وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الفرات الأوسط
معهد التقني الرميثة / قسم الكهرباء

تحسين أداء الألواح الكهروضوئية بواسطة مادة متغيرة الطور(PCM)

اعداد الطالب

مصعب عادل عبدالنبي　　عبدالهادي رزاق فليح

عبدالكريم عبيد حسن　　سجاد خليل لفته

باشراف

م. م. ندى قحطان خلف

١٤٤٣هـ　　٢٠٢١م

بسم الله الرحمن الرحيم

((يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا
الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ والله بما تعملون خبير))

صدق الله العظيم

سورة المجادلة رقم الآية (١١)

إهداء

وقبل أن نمضي نقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة...

إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل....

الى من مهد لي طريق العلم والنجاح والدي العزيز....

الى من غمرتني بالحب والحنان وبلسم الشفاء والدتي العزيزة...

المحتويات

الفصل الأول

١-١ مقدمة ..... (١)

١-٢ تقنيات التبريد ..... (٢)

١-٣ التطبيق السلبي لـ PCMs في بناء ..... (٣)

الفصل الثاني

٢-١ مراجعة الأدب ..... (٤)

٢-٢ أهدف البحث ..... (٦)

الفصل الثالث

٣-١ آلية تطبيق المشروع ..... (٧)

الفصل الرابع

٤-١ النتائج والمناقشة ..... (٨)

المصادر ..... (١٢)

الفصل الأول

١-١ مقدمة

تم تلبية متطلبات الطاقة الحالية في الغالب عن طريق الوقود الأحفوري والمصادر غير المتجددة التي تستنفد بمعدل سريع إلى جانب كونها من بواعث غازات الاحتباس الحراري، لذلك يتم استخدام الحلول القائمة على مصادر الطاقة المتجددة لمواجهة تحديات الطاقة الحالية. الطاقة الشمسية هي واحدة من مصادر الطاقة المتجددة النظيفة والتي لا تنضب بدون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتوليد النفايات الصفرية. تُبذل جهود بحثية على مر السنين للاستفادة الفعالة من الموارد الشمسية الضخمة باستخدام الألواح الكهروضوئية (PV) ولكن الكفاءة لا تزال منخفضة حيث يتم تحويل جزء كبير من الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية. لا يقلل هذا من كفاءة توليد الكهرباء فحسب، بل يؤثر أيضًا على عمر الألواح الكهروضوئية. لقد وجد أن أداء الكهروضوئية ينخفض مع زيادة درجة حرارة الوحدة. تنخفض كفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون البلوري بنسبة ٠,٥٪ لكل ارتفاع بمقدار ١ درجة مئوية في درجة حرارة الخلايا الشمسية ويختلف هذا الانخفاض في الكفاءة باختلاف نوع الخلية.

درجة حرارة الخلية الشمسية هي دالة لمعايير مختلفة، وأهمها التشمس المتلقي، وسرعة الرياح على سطح اللوحة الكهروضوئية، واتجاه تدفق الرياح ودرجة الحرارة المحيطة. تختلف درجة حرارة الأسطح الأمامية والخلفية للوحة الكهروضوئية باختلاف درجة الاتجاه بسبب تأثيرات الحمل الحراري والتوصيل والإشعاع. نظرًا لأن الإشعاع الشمسي الذي يسقط على اللوحة الكهروضوئية ٢ وسرعة الرياح ودرجات الحرارة المحيطة، لا يخضعان لسيطرة الإنسان، يركز البحث على تطوير مواد وطرق جديدة لخفض درجة حرارة الخلايا الشمسية دون إضافة الكثير إلى تكلفة النظام.

هناك عدة طرق لتقليل ارتفاع درجة حرارة سطح الكهروضوئية؛ على سبيل المثال، استخدام التبريد النشط مع تدفق الهواء على السطح السفلي من الكهروضوئية. كسائل تبريد لـ PV، يتم نقل الماء في ملف الأنابيب المركب على السطح السفلي مPV ، والمخصص للحصول على الماء الساخن. طريقة فعالة لتخزين الطاقة الحرارية من الطاقة الشمسية من خلال استخدام مواد تغيير الطور .(PCMs) هذه الطرق قادرة على زيادة الطاقة الكهربائية التي تنتجها الكهروضوئية بنسبة تصل إلى ٩٪ مقارنة بالطريقة التي لا يوجد بها تبريد.

١-٢ تقنيات التبريد

يمكن استخدام تقنيات مختلفة لتحقيق تبريد الأنظمة الكهروضوئية مثل القائمة على السائل، والقائم على الهواء، والأنابيب الحرارية، والقائمة على) PCM مواد تغيير الطور. ومع ذلك، فإن تقنية التبريد تعتمد على عدة عوامل مثل، نوع التكنولوجيا الكهروضوئية المستخدمة، وأنواع الهندسة الكهروضوئية وظروف الطقس (المكان) التي تم تركيب النظام فيها.

في أنظمة التبريد، تم تصنيف تقنيات التبريد على أنها: -

١- نظام التبريد السلبي.

٢- نظام التبريد النشط.

يشير نظام التبريد السلبي إلى التقنيات التي تقلل درجة حرارة الوحدة الكهروضوئية عن طريق امتصاص الحرارة منها دون استهلاك إضافي للطاقة. هذه الآلية تعني نقل الحرارة من مكان تولدها وتبديدها في البيئة.

في مادة تغيير الطور، توجد العديد من طرق التبريد السلبي المتاحة، وتتضمن أبسط الأشكال استخدام مواد صلبة من معادن عالية التوصيل الحراري، مثل الألومنيوم والنحاس، أو مجموعة من الزعانف أو الأسطح المبثوقة الأخرى لتعزيز نقل الحرارة إلى المحيط. تتضمن الأنظمة الأكثر تعقيدًا استخدام مواد تغيير الطور (PCMs) وطرق مختلفة للدوران الطبيعي، بالإضافة إلى استخدام أنابيب الحرارة القادرة على نقل الحرارة بكفاءة من خلال عملية تكثيف الغليان.

تتكون أنظمة التبريد النشطة من آلية استخلاص الحرارة باستخدام أجهزة مثل المراوح أو ضخ الماء على الألواح لاستخراج الحرارة. على الرغم من أن النظام النشط يستهلك الطاقة، إلا أنه يتم استخدامها في المواقف التي تكون فيها الكفاءة المضافة للوحات أكبر من الطاقة المطلوبة لتشغيل النظام.

تستخدم هذه الأنظمة بشكل أساسي في هذه المواقف حيث يمكن تحقيق بعض الفوائد الأخرى، مثل استعادة الحرارة المهدرة لتسخين المياه المنزلية.

في الوقت الحاضر، تتمثل المشكلة الرئيسية الموجودة في الخلايا الكهروضوئية في تحويل الإشعاع إلى نبضات كهربائية وتكلفة الخلية الشمسية الكهروضوئية. للتغلب على كلتا المشكلتين، فإن تطبيق تقنية التبريد في الخلية الكهروضوئية هو أفضل الطرق. تم اقتراح العديد من الطرق

واستخدامها لتحقيق الغرض ٤ من تبريد الخلايا الكهروضوئية. تندرج هذه الطرق تحت فئتين رئيسيتين من التبريد النشط، والتي تتطلب طاقة لتشغيل النظام، والتبريد السلبي، والذي لا يتطلب طاقة لتشغيل النظام. التنظيم الحراري لمواد تغيير الطور (PCM) هو أيضًا طريقة الفئة السلبية. تُستخدم طريقة التبريد السلبي في الغالب بالمقارنة مع طرق التبريد النشطة لإنتاج الطاقة الكهروضوئية الصناعية لأنها لا تتطلب طاقة لضخ الماء أو الهواء للتبريد وبالتالي تتطلب صيانة أقل.

١-٣ التطبيق السلبي لـ PCMs في بناء

تقدم مواد تغيير الطور (PCM) حلاً جذابًا نظرًا لأن لديها سعة حرارية أكبر بعدة مرات من الأنظمة القائمة على الماء والهواء. علاوة على ذلك، يمكن استخدام الحرارة المخزنة أثناء الليل دون حدوث خسائر كبيرة في الحرارة. يمكن بعد ذلك استخدام الحرارة المخزنة لتكييف الهواء أو تسخين المياه مما يرفع الكفاءة الكلية للنظام ويقلل من تكلفته الفعالة.

يعد التطبيق السلبي لأجهزة PCM في البناء طريقة بسيطة ومباشرة لاستخدام أجهزة PCM في المباني.

توفر مغلفات البناء مساحات كبيرة يمكن أن تسهل نقل الحرارة بين أجهزة PCM والمساحة الداخلية. يمكن دمج أجهزة PCM بشكل سلبي في مختلف المباني مثل الأسقف أو الأسقف والجدران والنوافذ والأرضيات لتحسين الكتلة الحرارية المحلية لبناء الحرارة وإدارة الحمل.

الفصل الثاني

٢-١ مراجعة الأدب

في الآونة الأخيرة، حظيت طريقة تبريد اللوحة الكهروضوئية القائمة على تغيير الطور (PCM) باهتمام أكبر من قبل الباحثين. تمتص لوحة PV-PCM الحرارة الكامنة عندما تتغير عملية الطور الصلب إلى السائل. تم إجراء دراسة استقصائية باستخدام PV / PCM بواسطة Huang

تتم مقارنة نظام PV-PCM عدديًا وتجريبيًا بترتيب تبريد الهواء التقليدي. وجد المؤلفون أن PCM "RT27" مع اللواح معدنية مناسب لارتفاع درجة حرارة اللوحة الكهروضوئية في نظام PV-PCM. الاختبارات التجريبية التي أجراها Hasan وآخرون.

أشارت إلى أن درجة حرارة سطح اللوحة الكهروضوئية احتفظت بأقل من ٤٠ درجة مئوية لمدة ٦ ساعات عند استخدام أجهزة PCM .

Biwole، أظهر أن لوحة PV / PCM يمكنها الحفاظ على درجة حرارة اللوحة الكهروضوئية أقل من ٤٠ درجة مئوية لمدة ٨٠ دقيقة تحت إشعاع شمسي يبلغ ١٠٠٠ واط/م^{٢} Huang وآخرون. البحث الذي تم إجراؤه على PCM مع نظام الهواء له نتائج أفضل في نقل الحرارة.

تنص المحاكاة الرقمية باستخدام كود CFD التجاري (Fluent 6.3) الذي أجرته Nehariet على أن درجة حرارة اللوحة الكهروضوئية تزداد مع زيادة الميل، وأن الميول الصغيرة (أقل من ٤٥ درجة) تتمتع بتبريد أفضل لهذه اللوحة.

تمت دراسة الإدارة الحرارية للوحة الكهروضوئية باستخدام البولي إيثيلين جلايكول ١٠٠٠ كجهاز PCM من قبل Mousavi Baygi and Sadrameli.

في هذه الدراسة التجريبية ، تم توصيل قناة مستطيلة مليئة بـ PCM بالجزء الخلفي من اللوحة. تم مسح آثار انحدار الخلية وحجم القناة عند الإشعاع الشمسي الثابت ٨٠٠ واط / م ٢. وفقًا للنتائج، فإن الجمع بين PCM وخلية PV يقلل من درجة حرارة الخلية الكهروضوئية بمقدار ١٥ درجة مئوية ويزيد من الكفاءة الكهربائية حتى حوالي ٨ ٪. Sudhakar وآخرون.

قدم نظام تبريد الخلايا الكهروضوئية على أساس PCM . في هذا النظام المركب، تم استخدام خزان تخزين للطاقة الحرارية يحتوي على PCM مغلق لتبريد تدفق الهواء. لإزالة حرارة الخلية مما يؤدي إلى تبريدها، يمر تيار الهواء البارد عبر القناة المتصلة أسفل الخلية.

في عملية التبريد خلال النهار، يتم ذوبان PCM وخلال الليل ويتم ترسيخ ساعات الصباح الأولى (مشحونة) بحرية عن طريق تدفق الهواء المحيط من خلال الخزان. في دراسة أجراها Sardarabadi وآخرون.

تم مسح تأثيرات الاستخدام المتزامن لأكسيد الزنك / الماء النانوي وشمع البارافين مثل PCM في نظام PV /T. في هذا النظام الهجين، تم تجهيز الخلية الكهروضوئية بطائرة معدنية بالإضافة إلى أنابيب محاطة بشمع البارافين. تنخفض درجة حرارة الألواح الشمسية في PVT PCM /بمقدار ١٦ درجة مئوية وتعزز الطاقة الناتجة بنسبة ١٣٪.

قام Huang بمسح أداء اللوحة الكهروضوئية المدمجة مع PCM واللوحة.

في نظام التبريد هذا، تم توصيل حاوية PCM حيث تم فصل جهازي PCM مختلفين باستخدام اللوحة، بالجزء الخلفي من اللوحة للتحكم في درجة حرارة اللوحة.

تم استخدام الالواح بهدف زيادة التوصيل الحراري المنخفض لأجهزة PCM .

تمت دراسة شكلين من الزعانف (مثلث ونصف دائري) وأربعة PCMs مختلفة (RT21, RT27, RT31, RT60).

تم الحصول على أعلى انخفاض في درجة حرارة اللوحة بوجود زعانف مثلثة و-RT27 RT21 PCM.

درس Atkin و Farid استخدام مادة الجرافيت المملوءة بمحلول حراري خارجي ذي زعانف (PCM) وهي طريقة قابلة للتطبيق للتنظيم الحراري الكهروضوئي. في هذا البحث تم استخدام أربع تقنيات حرارية مختلفة. هذه الحالات الأربع هي: (١) الحالة A ، اللوحة الكهروضوئية بدون تنظيم حراري، (٢) الحالة B ، اللوحة الكهروضوئية مع مادة تغيير الطور بسمك ٣٠ مم مملوءة بالسطح الخلفي ، (٣) الحالة C ، الكهروضوئية مع المشتت الحراري ذو الزعانف المتصلة بالسطح الخلفي و (٤) الحالة D ، اللوحة الكهروضوئية مع مزيج من مادة متغيرة الطور مملوءة بالجرافيت والمشتت الحراري الزعانف.

جميع تقنيات التنظيم الحراري الأربعة فعالة للغاية ولكن الحالة D أكثر فائدة وفعالية للغاية لزيادة الكفاءة الإجمالية للوحة الكهروضوئية حتى ١٢,٩٪.

درس Indartono سمك أنبوب الألمنيوم المستطيل المحتوي على مادة تغيير الطور الزيت والذي يتم وضعه في الجانب الخلفي من PV.

أجريت الدراسة التجريبية لتقييم تأثير سماكة الأنبوب على خفض درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية. تؤثر سماكة مادة تغيير الطور بشكل كبير على تثبيط ارتفاع درجة حرارة السطح الكهروضوئي.

في هذه الورقة، تُظهر النتيجة سمك ١٠٢م PCM ، وطاقة الإخراج وكفاءة الطاقة الكهروضوئية أعلى من المرجع، أي ٢٣,٨٪ و٢,١٪ على التوالي.

في هذه الدراسة الحالية، تم توضيح الأداء الحراري للنظام القائم على PV-PCM. استخدام شمع البارافين باعتباره PCM في هذا العمل البحثي ويستهدف التبريد الكهروضوئي بدرجة حرارة عالية.

٢-٢ أهداف البحث

١- استخدام خاصية الحرارة الكامنة لـ PCM لضمان الحفاظ على درجة حرارة اللوحة الكهروضوئية عند مستوى يقارب درجة الحرارة المحيطة.
سيعزز ذلك كفاءة الخلايا الكهروضوئية، ويزيد من خرج الطاقة ويحمي الخلية النزاهة.

٢- لفحص أداء نظام PV-PCM في ظل الظروف الجوية الحقيقية لتعزيز التبادل الحراري وإزالة الحرارة من اللوحة الكهروضوئية. تم تطوير نموذج المقاومة الحرارية-PV PCMأحادي الأبعاد.

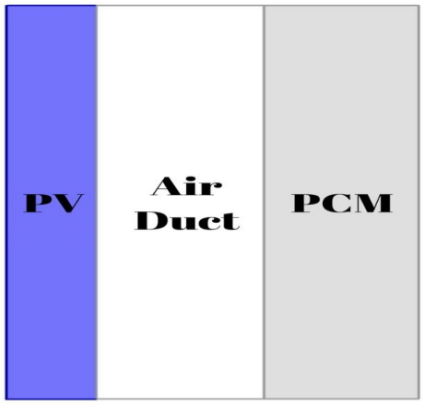
الفصل الثالث

٣-١ آلية تطبيق المشروع

الطاقة الشمسية جزء مهم من الطاقة المتجددة. تقوم الخلية الكهروضوئية (PV) بتحويل جزء من الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ويتم تحويل الباقي إلى حرارة. تؤثر هذه الحرارة عكسياً على كفاءة الخلية الشمسية. تعتمد كفاءة الألواح الشمسية على ثلاثة عوامل: شدة تدفق الإشعاع الشمسي، وجودة أشباه الموصلات المستخدمة، ودرجة حرارة التشغيل لخلية أشباه الموصلات. من المعروف أن كفاءة الخلية الكهروضوئية تتناقص عند زيادة درجة حرارة الخلية الكهروضوئية.

في هذه الدراسة، تم تقييم الأداء اليومي وصلاحية هذا النظام من خلال المحاكاة، مما تعتبر .PCM يوضح أنه يمكن تقليل درجة حرارة الكهروضوئية بواسطة من خلال إضافة كمرشح محتمل للاحتفاظ بدرجة الحرارة الكهروضوئية عند درجة (PCM) مادة تغيير الطور منخفضة بسبب تخزينها الحراري الكامن .

الطاقة الشمسية هي مصدر للطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها في تطبيقات مختلفة في عالم اليوم. يتطلب الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية وسيط تخزين يمكنه تسهيل تخزين الطاقة الزائدة، ومن ثم توفير هذه الطاقة المخزنة عند الحاجة إليها. طريقة فعالة لتخزين الطاقة الحرارية من الطاقة الشمسية من خلال استخدام مواد تغيير الطور (PCMs)، الشكل (٣-١). PCMs هي متساوي الحرارة بطبيعته ، وبالتالي يوفر تخزينًا للطاقة بكثافة أعلى والقدرة على العمل في نطاق متغير من ظروف درجات الحرارة



شكل (٣-١): نظام PCM مع PV/T

الفصل الرابع

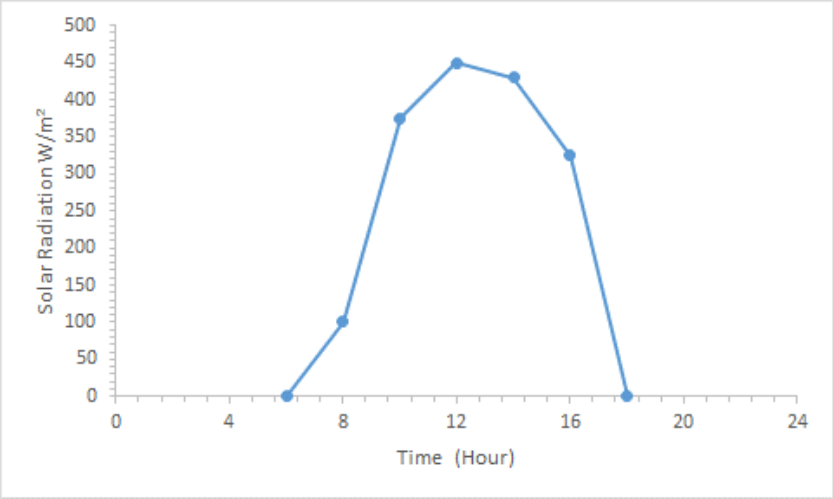
٤-١ النتائج والمناقشة

يمكن استخدام مادة تغيير الطور (PCM) لخفض درجة حرارة لوحة كهروضوئية (PV) لضمان أقصى كفاءة للخلية وحماية الخلايا من الحرارة الزائدة.

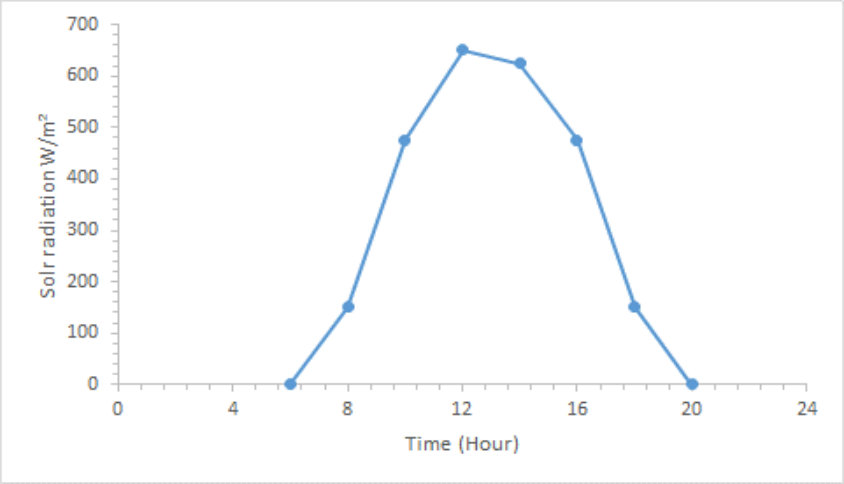
يسمح هذا النظام الهجين، المسمى فيما يلي بـ PV / PCM ، باستعادة الحرارة المخزنة بشكل إضافي باستخدام تدفق الهواء أو الماء. سيتم تغيير سلوك PCM من خلال حقيقة أن الحرارة المحددة للخصائص الحرارية والكثافة والتوصيل - تتغير باستمرار، مع قيم جديدة تعتمد على درجة حرارة السياق ودرجة الحرارة المحيطة ونطاق درجة حرارة تغير الطور. يطلق على الحرارة النوعية الظاهرية لـ PCM السعة الحرارية الفعالة، مع زيادة تعمل على امتصاص جزء كبير من تدفق الحرارة المحلي.

ركزت الدراسة الحالية على التحليل الحراري العددي لاثنين مختلفين حالات افتراضية لحالة الطقس كما هو موضح في الأشكال من شكل (٤-١) إلى شكل (٤-٤). يظهر الشكلان (٤-٥) و (٤-٦) تخزين الطاقة في جدار PCM وسيزداد نقل الحرارة من تجويف الهواء إلى الغرفة الداخلية عندما يزداد الهواء المحيط.

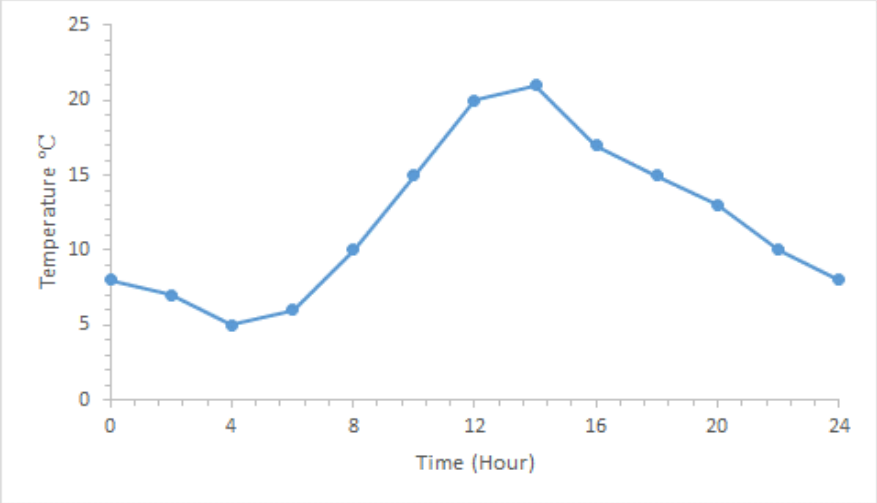
تظهر النتائج المقدمة أن النظام الذي يستخدم PCM يقلل درجة الحرارة داخل تجويف الهواء ويجعل النظام أكثر استقرارًا بسبب تخزين المكاسب الشمسية كحرارة كامنة في جدار PCM. هذه ميزة لكفاءة تحويل الطاقة الشمسية للوحدة الكهروضوئية.



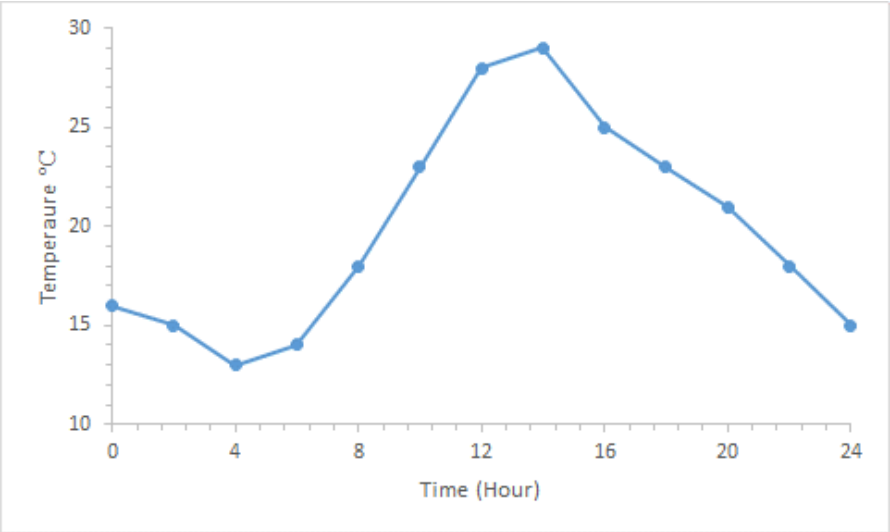
شكل (٤-١): الاشعاع الشمسي اليومي (وات/ م٢). حالة١



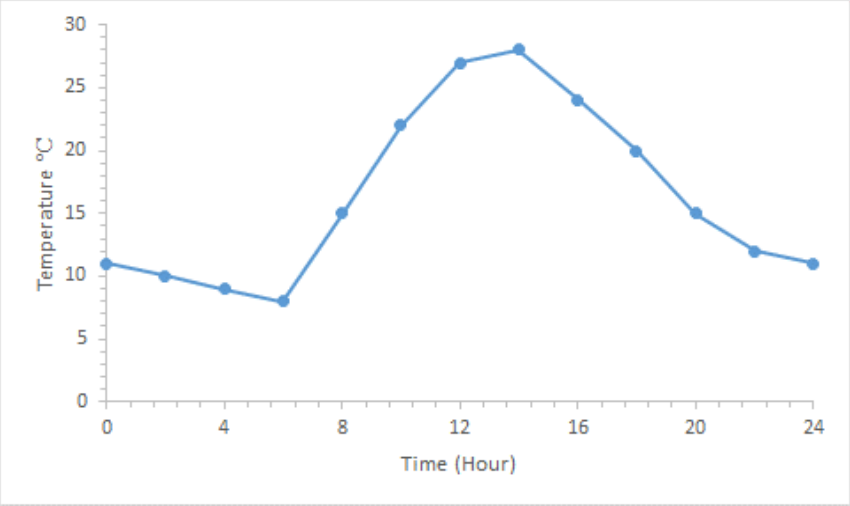
شكل (٤-٢): الاشعاع الشمسي اليومي (وات/ م٢). حالة٢



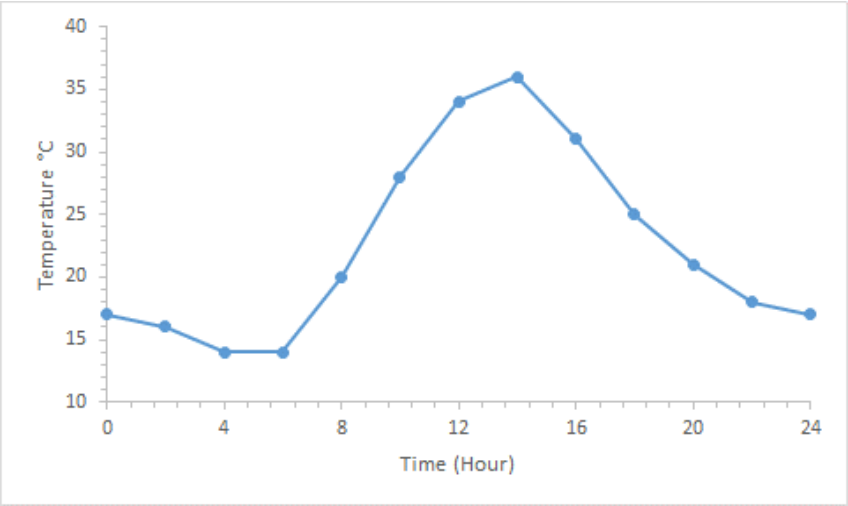
شكل (٤-٣): درجة حرارة الهواء المحيطة اليومية (درجة مئوية). حالة١



شكل (٤-٣): درجة حرارة الهواء المحيطة اليومية (درجة مئوية). حالة٢



الشكل (٤-٥): درجة حرارة اليومية لـ PCM . حالة١



الشكل (٤-٦): درجة حرارة اليومية لـ PCM . حالة٢

المصادر

١. Chandrasekar M، Rajkumar S، Valavan D. مراجعة لتقنيات التنظيم الحراري للوحدات الكهروضوئية المسطحة غير المتكاملة المركبة على قمة المبنى. بناء الطاقة ٢٠١٥ ؛ ٨٦: ٦٩٢-٧.

٢. Krauter S، Rodrigo G، Sandra S. النظام الكهروضوئي المشترك، والنظام الحراري الشمسي لتكامل الواجهات وعزل المبنى. سول إنيرجي ١٩٩٩ ؛ ٦٧: ٢٣٩-٤٨.

٣. S. Dubey، J. N. Sarvaiya، و B. Seshadri ، "الكفاءة الكهروضوئية المعتمدة على درجة الحرارة وتأثيرها على إنتاج الكهروضوئية في مراجعة worlda ، Energy Procedia "، المجلد. ٣٣، ص ٣١١ - ٣٢١ ، ٢٠١٣.

٤. H. Teo، P. Lee ، و M.N.A Hawlader ، "نظام تبريد نشط للوحدات الكهروضوئية ،" أبلايد إنيرجي ، المجلد. ٩٠ ، رقم. ١ ، ص ٣٠٩-٣١٥ ، ٢٠١٢.

٥. AA Hachicha و C. Ghenai و AK Hamid ، "تحسين أداء الوحدة الكهروضوئية باستخدام طرق تبريد مختلفة" ، الأكاديمية العالمية للعلوم والهندسة والتكنولوجيا ، المجلة الدولية للهندسة البيئية والكيميائية والبيئية والجيولوجية والجيوفيزيائية ، المجلد. ٩ ، رقم . ٩ ، الصفحات من ١١٠٦ إلى ١١٠٩ ، ٢٠١٥.

٦. Parameshwaran R.، Kalaiselvam S.، Harikrishnan S. and Elayaperumal A. ، "تقنيات تخزين الطاقة الحرارية المستدامة للمباني" : مراجعة. مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، المجلد ١٦، رقم ٥، الصفحات ٢٣٩٤-٢٤٣٣، ٢٠١٢ .

٧. MJ Huang ، P.C. Eames, B. Norton ، "الأداء التجريبي لمواد تغيير الطور للحد من ارتفاع درجة الحرارة في بناء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة" ، مجلة الطاقة الشمسية ، ٨٠ ، ص ١١٢١-١١٣٠ ، ٢٠٠٦ .

٨. MJ Huang، P.C. Eames, B. Norton ، "التنظيم الحراري للخلايا الكهروضوئية المتكاملة للمباني باستخدام مواد تغيير الطور" ، المجلة الدولية للحرارة والانتقال الجماعي ، ٤٧ ، ص ٢٧١٥-٢٧٣٣ ، ٢٠٠٤ .

٩. Hasan A. , McCormack SJ, Huang MJ, Norton B.، "التصميم التجريبي لدمج مواد تغيير الطور في بناء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة للتحكم الحراري" ، وقائع المؤتمر الثالث للعلوم والتطبيقات والتكنولوجيا الكهروضوئية (PVSAT-3) ، دوركام ، المملكة المتحدة ، ص ١٠٥-١٠٨ ، مارس ٢٠٠٨ .

١٠. Biwole PH. ، Eclache P. ، Kuznik F. ، "تحسين أداء الألواح الشمسية باستخدام مواد تغيير الطور". وقائع المؤتمر العالمي للطاقة المتجددة. لينكوبينج ، السويد ، ٢٠١١ .

١١. Huang MJ، Hewitt N، "تأثير استخدام جهازي PCM على أداء التنظيم الحراري لأنظمة BIPV" ، وقائع المؤتمر الدولي للطاقة الشمسية .(ISES 2009) جوهانسبرغ. ٢٠٠٩ .

١٢. Nehari, Taieb, Mohamed, Benlekkam, Driss Nehari, Abdelkader Youcefi ، "تأثير الميل على التبريد السلبي للوحة الكهروضوئية باستخدام مادة تغيير الطور". المجلة الدولية لأبحاث الطاقة المتجددة 6 (IJRER) ، رقم . الصفحات ١٣٢-١٣٩، ٢٠١٦ .

١٣. Mousavi Baygi SR, Sadrameli (٢٠١٨) ، "الإدارة الحرارية للخلايا الشمسية الكهروضوئية باستخدام البولي إيثيلين جلايكول ١٠٠٠ (PEG1000) كمادة متغيرة الطور" . تقدم العلوم والهندسة الحرارية ٥: ٤٠٥-٤١١.

١٤. Sudhakar P. ،Kumaresan G ،Velraj R ، "تحليل تجريبي للوحدة الكهروضوئية الشمسية المدمجة مع نظام تخزين الطاقة الحرارية الباردة المجانية" . ص ٨٣٧-٨٤٤، ٢٠١٧ .

١٥. Sardarabadi M ،Passandideh-FardM ،Maghrebi MJ ،GhazikhaniM ، "دراسة تجريبية لاستخدام كل من ZnO / water nanofluid ومواد تغيير الطور (PCM) في الأنظمة الحرارية الكهروضوئية" . ص ٦٢-٦٩، ٢٠١٧

١٦. Huang MJ "تأثير استخدام وحدتي PCM على أداء التنظيم الحراري لأنظمة BIPV "، ص ٩٦٣-٩٥٧، ٢٠١١

١٧. P. Atkin و M. M. Farid ، "تحسين كفاءة الخلايا الكهروضوئية باستخدام زعانف الجرافيت والألمنيوم المنقوع بـ "pcm، Solar Energy " ، المجلد. ١١٤ ، ص ٢١٧ - ٢٢٨ ، ٢٠١٥.

١٨. Y. Indartono ،S. Prakoso ،A. Suwono ،I. Zaini ، و B. Fernaldi ، "محاكاة ودراسة تجريبية حول تأثير سماكة مادة تغيير الطور لتقليل درجة حرارة اللوحة الكهروضوئية ،" في سلسلة مؤتمرات IOP: علوم المواد والهندسة ، المجلد. ٨٨ ، عدد ١. IOP للنشر ، ٢٠١٥ .

١٩. M. Mofijur , Teuku Meurah Indra Mahlia , Arridina Susan Silitonga , Hwai Chyuan Ong , Mahyar Silakhori , Muhammad Heikal Hasan , Nandy Putra , وS.M. Ashrafur Rahman، "مواد تغيير الطور (PCM) لاستخدامات الطاقة الشمسية وتخزينها" : نظرة عامة على الطاقات، ٢٠١٩ .

٢٠. M. Mofijur , Teuku Meurah Indra Mahlia , Arridina Susan Silitonga , Hwai Chyuan Ong , Mahyar Silakhori , Muhammad Heikal Hasan , Nandy Putra , وS.M. Ashrafur Rahman، "مواد تغيير الطور (PCM) لاستخدامات الطاقة الشمسية وتخزينها" : نظرة عامة على الطاقات، ٢٠١٩ .

٢١. 1. F. L. Test ،R. C. Lessmann و، A. Johary ، Heat Transfer " أثناء تدفق الرياح فوق الأجسام المستطيلة في البيئة الطبيعية ،" Journal of Heat Transfer ، المجلد ١٠٣ ، عدد٢، ص ٢٦٢-٢٦٧ ، يناير ١٩٨١.

٢٢. L. Candanedo ،A. K. Athienitis ،L. O'Brien و، J. Candanedo ، "نماذج الحالة العابرة والثابتة لأنظمة BIPV / T الهوائية ذات الحلقة المفتوحة " ، ص ١-٢٤، يناير ٢٠١٠.

٢٣. C. A. P. D. Santos and L.M C. Matias ، "معاملات النقل الحراري للعناصر من محيط المباني" ، الطبعة الأولى ، المجلد ١. لشبونة: LNEC ، ص١-١٧١، ٢٠٠٦.

٢٤. S. A. Kalogirou ، هندسة الطاقة الشمسية ، الطبعة الأولى. لندن: إلسفير ، ٢٠٠٩ ، ص. ١-٧٥٧.

٢٥. A. J. Duffie and A.W Beckman، "هندسة الطاقة الشمسية" الطبعة الثانية، JohnWileyو Sons، INC. ، ١٩٨٠ ، ص ١-٤٧٠.