

# تصميم ومحاكاة نظام الطاقة الشمسية المركزة بتقنية عاكسات فرينل الخطية باستخدام برنامج Ressspi وتطبيقها في العمليات الصناعية في ليبيا

علي ابراهيم كريميد<sup>1</sup>، سالم فرج العربي<sup>2</sup>، عبدالباسط نورالدين<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> كلية التقنية الهندسية /جنزور، <sup>2</sup> المعهد العالي للتقنيات الهندسية/بني وليد

## ملخص (Abstract)

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم محطة طاقة شمسية مركزة باستخدام نظام فرينل لتوليد الطاقة الحرارية، مع محاكاة تطبيق هذا النظام على أحد المصانع في ليبيا لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، تقليل تكاليف الإنتاج، وتبني ممارسات صديقة للبيئة. يعتمد النظام على تسخين سائل التشغيل إلى درجات حرارة مرتفعة عن طريق تركيز أشعة الشمس، ما يعزز الاستدامة البيئية ويوفر مصدرًا نظيفًا ومتجددًا للطاقة، مع تقليل الانبعاثات الضارة ودعم الاقتصاد المحلي من خلال توفير فرص عمل في مجال الطاقة المتجددة. تستخدم تقنية الطاقة الشمسية المركزة (Concentrated Solar Power- CSP) أشعة الشمس لتوليد الحرارة عن طريق أنظمة بصرية مثل المرايا أو العدسات، وتوجه هذه الحرارة نحو نقطة أو خط معين لزيادة كثافة الطاقة الحرارية، مما يجعلها مناسبة لتوليد الكهرباء أو توفير طاقة حرارية للتطبيقات الصناعية.

تم استخدام برنامج (Renewable Energy System Simulation and Sizing Platform for Industrial Applications- Ressspi) لمحاكاة أداء النظام وتقييم جدواه الاقتصادية، حيث جرى تطبيقه على مصنع الوقاية للمستلزمات الطبية، والذي يستخدم البخار في عمليات تعقيم القفازات الطبية. أظهرت النتائج تحقيق فوائد اقتصادية كبيرة، حيث تم تخفيض التكاليف بنسبة 90.5%، مع توفير طاقة حرارية بقيمة 77,980.5 يورو سنويًا. كما بلغ معدل العائد على الاستثمار 29.3%، مع فترة استرداد للتكاليف لا تتجاوز 4 سنوات. بيئيًا، أسهم النظام في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بأكثر من 119.9 طن سنويًا. تؤكد هذه الدراسة جدوى استخدام نظم الطاقة الشمسية المركزة كحل مستدام وفعال لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، تقليل التكاليف، والحد من الأثر البيئي، خاصة في الصناعات التي تعتمد بشكل كبير على الطاقة الحرارية. كلمات افتتاحية: تصميم محطة شمسية، نظام فرينل، تقنية الطاقة الشمسية

## 1. المقدمة (Introduction)

الطاقة المتجددة تمثل أحد الحلول الرئيسية لمعالجة التحديات البيئية والاقتصادية الناتجة عن الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري. توفر مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة المائية، بدائل مستدامة تساهم بفعالية في تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة، التي تعد المسبب الأساسي لتغير المناخ. هذه المصادر تتجدد بشكل طبيعي ودائم، مما يقلل الحاجة إلى استنزاف الوقود الأحفوري، وبالتالي الحفاظ على الموارد الطبيعية على المدى الطويل.

إضافة إلى ذلك، تسهم الطاقة المتجددة في تنويع مزيج الطاقة، مما يعزز أمن الطاقة للدول ويقلل من اعتمادها على واردات الوقود الأحفوري. من الناحية البيئية، تعتبر هذه الطاقة صديقة للبيئة، حيث تقلل بشكل كبير من التلوث مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية. وعلى الصعيد الاقتصادي، فإن الطاقة المتجددة توفر خفضًا ملموسًا في التكاليف التشغيلية على المدى الطويل، إلى جانب تحفيزها لخلق فرص عمل جديدة في مجالات التكنولوجيا الخضراء. من الناحية الاجتماعية، تساهم في تحسين جودة الحياة من خلال إيصال الكهرباء إلى المناطق النائية، مما يدعم أهداف التنمية المستدامة [1] [2].

في مجال تقنيات الطاقة الشمسية المركزة (CSP)، تمثل تقنية عاكسات فرينل الخطية (Linear Fresnel Reflectors - LFR) ابتكارًا مهمًا. تعتمد هذه التقنية على ترتيب خطي لمرايا مسطحة أو شبه مسطحة، تعكس أشعة الشمس نحو أنبوب امتصاص موضوع أعلاها. داخل هذا الأنبوب، يتم تسخين سائل ناقل للحرارة، مثل الزيوت الحرارية أو الأملاح المصهورة، إلى درجات حرارة مرتفعة، ما يتيح استخدام الطاقة الحرارية الناتجة في التطبيقات الصناعية أو توليد الكهرباء. تتميز هذه التقنية بتصميمها البسيط

وانخفاض تكلفتها مقارنة بتقنيات أخرى مثل أنظمة الأحواض المكافئة أو الأبراج الشمسية، مما يجعلها خيارًا اقتصاديًا وفعالًا لإنتاج الطاقة [3].

تهدف الدراسة الحالية إلى تصميم ومحاكاة منظومة طاقة شمسية مركزة تعتمد على تقنية عاكسات فريزل الخطية لتوليد الطاقة الحرارية واستخدامها في العمليات الصناعية. تركز البحث على تحقيق الكفاءة في استهلاك الطاقة، تقليل التكاليف التشغيلية، والحد من الانبعاثات الضارة من أجل تعزيز الاستدامة البيئية. ويعتمد الدراسة على برنامج Rssspi كأداة تحليلية لتصميم ومحاكاة أداء هذه المنظومة. يتميز هذا البرنامج بقدرته على تقييم الأداء الفني والجودة الاقتصادية والتأثير البيئي، مما يجعله أداة فعالة لدراسة التطبيقات العملية للطاقة الصناعية باستخدام عاكسات فريزل الخطية [4].

يمثل هذا المشروع خطوة نحو دمج التكنولوجيا المتقدمة في مجال الطاقة المتجددة، مع التركيز على تقديم حلول اقتصادية ومستدامة تلبي احتياجات القطاعات الصناعية.

تمت مراجعة عدد من الدراسات لتوفير الأساس العلمي والفني لدعم هذا البحث، حيث ساهمت في بناء الإطار النظري والتقني لتصميم محطة الطاقة الشمسية المركزة. وفيما يلي استعراض لأهم الدراسات ذات الصلة:

(MA Sharif [وآخرون - 2023](#)) أظهرت الدراسة أن تقنيات الطاقة الحرارية الشمسية تُعد من الحلول الفعالة لاستغلال الإشعاع الشمسي المباشر في المناطق ذات الكثافة الإشعاعية العالية. وتُعتبر ليبيا من بين الدول التي تتميز بظروف مثالية لتطبيق هذه التكنولوجيا، حيث تستقبل إشعاعًا شمسيًا مباشرًا بمعدلات مرتفعة، مع زيادة ملحوظة في كثافة الإشعاع السنوي المباشر عند الانتقال من المناطق الشمالية إلى المناطق الجنوبية. بناءً على ذلك، تُعد معظم المناطق الليبية مواقع مناسبة لإنشاء محطات توليد الطاقة الشمسية المركزة [5].

(Y Coulibaly [وآخرون - 2023](#)) تضمنت الدراسة تجربة عملية لإنشاء محطة صغيرة لتوليد الطاقة الشمسية المركزة بهدف توفير كهرباء مستدامة وفعالة. إلى جانب ذلك، تم تصميم النظام لتوليد حرارة مرتفعة تُستخدم في التطبيقات الصناعية التي تتطلب مستويات حرارية لا يمكن تحقيقها بواسطة الأنظمة التقليدية لجمع الطاقة الشمسية الحرارية. تأتي هذه الجهود كاستجابة للتحديات المتعلقة بانخفاض معدل الوصول إلى الكهرباء في منطقة الساحل الغربي من إفريقيا، حيث يعاني العديد من الدول من بنية تحتية محدودة لتوفير الكهرباء. تهدف هذه المحطات إلى تعزيز التنمية المستدامة من خلال تقديم حلول فعالة للطاقة تلبي احتياجات المناطق التي تفتقر إلى مصادر الطاقة التقليدية، مع تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتحقيق كفاءة أكبر في إنتاج الطاقة [6].

(J Franco [وآخرون - 2019](#)) تركز هذه الدراسة على تحليل الإمكانيات الطاقوية لنظام فريزل الشمسي الخطي LFS باستخدام بيانات ومعدات مثبتة في مدينة سان كارلوس بمقاطعة سالتا، الأرجنتين. تم تقييم الأداء الحراري للنظام بحساب القدرة الحرارية المتوسطة والخسائر الحرارية الناتجة من أنبوب الامتصاص وأنابيب المجمع إلى المحيط الخارجي، مع الاعتماد على بيانات الإشعاع الشمسي المباشر (Direct Normal Irradiation - DNI) المستخلصة باستخدام طريقة ليو-جوردان، بناءً على قياسات الإشعاع الأفقي الشامل (Global Horizontal Irradiation - GHI). أظهرت الدراسة أن نظام فريزل الشمسي الخطي يمتلك القدرة على إنتاج طاقة حرارية تُستخدم في تطبيقات متعددة مثل تحلية المياه، إنتاج الكهرباء، وتجفيف المنتجات الزراعية كالخضروات. وقد بينت الحسابات أن النظام يمكنه توليد بخار بطاقة حرارية تتراوح بين 460 و1200 ميغا جول، محققًا إنتاجًا سنويًا يقارب 243 جيغا جول [7].

(H Al Smadi [وآخرون - 2018](#)) تُعد مجمعات الحوض المكافئ (Parabolic Trough Collectors - PTC) من أشهر تطبيقات الطاقة الشمسية، حيث تُستخدم بشكل واسع في محطات الطاقة الحرارية. بالمقارنة، فإن مجمع فريزل الخطي (LFC) بدأ مؤخرًا يجذب اهتمام الشركات بسبب إمكانية استخدامه في محطات الطاقة الحرارية والتطبيقات التجارية. تختلف تقنيتا PTC و LFC في التصميم والكفاءة. يتميز PTC بمنطقة عاكس محدودة نسبيًا، مما يجعله يعتمد بشكل كبير على قوة المحرك واستهلاك الطاقة، مع تأثير واضح لمساحة الأرض المتوفرة على الأداء. في المقابل، يعتمد LFC على استخدام مرايا أفقية متحركة، ما يقلل الكفاءة

البصرية، لكنه يسمح باستخدام مساحة أكبر من الأرض. وعلى الرغم من ذلك، فإن LFC يمتاز بتصميم هيكلي أقل تعقيداً وتكلفة مقارنة ب-PTC، مما يعزز من جاذبيته لتطبيقات تجارية واسعة النطاق. في هذه الدراسة، تم استخدام برنامج System Advisor Model (SAM)، الذي طوره المختبر الوطني للطاقة المتجددة (NREL)، لتحليل أداء تقنيات LFC و PTC. أتاح البرنامج تقييم جدوى التصميمات المختلفة وتحليل كفاءتها في توليد الطاقة الحرارية والكهربائية في سياقات متنوعة، مع الأخذ في الاعتبار العوامل المتعلقة بتكاليف التشغيل والبنية التحتية المتاحة [8].

(S Diarra و اخرون - 2024) تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أداء محطة فريزل الخطية (LFP) في المناطق الريفية الساحلية باستخدام منهجيات محاكاة متقدمة. تبدأ الدراسة بنمذجة النقل البصري في النظام باستخدام طريقة تحليلية، يليها تحديد الأبعاد المثلى عبر برنامج MATLAB. بعد ذلك، تتم مقارنة النتائج المستخلصة من الطريقة التحليلية مع طريقة "مونت كارلو" لتعقب الأشعة، التي تم تنفيذها باستخدام برنامج TONATIUH. من خلال المحاكاة، يتم دراسة الخصائص البصرية لمحطة LFP في الفترة من ديسمبر إلى أبريل لتقييم أدائها الموسمي. وُجد أن التصميم المقترح يُحقق قدرة حرارية تصل إلى 51.01 كيلوواط، مع مساحة مفتوحة لمجال LFP تقدر بـ 109.04 متر مربع ونسبة تغطية تبلغ 75.41%. تُظهر مقارنة النتائج بين الطريقة التحليلية وطريقة تعقب الأشعة توافقاً كبيراً، مما يثبت صحة النهج التحليلي في حساب القدرة الحرارية. علاوة على ذلك، تُظهر المحاكاة الرقمية أن ذروة القدرة المستلمة تحدث في حوالي الساعة الواحدة ظهراً، مع ملاحظة زيادة تدريجية في الكفاءة البصرية للنظام من شهر ديسمبر حتى شهر أبريل. تُظهر هذه النتائج فعالية محطة LFP في تحقيق كفاءة تشغيلية عالية في المواقع ذات الظروف الشمسية المناسبة، مما يجعلها خياراً مستداماً لتلبية احتياجات الطاقة الحرارية في المناطق الريفية [9].

(TY Park و اخرون - 2017) تتناول هذه الدراسة تحليل التكوينات المتنوعة لمحطة الطاقة الشمسية ذات التركيز الخطي (DMS STE) باستخدام تقنية فرنيل بهدف تحديد التصميمات المثلى لتقليل تكلفة توليد الكهرباء (LCOE). لتحقيق هذا الهدف، تم تطوير أداة محاكاة تتيح وصف السلوك الديناميكي لمحطة الطاقة عبر أفضل طرق التقدير؛ وذلك لتحديد العائد السنوي والتوافر التشغيلي لمحطة DMS STE، بالإضافة إلى تقدير تكاليف الاستثمار والتشغيل السنوية المرتبطة بهذه المحطات. تم التحقق من دقة نتائج المحاكاة المستخلصة من الأداة الجديدة من خلال مقارنتها مع أداة المحاكاة الحرارية الهيدروليكية المعتمدة (TRACE)، مما يضمن موثوقية البيانات المستخرجة. تركز الدراسة أيضاً على تحديد المعلمات التشغيلية المثلى لمحطة STE، المقترنة بتخزين الطاقة (TES)، ودراسة الجدوى الاقتصادية المرتبطة بها، فضلاً عن استكشاف إمكانيات تقليل LCOE من خلال اعتماد درجات حرارة تشغيل مرتفعة [10].

(R Singh و اخرون - 2017) تناقش هذه الرسالة البحثية تصميم مجمع فرنيل EAR لتوليد الحرارة الشمسية للاستخدام في العمليات الصناعية. في البداية، تم إجراء تحليل بصري باستخدام تقنية تتبع الإشعاعات لتحديد بعض المعايير الأساسية للمجمع، مثل ارتفاع المستقبل، عرض المرآة والملف، الفجوة بين الصفوف المتتالية، وزاوية الميل. بعد ذلك، تم تطوير نموذج حراري أحادي البعد يأخذ في اعتباره درجات حرارة السطوح المستقبلية والخسائر الحرارية. تم تطبيق النتائج المستخلصة من التحليلات البصرية والحرارية على تصميم مجمع فرنيل EAR لمصنع آيس كريم قائم في مدينة كونييا، تركيا. كما تم دراسة أداء المجمع حرارياً تحت ظروف جوية متنوعة، مع تحليل للإنتاجات الشهرية. أظهرت النتائج القياسية أن المرايا المنحنية قليلاً يمكنها جمع كميات أكبر بشكل ملحوظ من الطاقة الشمسية بالمقارنة مع المرايا المسطحة. وتم تحقيق كفاءة بصرية مثلى ضمن نطاق معين من معلمات المجمع. وبحسب البيانات، بلغت أعلى كفاءة حرارية ونسبة شمسية 66.35% و 33.6% على التوالي خلال شهر يوليو. وتبرز الدراسة أيضاً أن معظم الإشعاع الشمسي يتركز في الجزء السفلي من أنبوب الامتصاص [11].

(MPG Sirimanna و اخرون - 2023) تهدف هذه الأطروحة إلى تحسين معلمات التصميم للأنظمة الشمسية ذات التركيز الخطي (LFR) بهدف تعزيز الكفاءة وتقليل تكاليف الطاقة. تم تطوير نماذج بصرية وحرارية، وتم التحقق من مصداقيتها من خلال مقارنتها مع الأنظمة القائمة ل-LFR. يتناول البحث أيضاً كيفية دمج النماذج البصرية والحرارية وحلها باستخدام أساليب التحسين، حيث تم اختيار خوارزمية الجينات (GA) بعد تقييم عدة طرق تحسين عبر مجموعة من تصاميم LFR. تتضمن المحاكاة تقييم الأداء والتكلفة بناءً على الأهداف المحددة، حيث يتم تحليل الكفاءة النظرية الإجمالية وتكلفة توليد الكهرباء (LCOE) وعدد من المتغيرات

التصميمية، بما في ذلك عدد المرايا، عرض المرايا، المسافات بين المرايا، ارتفاع المستقبل، ودرجات حرارة التشغيل. تشير النتائج إلى أن الكفاءات القصوى لتصميمات المرايا البديلة كانت مشابهة، في حين أن المتغيرات التصميمية المُحسنة كانت متفاوتة بشكل كبير. فقد أظهر التصميم المُحسن باستخدام المرايا المحدبة بالكامل زيادة في الكفاءة الكلية بنسبة 4.5% مقارنةً بالمرايا المسطحة، مع تقليل المساحة المستخدمة للأرض، مساحة المرايا، وارتفاع المستقبل بنسب بلغت 35%، 29%، و34% على التوالي. أظهرت النتائج المُحسنة أن التغيرات في المتغيرات التصميمية للأنظمة القائمة يمكن أن تؤدي إلى تخفيض LCOE بنسبة تصل إلى 23%، مما يبرز أهمية التحسين الدقيق لتصميم النظام. ومع ذلك، لم تكن هناك فروقات ملحوظة في التصميمات المُحسنة بين مواقع الدراسة [12]

(R Abbas وآخرون - 2017) تساهم مجمعات فريزل الخطية في خفض تكاليف الاستثمار بالمقارنة مع مجمعات القطع المكافئ، لكن ليس من المؤكد بعد ما إذا كان ذلك يترجم إلى انخفاض في تكلفة الكهرباء المتساوية (LCOE) لتحليل السلوك البصري للعدسات المركزية، تُستخدم نماذج تتبع الأشعة بشكل شائع. ومع ذلك، فإن هذه المنهجية تؤدي إلى إنشاء رموز تستغرق وقتًا طويلاً، مما يعيق قدرة الباحثين على تحسين كافة متغيرات التصميم. في هذا العمل، تم اعتماد منهجية تحليلية لوصف تأثير متغيرات التصميم على الطاقة السنوية المُجمعة على السطح العاكس، وتمت مقارنة النتائج بين موقعين مختلفين. خلص البحث إلى استنتاج ملحوظ، وهو أن نسبة الطاقة المنعكسة على السطح العاكس لمجمعات فريزل تكون أقرب إلى تلك الموجودة في أحواض القطع المكافئ، وذلك في مواقع خطوط العرض المنخفضة [13].

(VK Soni وآخرون - 2019) تتناول الدراسة الحالية تصميم وتصنيع نموذج تجريبي لنظام شمسي مبتكر مخصص لتعقيم المعدات الطبية الجراحية. يعتمد النظام على استخدام البخار والهواء كوسائل تعقيم بشكل منفصل من خلال غرفتين مخصصتين للتعقيم. تحتوي إحداهما على ماء يتم تحويله إلى بخار عند درجة حرارة 121.1 درجة مئوية وضغط 2.1 بار، بينما تحتوي الأخرى على هواء يتم تسخينه إلى درجة حرارة التعقيم المطلوبة (160 درجة مئوية) باستخدام الطاقة الشمسية. تم تزويد كل وحدة تعقيم بمبادل حراري لتسهيل التبادل الحراري بين سائل التعقيم والبخار الناتج في الوعاء الأسطواني. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام عدسة فريزل وطبق ببيضاوي عاكس كمكثفات شمسية لتوجيه الإشعاع الشمسي نحو الوعاء الأسطواني، مع تزويد النظام بمتتبع شمسي ثنائي المحور لضمان متابعة الشمس تلقائياً.

تم تحديد درجة حرارة وضغط سائل التعقيم (سواء كان بخاراً أو هواءً) والبخار الناتج في الوعاء الأسطواني من خلال التحليل النظري والتجريبي. أظهرت النتائج أن وعاء امتصاص الطاقة الشمسية في حالته الطبيعية (بدون المكثفات الشمسية) لم يكن قادراً على تحويل الماء إلى بخار. ومع ذلك، بعد تركيب الطبق البيضاوي العاكس، تم الحصول على بخار (بدرجة حرارة 160 درجة مئوية وضغط 6.2 بار) داخل الوعاء الأسطواني لمدة 37 دقيقة تجريبياً و33 دقيقة نظرياً. علاوة على ذلك، بعد تركيب عدسة فريزل جنباً إلى جنب مع الطبق العاكس، تم تقليل مدة إنتاج البخار بنسبة 35% تجريبياً و36.4% نظرياً مقارنةً بنتائج تشغيل الطبق البيضاوي بمفرده. عند مقارنة النتائج التجريبية مع النتائج النظرية، تم رصد فرق أقصى يبلغ حوالي 17% [14].

### 3. الطاقة الشمسية المركزة (Concentrated Solar Power-CSP)

تقنيات الطاقة الشمسية المركزة (CSP) هي أنظمة تستخدم المرايا أو العدسات لتركيز أشعة الشمس على مساحة صغيرة بهدف تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية، والتي يمكن استخدامها لاحقاً لتوليد الكهرباء أو في التطبيقات الصناعية. تعتمد هذه التقنيات على الاستفادة من الإشعاع الشمسي المباشر لتحقيق درجات حرارة مرتفعة، مما يجعلها فعالة لتلبية احتياجات الطاقة في المناطق ذات الإشعاع الشمسي العالي.

#### 1-3 أنواع تقنيات الطاقة الشمسية المركزة

##### 1. الأحواض المكافئة (Parabolic Trough Collectors)



تستخدم مرايا على شكل قطع مكافئ لتركيز أشعة الشمس على أنبوب ممتد في مركز الحوض. تُستخدم الحرارة الناتجة لتسخين سائل ناقل للحرارة، مثل الزيت الحراري، والذي يُستخدم بعد ذلك لإنتاج البخار اللازم لتشغيل التوربينات. تعد هذه التقنية من أكثر الأنظمة شيوعاً في تطبيقات CSP و الشكل (1) يوضح صحن بشكل حوض المكافئ.



الشكل (1) صحن بشكل حوض المكافئ

## 2. الأبراج الشمسية: (Solar Power Towers)

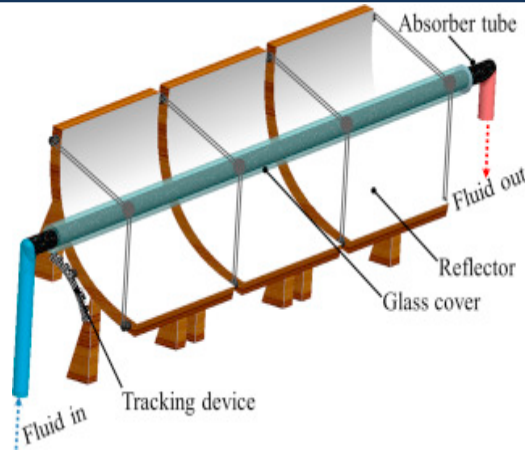
تعتمد على مجموعة من المرايا المسطحة (الهليوستات) التي تُوجه أشعة الشمس إلى نقطة واحدة على قمة برج يحتوي على مستقبل حراري. يتم تخزين الحرارة في أملاح مصهورة أو سائل أخرى، والتي تُستخدم لتشغيل التوربينات البخارية لإنتاج الكهرباء. تتميز بإمكانية تخزين الطاقة الحرارية لفترات طويلة و الشكل (2) يوضح الأبراج الشمسية.



الشكل (2) الأبراج الشمسية

## 3. الأطباق المكافئة (Parabolic Dish Collectors)

تتكون من مرايا على شكل صحن مكافئ تعمل على تركيز أشعة الشمس على نقطة واحدة، حيث يتم تسخين المستقبل. عادةً ما تُستخدم هذه التقنية في التطبيقات الصغيرة أو اللامركزية، مثل تشغيل المحركات الحرارية لإنتاج الكهرباء و الشكل (3) يوضح الأجزاء الأساسية لمجمع الحوض المكافئ.



الشكل (3) الأجزاء الأساسية لمجمع الحوض المكافئ

#### 4. عاكسات فرينل الخطية: (Linear Fresnel Reflectors - LFR)

تستخدم مرايا مسطحة أو شبه مسطحة مرتبة بشكل خطي لتركيز أشعة الشمس على أنبوب امتصاص موجود فوق المرايا. تُعد أبسط وأقل تكلفة مقارنة بالأحواض المكافئة، وهي مناسبة للتطبيقات الصناعية التي تحتاج طاقة حرارية متوسطة الشكل (4) يوضح محطة تعمل بنظام فرينل.



الشكل (4) محطة تعمل بنظام فرينل

تقنيات الطاقة الشمسية المركزة تُعد خيارًا استراتيجيًا لتوفير طاقة حرارية وكهربائية نظيفة ومستدامة. مع التطور التكنولوجي المستمر، تساهم هذه الأنظمة في تحقيق الأهداف البيئية والاقتصادية، خاصة في المناطق ذات الإشعاع الشمسي العالي، مما يجعلها خيارًا فعالًا لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة عالميًا.

الجدول (1) يوضح مقارنة بين أنظمة الطاقة الشمسية المختلفة، حيث تعد الطاقة الكهروضوئية (PV) خيار مناسب للأغراض السكنية والتطبيقات الصغيرة نظرًا لانخفاض التكلفة وبساطة التركيب. بينما تعد الطاقة الشمسية المركزة (CSP) مثالية للمشاريع الصناعية ومحطات توليد الطاقة الكبيرة بفضل كفاءتها العالية وقدرتها على تخزين الطاقة الحرارية.

### الجدول (1) مقارنة بين أنظمة الطاقة الشمسية المختلفة

التقنية	الكفاءة	التكلفة	المرونة	التخزين الحراري	استخدام المياه	الأمثلة والتطبيقات
الخلايا الكهروضوئية	15 - 22%	منخفضة إلى متوسطة	عالية	لا	منخفضة	المنزل، المزارع الشمسية، المباني التجارية
الأحواض المكافئة	15 - 20%	عالية	متوسطة	نعم	عالية	محطات الطاقة الحرارية الشمسية الكبيرة
الأبراج الشمسية	20 - 25%	عالية جداً	متوسطة	نعم	عالية	مشاريع توليد الكهرباء على نطاق واسع
الأطباق المكافئة	حتى 30%	عالية	متوسطة	نعم	متوسطة	المشاريع اللامركزية، المناطق النائية
عاكسات فريزل الخيطية	8 - 10%	منخفضة	عالية	نعم	متوسطة	التطبيقات الصناعية، المناطق ذات الإشعاع الشمسي العالي

اختيار النظام يعتمد على الموقع، احتياجات الطاقة، والتكاليف المتاحة، مما يجعل كلا التقنيتين مكملتين لبعضهما البعض لتحقيق استدامة أكبر في استخدام الطاقة الشمسية.

#### 4. تصميم و محاكاة عاكسات فريزل الخيطية باستخدام برنامج Rssspi

برنامج Rssspi يعد أداة فعالة لمحاكاة أنظمة عاكسات فريزل الخيطية (LFR) المخصصة للاستخدامات الصناعية المتنوعة. يتيح هذا البرنامج للمستخدمين القدرة على تصميم وتحليل أداء أنظمة LFR لمجموعة واسعة من العمليات الصناعية، مما يساهم في تحسين كفاءة الطاقة وتقليل التكاليف التشغيلية. في هذه الدراسة، يهدف البرنامج إلى محاكاة نظام LFR مخصص لصناعة وتقييم القفزات الطبية. يتم تقديم تفاصيل المصنع المقترح في الجدول (2)، والذي يشكل الأساس لإجراء المحاكاة وتحليل النتائج. ستتم مناقشة النتائج بالتفصيل لتقييم مدى كفاءة النظام وأثره على توفير الطاقة وتحقيق الاستدامة في العمليات الصناعية.

#### الجدول (2) بيانات المصنع المقترح

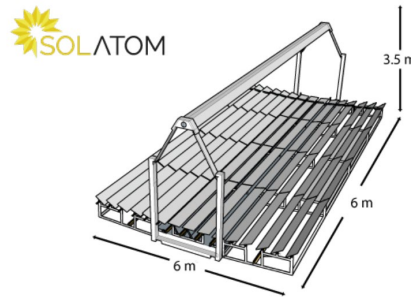
اسم المصنع	الوقاية لصناعة المستلزمات الطبية
الموقع	ليبيا- طرابلس- الكريمة
مجال التصنيع	صناعة القفزات الطبية
العمليات الصناعية	عمليات تنظيف وغسيل وتجفيف القوالب وتشكيل المنتج عن طريق التغطيس
توقيت العمل	من الساعة 9 صباحا الي الساعة 7 مساء
ايام العمل	طيلة أيام السنة ما عدا يوم الجمعة
الوقود المستخدم	الديزل + كهرباء

استهلاك الوقود	25 لتر ديزل /الساعة + 50 كيلووات/ساعة
تكلفة الوقود	الديزل: 0.80 دينار ليبي او 0.114 دولار او 0.10 يورو الكهرباء: 0.06 دينار ليبي او 0.0085 دولار او 0.0077 يورو
مانع التشغيل	البخار
ضغط البخار	4 بار
درجة حرارة الدخول	140 درجة مئوية
درجة حرارة الخروج	240 درجة مئوية
المساحة المتوفرة	3000 متر مربع

تم إجراء محاكاة تفصيلية ودراسة جدوى لتصميم وتحديد حجم محطة طاقة شمسية باستخدام برنامج ReSSSPI تعتمد على تقنية عاكسات فريزل الخطية (LFR) لتلبية متطلبات إنتاج البخار المشبع عند ضغط 4 بار. أظهرت نتائج الدراسة كفاءة اقتصادية وبيئية كبيرة، حيث تم تحقيق توفير سنوي يزيد على 77980.5 يورو، وهو ما يعادل نسبة 90.5% من الطاقة المطلوبة. كما أظهر المشروع معدل عائد على الاستثمار (ROI) بلغ أكثر من 29.3%، مع فترة استرداد تكاليف قدرها 4 سنوات. على الصعيد البيئي، ساهم النظام في تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث تم تجنب انبعاث أكثر من 119.9 طن سنويًا.

تضمن تصميم الحقل الشمسي تركيب 12 مجمعًا شمسيًا موزعة في صفين، يحتوي كل صف على 6 مجمعات. الأبعاد الهندسية لكل مجمع هي 3.5 × 6 × 6 متر، بينما تبلغ المساحة الإجمالية للحقل الشمسي 432 متر مربع. يوفر الشكل (5) تمثيلًا مرئيًا لوحدة عاكسات فريزل الخطية المستخدمة في المحطة.

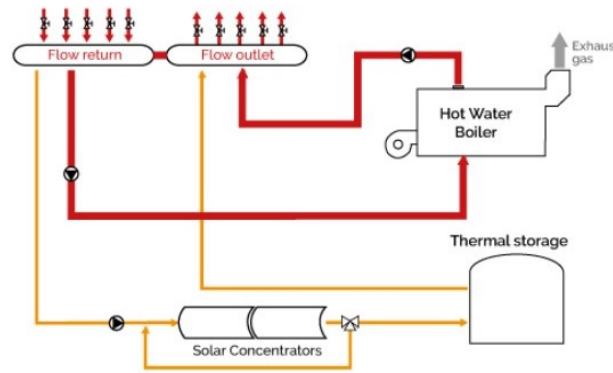
تعد هذه التقنية خيارًا مثاليًا للتطبيقات الصناعية بفضل كفاءتها العالية وانخفاض تكاليف تشغيلها. إضافةً إلى ذلك، تحقق تقنية LFR فوائد بيئية واقتصادية كبيرة، مما يجعلها من الحلول الواعدة لدعم الاستدامة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية في العمليات الصناعية المختلفة.



الشكل (5) وحدة LFR المستخدمة في المحاكاة



كل وحدة حرارية تنتج حوالي 31,173.1 كيلوواط ساعة، ويُسجل أعلى إنتاج للطاقة خلال شهري يونيو ويوليو، وذلك في فصل الصيف عندما تكون مستويات الإشعاع الشمسي في ذروتها. في حالة تجاوز الإنتاج الشمسي مستوى الطلب، يقوم النظام بتعطيل تشغيل بعض عاكسات الطاقة الشمسية، خاصة إذا لم تتوفر خيارات لتخزين الطاقة. يُستخدم الزيت الحراري كوسط ناقل للطاقة الحرارية في هذا النظام، حيث يدخل الزيت إلى النظام بدرجة حرارة تبلغ 140 درجة مئوية، ويتم تسخينه بواسطة المركبات الشمسية حتى يصل إلى 240 درجة مئوية. يوضح الشكل (6) كيفية تشغيل نظام عاكسات فريزل الخطية (LFR) لدعم العمليات الصناعية الحرارية بفعالية.



الشكل (6) طريقة عمل LFR للعمليات الحرارية

## 5- تحليل نتائج ومحاكاة تكنولوجيا عاكسات فريزل الخطية (LFR)

### 5-1 تحليل الاداء (Performance Analysis) للعلوم التطبيقية والتقنية

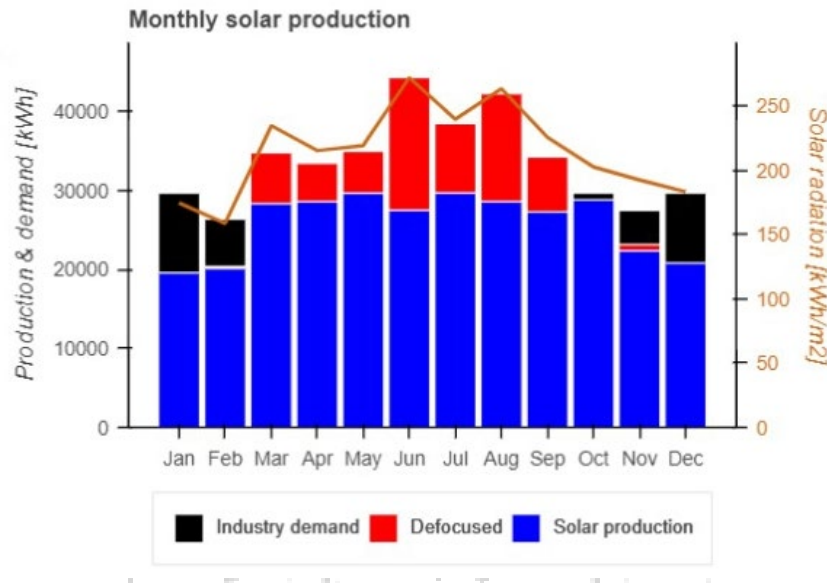
تُظهر نتائج تحليل ومحاكاة تكنولوجيا عاكسات فريزل الخطية (LFR) أداءً واعدًا في إنتاج الطاقة الشمسية. يُبين الجدول (3) البيانات المتعلقة بإنتاج الطاقة الشمسية شهرياً، مع توضيح كميات الطاقة المنتجة بالكيلوواط ساعة. تعكس هذه النتائج قدرة نظام LFR على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية بكفاءة، مما يُعزز من فرص الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة في تلبية احتياجات القطاع الصناعي. كما تُشير هذه الأرقام إلى أن تطبيق تكنولوجيا LFR ليس فقط مُجدياً من الناحية الاقتصادية، بل يُساهم أيضاً في تحقيق أهداف الاستدامة والحد من التكاليف التشغيلية المرتبطة بالطاقة التقليدية.

#### الجدول (3) إنتاج الطاقة الشمسية الشهري بالكيلو واط ساعة

الشهر	النسبة المئوية %	الإنتاج kwh	الشهر	النسبة المئوية %	الإنتاج kwh
يناير	66	19589.3	يوليو	100	38507.7
فبراير	76.2	20376.2	أغسطس	100	42286.5
مارس	99.1	34805.4	سبتمبر	95.5	34274.8

ابريل	100	43473.0	أكتوبر	97	28247.9
مايو	99.9	34996.3	نوفمبر	81.3	33162.2
يونيو	100	44332.5	ديسمبر	70.1	20025.6

يوضح الشكل (7) أن الغالبية العظمى من الطلب على الطاقة يتم تلبيته خلال فصل الصيف، مع وجود زيادة ملحوظة في الطلب خلال شهر يونيو. تشير هذه البيانات إلى أن احتياجات الطاقة تزداد بشكل كبير في هذه الفترة، مما يؤكد أهمية توفير حلول فعالة تلبي هذه الاحتياجات، خصوصاً في ظل الاعتماد المتزايد على أنظمة الطاقة المتجددة كبديل مستدام لتلبية الطلب المرتفع. تعتمد تلبية هذا الطلب بشكل فعال على تكامل الأنظمة الشمسية، مثل عاكسات فريزل الخطية (LFR)، مما يساهم في تعزيز كفاءة استغلال الموارد الطبيعية المتاحة خلال الأشهر الأكثر حرارة.



الشكل (7) طريقة عمل LFR للعمليات الحرارية

مؤشرات أداء المراكز الشمسية للمحطة المقترحة موضحة في الجدول (4). يتضمن هذا الجدول مجموعة من المعايير الرئيسية التي تعكس فعالية النظام وكفاءته، بما في ذلك معدلات الإنتاجية، وكفاءة التحويل، وتكاليف التشغيل. توفر هذه المؤشرات نظرة شاملة على أداء المحطة وتساعد في تقييم القدرة على تلبية الاحتياجات الطاقوية المقررة، مما يوفر قاعدة بيانات داعمة لأخذ القرارات الاستراتيجية المتعلقة بتصميم وتنفيذ النظام. لذا، فإن تحليل هذه المؤشرات يعد أمراً أساسياً لضمان نجاح المشروع واستدامته على المدى البعيد.

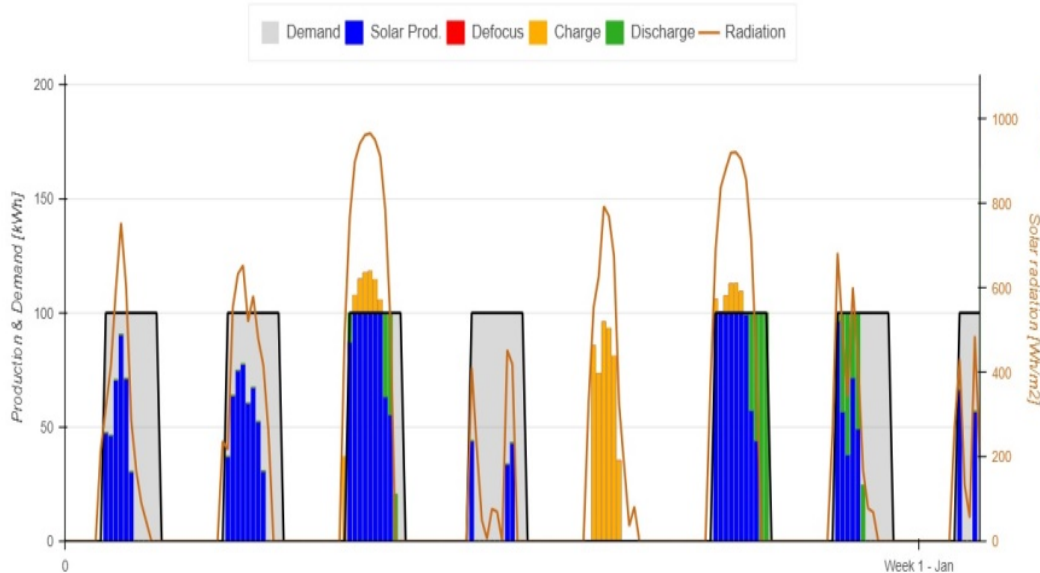
الجدول (4) يوضح معلمات أداء المحطة الشمسية.

المعامل	القيمة
الإنتاج السنوي للطاقة الشمسية (الإجمالي)	374077.5 kwh
الإنتاج السنوي للطاقة الشمسية (الصافي)	311449.8 kwh

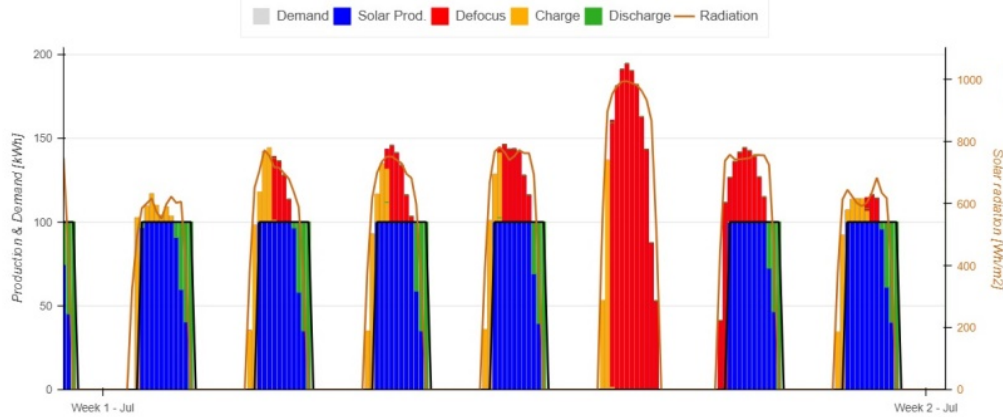
الطاقة المستهلكة بواسطة الغلاية	430375 kwh
الطاقة المستهلكة بواسطة العملية (الطلب)	344300 kwh
نسبة الطاقة الشمسية الإجمالية مقابل إجمالي الطلب	% 108.6
نسبة الطاقة الشمسية الصافية مقابل إجمالي الطلب	90.5 %
الإنتاج السنوي لكل وحدة	31173.1 kwh
قيمة الطاقة المشتتة	62627.6 kwh
نسبة الطاقة المشتتة	16.7 %
نسبة الاستفادة الفعلية	83.3 %

## 5-2 التحليل الحراري (Thermal Analysis)

الرسوم البيانية المعروضة في الأشكال (8) و(9) توضح أداءً حراريًا مفصلاً لكل من فصلي الصيف والشتاء. تعكس هذه الرسوم البيانية الاختلافات في إنتاج الطاقة الحرارية خلال الفصول المختلفة، حيث تُظهر الأداء المرتفع خلال فصل الصيف نتيجة لزيادة الإشعاع الشمسي، بينما يُلاحظ أداء منخفض في فصل الشتاء بسبب تراجع مستوى الإشعاع. تُعتبر هذه البيانات ذات أهمية كبيرة في تقييم كفاءة نظام الطاقة الشمسية وتخطيط استراتيجيات إدارة الطاقة، حيث تعكس احتياجات الحرارة المطلوبة وتساعد في اتخاذ قرارات صحيحة بشأن تحسين التصميم والعمليات التشغيلية لمحطات الطاقة الشمسية.



الشكل (8) الأداء الحراري لنظام LFR خلال أسبوع من فصل الشتاء



الشكل (9) الأداء الحراري لنظام LFR خلال أسبوع من فصل الصيف

### 5-3 التحليل الاقتصادي (Economic Analysis)

تُحدد الجدوى الاقتصادية لأنظمة الطاقة المتجددة من خلال مؤشرات الأداء الرئيسية، والتي تشمل معايير مثل التكلفة الإجمالية للاستثمار، والعائد على الاستثمار، وفترة الاسترداد. تُساهم هذه المؤشرات في ضمان فعالية النظام من الناحية الاقتصادية، مما يُتيح اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن تنفيذ أنظمة الطاقة المتجددة.

في هذا السياق، يظهر الجدول (5) المعلمات الخاصة بالأداء الاقتصادي التي تم حسابها بواسطة البرنامج. يتضمن الجدول تحليلاً شاملاً لمعدلات الإنتاجية والتكاليف التشغيلية، مما يتيح تقدير العائد المحتمل من الاستثمار في هذه الأنظمة.

علاوة على ذلك، يُعتبر تحليل مؤشرات الأداء الرئيسية ضرورياً في عمليات التخطيط والتنفيذ، حيث يُساهم في تحديد مدى قدرة الأنظمة على التكيف مع المتغيرات الاقتصادية والبيئية. كما يمكن هذا التحليل من تقييم أكثر دقة لإمكانيات الابتكار والتحسين في مجالات الطاقة المتجددة.

لذا، فإن الاعتماد على معايير الأداء الاقتصادية يُعد خطوة أساسية نحو تعزيز استدامة الطاقة، وتقديم حلول مُجدية لتحسين كفاءة استغلال الموارد المتاحة.

الجدول (5) مقاييس الأداء الاقتصادي للنظام المحاكى

المعامل	القيمة
نموذج العمل	Turnkey
إجمالي الاستثمار	163703.2 €
تكلفة محطة الطاقة الشمسية	€90829.1
تكلفة مكملات المشروع	40152.9 €
معدل تكلفة الطاقة (LCOE)	0.04909 €/kwh
فترة الاسترداد	4 سنوات

#### 5-4 التحليل البيئي (Economic Analysis)

الجدول (6) يقدم تحليلاً تفصيلياً للتدفق النقدي المتراكم الناتج عن إنشاء وتشغيل محطة الطاقة الشمسية، بالإضافة إلى تقدير التوفير المالي السنوي نتيجة تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية. كما يسلط الضوء على تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) الناجمة عن استخدام تقنية عاكسات فريزل الخطية (LFR)، مما يعزز من الأثر البيئي الإيجابي. يتضمن الجدول أيضاً تفصيلاً لفواتير التشغيل والصيانة، موضحةً التكاليف التشغيلية التي تم تخفيضها بفضل كفاءة النظام وتوفير الطاقة. يُبرز هذا التحليل الجوانب الاقتصادية والبيئية للمشروع، مؤكداً تحقيق الاستدامة المالية والبيئية على المدى الطويل.

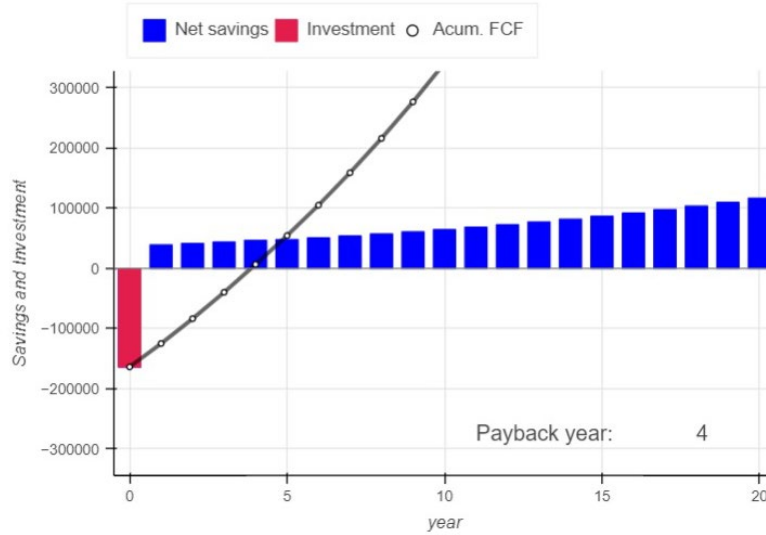
الجدول (6) التدفق النقدي المتراكم، والوفورات والفواتير الطاقية للصناعة

السنة	التدفق النقدي المتراكم €	توفير الطاقة الشمسية + توفير انبعاثات CO <sub>2</sub> تكاليف التشغيل والصيانة €	فاتورة الطاقة السنوية €
السنة 0	163703	0	43037.5
السنة 1	124771	38931.2	43037.5
السنة 2	83504	41267.1	45619.8
السنة 3	39761	43743.1	48356.9
السنة 4	6605	46367.7	51258.4
السنة 5	54315	49149.8	54333.9
السنة 6	104974	52098.8	57593.9
السنة 7	158759	55224.7	61049.5
السنة 8	215857	58538.2	64712.5
السنة 9	27647	62050.5	68595.2
السنة 10	340801	65773.5	72711
السنة 15	726618	88019.8	97303.7
السنة 20	1245365	117790.3	130214.2

#### 5-5 تحليل التكاليف (Cost Analysis)

الشكل (10) يوضح تدفق النقد المتراكم الناتج عن تشغيل نظام المركبات الشمسية (LFR) ويبرز فترة استرداد التكاليف المرتبطة بتركيب النظام. يُظهر الرسم التدرجي كيف تساهم الوفورات المالية الناتجة عن تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة في استرداد الاستثمار. يمثل الشكل نقطة استرداد التكاليف بدقة، حيث تبدأ المحطة في تحقيق عوائد إيجابية بعد تغطية نفقات التركيب الأولية. هذا التحليل يعزز من جدوى النظام الاقتصادية ويؤكد فاعليته في تحقيق الاستدامة المالية على المدى البعيد.





الشكل (10) رسم التدفق النقدي المتراكم لنظام LFR

## 6- النتائج (Results)

أثبتت الطاقة الشمسية دورها الفعال في توفير الطاقة الحرارية اللازمة في العديد من التطبيقات الصناعية، خصوصاً تلك التي تتطلب درجات حرارة مرتفعة. تعد تقنية عاكسات فرينل الخطية (LFR) إحدى الحلول التقنية الفعالة في إنتاج الطاقة الحرارية، حيث تتيح تحقيق درجات حرارة عالية، ما يجعلها مناسبة لمجموعة واسعة من العمليات الصناعية.

من خلال التحليل البصري والهندسي لنظام LFR، تم تحديد الزوايا الحرجة والمعايير الأساسية التي يعتمد عليها النظام. أظهرت الدراسات المتعلقة بالكسب الحراري ومعاملات زاوية السقوط (IAM) نتائج إيجابية، حيث أشارت معظم القيم إلى كفاءة عالية، وكانت قريبة من الواحد لمعظم شهور السنة. يعكس هذا الأداء الفعال قدرة النظام على تلبية متطلبات الطاقة الحرارية بشكل مستدام في التطبيقات الصناعية.

باستخدام برنامج **Resspi**، تم إجراء محاكاة ودراسة جدوى اقتصادية لنظام LFR في مجال تعقيم القفازات الصناعية. أظهرت النتائج إمكانية تحقيق تخفيض في التكاليف التشغيلية بنسبة تزيد عن 90.5%، مع توفير جزء كبير من الطاقة الحرارية المطلوبة، خصوصاً خلال أشهر الصيف، حيث تكون كفاءة النظام في أعلى مستوياتها. ورغم انخفاض الأداء في الشتاء، أثبت النظام فعاليته الاقتصادية، مع فترة استرداد استثمار تُقدر بـ 4 سنوات ومعدل عائد داخلي يصل إلى 29.33%، مما يعكس جدواه من الناحيتين الاقتصادية والبيئية.

## 7- الاستنتاج (Conclusion)

تُظهر نتائج التحليل والمحاكاة لتقنية LFR أن النظام يُعد خيارًا مستدامًا وفعالًا لتلبية احتياجات الطاقة الحرارية، مما يعزز من اعتماده في القطاعات الصناعية والمجالات التي تتطلب استهلاكًا عاليًا للطاقة.

في ختام هذا العمل، أثبتت الدراسة جدوى استخدام تقنية عاكسات فرينل الخطية (LFR) لتلبية احتياجات الطاقة الحرارية في صناعة تعقيم القفازات في ليبيا. من خلال المحاكاة باستخدام برنامج **Resspi**، تبين أن النظام قادر على توفير 430,375 كيلوواط ساعة

من الطاقة الحرارية المطلوبة سنويًا، والتي تُستهلك حاليًا من مصادر كهربائية مكلفة. يبرز نظام LFR كحل اقتصادي ومستدام يوفر تقنيات متقدمة لتقليل التكلفة الإجمالية، حيث يساهم في تحسين الكفاءة الحرارية وخفض تكاليف التشغيل بنسبة كبيرة.

علاوة على ذلك، اثبتت أن النظام لا يدعم فقط تقليل التكاليف ولكنه يعزز أيضًا الاستدامة البيئية، عبر تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية الملوثة. بفضل الكفاءة العالية لنظام LFR، فإنه يتيح استخدامًا متوازنًا للطاقة الحرارية طوال العام، مع أداء مثالي خلال أشهر الصيف.

يركز هذا البحث على أهمية تطبيق تقنيات الطاقة المتجددة في العمليات الصناعية، كجزء من التحول العالمي نحو حلول مستدامة للطاقة. يساهم اعتماد مثل هذه التقنيات في تحقيق الأهداف الوطنية والدولية المرتبطة بالتنمية المستدامة، خاصة تلك المتعلقة بخفض الانبعاثات الكربونية. علاوة على ذلك، فإن استثمار الطاقة المتجددة لا يقتصر على توفير موارد نظيفة، بل يحدث تأثيرًا مباشرًا على تحسين الكفاءة وتقليل التكاليف التشغيلية، مما يدعم الصناعات في مواجهة تحديات التغير المناخي. هذه المبادرات تعزز من التوجه العالمي نحو مستقبل أكثر استدامة، وتمنح الصناعة دورًا رئيسيًا في تحقيق تحول اقتصادي وبيئي شامل.

## المراجع (References)

[1] <https://www.ucsus.org/resources/benefits-renewable-energy-use>

[2] National Renewable Energy Laboratory (NREL) - Renewable Energy NREL: Renewable Energy Overview

[3] International Renewable Energy Agency (IRENA) - Renewable Energy and Sustainability IRENA Publications

[4] Oxford Academic - Environmental Impacts of Renewable Energy Environmental Impacts of Renewable Energy

[5] Simulation and optimization of a Concentrating Solar Power Plant with Thermal Energy Storage in Sebha city by using system advisor model (SAM) MA Sharif, SA Al-Hashmi, **Journal of Pure & Applied Sciences**, 2021•sebhau.edu.ly

[6] Design, construction and experimental investigation of a linear Fresnel concentrator for sustainable energy services in Sub-Saharan Africa KE N'Tsoukpoé, GK Ko, Q Falcoz, Y Coulibaly Conference Proceedings: 1st German-West African Conference on ..., 2020•opus4.kobv.de

[7] Potential uses of a prototype linear Fresnel concentration system, P Dellicompagni, J Franco, **Renewable Energy**, 2019•Elsevier

[8] Comparison of Linear Fresnel Collector and Parabolic Through Collector Fields H Al Smadi, University of Freiburg, Freiburg, Germany, 2018•researchgate.net

[9] Modeling, Design and Performance Study of a Linear Fresnel Plant: Application in Sahelian Rural Areas, S DIARRA, S FAYE, SM SOKHNA, O SOW, 2024•researchgate.net

- [10] Experimental Investigation on the Feasibility of Using a Fresnel Lens as a Solar-Energy Collection System for Enhancing On-Orbit Power Generation Performance, **TY Park, JY Jung, HU Oh, International Journal of Aerospace Engineering, 2017•Wiley Online Library**
- [11] Modelling and performance analysis of linear fresnel collector for process heat generation for Ice Cream Factory in Konya, **R Singh, 2017•open.metu.edu.tr**
- [12] Design Optimization of Linear Fresnel Reflector Systems **MPG Sirimanna, 2023•pureportal.coventry.ac.uk**
- [13] A comprehensive optical characterization of linear Fresnel collectors by means of an analytic study, **R Abbas, JM Martínez-Val, Applied Energy, 2017•Elsevier**
- [14] Performance analysis and optimization of Fresnel lens concentrated solar water heater, **VK Soni, RL Shrivastava, SP Untawale, K Shrivastava, Journal of Solar Energy Engineering, 2019•asmedigitalcollection.asme.org**

