينما تبلغ مساحة الحوض المكافئ 4,733,696 متراً مربعاً.
- يبلغ حجم الخزان في حقل المرايا الشمسية 11332 m³ بينما لا يحتوي حوض Parabolic Trough على خزان.
- تبلغ تكلفة النفط الخام لحقل المرايا الشمسية 243.637.911.5 دولار بينما تبلغ تكلفة حوض القطع المكافئ 299.336.438 دولار.
- تبلغ تكلفة الأضرار البيئية الناجمة عن ثاني أكسيد الكربون لحقل المرايا الشمسية 130129247.2 دولارًا بينما تبلغ تكلفة حوض القطع المكافئ 159.878342 دولارًا.
- تبلغ الفوائد البيئية لحقل المرايا الشمسية 623.31،233،98 دولار أمريكي بينما تبلغ فائدة حوض القطع المكافئ 528.46،484،68 دولار.
- تبلغ تكلفة رأس المال المبدئي لحقل المرايا الشمسية 432،026،861،1 دولارًا أمريكيًا بينما تبلغ تكلفة حوض القطع المكافئ 400،351،551،1 دولار.

مساهمات المؤلفين: قدم جميع المؤلفون مساهمة جوهرية ومباشرة وفكرية في العمل ووافقوا جميعاً على النشر.

التمويل: لم يتلق هذا البحث أي تمويل خارجي.

بيان توفر البيانات: لا ينطبق.

شكر وتقدير: نود أن ننتهز هذه الفرصة للتعبير عن خالص امتناننا وشكرنا وتقديرنا لمركز بحوث الطاقات المتجددة والتنمية

المستدامة بجامعة وادي الشاطي على دعمهم الذي لا يقدر بثمن خلال بحثنا.

تضارب المصالح: يعلن المؤلفون عن عدم وجود أي تضارب في المصالح.

ORCID

Mostafa Andeef <https://orcid.org/0009-0003-4306-790X>

Yasser F. Nassar <https://orcid.org/0000-0002-9675-8304>

Hilmy Awad <https://orcid.org/0000-0003-0926-3889>

Hala J. El-Khozondar <https://orcid.org/0000-0003-4384-1208>

Mohamed Khaleel <https://orcid.org/0000-0002-3468-3220>

References

- [1] A. Sharma, A. Anand, A. Shukla, and D. Buddhi, "Nanotechnology in concentrated solar power technology," in *Solar Energy Harvesting, Conversion, and Storage*, M. Khalid, R. Walvekar, H. Panchal, and M. Vaka, Eds. Elsevier, 2023, pp. 43–73. [[Google Scholar](#)]
- [2] T. Alqahtani, "Performance assessment and optimization of concentrated solar power plants with paired metal hydride-based thermochemical energy storage," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 236, no. 121750, p. 121750, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [3] D. Miron, A. Navon, Y. Levron, J. Belikov, and C. Rothschild, "The cost-competitiveness of concentrated solar power with thermal energy storage in power systems with high solar penetration levels," *J. Energy Storage*, vol. 72, no. 108464, p. 108464, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [4] A. H. Alami *et al.*, "Concentrating solar power (CSP) technologies: Status and analysis," *International Journal of Thermofluids*, vol. 18, no. 100340, p. 100340, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [5] A. R. Gamarra, S. Banacloche, Y. Lechon, and P. del Río, "Assessing the sustainability impacts of concentrated solar power deployment in Europe in the context of global value chains," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 171, no. 113004, p. 113004, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [6] S. Abdulwahab, Y. F. Nassar, H. J. El-Khozondar, M. Khaleel, A. A. Ahmed, and A. Alsharif, "Meeting solar energy demands: Significance of transposition models for solar irradiance," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, pp. 90–105, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [7] H. Suo, X. Guan, S. Wu, and Z. Fan, "Energy performance assessment of the container housing in the subtropical region of China upon future climate scenarios," *Energies*, vol. 16, no. 1, p. 503, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [8] J. L. Rocha *et al.*, "North African fox genomes show signatures of repeated introgression and adaptation to life in deserts," *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 7, no. 8, pp. 1267–1286, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [9] 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)*, pp. 27–43, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [10] M. Ahmad and M. Zeeshan, "Multi-objective optimization of concentrated solar power plants from an energy-water-environment nexus perspective under distinct climatic conditions – Part B: Environ-economic analysis," *J. Clean. Prod.*, vol. 385, no. 135689, p. 135689, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [11] M. Khaleel, Z. Yusupov, N. Yasser, and H. Elkhazondar, "Enhancing Microgrid performance through hybrid energy storage system integration: ANFIS and GA approaches," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 2, pp. 38–48, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [12] C. J. Brauer *et al.*, "Natural hybridization reduces vulnerability to climate change," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 13, no. 3, pp. 282–289, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [13] R. Wazirali, E. Yaghoubi, M. S. S. Abujazar, R. Ahmad, and A. H. Vakili, "State-of-the-art review on energy and load forecasting in microgrids using artificial neural networks, machine learning, and deep learning techniques," *Electric Power Syst. Res.*, vol. 225, no. 109792, p. 109792, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [14] M. Khaleel, E. Yaghoubi, E. Yaghoubi, and M. Z. Jahromi, "The role of mechanical energy storage systems based on artificial intelligence techniques in future sustainable energy systems," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 4, pp. 01–31, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [15] M. Elmnifi, M. Amhamed, N. Abdelwanis, and O. Imrayed, "Solar supported steam production for power generation in Libya," *Acta Mech. Malays.*, vol. 2, no. 2, pp. 05–09, 2018. [[Google Scholar](#)]

- [16] M. K. A. Ghayth and Z. Yusupov, "Performance enhancement of PV array utilizing Perturb & Observe algorithm," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, vol. 1, no. 2, pp. 29–37, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [17] Z. Yusupov, E. Yaghoubi, and V. Soyibjonov, "Reducing the vulnerability in microgrid power systems," *Science and innovation*, vol. 2, no. A5, pp. 166–175, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [18] A. M. Makhzom *et al.*, "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. [[Google Scholar](#)]
- [19] Y. F. Nassar *et al.*, "Thermoelectrical analysis of a new hybrid PV-thermal flat plate solar collector," in *2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)*, 2023, pp. 1–5. [[Google Scholar](#)]
- [20] A. H. Alsharif *et al.*, "Mitigation of dust impact on solar photovoltaics performance considering Libyan climate zone: A review," pp. 22–27, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [21] Y. Nassar *et al.*, "Simulating the energy, economic and environmental performance of concentrating solar power technologies using SAM," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 4–23, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [22] A. M. A. Mohamed, A. Al-Habaibeh, and H. Abdo, "An investigation into the current utilisation and prospective of renewable energy resources and technologies in Libya," *Renew. Energy*, vol. 50, pp. 732–740, 2013. [[Google Scholar](#)]
- [23] B. Belgasim, Y. Aldali, M. J. R. Abdunnabi, G. Hashem, and K. Hossin, "The potential of concentrating solar power (CSP) for electricity generation in Libya," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 90, pp. 1–15, 2018. [[Google Scholar](#)]
- [24] A. M. A. Mohamed, A. Al-Habaibeh, H. Abdo, and S. Elabar, "Towards exporting renewable energy from MENA region to Europe: An investigation into domestic energy use and householders' energy behaviour in Libya," *Appl. Energy*, vol. 146, pp. 247–262, 2015. [[Google Scholar](#)]
- [25] Y. Nassar, K. Amer, M. Irhouma, and S. Ahmad, "Economical and Environmental Assessment of Electrical Generators: A Case Study of Southern Region of Libya, AASCIT," *International Journal of Energy Policy and Management*, vol. 1, no. 4, pp. 64–71, 2016. [[Google Scholar](#)]
- [26] A. B. Miskeen *et al.*, "Electricity from wastewater treatment plants," *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 24–37, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [27] M. M. Khaleel, "Intelligent Control Techniques for Microgrid Systems," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 3, no. 1, pp. 56–67, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [28] Y. F. Nassar *et al.*, "Regression model for optimum solar collectors' tilt angles in Libya," in *2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)*, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [29] M. A. Eteriki, W. A. El-Osta, Y. F. Nassar, and H. J. E.- Khozondar, "Effect of implementation of energy efficiency in residential sector in Libya," in *2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)*, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [30] H. Awad, Y. F. Nassar, A. Hafez, M. K. Sherbiny, and A. F. M. Ali, "Optimal design and economic feasibility of rooftop photovoltaic energy system for Assuit University, Egypt," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 13, no. 3, p. 101599, 2022. [[Google Scholar](#)]
- [31] L. Rtemi, W. El-Osta, and A. Attaiep, "Hybrid System Modeling for Renewable Energy Sources", *Renewable Energy Sources*, *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 13–28, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [32] M. M. Khaleel, S. A. Abulifa, I. M. Abdaldeam, A. A. Abulifa, M. Amer, and T. M. Ghandoori, "A current assessment of the renewable energy industry," *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*, vol. 2, no. 1, pp. 122–127, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [33] S. M. Mohammed, Y. Nassar, W. El-Osta, H. J. 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. [[Google Scholar](#)]
- [34] M. Khaleel, Z. Yusupov, Y. Nassar, H. El-khozondar, A. Ahmed, and A. Alsharif, "Technical challenges and optimization of superconducting magnetic energy storage in electrical power systems," *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 2023. [[Google Scholar](#)]

- [35] Y. F. Nassar *et al.*, "Dynamic analysis and sizing optimization of a pumped hydroelectric storage-integrated hybrid PV/Wind system: A case study," *Energy Convers. Manag.*, vol. 229, no. 113744, p. 113744, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [36] T. E. Boukelia and M.-S. Mecibah, "Parabolic trough solar thermal power plant: Potential, and projects development in Algeria," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 21, pp. 288–297, 2013. [[Google Scholar](#)]
- [37] M. Liu *et al.*, "Review on concentrating solar power plants and new developments in high temperature thermal energy storage technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1411–1432, 2016. [[Google Scholar](#)]
- [38] F. Alasali, A. S. Saidi, N. El-Naily, O. Alsmadi, M. Khaleel, and I. Ghirani, "Assessment of the impact of a 10-MW grid-tied solar system on the Libyan grid in terms of the power-protection system stability," *Clean Energy*, vol. 7, no. 2, pp. 389–407, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [39] A. Kumar, O. Prakash, and A. Dube, "A review on progress of concentrated solar power in India," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, pp. 304–307, 2017. [[Google Scholar](#)]
- [40] A. A. Navarro, L. Ramírez, P. Domínguez, M. Blanco, J. Polo, and E. Zarza, "Review and validation of Solar Thermal Electricity potential methodologies," *Energy Convers. Manag.*, vol. 126, pp. 42–50, 2016. [[Google Scholar](#)]
- [41] D. Harrison-Atlas, C. Murphy, A. Schleifer, and N. Grue, "Temporal complementarity and value of wind-PV hybrid systems across the United States," *Renewable Energy*, vol. 201, pp. 111–123, 2022. [[Google Scholar](#)]
- [42] M. Khaleel, Z. Yusupov, A. A. Ahmed, A. Alsharif, A. Alarga, and I. Imbayah, "The effect of digital technologies on energy efficiency policy," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability (IJEES)*, pp. 1–8, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [43] I. I. K. Imbayah, Manaullah, and H. Ashfaq, "Development of control system for grid integration of wind generation system," *International Journal for Scientific Research and Development*, vol. 4, no. 8, pp. 548–552, 2016. [[Google Scholar](#)]
- [44] Manaullah, H. Ashfaq, and I. I. K. Imbayah, "Simulation and control model of integration PV into utility grid using MATLAB," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Singapore: Springer Singapore, 2018, pp. 103–110. [[Google Scholar](#)]
- [45] N. A. Manaullah, H. Ashfaq, and I. K. Imbayah, "A controller model for integration of hybrid energy system into the grid," *Int. J. Renew. Energy Technol.*, vol. 8, no. 3/4, p. 325, 2017. [[Google Scholar](#)]
- [46] A. A. Hafez, Y. F. Nassar, M. I. Hammdan, and S. Y. Alsadi, "Technical and economic feasibility of utility-scale solar energy conversion systems in Saudi Arabia," *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Electr. Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 213–225, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [47] A. F. M. Ali, E. M. H. Karram, Y. F. Nassar, and A. A. Hafez, "Reliable and economic isolated renewable hybrid power system with pumped hydropower storage," in *2021 22nd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [48] M. T. Islam, N. Huda, A. B. Abdullah, and R. Saidur, "A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp. 987–1018, 2018. [[Google Scholar](#)]
- [49] M. A. Abaza, W. M. El-Maghlany, M. Hassab, and F. Abulfotuh, "10 MW Concentrated Solar Power (CSP) plant operated by 100% solar energy: Sizing and techno-economic optimization," *Alex. Eng. J.*, vol. 59, no. 1, pp. 39–47, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [50] A. Aly, A. Bernardos, C. M. Fernandez-Peruchena, S. S. Jensen, and A. B. Pedersen, "Is Concentrated Solar Power (CSP) a feasible option for Sub-Saharan Africa?: Investigating the techno-economic feasibility of CSP in Tanzania," *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 1224–1240, 2019. [[Google Scholar](#)]
- [51] R. Andika, Y. Kim, S. H. Yoon, D. H. Kim, J. S. Choi, and M. Lee, "Techno-economic assessment of technological improvements in thermal energy storage of concentrated solar power," *Sol. Energy*, vol. 157, pp. 552–558, 2017. [[Google Scholar](#)]
- [52] I. Purohit and P. Purohit, "Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India," *Energy Policy*, vol. 38, no. 6, pp. 3015–3029, 2010. [[Google Scholar](#)]
- [53] A. Fritsch, C. Frantz, and R. Uhlig, "Techno-economic analysis of solar thermal power plants using liquid sodium as heat transfer fluid," *Sol. Energy*, vol. 177, pp. 155–162, 2019. [[Google Scholar](#)]

- [54] Y. Zhang, S. J. Smith, G. P. Kyle, and P. W. Stackhouse Jr, "Modeling the potential for thermal concentrating solar power technologies," *Energy Policy*, vol. 38, no. 12, pp. 7884–7897, 2010. [[Google Scholar](#)]
- [55] K. Lovegrove and W. S. Csiro, "Introduction to concentrating solar power (CSP) technology," in *Concentrating Solar Power Technology*, Elsevier, 2012, pp. 3–15. [[Google Scholar](#)]
- [56] M. Abdunnabi, N. Etiab, Y. F. Nassar, H. J. 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," *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 379–411, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [57] H. S. A. Lagili, A. Kiraz, Y. Kassem, and H. Gökçekuş, "Wind and solar energy for sustainable energy production for family farms in coastal agricultural regions of Libya using measured and multiple satellite datasets," *Energies*, vol. 16, no. 18, p. 6725, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [58] A. Alsharif *et al.*, "Impact of electric Vehicle on residential power distribution considering energy management strategy and stochastic Monte Carlo algorithm," *Energies*, vol. 16, no. 3, p. 1358, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [59] A. Modi, F. Bühler, J. G. Andreasen, and F. Haglind, "A review of solar energy based heat and power generation systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 1047–1064, 2017. [[Google Scholar](#)]
- [60] M. M. Khaleel, M. R. Adzman, and S. M. Zali, "An integrated of hydrogen fuel cell to distribution network system: Challenging and opportunity for D-STATCOM," *Energies*, vol. 14, no. 21, p. 7073, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [61] M. M. Khaleel, T. Mohamed Ghandoori, A. Ali Ahmed, A. Alsharif, A. J. Ahmed Alnagrat, and A. Ali Abulifa, "Impact of mechanical storage system technologies: A powerful combination to empowered the electrical grids application," *2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 2022, pp. 628–636. [[Google Scholar](#)]
- [62] O. Behar, A. Khellaf, and K. Mohammedi, "A review of studies on central receiver solar thermal power plants," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 23, pp. 12–39, 2013. [[Google Scholar](#)]
- [63] I. Purohit and P. Purohit, "Technical and economic potential of concentrating solar thermal power generation in India," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, pp. 648–667, 2017. [[Google Scholar](#)]
- [64] W. H. Stein and R. Buck, "Advanced power cycles for concentrated solar power," *Sol. Energy*, vol. 152, pp. 91–105, 2017. [[Google Scholar](#)]
- [65] W. A. K. Al-Maliki, H. Q. A. Khafaji, H. A. Abdul Wahhab, H. M. H. Al-Khafaji, F. Alobaid, and B. Epple, "Advances in process modelling and simulation of parabolic trough power plants: A review," *Energies*, vol. 15, no. 15, p. 5512, 2022. [[Google Scholar](#)]
- [66] W. A. K. Al-Maliki, A. G. T. Al-Hasnawi, H. A. Abdul Wahhab, F. Alobaid, and B. Epple, "A comparison study on the improved operation strategy for a parabolic trough solar power plant in Spain," *Appl. Sci. (Basel)*, vol. 11, no. 20, p. 9576, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [67] B. Nouri *et al.*, "Optimization of parabolic trough power plant operations in variable irradiance conditions using all sky imagers," *Sol. Energy*, vol. 198, pp. 434–453, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [68] C. A. Nallolla, Vijayapriya, D. Chittathuru, and S. Padmanaban, "Multi-objective optimization algorithms for a hybrid AC/DC microgrid using RES: A comprehensive review," *Electronics (Basel)*, vol. 12, no. 4, p. 1062, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [69] T. Hai *et al.*, "Design, modeling and multi-objective techno-economic optimization of an integrated supercritical Brayton cycle with solar power tower for efficient hydrogen production," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 53, no. 102599, p. 102599, 2022. [[Google Scholar](#)]
- [70] K. Hirbodi, M. Enjavi-Arsanjani, and M. Yaghoubi, "Techno-economic assessment and environmental impact of concentrating solar power plants in Iran," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, no. 109642, p. 109642, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [71] L. Zuo *et al.*, "Dilution effect for highly efficient multiple-component organic solar cells," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 17, no. 1, pp. 53–60, 2022. [[Google Scholar](#)]
- [72] A. O. Adeola *et al.*, "Crude oil exploration in Africa: socio-economic implications, environmental impacts, and mitigation strategies," *Environ. Syst. Decis.*, vol. 42, no. 1, pp. 26–50, 2022. [[Google Scholar](#)]
- [73] A. Kerboua, F. B. Hacene, M. F. A. Goosen, and L. F. Ribeiro, "Development of technical economic analysis for optimal sizing of a hybrid power system: A case study of an industrial site in Tlemcen Algeria," *Results Eng.*, vol. 16, no. 100675, p. 100675, 2022. [[Google Scholar](#)]

- [74] S. Aboglila, M. Ramadan, A. Alburki, and A. Albaghdady, "Biogeochemical Analyses of Four Crude Oil Samples to Confirm the Presence of Terrestrial-organic Matter, Collected from the Murzuq Basin-Libya," *Advances in Research*, vol. 21, no. 3, pp. 43–50, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [75] Y. F. Nassar, M. A. Salem, K. R. Jessa, I. M. Alshareef, K. A. Ali, and M. A. Fakher, "Estimation of CO₂ emission factor for the energy industry sector in Libya: A case study," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 23, pp. 13998–14026, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [76] Y. F. Nassar *et al.*, "Dynamic analysis and sizing optimization of a pumped hydroelectric storage-integrated hybrid PV/Wind system: A case study," *Energy Convers. Manag.*, vol. 229, no. 113744, p. 113744, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [77] M. M. Khaleel, M. R. Adzman, S. M. Zali, M. M. Graisa, and A. A. Ahmed, "A review of fuel cell to distribution network interface using D-FACTS: Technical challenges and interconnection trends," *Int. J. Electr. Electron. Eng. Telecommun.*, vol. 10, no. 5, pp. 319–332, 2021. [[Google Scholar](#)]
- [78] X. H. Chen, K. Tee, M. Elnahass, and R. Ahmed, "Assessing the environmental impacts of renewable energy sources: A case study on air pollution and carbon emissions in China," *J. Environ. Manage.*, vol. 345, no. 118525, p. 118525, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [79] L. Chandra Voumik, M. Ridwan, M. Hasanur Rahman, and A. Raihan, "An investigation into the primary causes of carbon dioxide releases in Kenya: Does renewable energy matter to reduce carbon emission?," *Renew. Energy Focus*, vol. 47, no. 100491, p. 100491, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [80] P. Zhang, Z. Li, W. Ghardallou, Y. Xin, and J. Cao, "Nexus of institutional quality and technological innovation on renewable energy development: Moderating role of green finance," *Renew. Energy*, vol. 214, pp. 233–241, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [81] M. Sadiq, K. Y. Chau, N. T. T. Ha, T. T. H. Phan, T. Q. Ngo, and P. Q. Huy, "The impact of green finance, eco-innovation, renewable energy and carbon taxes on CO₂ emissions in BRICS countries: Evidence from CS ARDL estimation," *Geosci. Front.*, no. 101689, p. 101689, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [82] C. Yu, M. Moslehpour, T. K. Tran, L. M. Trung, J. P. Ou, and N. H. Tien, "Impact of non-renewable energy and natural resources on economic recovery: Empirical evidence from selected developing economies," *Resour. Policy*, vol. 80, no. 103221, p. 103221, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [83] M. Elmnifi, M. Alshilmany, and M. Abdraba, "Potential of municipal solid waste in Libya for energy utilization," *Acta Mech. Malays.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–15, 2019. [[Google Scholar](#)]
- [84] H. Moria and M. Elmnifi, "Feasibility study into possibility potentials and challenges of renewable energy in Libya," vol. 29, no. 3, pp. 12546–12560, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [85] M. Sadiq, S. T. Hassan, I. Khan, and M. M. Rahman, "Policy uncertainty, renewable energy, corruption and CO₂ emissions nexus in BRICS-1 countries: a panel CS-ARDL approach," *Environ. Dev. Sustain.*, 2023. [[Google Scholar](#)]
- [86] 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. [[Google Scholar](#)]
- [87] M. T. Kartal and U. K. Pata, "Impacts of renewable energy, trade globalization, and technological innovation on environmental development in China: Evidence from various environmental indicators and novel quantile methods," *Environ. Dev.*, vol. 48, no. 100923, p. 100923, 2023. [[Google Scholar](#)]