سولارابيك
SOLARABIC

Solar
JinKO

... WHITE PAPER ...

تحديد تقنية الألواح الشمسية المثلى للمملكة العربية السعودية

مقارنة الأداء

كتابة: أميرة العمايرة

مراجعة: إدغار أبو خير

فهرس المحتويات

2 قائمة الأشكال
قائمة الجداول

4 خلاصة

5 1. مقدمة

7 2. نظرة عامة وسياق الدراسة

2.1 دور التطور والتقدم في تقنيات الألواح الكهروضوئية في نمو الطاقة المتجددة

2.2 إمكانات الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية

8 2.3 الظروف الجوية في المملكة العربية السعودية وتأثيرها على التوليد من الطاقة الشمسية

14 3. منهجية الاختبار

16 3.1 فحص قيم القياس من حيث الدقة

3.2 تحليل الأداء

17 4. موقع الاختبار وبيانات الأرصاد الجوية

19 5. نتائج الأداء والتحليل

20 5.1 الكفاءة

22 5.2 الإنتاجية النوعية

23 5.3 معامل أداء اللوح

25 5.4 متغيرات التحسين

26 6. الخلاصة والنتائج

6.1 النتائج

27 6.2 التداعيات والآثار

28 7. المراجع

قائمة الأشكال

الشكل 1 ◄ 5
توقعات الاستطاعة التراكمية للطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية من عام 2024 إلى عام 2030.

الشكل 2 ◄ 8
الإمكانات الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية

الشكل 3 ◄ 9
منحني التيار والجهد لألواح كهروضوئية بعضها مغطى بالغبار وبعضها نظيف في وقت الظهيرة

الشكل 4 ◄ 10
الضياعات الناتجة من تراكم الغبار لمختلف التقنيات الكهروضوئية بعد التعرض لظروف موسمية قوية لمدة 30 يوماً

الشكل 5 ◄ 13
العلاقة بين درجة الحرارة والقدرة للأنواع الثلاثة من الألواح الكهروضوئية

الشكل 6 ◄ 17
نتائج مواقع الاختبار المختلفة لشركة TÜV Rheinland Solar GmbH

الشكل 7 ◄ 18
موقع الاختبار على خريطة برنامج Pvsyst

الشكل 8 ◄ 19
بيانات حالة الطقس الشهرية وفقاً لبرنامج Pvsyst

الشكل 9 ◄ 20
كفاءة عينات الألواح الكهروضوئية لأشهر [1] يوليو (تموز)، [2] أغسطس (آب)، [3] سبتمبر

الشكل 10 ◄ 22
الإنتاجية النوعية لشهر أغسطس (آب)

الشكل 11 ◄ 24
معامل الأداء لأشهر [1] يوليو (تموز)، [2] أغسطس (آب)، [3] سبتمبر (أيلول)

قائمة الجداول

الجدول 1 ◄

6 ◄ خصائص عينات الاختبار بأحجام رقائق وايفر (Wafer), وقيم مختلفة لمعامل ثنائي الوجه (Bifaciality), وتقنيات مختلفة

الجدول 2 ◄

12 ◄ معامل الحرارة ومعدل انخفاض استطاعة الخرج (%) للعينات الثلاث

الجدول 3 ◄

21 ◄ كفاءة الألواح الكهروضوئية لأشهر يوليو, أغسطس وسبتمبر

الجدول 4 ◄

22 ◄ الإنتاجية النوعية لشهر أغسطس

الجدول 5 ◄

25 ◄ الجدول معامل أداء العينات لأشهر يوليو, أغسطس

الجدول 6 ◄

26 ◄ التحسن في الكفاءة, الإنتاجية, ومعدل أداء اللوح

قائمة المعادلات

المعادلة 1 ◄

12 ◄ $P = Pstc * [1 + \alpha * (T - Tstc)]$

المعادلة 2 ◄

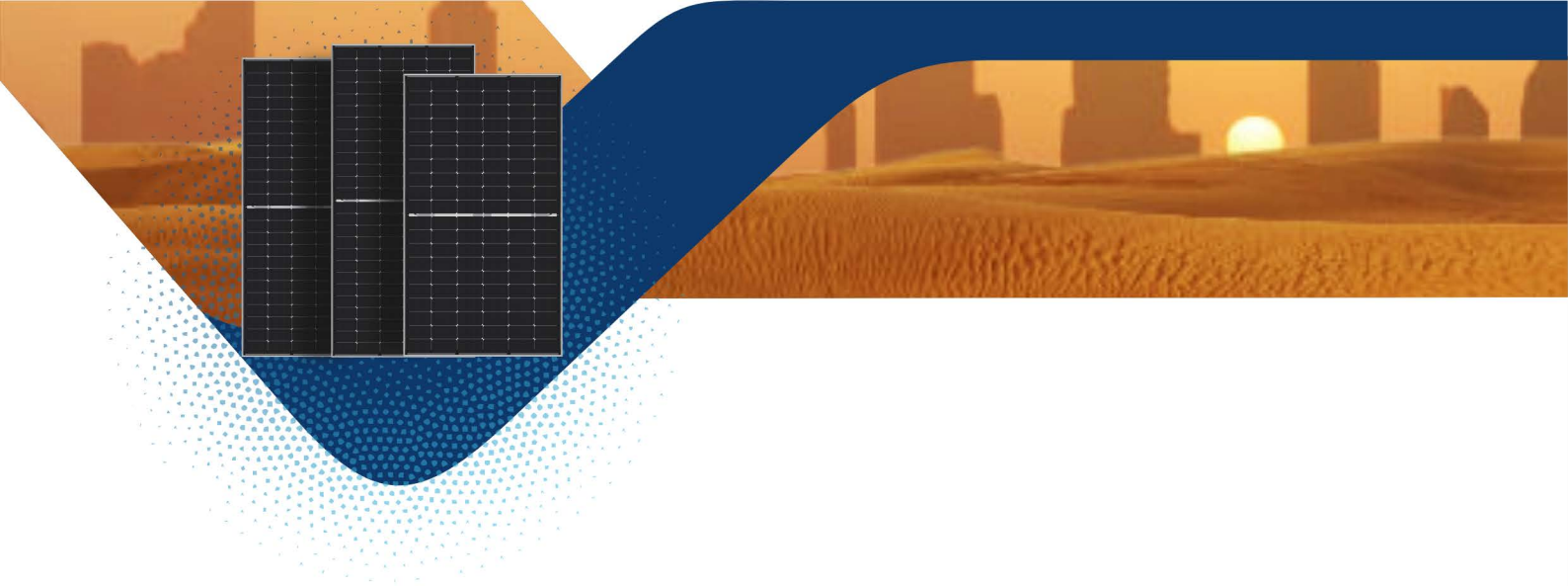
14 ◄ $$\eta_{operational} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(P_{mpp,measure,i} \cdot t_{sample})}{\sum_{i=0}^{n}(G_{PoA} \cdot t_{sample}) \cdot A_m}$$

المعادلة 3 ◄

15 ◄ $$EY_{spec} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(P_{mpp,measure,i} \cdot t_{sample})}{P_{max}}$$

المعادلة 4 ◄

15 ◄ $$MPR = \frac{\frac{\sum_{i=0}^{n}(P_{mpp,measure,i} \cdot t_{sample})}{P_{max,Label}}}{\frac{\sum_{i=0}^{n}(E_{measure,i} \cdot t_{sample})}{1000\ \frac{W}{m^2}}}$$



خلاصة

تلخص هذه الورقة البحثية ثلاثة أشهر من نتائج الاختبارات الميدانية لثلاثة أنواع من الألواح الكهروضوئية في موقع اختبار خارجي لشركة TÜV Rheinland Solar GmbH في مدينة ثول في المملكة العربية السعودية. تهدف الدراسة إلى مقارنة أداء إنتاجية الطاقة للألواح في ظل الظروف القاسية. تم توصيل الألواح التي تم الإشارة لها بـِ#6, #7, #9 مع حساسات عالية الدقة وأدوات لجمع البيانات بشكل مستمر ومتواصل

.

المحددات الرئيسية التي تم قياسها وحسابها هي الكفاءة, والإنتاجية النوعية, ومعدل أداء اللوح. وقد أظهرت الدارسة أن الألواح الكهروضوئية ثنائية الوجه (#7 و#9) تتمتع بأداء أعلى من الألواح الكهروضوئية أحادية الوجه (#6) لجميع المحددات الرئيسية. وبالمقارنة بين الألواح ثنائية الوجه فإن اللوح (#9) من جينكو سولار بقدرة ٥٥٠ واط تميز بأداء أعلى من (#7) المُصنع باستخدام رقائق الوايفر بحجم 210 مم من مُورد آخر, وذلك نظراً لارتفاع معامل ثنائية الوجه وانخفاض معامل الحرارة.

تتضمن الورقة البحثية دراسة تأثير حجم الخلية ومعامل درجة الحرارة على أداء الألواح وكفاءتها. ومع ذلك, فقد كانت الخلايا الأصغر (182 مم) من جينكو سولار تتمتع بمعامل أداء وكفاءة أعلى من الخلايا الأكبر (210 مم) من مُورد آخر, وذلك بسبب انخفاض معامل درجة الحرارة وقدرتها الأكبر على تبديد الحرارة

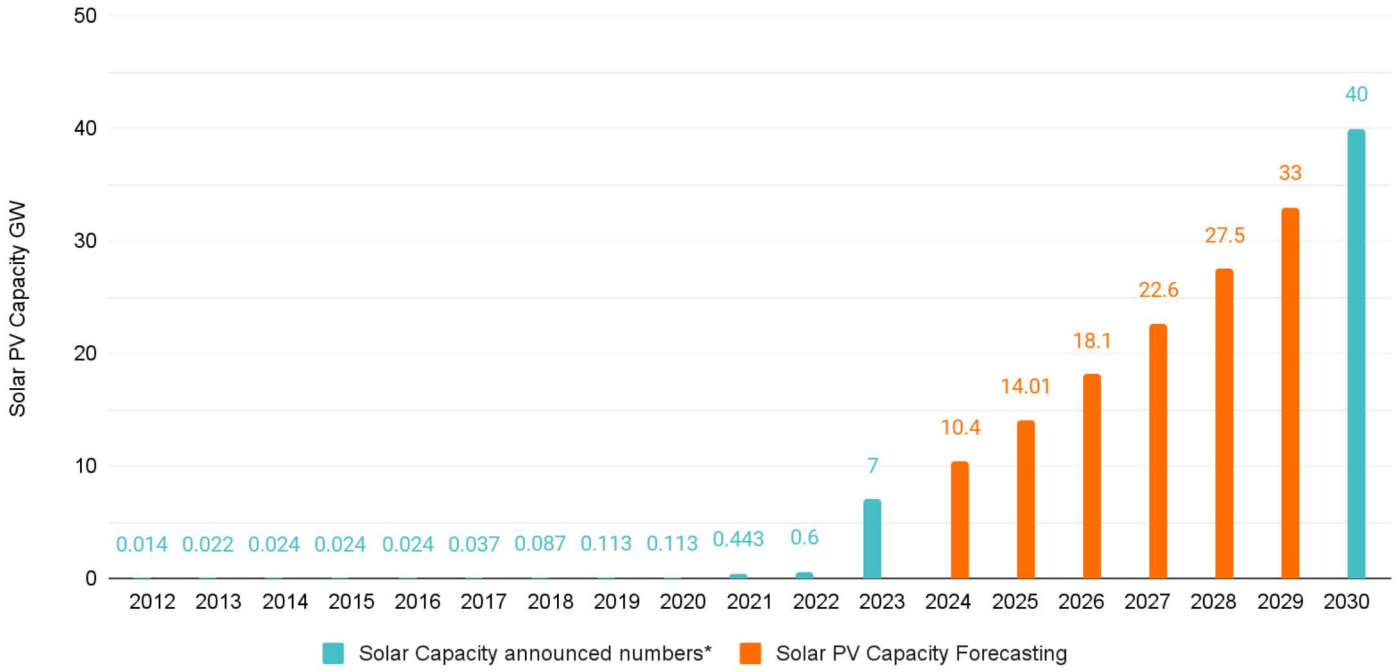
.

اختتمنا الورقة البحثية بنتائج الدراسة العملية وبعض التوصيات المتعلقة باختيار الألواح الكهروضوئية وتركيبها وتحسينها بناءً على بيانات الأداء التي تمت ملاحظتها. كما يساهم هذا التقرير في تطوير عمليات البحث والتطوير في الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية وخارجها.

الكلمات المفتاحية: الألواح الكهروضوئية, الإنتاجية, الأداء في الظروف الخارجية, الظروف المناخية القاسية, تحليل يعتمد على المقارنة, الكفاءة, الإنتاجية النوعية, معدل أداء الألواح, تجميع البيانات, بيانات المحاكاة, اختيار الألواح الكهروضوئية, الطاقة الشمسية, حجم الخلية, معامل الحرارة.

1.مقدمة

ضمن أهداف رؤية الســعودية 2030, وضعت المملكة هدفاً لزيادة حصــة الطاقة الشــمســية من إجمالي الكهرباء المولدة لتصل الاستطاعة التراكمية إلى 7 جيجاواط مع نهاية عام 2023 و 40 جيجاواط بحلول عام 2030.



الشكل (1): توقعات الاستطاعة التراكمية للطاقة الشمسية الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية من عام 2024 إلى عام 2030,

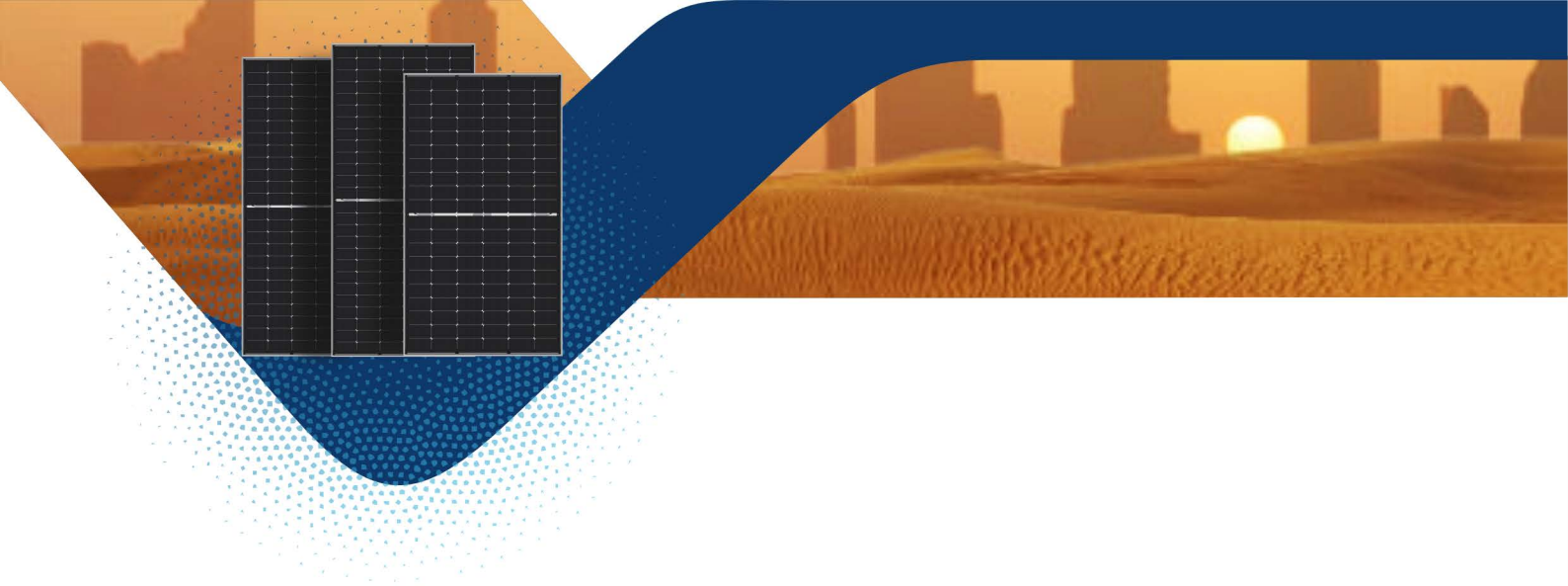
المصدر: قاعدة بيانات سولارابيك

ولتحقيق هذه الأهداف الطموحة, يعد اختيار التقنية شمســـــية الأفضـــــل لتحمل الظروف المناخية القاسية أمراً بالغاً في الأهمية.

نســتعرض في هذه الورقة البحثية نتائج دراسة ميدانية أجراها مركز TÜV Rheinland Solar GmbH. إذ قارنت بين ثلاثة أنواع مختلفة من الألواح الكهروضـــــوئية في ظروف حقيقية في مدينة ثول وهي مدينة ســـــاحلية تقع غرب المملكة العربية الســـعودية. تم اختيار الألواح الكهروضوئية التي تم اختبارها في هذه الدراسة على وجه التحديد بناءً على مدى ملائمة هذه الألواح للظروف البيئية وإمكانية تطبيقها على مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق.

ركز التحليل على:

- كفاءة التشغيل
- الإنتاجية النوعية
- معدل أداء اللوح



تقدم هذه الدراسة نظرة مفيدة عن كيفية عمل الألواح الكهروضوئية في الواقع، وتساعدنا على معرفة المزيد عن قدرة الطاقة الشمسية في مناخ مثل مناخ السعودية.

في هذه الدراسة، قارنا ثلاثة ألواح كهروضوئية مختلفة. تختلف هذه الألواح في حجم الرقائق (الوايفر) ومعامل ثنائية الوجه والتقنية. كما هو موضح في الجدول (١):

الجدول (١): خصائص عينات الاختبار بأحجام رقائق وايفر (Wafer)، وقيم مختلفة لمعامل ثنائي الوجه (Bifaciality)، وتقنيات مختلفة

العينات	رقم الطراز	النوع	معامل ثنائية الوجه	قياس مربع الوايفر	التقنية
العينة #6	JKsM555N-72HL4-V	أحادي الوجه	———	182 mm	توب كون من نوع N
العينة #7	———	ثنائي الوجه	70±5%	210 mm	بيرك من نوع P
العينة #9	JKM550N-72HL4-BDV	ثنائي الوجه	80±5%	182 mm	توب كون من نوع N

لقد افترضنا أن الألواح ثنائية الوجه ستنتج طاقة أعلى من الألواح أحادية الوجه نظراً لقدرتها على التقاط إشعاع إضافي من الوجه الخلفي. وافترضنا أن الرقائق الأكبر حجماً ستنتج طاقة أقل من رقائق الوايفر الأصغر حجماً بسبب تأثرها الشديد بالضياعات الحرارية والضغط الميكانيكي. وأن الألواح التي تم تصنيعها بتقنية الـ توب كون من نوع N ستكون كفاءتها أعلى من بيرك من نوع P

سيتم عرض نتائج هذه المقارنة ومناقشتها في الأقسام التالية. نهدف من مشاركة هذه النتائج لدعم أصحاب المصالح في قطاع الطاقة الشمسية ومساعدتهم على اتخاذ قرار مبني على البيانات، ما يؤدي في النهاية إلى الاستخدام الأمثل للطاقة

2. نظرة عامة وسياق الدراسة

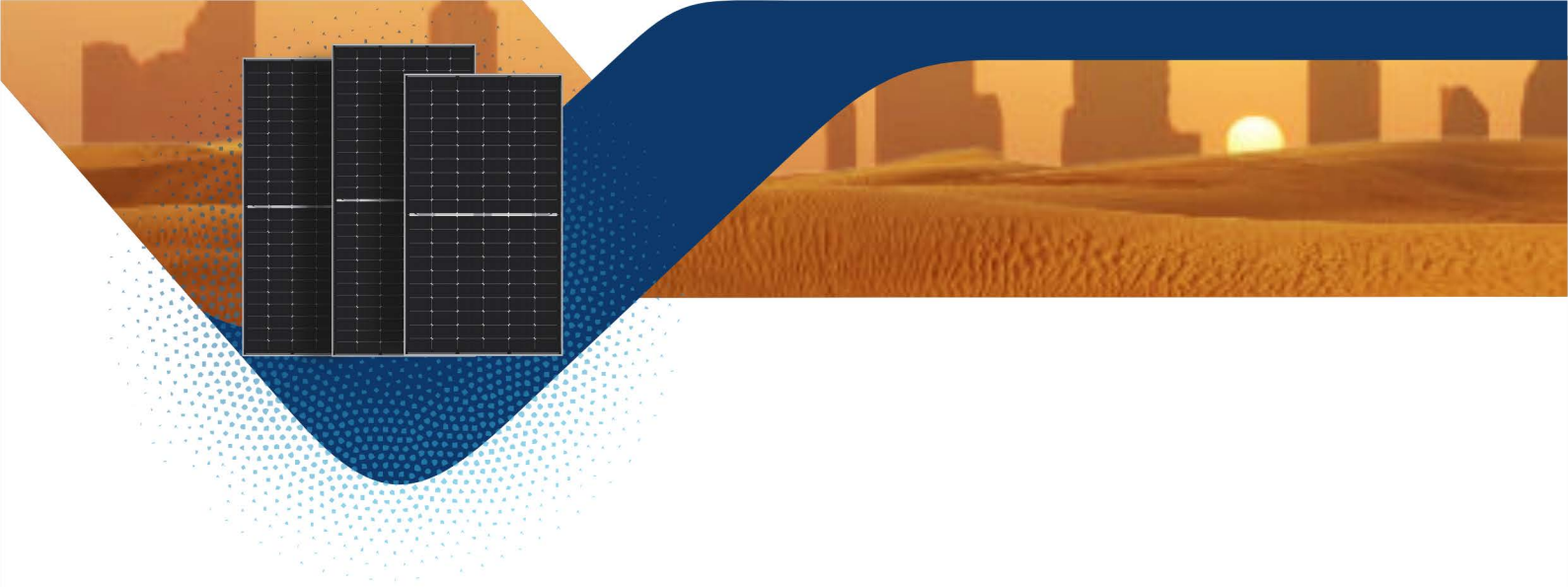
2.1 دور التطور والتقدم في تقنيات الألواح الكهروضوئية في نمو الطاقة المتجددة

لقد تطورت التقنيات الكهروضوئية بسرعة على مدى العقود الماضية, مع تحسينات في الكفاءة والتكلفة والموثوقية والمتانة. كما سمح تطور التقنيات الكهروضوئية بتنويع التطبيقات والأسواق من محطات الطاقة على نطاق المرافق إلى أنظمة التوليد الموزعة. علاوة على ذلك, أدى تطور التقنيات الكهروضوئية إلى ظهور حلول جديدة ومبتكرة بإمكانها التغلب على بعض التحديات والقيود التي تواجه الأنظمة الكهروضوئية التقليدية.

تعد الحاجة إلى تقليل الكلفة المتوازنة لتوليد الكهرباء (LCOE) لمشاريع الطاقة الشمسية أحد العوامل الرئيسية لتطوير التقنيات الكهروضوئية والتي تتأثر بالعديد من العوامل كتكلفة رأس المال, وتكلفة التشغيل والصيانة, ومعدل الأداء, ومعدل التدهور, وعمر الخدمة. تتمتع التقنيات الكهروضوئية المختلفة بمزايا وعيوب مختلفة من حيث هذه العوامل وبالتالي تتطلب أساليب مختلفة لتحسين الكلفة المتوازنة لتوليد الكهرباء (LCOE).

على سبيل المثال, تستخدم الأنظمة الكهروضوئية ثنائية الوجه جانبي الخلايا الشمسية لامتصاص الإشعاع الشمسي. في حين أن الأنظمة الكهروضوئية أحادية الوجه تستخدم جانباً واحداً فقط لالتقاط الإشعاع الشمسي. يمكن للوجه الخلفي في الأنظمة الكهروضوئية ثنائية الوجه التقاط إشعاع إضافي ينعكس من الأرض أو الأسطح الأخرى مما يزيد من إنتاج الطاقة بنسبة تصل إلى 30% ويقلل من الكلفة المتوازنة لتوليد الكهرباء بنسبة تصل إلى 16% مقارنة بالأنظمة الكهروضوئية أحادية الوجه. ومع ذلك, فإن تكاليف الأنظمة الكهروضوئية ثنائية الوجه تمتلك متطلبات تركيب وتشغيل أكثر تعقيداً من الأنظمة الكهروضوئية أحادية الوجه.

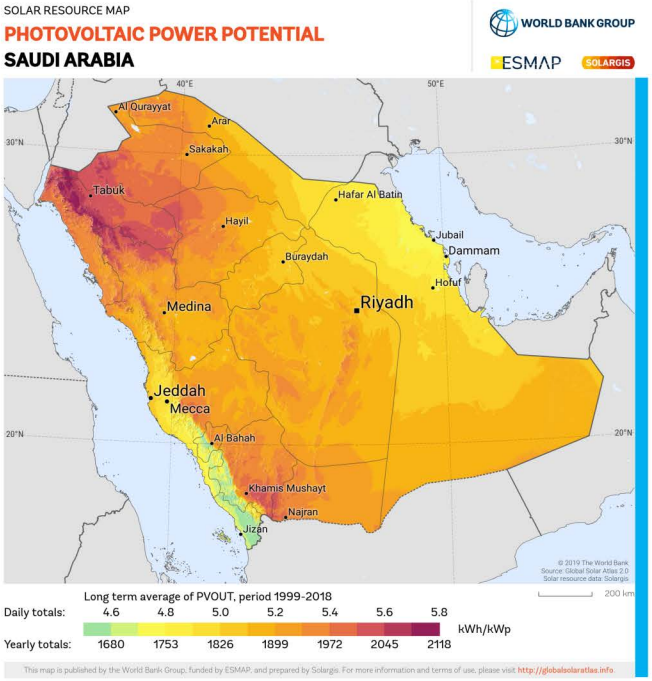
كما يمكن أن تنتج الخلايا الشمسية بتقنية الـ TOPCon جهد دائرة مفتوحة VOC أعلى, مقاومة متسلسلة أقل, مقارنة مع الخلايا الشمسية بتقنية الـ PERC, وهذا يزيد من قدرة وكفاءة الألواح الشمسية. بالإضافة إلى ذلك, حجم رقائق الوايفر يلعب دورا هاما في تصميم وأداء الألواح, لأنه يحدد عدد الخلايا والتوصيلات البينية وتكلفة وجودة الألواح والخلايا. مثلا, الرقائق الأصغر تكون أكثر مقاومة للتشقق والتكسر بسبب الإجهاد الميكانيكي.



2.3 الظروف الجوية في المملكة العربية السعودية وتأثيرها على التوليد من الطاقة الشمسية

باعتبار أن المملكة العربية السعودية من الدول التي لديها أعلى قيم للإشعاع شمسي في العالم، مما يجعلها موقعاً مثالياً لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية. ومع ذلك، تواجه البلاد بعض التحديات المتعلقة بالظروف الجوية، كالعواصف الترابية، وارتفاع درجات الحرارة وانخفاض هطول الأمطار، مما قد يؤثر سلباً على أداء وموثوقية أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

سنناقش في هذا القسم كيفية تأثير هذه الظروف الجوية على توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، وكيفية استجابة أنواع التقنيات الكهروضوئية المختلفة لها.



الشكل (٢): إمكانيات الطاقة الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية، المصدر: Solar GIS

2.3.1 تأثير الأتربة

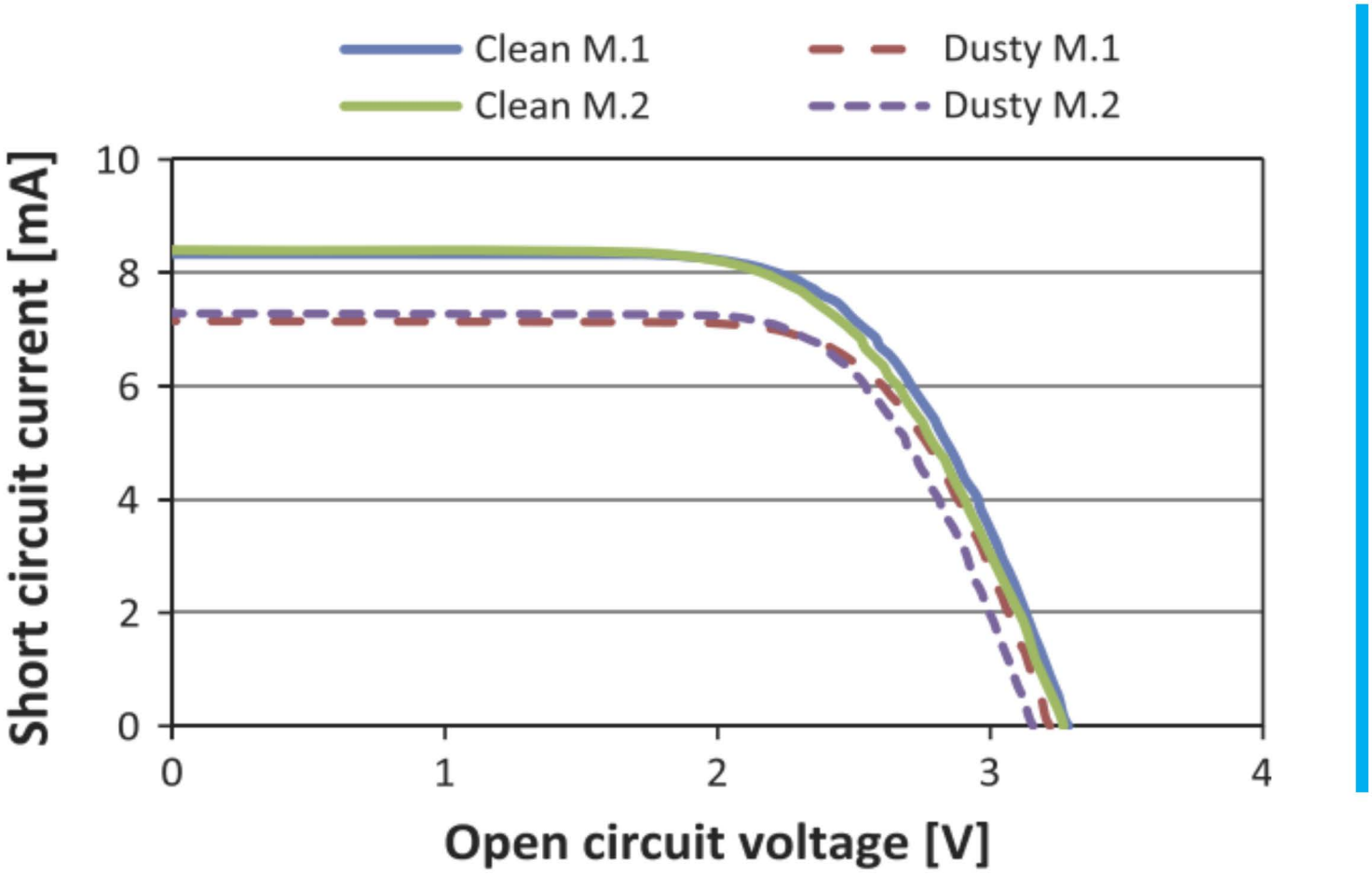
التلوث بالأتربة وهو عملية يتم من خلالها ترسب الأوساخ والغبار والملوثات العضوية وغير العضوية على سطح الألواح الكهروضوئية، مما يقلل من كمية الإشعاع التي تصل للخلايا الشمسية. يمكن أن يتسبب التلوث بخسائر اقتصادية كبيرة كما يمكنه أن يقلل من الطاقة المولدة بنسبة 3-5% شهرياً أو أكثر. وهناك العديد من العوامل المؤثرة على التلوث كالظروف البيئية وخصائص الموقع ومكونات النظام وحجم جزيئات الغبار.

تقع المملكة العربية السعودية في بيئة قاحلة وصحراوية، مما يجعلها أكثر عرضة لتراكم الغبار على ألواح الطاقة الشمسية. يمكن أن تختلف جزيئات الغبار في الحجم والشكل والتركيب والخصائص البصرية بناءً على موقع اللوح الكهروضوئي.

يمكن أن يؤثر الغبار على أداء أنظمة الطاقة الكهروضوئية بعدة طرق:

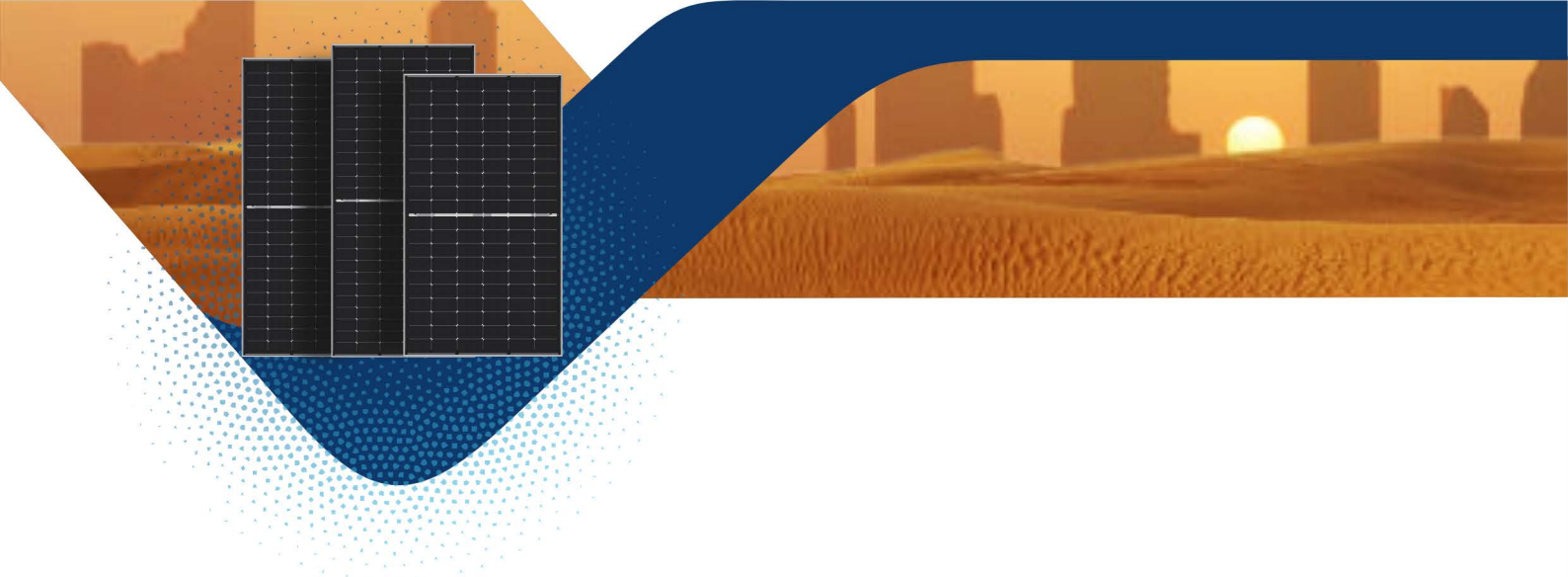
- حجب أشعة الشمس.
- زيادة ضياعات الانعكاس.
- تغيير انتشار طيف الضوء
- تغيير الأداء الحراري للوح الكهروضوئي.
- التسبب بالتآكل أو الأعطال الكهربائية.

يوضح الشكل (٣) كيفية تأثير الأوساخ على منحنيات (التيار-الجهد) للوح متسخ ونظيف وقت الظهيرة.



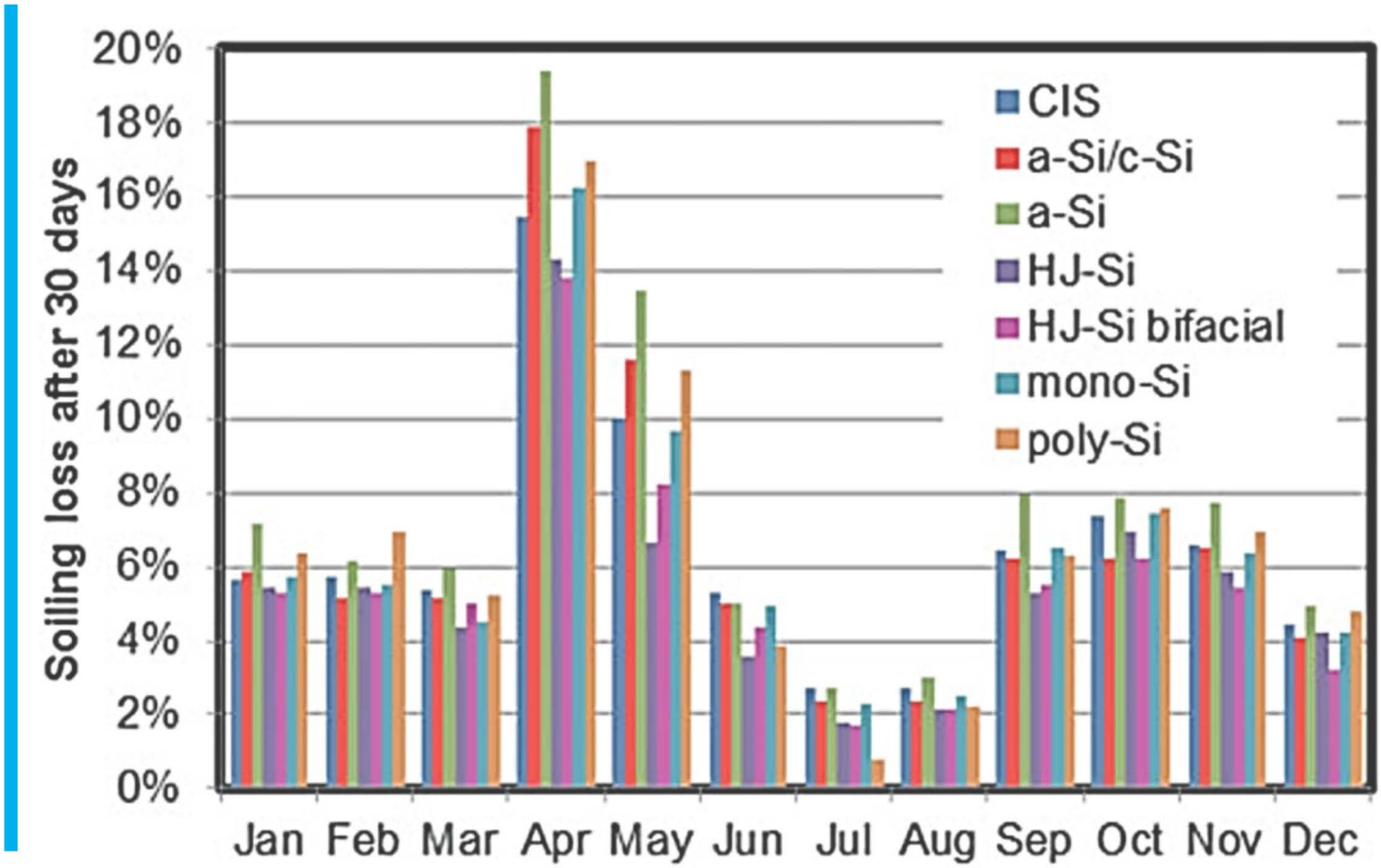
الشكل (٣): منحنيات (التيار - الجهد) للألواح المتسخة والنظيفة عند الظهيرة.

المصدر: Reprinted from Solar Energy,107, Said, Syed A.M., et al., Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance, 332., Copyright (2014), Elsevier



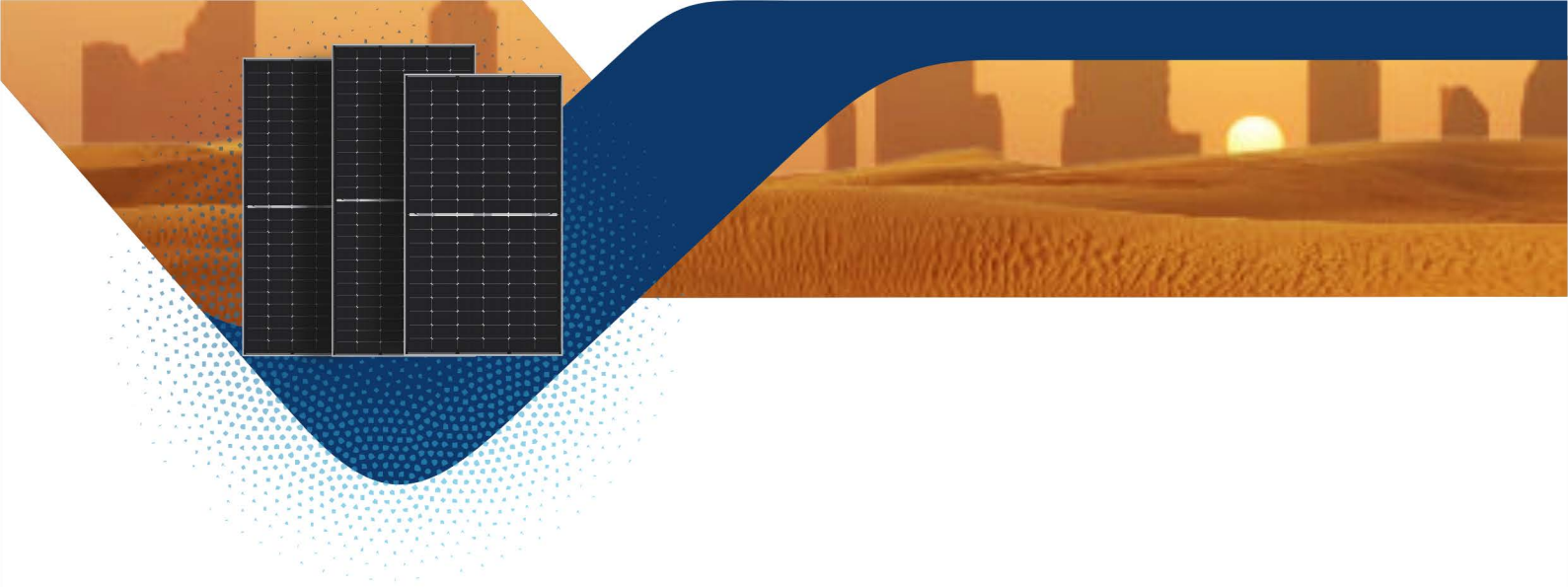
يمكننا رؤية من الشـــكل 3 أن اللوح الكهروضوئي النظيف ينتج تيارا وجهدا أعلى من اللوح الكهروضوئي المتســـخ، وبالتالي قدرة وكفاءة أعلى.

يؤثر نوع الخلية الكهروضوئية على مدى تأثر اللوح بالتلوث. لكل تقنية كهروضوئية خصـائصـــها واستجابتها للغبار على سطح اللوح. مثلاً، بعض التقنيات الكهروضوئية تكون أكثر حسـاسية للضـوء في بعض الأطوال الموجية من غيرها، وهذا يجعلها أكثر أو أقل تأثرا بالتلوث.



الشكل (٤): الضياعات الناتجة من الأتربة لمختلف تقنيات الألواح الكهروضوئية بعد تعرضها للعوامل الخارجية لمدة ٣٠ يوماً.

المصدر: Optimized Cleaning Cost and Schedule Based on Observed Soiling Conditions for Photovoltaic Plants in Central Saudi Arabia



يظهر الشكل (4) ما يلي:

- الضياعات الشهرية بسبب تراكم الأتربة لسبعة تقنيات من أنظمة الطاقة الشمسية {نحاس إنديوم سيلينيد (CIS)، والسيليكون غير المتبلور / السيليكون البلوري (a-Si/c-Si)، والسيليكون غير المتبلور (a-Si)، والسيليكون بتقنية الوصلة غير المتجانسة (HJ-Si) والسيليكون بتقنية الوصلة غير المتجانسة ثنائية الوجه (HJ-Si bifacial) والسيليكون أحادي البلورة (mono-Si) والسيليكون متعدد البلورات (poly-Si) بالنسبة المئوية لمدة عام.

- تتغير قيم الضياعات بفعل الأتربة وفقاً للموسم لجميع التقنيات، فقد شكلت الضياعات حوالي 16% بعد تعرضها للهواء لمدة 30 يوماً وذلك في أكثر الأشهر انتشاراً للأتربة وهو شهر نيسان (أبريل)، مقارنة بنسبة 2% وهو أقل الأشهر انتشاراً للأتربة وهو شهر تموز (يوليو).

- تختلف الضياعات بفعل الأتربة وفقاً لنوع التقنية، فالسيليكون غير المتبلور (a-Si) له أكبر نسبة ضياعات والسيليكون بتقنية الوصلة غير المتجانسة ثنائية الوجه (HJ-Si bifacial) له أقل نسبة ضياعات.

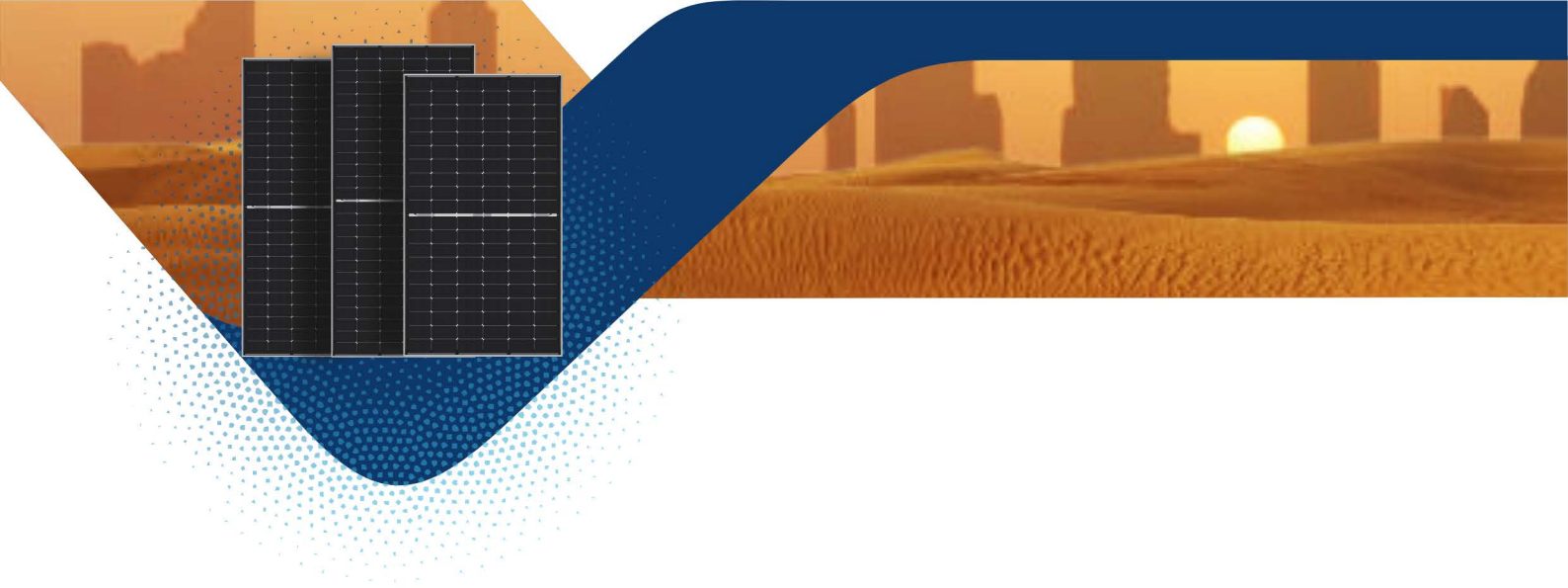
- تعتمد ضياعات الأتربة على خصائص المواد، وخصائص السطح، وتصميم اللوح في كل تقنية، والتي تحتاج إلى مزيد من البحث والتحقق.

2.3.2 تأثير درجة حرارة الأجواء المحيطة المرتفعة

تعد درجة الحرارة المحيطة أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على أداء وكفاءة الألواح الشمسية، إذ تؤدي درجات حرارة المحيط المرتفعة إلى تقليل الجهد الكهربائي واستطاعة الخرج للوح الشمسي، فضلاً عن تسريع التقادم وتراجع الأداء مع الزمن. ويحدث ذلك لأن مقاومة المواد شبه الموصلة (أنصاف النواقل) في خلايا الألواح الشمسية تزداد بارتفاع درجة الحرارة، مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة التحويل.

تعد المملكة العربية السعودية إحدى أكثر المناطق في العالم ارتفاعا للحرارة، فمن المهم أن نفهم كيف تؤثر درجات الحرارة المحيطة المرتفعة على أداء الأنواع المختلفة من الألواح الشمسية.

يمكن قياس تأثير درجة الحرارة على كفاءة الألواح الشمسية من خلال معامل درجة الحرارة، ويشير هذا المعامل إلى مدى تغير قدرة اللوح الشمسي مع تغير درجات الحرارة. ويتم التعبير عنه عادةً بنسبة مئوية لكل درجة مئوية (%\ درجة مئوية). ويمكن القول أن اللوح الشمسي ذو معامل درجة الحرارة 0.5- \ درجة مئوية سيفقد 0.5% من القدرة الإسمية لكل درجة مئوية تتعدى الـ 25 درجة مئوية وهي درجة حرارة الظروف المعيارية لقياس كفاءة الألواح الشمسية.



قمنا في هذه الدراسة بحســـــــاب مقدار انخفاض استطاعة الخرج (%) للعينات الثلاث, والقدرة عند درجات حرارة مختلفة باستخدام المعادلة (١):

$$P = Pstc * [1 + a * (T - Tstc)]$$ المعادلة (١)

حيث:

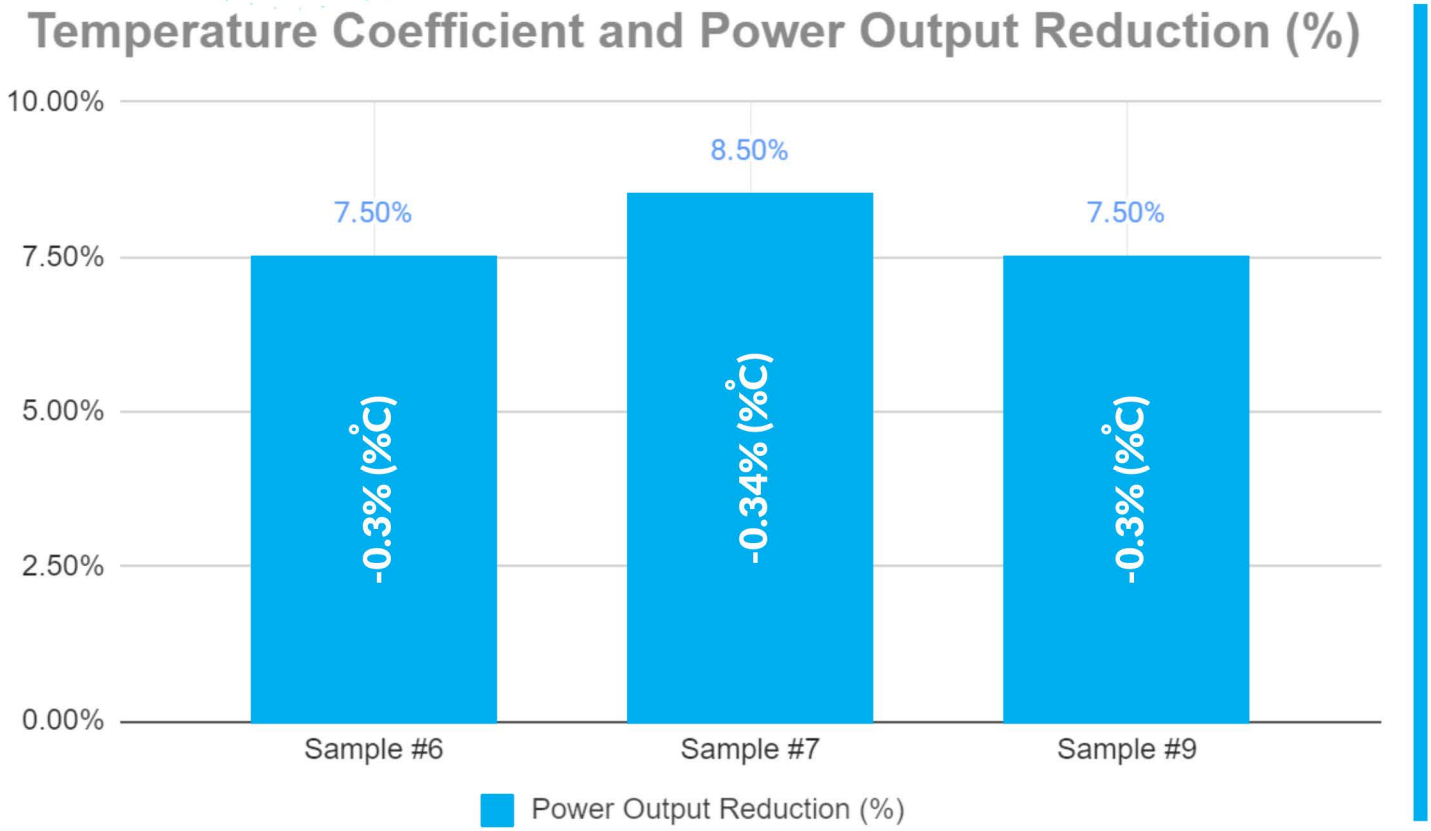
- **P** ..... القدرة عند درجة حرارة معينة
- **Pstc** ..... القدرة عند الشروط المعيارية STC
- **a** ..... معامل القدرة بالنسبة لدرجة الحرارة
- **T** ..... درجة حرارة سطح اللوح
- **Tstc** ..... درجة حرارة الشروط المعيارية 25 درجة مئوية

يبين الشـــكل (4) مثالاً لتأثير تراكم الأوساخ على مختلف تقنيات الألواح الكهروضوئية بعد تعرضها للعوامل الخارجية لمدة 30 يوماً في المملكة العربية السعودية.

الجدول (٢): معامل درجة الحرارة والقدرة ومعدل انخفاض القدرة (%) للعينات الثلاث:

العينات	رقم الطراز	معامل القدرة بالنسبة لدرجة الحرارة (درجة مئوية\%)	القدرة عند الشروط المعيارية (واط)	القدرة عند 50 درجة مئوية (واط)	الانخفاض في القدرة (%)
العينة #6	JKsM555N-72HL4-V	-0.30%	555	513	7.50%
العينة #7	———	-0.34%	645	590	8.50%
العينة #9	JKM550N-72HL4-BDV	-0.30%	550	509	7.50%

يوضح الجدول السابق القدرة ومقدار الانخفاض في القدرة للعينات الثلاث من الألواح الشمسـية عند 50 درجة مئوية, مقارنة بأدائها عند ظروف الاختبار المعيارية STC. يختلف معامل درجة الحرارة والقدرة للعينات الثلاث عند ظروف الاختبار المعيارية, مما يؤثر علـى أدائها عند درجات الحرارة المرتفعة. يشير معامل درجة الحرارة إلى مدى تغير القدرة لكل درجة مئوية زيادة أو نقصـان عن درجة حرارة الظروف المعيارية.



الشكل (٥): العلاقة بين القدرة ودرجة حرارة الأنواع الثلاثة من الألواح الكهروضوئية.

أظهرت النتائج أن أعلى انخفاض في القدرة كان للعينة رقم 7 بمقدار (8.50%) بسبب ارتفاع معامل درجة حرارتها والبالغ (-0.34%\درجة مئوية). العينة رقم 6 والعينة رقم 9 لهما نفس معامل درجة الحرارة (-0.30%\درجة مئوية)، ولكن قدرة العينة رقم 6 أعلى قليلاً فتبلغ عند الظروف المعيارية 555 واط وعند درجة حرارة 50 درجة مئوية تبلغ 513 واط أما العينة رقم 9 فتبلغ 550 واط و 509 واط على التوالي، وتتمتع كلتا العينتين بنفس انخفاض القدرة وهو (7.50%) عند 50 درجة مئوية.

يشير تحليل نتائج الاختبار أن العينة رقم 7 هي الأكثر حساسية لتغيرات درجات الحرارة، وأن العينات رقم 6 ورقم 9 أكثر استقراراً عند درجات الحرارة المرتفعة. بناءً على الظروف البيئية والأداء المطلوب، قد تكون الألواح المختلفة مناسبة لتطبيقات مختلفة.

توضح هذه النتائج أن درجات الحرارة المحيطة المرتفعة لها تأثير كبير على كفاءة الألواح الشمسية وأن الأنواع المختلفة من الألواح الشمسية لها استجابات مختلفة للتغيرات في درجات الحرارة. لذلك من المهم مراعاة معامل درجة الحرارة عند اختيار الألواح الشمسية المناسبة ضمن الحالة المناخية للمملكة العربية السعودية.

3. منهجية الاختبار

اعتمدت منهجية الاختبار في هذه الدراسة المعايير المعترف بها دولياً، مما يضـــــــــمن إجراء تقييم صارم وموثوق لأداء الألواح الشـمسـية. ونذكر هنا على وجه التحديد التزام منهجية الاختبار بالمبادئ التوجيهية والمتطلبات التي حددتها اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC والتي توفر بروتوكولات موحدة لتقييم أداء وموثوقية الألواح الشمسية.

تم إجراء الاختبار بواسطة شركة TÜV Rheinland Solar GmbH وتم تركيب ثلاث عينات من الألواح الشـــمســـــية في موقع الاختبار الخارجي لشـركة TÜV Rheinland في ثول، المملكة العربية السـعودية. تم جمع البيانات الجوية والكهربائية لها باستخدام أجهزة استشـــعار وأدوات عالية الدقة، وامتدت فترة جمع البيانات من تموز (يوليو) إلى أيلول (سبتمبر) خلال عام 2022، مغطية بذلك ثلاثة أشهر من التشغيل في ظل الظروف المناخية القاحلة والقاسية.

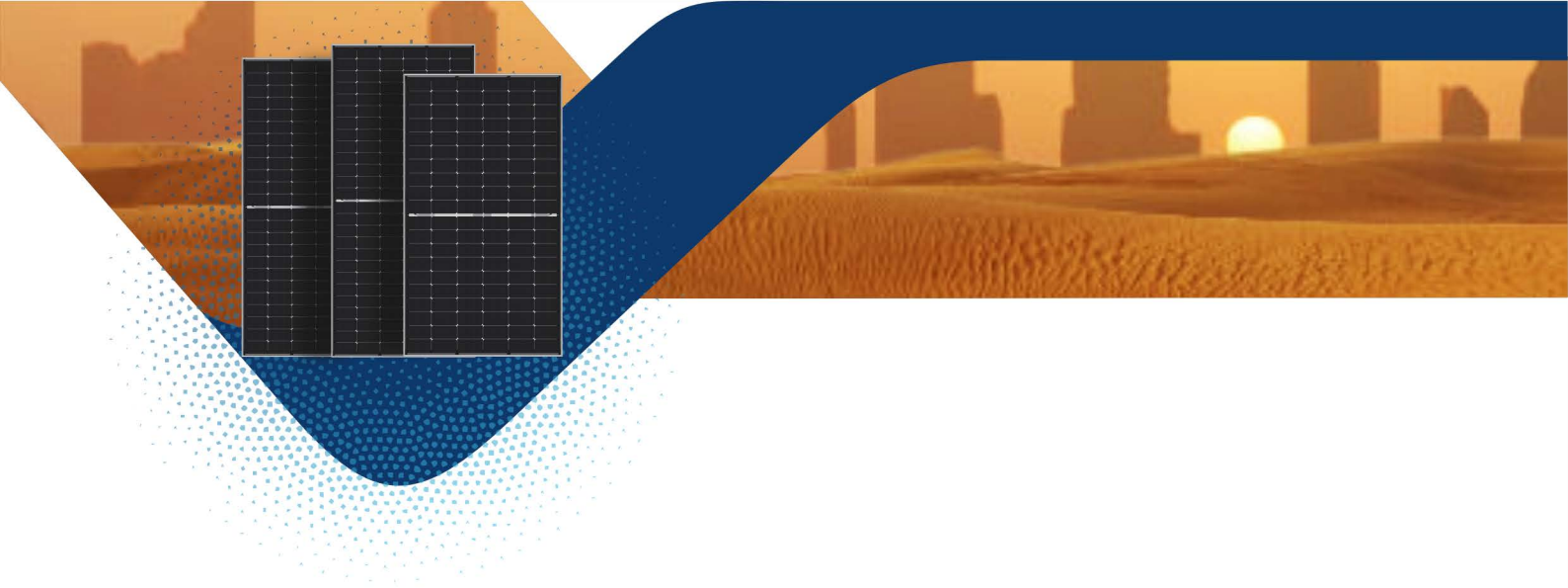
تجد أدناه محددات الأداء التي تم قياسها وحسابها لكل لوح كهروضوئي:

كفاءة التحويل: وهي القدرة الكهربائية منسوبة إلى قدرة الإشعاع الساقط على اللوح الشمسي ويعبر عنها بنسبة مئوية:

$$\eta_{operational} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(P_{mpp,measure,i} \cdot t_{sample})}{\sum_{i=0}^{n}(G_{PoA} \cdot t_{sample}) \cdot A_m}$$ المعادلة (2)

حيث:

- $\eta_{operational}$ ..... كفاءة التشغيل
- Pmpp, measured,i ..... معلومات نقطة القدرة العظمى المقاسة (Pmpp)
- t sample ..... توقيت العينة
- GPOA ..... الإشعاع العالمي عند نفس المستوى
- Am ..... مساحة اللوح



•**الإنتاجية النوعية:** وهي القدرة الكهربائية منســـوبة إلى القدرة المقاسة في ظل شروط الاختبار المعياري الداخلية ,(STC) ويعبر عنها بواحدة الكيلوواط ساعة \ الكيلوواط ذروة.

$$EY_{spec} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(P_{mpp,measure,i} \cdot t_{sample})}{P_{max}}$$ المعادلة (3)

حيث:

EY spec	**الإنتاجية النوعية**
Pmpp, measured,i	**معلومات نقطة القدرة العظمى المقاسة** (Pmpp)
t sample	**توقيت العينة**
Pmax	**طاقة اللوح وفقاً لطبيعة المختبر أو القياسات المأخوذة في المختبر ضمن الظروف المعيارية**

•**معدل أداء اللوح:** هي النســـبة بين القدرة الفعلية والقدرة المثالية وفقاً لشـــروط الاختبار المعياري (STC) ويعبر عنها كنســـبة مئوية.

$$MPR = \frac{\frac{\sum_{i=0}^{n}(P_{mpp,measure,i} \cdot t_{sample})}{P_{max,Label}}}{\frac{\sum_{i=0}^{n}(E_{measure,i} \cdot t_{sample})}{1000\ \frac{W}{m^2}}}$$ المعادلة (4)

حيث:

MPR	**معدل أداء اللوح**
Pmpp, measured,i	**معلومات نقطة القدرة العظمى المقاسة** (Pmpp)
t sample	**توقيت العينة**
Pmax, Label	**القدرة تحت شروط الاختبار المعيارية وفقاً للوحة الإسمية للوح**
Emeasured,i	**معلومات الإشعاع الشمسي المُقاس**

تمت مقارنة محددات الأداء هذه مع ورقة البيانات المقدمة من الشركات المصنعة للألواح.

أتاحت لنا المقارنة بين البيانات المقاسة وبيانات المنتج تقييم أداء وتقادم الألواح الشـمسـية في ظل الظروف الفعلية. سيتم عرض نتائج وتحليل هذه المقارنة في الأقسام التالية.

3.1 فحص قيم القياس من حيث الدقة:

ولضـمان موثوقية ودقة البيانات التي تم جمعها, تم إجراء فحوصات شديدة الدقة للمصـداقية, وتضـمنت هذه العمليات فحص البيانات بحثًا عن أي تناقضـات أو قيم غير طبيعية أو شاذة يمكن أن تؤثر على صحة النتائج. تمت مراجعة أية بيانات غير مؤكدة والتحقق منها ومراجعتها بدقة لضمان نزاهة ورقة البيانات.

3.2 تحليل الأداء:

خضعت البيانات التي جمعناها للألواح الشمسية لتحليل أداء شامل لتقييم إنتاجية الطاقة والكفاءة التشغيلية لها, وتضـمن التقييم حسـاب ومقارنة مؤشرات الأداء المختلفة, مثل الإنتاجية النوعية ومعدل أداء اللوح, وذلك بهدف تقييم الأداء العام للألواح وفعاليتها.

تمت الاستعانة بتقنيات التحليل الإحصـائي وأدوات عرض البيانات لتحديد الأنماط والعلاقات المتبادلة ضمن مجموعة البيانات, كما يقدم هذا التحليل رؤى قيّمة حول خصائص الألواح الشمسية في ظل الظروف البيئية المحددة لموقع الاختبار.

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم نتائج دقيقة وذات قيمة لتقييم أداء الألواح الشـمسـية وتم ذلك باستخدام منهجية اختبار قوية, تشمل إجراءات موحدة, وأدوات دقيقة, وتجميع بيانات موثوقة وفحص القيم المقاسة من حيث المنطق والدقة بالإضافة إلى تحليل شامل للأداء.

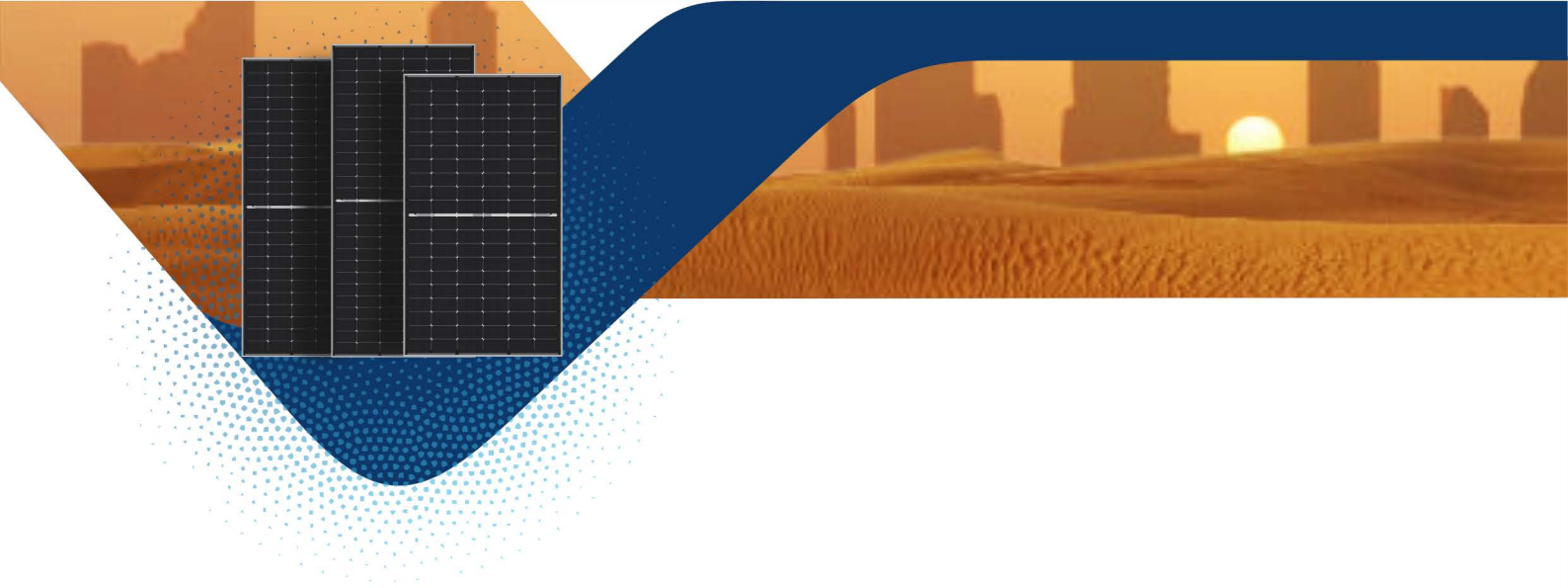
4. موقع الاختبار وبيانات الأرصاد الجوية

تم تثبيت عينات الألواح الشمسية الثلاث ومراقبتها في موقع الاختبار, والذي يتواجد في منشأة خارجية تابعة لشركة تي يو في راينلاند سولار في ثول, المملكة العربية السعودية. ويقع هذا الموقع تحديداً في «حرم جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية – KAUST», ويتميز بسهولة تضاريسه وسِعَة أُفقه وعدم وجود ظلال من مباني أو هياكل قريبة.

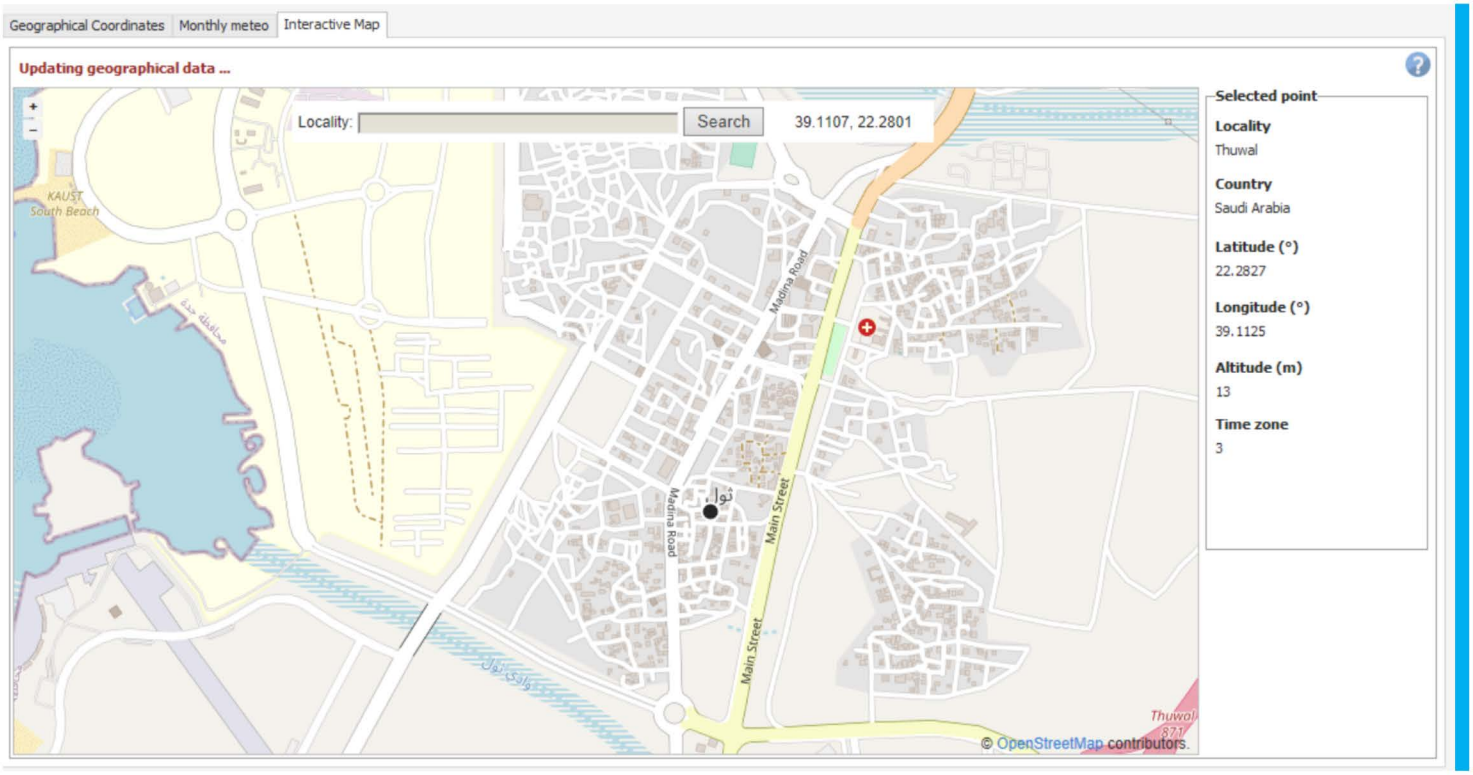
تُظهر الصورة أدناه توزيع وتخطيط الألواح الشمسية وموقع الاختبار:

الشكل (6): الموقع الخارجي لمختبر تي يو في راينلاند.

تم تثبيت الألواح الشمسية على هياكل ثابتة بزاوية ميلان 25 درجة عن المستوى الأرض بينما زاوية السمت 0 درجة مواجهة للجنوب. تم توصيل الألواح بعدادات فردية قامت بتسجيل البيانات الكهربائية, مثل الجهد, والتيار, والقدرة, والطاقة. وكانت الألواح مزودة أيضاً بأجهزة استشعار تقيس درجة حرارة اللوح وكمية الإشعاع الشمسي.



يُظهر الشكل (7) أدناه موقع الاختبار على الخريطة ضمن برنامج بي في سيست Pvsyst:



الشكل :(7) موقع الاختبار على خريطة برنامج «بي في سيست - Pvsyst»

تتميز الظروف المناخية في ثول, المملكة العربية السعودية, بالإشعاع الشمسي المرتفع, ودرجة حرارة الجو العالية, والرطوبة المنخفضة, وانخفاض هطول الأمطار, وسرعة الرياح المعتدلة. إذ يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي السنوي في ثول حوالي 2200 كيلوواط ساعة\م². ويتراوح متوسط درجة حرارة المحيط السنوية فيها حوالي 28 درجة مئوية, بينما تبلغ نسبة الرطوبة النسبية السنوية حوالي 54%, وأخيراً تتراوح متوسط سرعة الرياح السنوية بها حوالي 4 أمتار في الثانية.

يوضح الشكل (8) أدناه البيانات الجوية الشهرية وفقًا لبرنامج PVsyst

Site **Thuwal (Saudi Arabia)**

Data source PVGIS TMY 5.2

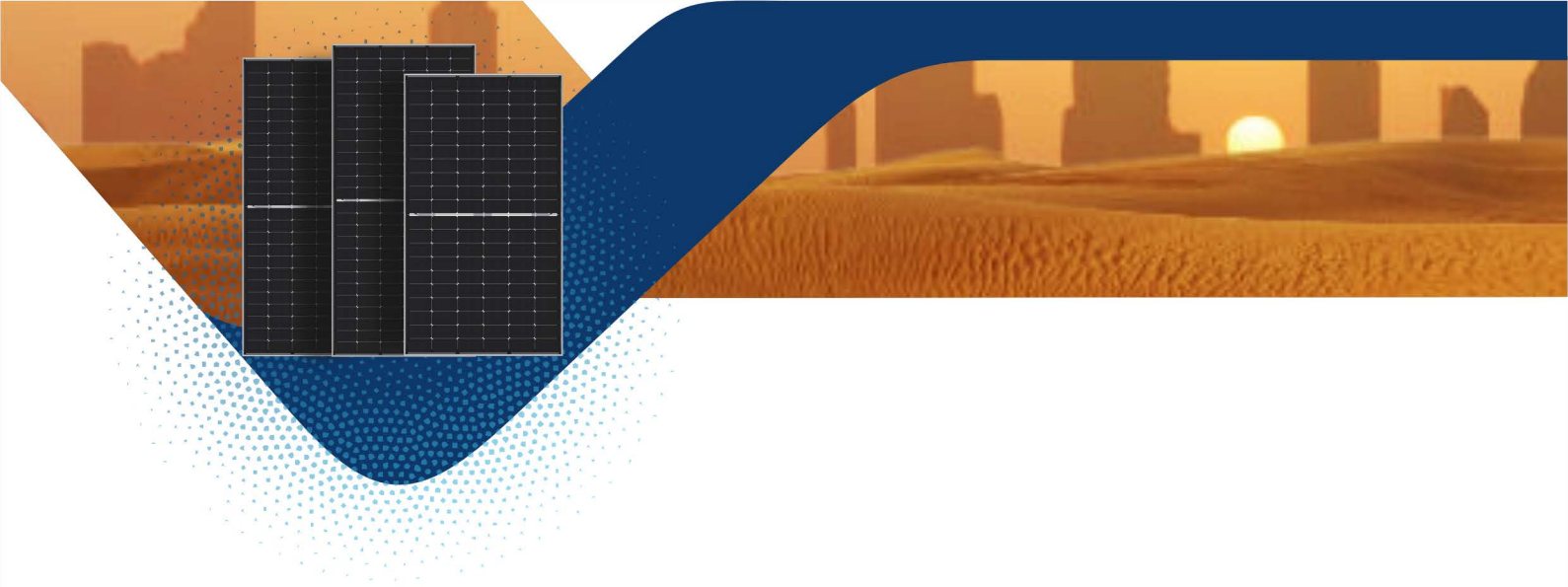
	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Relative humidity
	kWh/m²/mth	kWh/m²/mth	°C	m/s	%
January	152.5	45.4	21.0	4.39	47.9
February	160.4	47.1	24.4	3.72	54.6
March	205.1	58.0	24.9	4.39	51.6
April	226.5	60.4	28.0	3.29	50.2
May	239.4	72.9	29.9	4.46	49.6
June	237.5	69.9	31.9	3.93	54.2
July	237.6	70.4	33.2	3.82	48.3
August	226.2	74.5	33.1	3.78	52.8
September	200.9	63.8	31.3	3.96	53.6
October	190.1	55.2	29.7	3.32	55.3
November	152.1	45.8	27.0	3.33	63.1
December	140.1	44.5	24.7	3.01	63.4
Year	**2368.4**	**707.9**	**28.3**	**3.8**	**53.7**

الشكل :(8) البيانات الجوية الشهرية وفقًا لبرنامج PVsyst

تشير البيانات الجوية إلى أن ثول تتمتع بإمكانية شمسية عالية ومناخ حار وجاف، وتعتبر هذه الظروف مُفضّلة لعملية توليد الطاقة الشمسية.

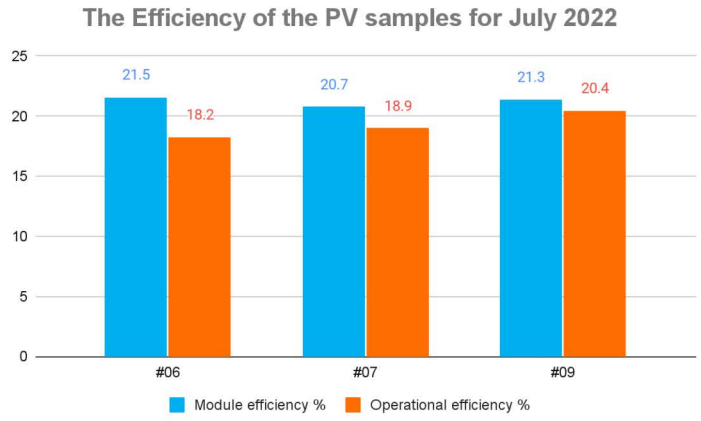
5. نتائج الأداء والتحليل

نقدم في هذا القسم معلومات الأداء والنتائج وتحليلات الألواح الكهروضوئية الثلاث لأشهر تموز (يوليو)، وآب (أغسطس) وأيلول (سبتمبر) من عام 2022. سنقوم بمقارنة الكفاءة الفعلية، الإنتاجية النوعية، ومعدل أداء اللوح لكل لوح مع ورقة المواصفات الفنية الخاصة فيه لكل شهر. سنقوم أيضاً بعرض اكتشافاتنا الأساسية ومعاني النتائج، مثل كيف تؤثر أمور مثل معامل ثنائية الوجه وحجم رقاقة الوايفر ونوع التقنية على أداء الألواح الكهروضوئية في الظروف المناخية القاسية.

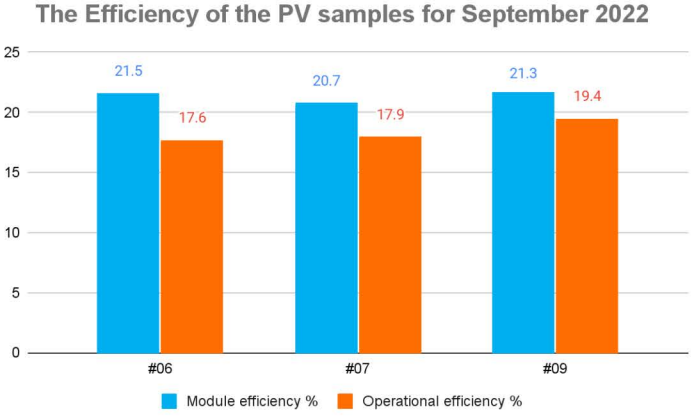


5.1 الكفاءة

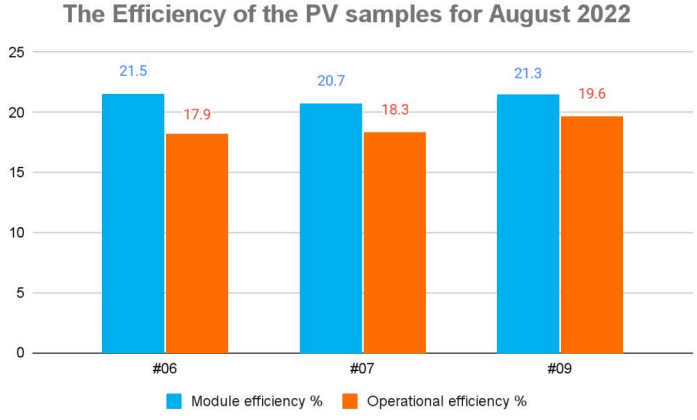
تشـير الكفاءة إلى قدرة اللوح الكهروضوئي على تحويل الطاقة الشـمسـية إلى طاقة كهربائية. وكلما كانت قيمة الكفاءة أعلى، كلما تمكن اللوح الكهروضوئية من إنتاج طاقة أكبر من كمية معينة من الإشعاع الشمسي.



(1) كفاءة عينات الألواح لشهر يوليو (حزيران) 2022



(2) كفاءة عينات الألواح لشهر أغسطس (آب) 2022



(3) كفاءة عينات الألواح لشهر سبتمبر (أيلول)

الشكل (9): كفاءة عينات الألواح الكهروضوئية لأشهر (1) يوليو, (2) أغسطس, (3) سبتمبر

الجدول :(٣) كفاءة عينات الألواح الكهروضوئية لأشهر يوليو, أغسطس, وسبتمبر

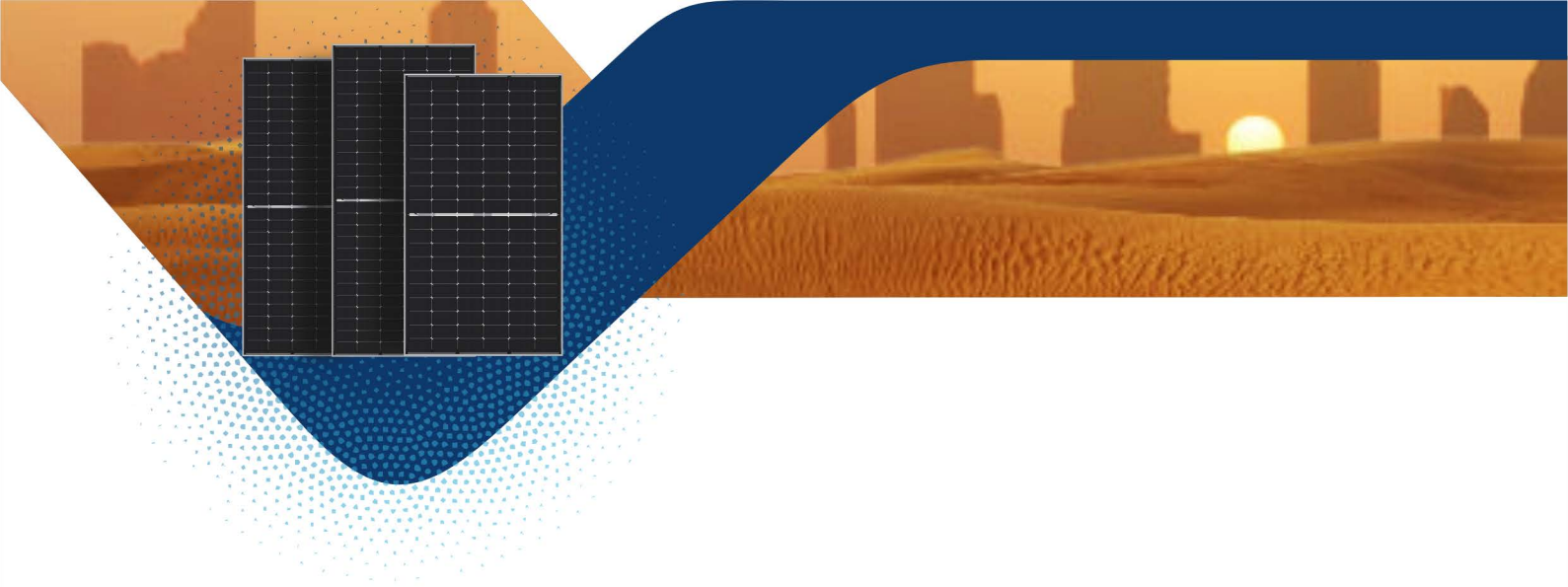
	يوليو			أغسطس			سبتمبر		
	#06	#07	#09	#06	#07	#09	#06	#07	#09
كفاءة اللوح وفقاً للوحة الإسمية %	21.5	20.7	21.3	21.5	20.7	21.3	21.5	20.7	21.3
قيمة كفاءة اللوح الفعلية %	18.2	18.9	20.4	17.9	18.3	19.6	17.6	17.9	19.4

بعد تحليل البيانات في الشكل (9) والجدول (3) وجدنا ما يلي:

إن قيمة الكفاءة المقاسة للألواح الثلاثة كانت أقل من الكفاءة المسجلة في ورقة المواصفات في جميع الأشهر. هذا متوقع كون الكفاءة في ورقة الواصفات تم تسجيلها في ظروف الاختبار المعياري (STC)، والتي تعد الحالة المثالية ولا تنعكس في العوامل البيئية افعلية التي تؤثر على أداء اللوح الكهروضوئي، مثل الحرارة، والرطوبة، والرياح، والغبار، إلخ.

إن قيمة كفاءة التشغيل المُقاسة للألواح الثلاثة انخفضت من يوليو إلى سبتمبر، بالتوافق مع ارتفاع درجة حرارة المحيط. هذا يتوافق مع معامل الحرارة السلبي للألواح الكهروضوئية، والذي يعني أن الكفاءة تقل مع ارتفاع درجة الحرارة. لاحظنا أن تأثير الحرارة كان أكبر على العينة #7 (210 مم، من مورد ثاني)، المُصنع بوايفر حجم (210 مم)، بالمقارنة مع العينة #6 (لوح جينكو سولار 555 واط) والعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط) المُصنعة بوايفر حجم (182 مم). تتمتع رقائق الوايفر الأكبر حجماً بمقاومة حرارية أكبر وقدرة أقل على تبديد الحرارة مقارنة بالرقائق الأصغر حجماً، والذي ينعكس بشكل حرارة أعلى للألواح وكفاءة أقل.

إن قيمة الكفاءة المقاسة للعينة #7 (210 مم، من مورد ثاني)، والعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط)، وهما لوحان ثنائيا الوجه، كانت أعلى من الكفاءة المقاسة للعينة #6 (لوح جينكو سولار 555 واط)، وهو لوح أحادي الوجه، وذلك لكل الأشهر. يعود ذلك على أن الألواح ثنائية الوجه قادرة على التقاط كميات إضافية من الإشعاع الشمسي المنعكس عن الأرض والأسطح الأخرى بفضل الوجه الخلفي مما يزيد من إجمالي الطاقة المنتجة والكفاءة. كان معامل ثنائي الوجه مؤثراً أكثر للعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط)، مقارنةً بالعينة #7 (210 مم، من مورد ثاني)، وذلك لأن العينة #8 تمتلك قيمة أكبر للمعامل مقارنة بالعينة #7. لكون العينة #9 تعتمد على تقنية خلايا TopCon من نوع N من إنتاج جينكو سولار، والتي تمتلك معامل ثنائي الوجه أعلى من العينة #7، والتي تعتمد على تقنية خلايا PERC من نوع P

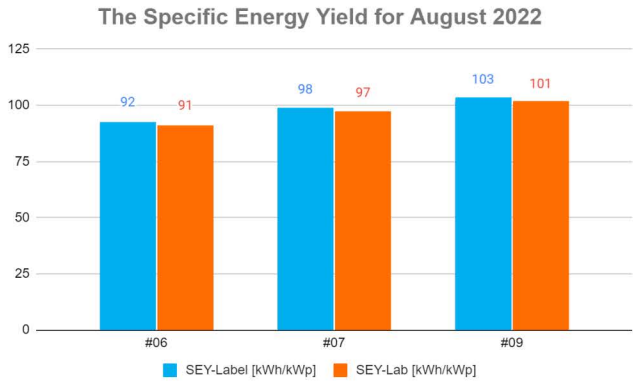


5.2 الإنتاجية النوعية

تعبر الإنتاجية النوعية عن النسبة بين قدرة اللوح في الواقع وقدرة اللوح المقاسة عند شروط الاختبار المعيارية (STC). يوضح الشكل (10) مقارنة بين قيمة الإنتاجية النوعية المقاسة، والإنتاجية النوعية المُسجلة في اللوحة الاسمية للألواح:

الجدول (٤): الإنتاجية النوعية لشهر أغسطس

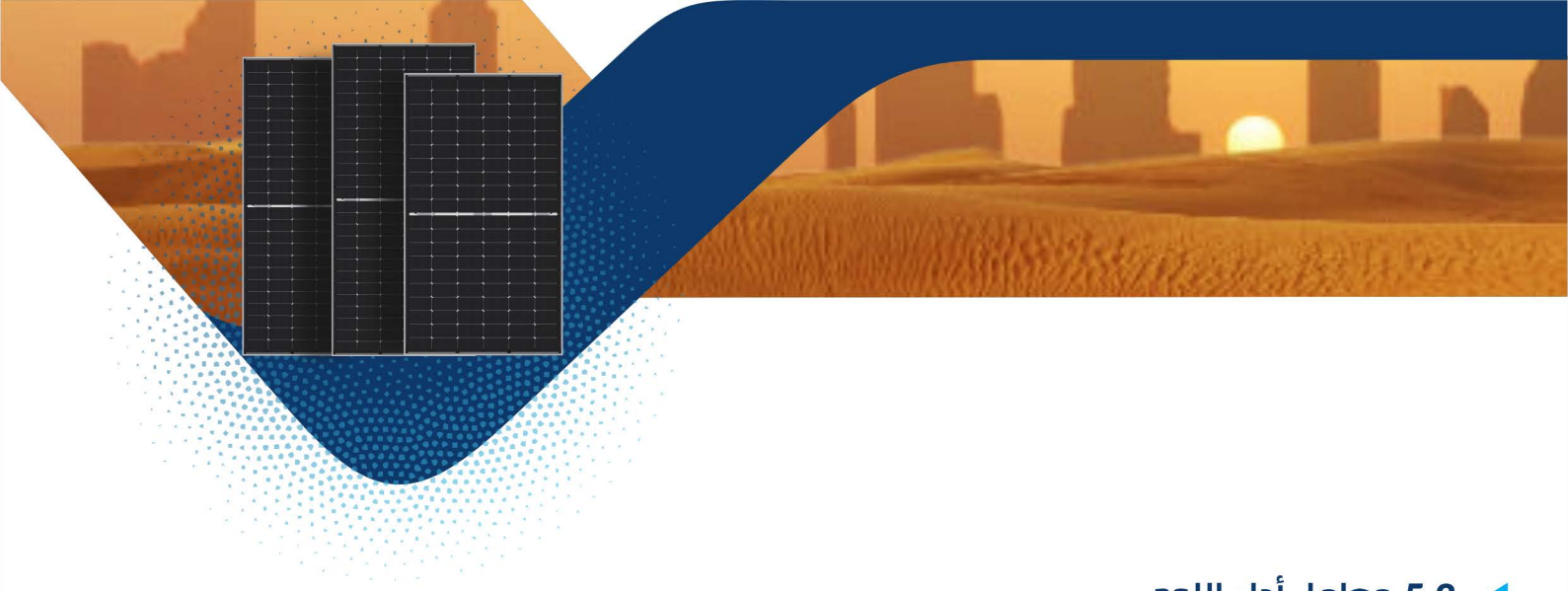
	أغسطس		
	#06	#07	#09
الإنتاجية النوعية وفقاً للوحة الاسمية	92.3	98.1	102.5
الإنتاجية النوعية الفعلية	91	96.6	100.5



الشكل (10): الإنتاجية لشهر أغسطس

بعد تحليل البيانات في الشكل (10) والجدول (4) وجدنا ما يلي:

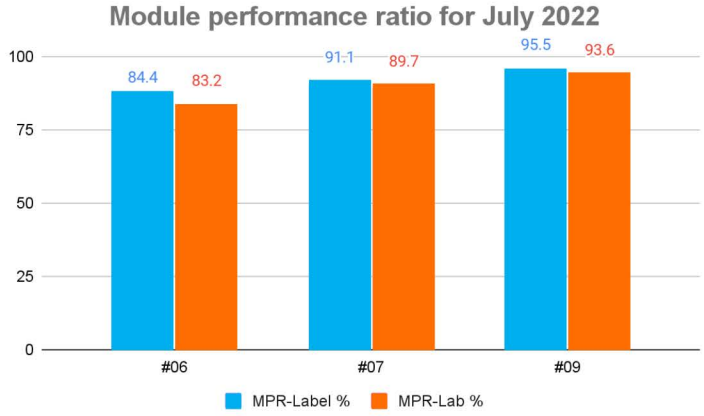
- كانت قيمة الإنتاجية النوعية للعينة #7 (210 مم، من مورد أخر) والعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط)، ألواح ثنائية الوجه، أعلى من قيمة الإنتاجية النوعية للعينة #6 (لوح جينكو سولار 555 واط)، لوح أحادي الوجه. يعود ذلك لأن الألواح ثنائية الوجه قادرة على التقاط كمية أكبر من الإشعاع الشمسي بفضل قدرة الوجه الخلفي على التقاط الإشعاع المنعكس من مختلف الأسطح، مما يزيد من الطاقة المنتجة والإنتاجية النوعية. كانت قيمة معامل ثنائي الوجه أكثر تأثيراً للعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط) بالمقارنة مع العينة #7 (210 مم، من مورد أخر)، وذلك لأن قيمة معامل ثنائية الوجه للعينة #9 أكبر من العينة رقم #7. العينة #9 تضم خلايا TopCon من نوع N بمعامل ثنائي الوجه أكبر من العينة #7 والتي تعتمد على خلايا PERC من نوع P



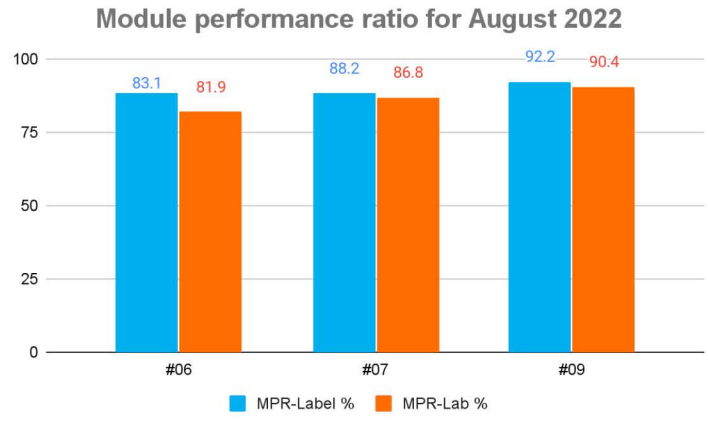
5.3 معامل أداء اللوح

يعبر معدل أداء اللوح الكهروضوئية عن القدرة الفعلية منسوبة إلى القدرة المعيارية للوح وفقاً لشروط الاختبار المعيارية (STC)، معبر عنها كنسبة مئوية. يعبر معدل أداء اللوح عن أداء اللوح في الظروف الفعلية بالمقارنة مع القيم الاسمية في الظروف المثالية. كلما كانت قيمة معدل أداء اللوح أعلى كلما كان أثر العوامل البيئية على أداء اللوح أقل.

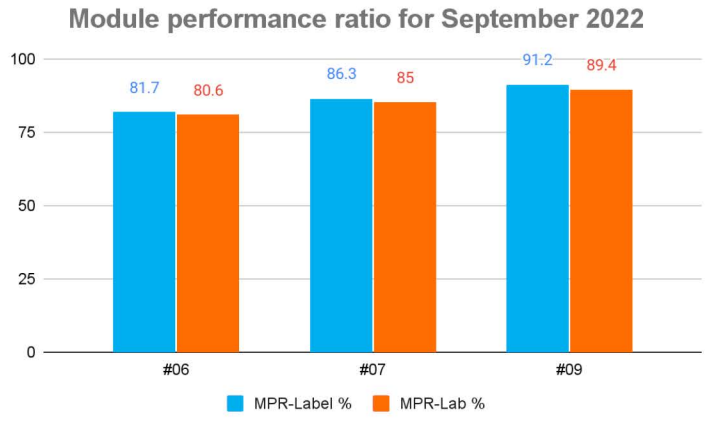
يوضح الشكل (11) أدناه مقارنة بين قيمة معامل أداء اللوح المقاسة وقيمة معامل أداء اللوح وفقاً للوحة الاسمية للألواح الكهروضوئية الثلاثة لكل شهر



(1) معامل الأداء لشهر يوليو

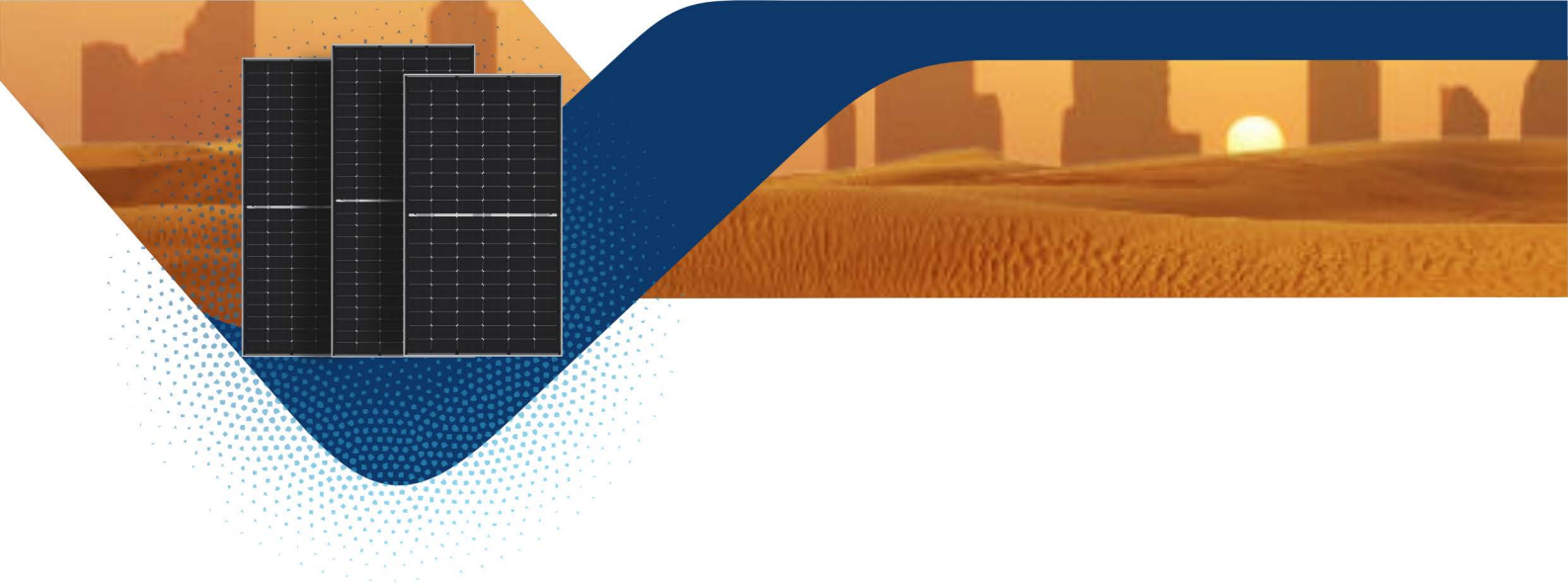


(2) معامل الأداء لشهر أغسطس



(3) معامل الأداء لشهر سبتمبر

الشكل (11): معامل الأداء لأشهر (1) يوليو، (2) أغسطس، (3) سبتمبر



الجدول (5): معامل الأداء للعينات لأشهر يوليو، أغسطس، وسبتمبر

	يوليو			أغسطس			سبتمبر	
	#06	#07	#09	#06	#07	#09	#06	#07	#09
معامل الأداء وفقاً للوحة الاسمية %	84.4	91.1	95.5	83.1	88.2	92.2	81.7	86.3	91.2
معامل الأداء المُقاس %	83.2	89.7	93.6	81.9	86.8	90.4	80.6	85	89.4

بعد تحليل البيانات في الشكل (11) والجدول (5) وجدنا ما يلي:

معدل أداء اللوح المقاس للألواح الثلاثة كان أقل من قيمة معدل الأداء في ورقة مواصفات اللوح لكل الأشهر. هذا متوقع لكون معدل أداء اللوح في ورقة المواصفات مسجل في شروط الاختبار المعيارية (STC) والتي تعد الظروف المثالية ولا تعكس العوامل البيئية الفعلية التي تؤثر على أداء اللوح كالحرارة، والرطوبة والرياح، والغبار، إلخ.

انخفضت قيمة معدل أداء الألواح الثلاثة في الأشهر من يوليو إلى سبتمبر، بالتوافق مع ازدياد درجة حرارة الجو. وهذا متوافق مع معامل الحرارة السلبي للألواح الكهروضوئية والذي يعني أن كفاءة الألواح تنخفض مع ازدياد درجة الحرارة. ظهر تأثير الحرارة بشكل أكبر على العينة #7 (210 مم، من مورد أخر) بالمقارنة مع العينة #6 (لوح جينكو سولار 555 واط) والعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط) ذو الوايفر بقياس (182 مم). يتمتع الوايفر الأكبر حجماً بمقاومة حرارية أكبر وقدرة أقل على تبديد الحرارة بالمقارنة مع الوايفر الأصغر منها، والذي يعني ارتفاع حرارة اللوح ومعدل أداء اللوح أقل.

قيمة معدل الأداء المقاسة للعينة #7 (210 مم، من مورد أخر) والعينة #9 (لوح جينكو سولار 550 واط)، والتي هي ألواح ثنائية الوجه، وكانت أعلى من القيمة المقاسة لمعدل أداء اللوح للعينة #٦ (لوح جينكو سولار 555 واط)، والذي هو لوح أحادي الوجه، وذلك لكل الأشهر. كان تأثير معامل ثنائي الوجه أكبر للعينة #٩ (لوح جينكو سولار 550 واط) بالمقارنة مع العينة #7 (210 مم، من مورد أخر)، وكانت العينة #9 تمتلك معامل ثنائي وجه أعلى من العينة #7.

5.4 متغيرات التحسين

استخدمنا العينة #6 كنقطة الأساس لقياس متغيرات التحسين للعينات الأخرى (#7, و#9) في أشهر مختلفة (يوليو, أغسطس, وسبتمبر). قمنا بحساب نسبة الكفاءة, الإنتاجية, معامل الأداء لكل عينة مقارنة بالعينة #6, وتمكنا من الحصول على النتائج التالية:

الجدول (6): التحسن في الكفاءة, الإنتاجية, ومعامل الأداء للوح

تحسن الكفاءة

الشهر	العينة #6	العينة #7	العينة #9
يوليو	0 %	3.85%	7.94%
أغسطس	0 %	2.23%	7.10%
سبتمبر	0 %	1.70%	8.38%

تحسن الإنتاجية

الشهر	العينة #6	العينة #7	العينة #9
يوليو	0 %	7.82%	12.54%
أغسطس	0 %	6.15%	10.44%
سبتمبر	0 %	5.65%	11.06%

معدل أداء اللوح

الشهر	العينة #6	العينة #7	العينة #9
يوليو	0 %	7.81%	12.50%
أغسطس	0 %	5.98%	10.38%
سبتمبر	0 %	5.46%	10.92%

يظهر الجدول 6 أن العينة #9 أظهرت تحسّن في الكفاءة أعلى مقارنة مع العينة #7 والعينة #6 في الأشهر الثلاثة. تدعم هذه النتائج الافتراض الأساسي المُسبق بأن العينة #9 هي الخيار الأفضل.

يشير الأداء الثابت للعينة #9 عبر جميع المقاييس الثلاثة للكفاءة والإنتاجية, ومعدل أداء اللوح إلى التفوق الكبير بالمقارنة مع بقية العينات, والأمر الذي يعني أن الخصائص والاختلافات للعينة #9 تساهم بشكل إيجابي بأدائه في كل المعايير المقاسة.

6. الخلاصة والنتائج

6.1 النتائج:

تتمتع الألواح الكهروضـــوئية ثنائية الوجه بكفاءة, والإنتاجية النوعية, ومعدل أداء أعلى من الألواح أحادية الوجه بما يفوق ال 10%, وذلك بسـبب قدرتها على التقاط إشعاع كهروضوئي إضافي منعكس عن الأرض ومختلف الأسطح عبر الوجه الخلفي. من بين الألواح ثنائية الوجه, يتمتع لوح جينكو سولار 550 واط (182 مم) بأداء أفضــل من الألواح (210 مم من مورد آخر), وذلك بســبب ارتفاع معامل ثنائي الوجه وانخفاض معامل الحرارة.

أظهرت النتائج أن العينة المُصنعة باستخدام الوايفر كبيرة الحجم حازت على معدلات كفاءة أقل ومعدل أداء أقل من الوايفر الأصغر حجماً تحت ظل نفس الشروط القاسية, وذلك بسبب ارتفاع معامل الكفاءة الحرارية وتبديد الحرارة الأقل, والذي ينعكس بشكل حرارة أعلى للوح وقدرة أقل. الألواح 210 مم من مورد آخر أداؤها اقل من ألواح جينكو سولار 555 واط (182 مم), وذلك بسبب ارتفاع معامل الحرارة وانخفاض معامل ثنائي الوجه.

اللّوح الأكبر ذو القدرة الأكبر لا يعني بالضرورة أداء أفضل, عند اختيار اللوح الشـمسـي المناسب لمشـروع معين, يجب النظر إلى عدة عوامل أخرى غير القدرة والحجم, مثل معامل الحرارة والكفاءة وقائمة المواد الصـــحيحة BOM ومعاملات التقادم. فهذه العوامل تحدد مدى تأثر اللوح بالظروف المناخية ومدى استمراريته في توليد الكهرباء بكفاءة عالية. وبالتالي, تســـاهم في تقليل الكلفة المتوازنة لتوليد الكهرباء LCOE وزيادة جدوى المشروع على المدى الطويل.

مما لا شـك فيه, تقنية التوب-كون أصـبحت التقنية المعتمدة عالميّاً, لأنها تتفوق على تقنية البيرك في الكفاءة والثبات, خاصـة في البيئات الحارة مثل السـعودية. ولكن لا تتسـاوى جميع الألواح الشـمسـية التي تسـتخدم تقنية التوب-كون في الأداء, فقد رأينا اختلافات بين لوحين من نفس التقنية من مُصـــــــــنّعين مختلفين. وقد أظهرت تقنية التوب-كون قدرة عالية على الاعتمادية والموثوقية في السعودية, حيث حققت نتائج ممتازة في مشاريع استمرت لأكثر من سنتين.

أثبتت ألواح جينكو بتقنية التوب-كون أحادية الوجه أداءً ممتازاً على الرّغم من الحـرارة العالية فـي الموقع مع العلم أنّ جينكو هـي الشـــركة الوحيدة في العالم التّي استطاعت تصـــنيع ألواح أحادية الوجه بطبقة خلفية بلاستيكية وتقديمها للســـوق منذ أكثر من سنتين. وبالتزامن مع هذا الاختبار تمّ اجراء اختبارات للألواح أحاديّة وثنائيّة الوجه بظروف قاسية تساوي ثلاث أضعاف المعايير الدوليّة.

6.2 التداعيات والآثار

اختيار نوع اللوح الكهروضوئي المناسب هو أمر أساسي لتعظيم الاستفادة من الطاقة الشمسية واستخدامها في ظل الظروف المناخية القاسية. يمكن للألواح الكهروضوئية ثنائية الوجه أن تقدم إنتاجية أعلى وتكلفة متوازنة لإنتاج الكهرباء LCOE أقل من الألواح أحادية الوجه في المواقع ذات معامل إضاءة أعلى وإشعاع مندثر.

يمكن للألواح بوايفر أصغر حجماً أن تتمتع بكفاءة أعلى ودورة حياة أطول مقارنةً بالوايفر الأكبر حجماً في المواقع حيث درجة حرارة المحيط مرتفعة وضغط ميكانيكي عالي.

اختيار قائمة المواد الصحيحة BOM أثناء اختيار اللوح الكهروضوئي أمر محوري في ضمان أداء طويل الأمد وموثوقية اللوح. تضمن قائمة المواد BOM نوع وجودة المواد المستخدمة في تصنيع اللوح الكهروضوئي، مثل الخلايا الشمسية، والتغليف، والطبقة الخلفية، والزجاج، وعلبة التوصيلات. يمكن لهذه المواد أن تؤثر على معدل تقادم اللوح وقدرة اللوح طوال فترة حياته. لذلك، من المهم اختيار المواد القادرة على مقاومة العوامل البيئية الصعبة كالحرارة، والرطوبة، والأشعة فوق البنفسجية، والرياح.

تطبيق هذه النتائج لظروف السعودية، والتي تصنف بتمتلاكها لإشعاع شمسي عالي، ودرجة حرارة عالية، ورطوبة منخفضة، وأمطار قليلة، وسرعة رياح معتدلة، ويمكننا أن نقول أن الألواح الكهروضوئية ثنائية الوجه بحجم وايفر صغير مناسبة أكثر وأفضل من الألواح أحادية الوجه بحجم وايفر أكبر لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية في المنطقة. يمكن للألواح ثنائية الوجه بوايفر صغير أن تنتج كمية أكبر من الطاقة وتتمتع بمعدل تقادم أقل من الألواح أحادية الوجه بوايفر كبير في ظروف المملكة العربية السعودية المناخية، وبالتالي تكلفة متوازنة أقل للكهرباء LCOE وعائد استثماري أكبر.

7. المراجع

1. TÜV Rheinland Solar GmbH. (2023). Field test data analysis report-Saudi Arabia Retrieved October 10, 2023 from TÜV Rheinland Solar GmbH

2. Al Garni, H. Z. (2022). The impact of soiling on PV module performance in Saudi Arabia. Energies, 15(21), 8033-8057

3. Solarabic. (2023). KSA Solar PV market study 2023. Retrieved October 10, 2023 from Solarabic

4. Figgis, Benjamin, et al. "PV soiling in dry climates: causes, impacts and solutions." Energy Procedia, vol. 162, 2019, pp. 3-10

5. Jones, Russell K., Abdulaziz Baras, Abdullah Al Saeeri, Ayman Al Qahtani, Ahmed O. Al Amoudi, Yousef Al Shaya, Maher Alodan, and Shafi Ali Al-Hsaien. "Optimized Cleaning Cost and Schedule Based on Observed Soiling Conditions for Photovoltaic Plants in Central Saudi Arabia." IEEE Journal of Photovoltaics 6, no. 3 (2016): 730-738

6. PVsyst SA. (n.d.). Meteorological data. Retrieved October 10, 2023, from PVsyst

7. Reprinted from Solar Energy,107, Said, Syed A.M., et al., Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance, 332., Copyright (2014), Elsevier

8. SolarGIS Ltd. (n.d.). The photovoltaic power potential of Saudi Arabia. Retrieved October 10, 2023, from SolarGIS Ltd