

تجربة عملية تدرس اقران اغشية التقطير (DCMD) لرفع كفاءة الألواح الكهروضوئية وإنتاج المياه التحلية

د. محسن الحراري²
المعهد العالي للتقنية الصناعية لنجيلة - ليبيا
mohsen.alhrari@gmail.com

د. إسماعيل البركي¹
كلية التقنية الكهربائية والإلكترونية / بنغازي
ismailbarki1967@ceet.edu.ly

ملخص البحث

لدراسة رفع الكفاءة اللألواح الشمسية (PV) اجريت تجربة معملية ثم فيها اقران الالواح الشمسية بوحدة تحلية تستخدم التقطير بالأغشية (DCMD) Direct Contact Membrane Distillation للاستفادة من الحرارة المتولدة في ظهر اللوح الشمسي، حيث تعتمد نظرية عمل هذه الاغشية على فرق الحرارة بين جانبي الغشاء لإنتاج المياه العذبة. تم تصنيع هذا النظام الهجين واختباره من يونيو إلى نوفمبر 2020. وسيتم استخدام النتيجة لتقييم جدوى إنتاج المياه العذبة باستخدام الطاقة الشمسية في ظل ظروف تشغيلية مختلفة من مدخلات الطاقة الشمسية والمياه. تمكن المجمع الشمسي CPVT من إنتاج مياه ساخنة بين 55 الى 60 درجة مئوية، والتي يتم تخزينها واستخدامها لتغذية وحدة (DCMD) بالماء بمتوسط درجة حرارة 40 درجة مئوية. نهاية يونيو 2020 ، حيث كانت كمية المياه المنتجة حوالي 5 L/hm² عندما كان تركيز الملح في مياه التغذية 1% (PPM 10×10³)، وجد أن متوسط الكفاءة اللوح (PV) بلغ حوالي 19% بينما ارتفعت الكفاءة الحرارية إلى متوسط 26% وبلغت الكفاءة الكلية 75% في المتوسط. بلغت كفاءة الطاقة الكهروضوئية مع تشغيل حلقة التبريد 18.26% في وقت الذروة للعملية. يشير هذا إلى أن هناك قدرًا كبيرًا من الطاقة الحرارية المتاحة لعملية التحلية مستقبلاً .

كلمات افتتاحية: استخدام اغشية التقطير - كفاءة الألواح الكهروضوئية-الحرارة- التحلية- النظام الهجين.

1- المقدمة

تمتلك العديد من البلدان كميات كبيرة من الطاقة الشمسية ومصدر غير محدود لمياه البحر، ومنها الدول المطلة على البحر الابيض المتوسط مثل ليبيا وهو أمر ضروري لتقنية تحلية المياه بالطاقة الشمسية [1]. تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية هي تقنية خضراء لأنها صديقة للبيئة وفعالة من حيث التكلفة مقارنة بطرق التحلية التقليدية [2]، ويعد التقطير الغشائي (Membrane Distillation) MD من بين تقنيات التحلية الواعدة لديها القدرة على استخدام مصادر الطاقة المستدامة مثل الطاقة الشمسية أو الطاقة الحرارية الأرضية باستهلاك منخفض للطاقة وبتكلفة أقل [3]. ويعتبر PVT (thermal photovoltage) الهجين، أحد تقنيات الطاقة الشمسية الهجينة المتقدمة. حيث يحول الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية والحرارة المتولدة إلى طاقة حرارية [4]. والنظام PVT يشتمل عادةً على خلايا شمسية ضوئية تعمل على تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء، ومجمع حراري شمسي يحول الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية. في الوقت نفسه، تعمل كحلقة تبريد لأنها تزيل الحرارة المتولدة من الجزء الخلفي للخلايا الكهروضوئية يستفاد منها تطبيق، حيث تؤدي زيادة 10 °C للخلايا خفض كفاءة الوحدة pv بنسبة 5% [5]. في جامعة RMIT تم ربط MD مع بركة شمسية متدرجة الملوحة ، أستراليا في عام 2015. وكانت النتيجة الرئيسية للدراسة والتجارب لمدة خمس سنوات أن النظام المقترن يوفر من 5 إلى 120 L/d من المياه العذبة، بينما تم تحقيق أقصى إنتاج يومي للمياه في أشهر الصيف، بالإضافة إلى ذلك تراوح استهلاك الطاقة الحرارية النوعية بين 140 و 350 kWh/m²، بينما تراوحت موصلية الماء المقطر بين 20 و 200 ميكرو ثانية / سم. تم تصميم كلا النظامين لإنتاج 100 L/d [6]. ومؤخراً، تم تركيب نظام MD شمسي ثنائي الحلقات يعمل بالطاقة الشمسية والحرارة المهدرة من محركات الديزل في إيطاليا حيث صمم هذا النظام لإنتاج 5 m³ من الماء المقطر يومياً عند درجة حرارة ثابتة 80 °C، باستخدام 12 وحدة MD مع 120 m² من مساحة الغشاء [7]. وجدت دراسة أجرتها أن استخدام الأنظمة الهجينة زاد من كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمعدل

سنوي قدره 2.8% الي 7.7%. ووجد أيضًا أنه باستخدام أنظمة **PVT**، يمكن تلبية 49% من الطلب على الماء الساخن للمنزل، وبالتالي زيادة كفاءة إلى 31.7% [8].

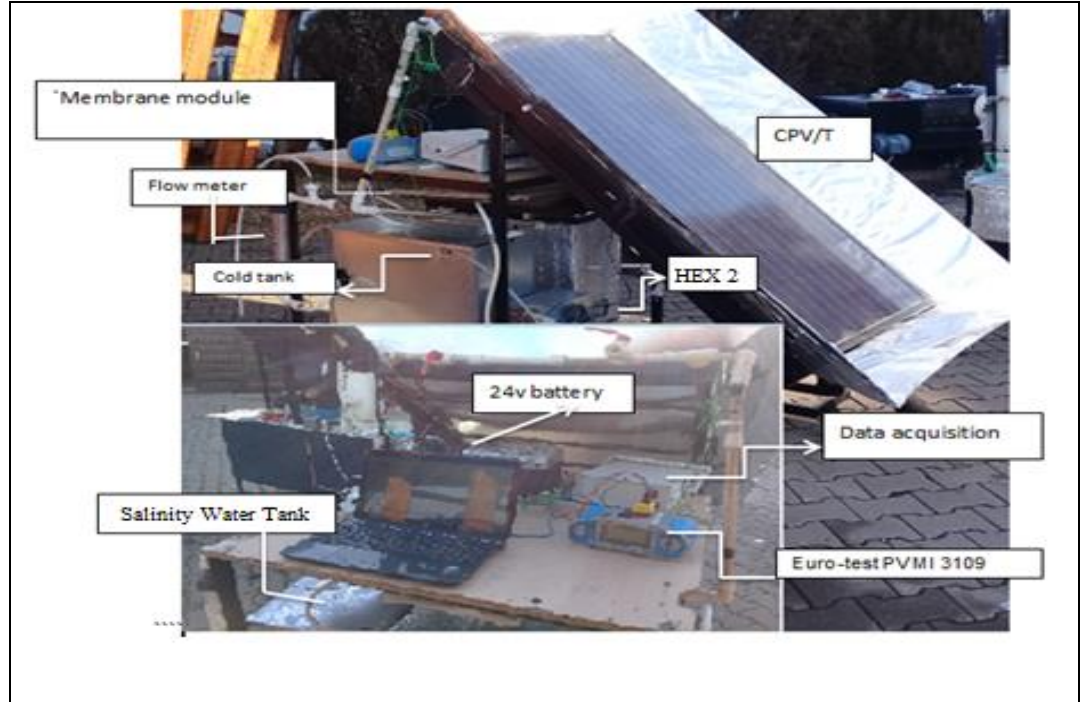
وفي شمال قبرص بدأت التجربة باستخدام وحدتين من الخلايا الكهروضوئية بمساحة إجمالية تقريبية تبلغ 1.2 m² وأوضحت الدراسة أن الطاقة الحرارية الناتجة عن النظام الهجين المصمم كانت حوالي 2.8 kJ/s/d [9]. وتحتوي الوحدات الهجينة على العديد من الملحقات مما أدى إلى خسارة 11.5% من توليد الطاقة الكهربائية، ومع ذلك، فإن هذه الخسارة تمثل 1% فقط من 7 kwh/d من الطاقة التي تستهلكها أسرة عادية. لذلك، يمكن أن يكون النظام الهجين **PVT** مميّزًا اقتصاديًا [10]. تم تطوير محاكاة لتقدير كمية الكهرباء والمياه المنتجة، كما قاموا بتصميم نظام **CPVT (concentrated thermal potovoltage)** وربطه بوحدة تحلية حيث أظهرت النتائج أن النظام المقترن **CPVT** أثبت فعاليته من حيث التكلفة الكهرباء. وفي هذه الدراسة تم ربط الخلايا الضوئية **CPVT** بأغشية **(Direct Contact Membrane Distillation)** لدراسة تأثيرها على رفع الكفاءة واستقرارها أثناء تشغيل وإنتاج الماء من النظام.

2- وصف وفكرة عمل النظام الهجين :

يوضح الشكل (1) التجربة العملية، حيث يتكون النظام من دائرتين رئيسيتين، دائرة الطاقة الشمسية، ودائرة التحلية **MD**. يتدفق التياران البارد والساخن عبر المبادل الحراري لتبادل كمية معينة من الطاقة الحرارية الأزمة لتحلية الماء و يتم تسجيل جميع البيانات وحفظها كل دقيقتين. .

- تعمل المضخة (1) في خزان إمداد المياه وفقًا للقيمة التي تحددها وحدة التحكم في درجة الحرارة. ثم يتدفق الماء الذي يتم تسخينه بواسطة نظام **CPV / T** ويتم تجميعه في الخزان المعزول.
- تقوم المضخة (2) بتدوير الماء الساخن بين الخزان المعزول والمبادل الحراري (1)، لرفع درجة حرارة حراري الماء المالح إلى وحدة **MD** عن طريق مضخة (3).
- يتم تدفق الماء من خزان الماء البارد إلى وحدة الغشاء باستخدام المضخة (4). في هذه المرحلة تبدأ درجة حرارة تيار الماء البارد في الزيادة قليلاً ، مما يقلل من فرق درجة الحرارة بين جانبي الغشاء

وبالتالي تقل كمية الماء المنتج. ولهذا استخدام مبادل حراري بالهواء (2) لخفض درجة الحرارة إلى المستوى المصمم، يعمل نظام CPVT بشكل مستمر طالما أنه يتعرض للشمس .



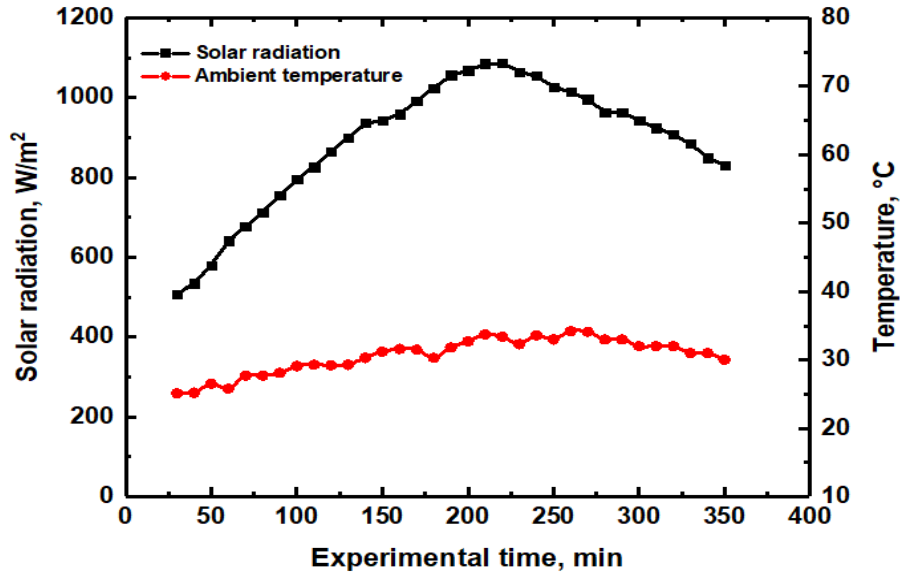
شكل 1: التجربة المعملية لنظام PVT.

تم وضع النظام على خط عرض المنطقة 40° للاستخدام على مدار العام. بالتأكيد، هذا النظام الهجين مناسب للدمج مع MD لأنه ينتج كميات كافية من الطاقة الحرارية اللازمة لتشغيل وحدة MD والطاقة الكهربائية لتوليد الطاقة الكهربائية للمضخات.

- يتم جمع البيانات عن طريق (data acquisition) كل 10 دقائق من زمن التجربة

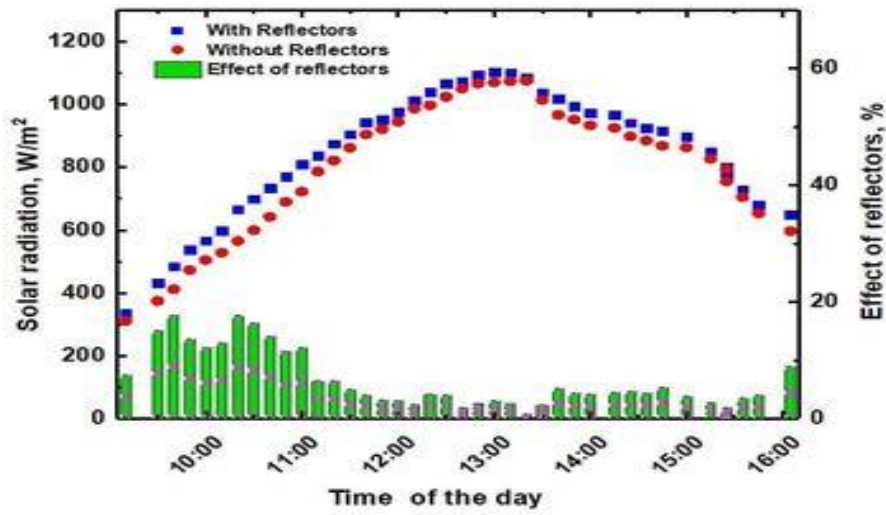
3- النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (2) متوسط الإشعاع (W / m^2) الساقط على الألواح الشمسية. يوضح الشكل أيضًا متوسط درجة الحرارة المحيطة أثناء اجراء التجارب الصيفية.



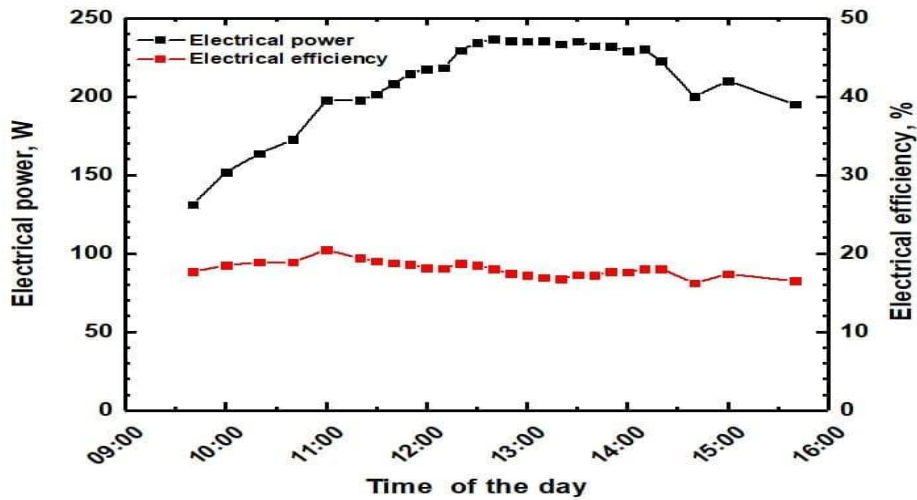
شكل 2 متوسط الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة.

من أجل زيادة الطاقة الحرارية ، تمت إضافة عدد من العاكسات كما موضح في الشكل (1) . والشكل 3. يوضح الزيادة في الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الشمسية بعد إضافة تلك العاكسات. يتضح أيضًا من الشكل أنه قد زاد خلال مدة التجربة بأكملها. يُلاحظ أيضًا أن القيمة القصوى للحرارة المتولدة بوجود للعاكسات هي 1103 w/m^2 مربع عند الساعة 1:00 مساءً بينما القيمة القصوى بدون عاكسات هي 1075 w/m^2 عند 1:20 مساءً.



الشكل 3 الزيادة في الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الشمسية.

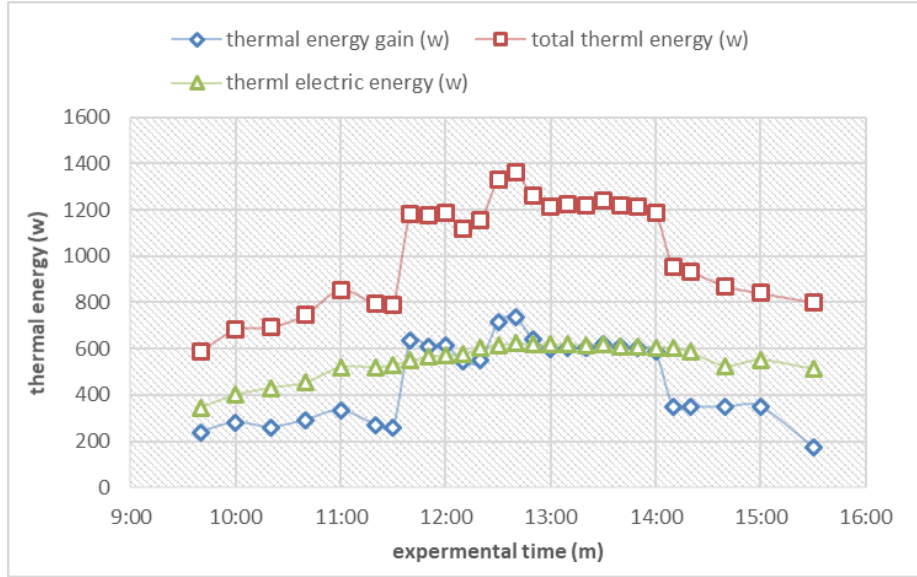
يعرض الشكل 4 متوسط الطاقة الكهربائية التي ينتجها نظام CPVT. يتم تحديده باستخدام البيانات المسجلة عن طريق قياس الجهد والتيار. تفاوتت الكمية المنتجة بين $w130$ و $w240$ في الواقع ، يتم استخدام هذه الطاقة لتشغيل المضخات أثناء عملية التقطير ..



شكل 4 متوسط الطاقة الكهربائية المنتجة.

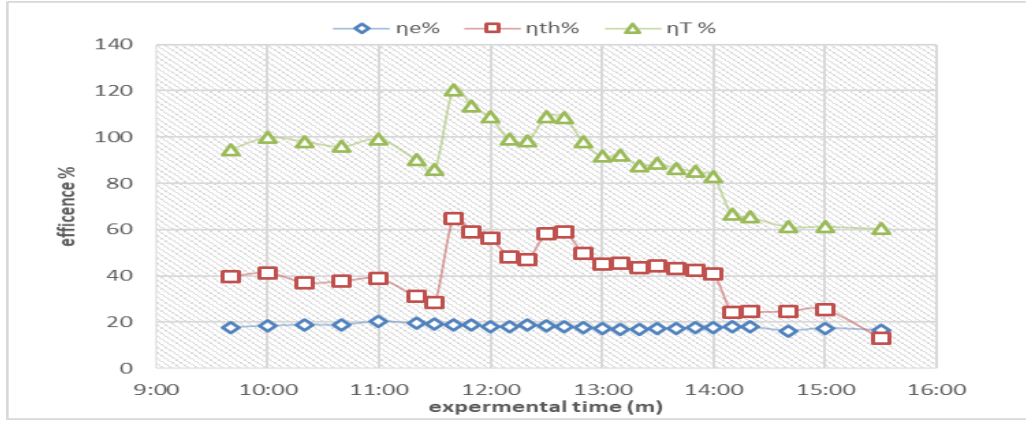
وفي الوقت نفسه ، تعتبر الطاقة الحرارية التي يتم نقلها إلى الماء هي الناتج الرئيسي المطلوب من نظام CPVT ، بشكل أساسي هناك نوعان ، الحرارة المتولدة من الخلايا الكهروضوئية أثناء عملية توليد الكهرباء

والحرارة المنقولة من الإشعاع الشمسي إلى الماء والشكل (5) يوضح الطاقة الحرارية المكتسبة, يمكن ملاحظة أنه يتم نقل ما بين w 250 و w 570 من الحرارة الحرارية الشمسية إلى الماء خلال وقت التجربة وبالإضافة إلى ذلك ، يتم الحصول على w 1350 من الحرارة كحد أقصى من **pv** ، والتي تحدث بعد 3 ساعات من تجربة. أخيرًا ، يبلغ إجمالي كسب الطاقة الحرارية حوالي 60 % في هذه المرحلة.



شكل 5 يبين الطاقة الحرارية المستخرجة من CPVT.

والكفاءة الكلية (ηT) لنظام **CPVT** ، والكفاءة الكهربائية (ηe) ، والكفاءة الحرارية (ηth) موضحة في الشكل 6 . عند مقارنة الكفاءة بالإشعاع الموضح في الشكل السابق ، يمكن ملاحظة أنه مع تغير كمية الإشعاع تتأثر كفاءات اكتساب الطاقة الحرارية بوضوح بالتغير في الإشعاع الشمسي بينما الكفاءة الكهربائية تبقى مستقرة عند (18 - 19%).



شكل 6 الكفاءة الكهربائية

4- الخلاصة .

تم تصميم وبناء نظام التقطير الشمسي لإجراء تحقيق شامل في الأداء في ظل ظروف مختلفة. حيث اجريت دراسة بحثية تجريبية على مجمع CPVT مقترن بوحدة DCMD لتحلية المياه المالحة من يونيو إلى سبتمبر. 2020. حيث يمكن تلخيص نتائج التجربة كالتالي

- تفاوت إنتاج المياه المحلاة من 5 إلى 6 $L/m^2.h$ في نهاية يونيو 2020 إلى 3 $L/m^2.h$ بنهاية نوفمبر 2020 عندما كان تركيز مياه المالحة 1%.
- كلما زاد الفرق درجات الحرارة بين جانبي الغشاء ازدادت كمية المياه المنتجة
- معدل الاشعاع اليومي الساقط والمقاس علي سطح المجمع (CPVT) $950 w/m^2$
- أقصى طاقة حرارة يتم الحصول عليها من المجمع (CPVT) هي $1350 w/m^2$ ، والتي سجلت بعد حوالي 3 ساعات من بداية التجربة.

- في هذه المرحلة ، يبلغ اكتساب الطاقة الحرارية حوالي 60% من إجمالي الطاقة. بالإضافة إلى ذلك ، كانت الطاقة القصوى حوالي 6000 w ، والتي تم استخدامها لإنتاج أكثر من 5 kg/m².h من المياه العذبة.

- . وجد أن متوسط الكفاءة الكهربائية بلغ حوالي 18% بينما ارتفعت الكفاءة الحرارية إلى متوسط 25%. وبلغت الكفاءة الكلية 71% في المتوسط. بلغت كفاءة الطاقة الكهروضوئية مع تشغيل حلقة التبريد 18.26% في وقت الذروة للعملية.

يشير هذا إلى أن هناك قدرًا كبيرًا من الطاقة الحرارية المتاحة لعملية MD ويمكن أن يكون مصدرًا محتملاً للحرارة. يوصى بإجراء مزيد من التحقيقات للتجارب على مدار العام واستخدام أغشية مصممة خصيصًا لتقطير الأغشية. بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن يتم التحسين باستخدام البيانات المتاحة لجميع العوامل وإعدادات الإعداد لتحسين نتائج نظام التقطير الشمسي المستخدم. وكذلك يستلزم إجراء دراسة اقتصادية لتأكيد جدوى نظام التحلية المستدام هذا لفرص تجارية مستقبلية.

References

- [2] Sharon, H., & Reddy, K. S. (2015). A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080–1118.
- [3] Kesieme, U. K., Milne, N., Aral, H., Cheng, C. Y., & Duke, M. (2013). Economic analysis of desalination technologies in the context of carbon pricing, and opportunities for membrane distillation. *Desalination*, 323, 66–74.
- [4] Tyagi, V. V., Kaushik, S. C., & Tyagi, S. K. (2012). Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1383–1398.
- [5] Li, G., Shittu, S., Diallo, T. M., Yu, M., Zhao, X., & Ji, J. (2018). A review of a solar photovoltaic–thermoelectric hybrid system for electricity generation. *Energy*, 158, 41–58.
- [6] Raluy, R. G., Schwantes, R., Subiela, V. J., Peñate, B., Melián, G., & Betancort, J. R. (2012). Operational experience of a solar membrane distillation demonstration plant in Pozo Izquierdo–Gran Canaria Island (Spain). *Desalination*, 290, 1–13.
- [7] Schwantes, R., Cipollina, A., Gross, F., Koschikowski, J., Pfeifle, D., Rolletschek, M., & Subiela, V. (2013). Membrane distillation: Solar and waste heat–driven demonstration plants for desalination. *Desalination*, 323, 93–106.
- [8] Kalogirou, S. A. (2001). Use of TRNSYS for modeling and simulation of a hybrid PV–thermal solar system for Cyprus. *Renewable energy*, 23(2), 247–260.
- [9] Sultan, S. M., & Efsan, M. E. (2018). Review on recent Photovoltaic/Thermal (PV/T) technology advances and applications. *Solar Energy*, 173, 939–954.
- [10] Mittelman, G., Kribus, A., Mouchtar, O., & Dayan, A. (2009). Water desalination with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems. *Solar Energy*, 83(8), 1322–1334.
- [11] Erdil, E., Ilkan, M., & Egelioglu, F. (2008). An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV)–solar thermal hybrid system. *Energy*, 33(8), 1241–1245.