البحوث والدراسات

تأثير شدة الإشعاع الضوئي على كفاءة وقدرة الألواح الشمسية السيلكونية المستخدمة في الجمهورية اليمنية

د. عبدالله محمد الطويل*
أ. د. نبيل عبدالله القدسي**
د. عبدالجبار محمد العياني***
أ. عصام يحيى السماوي****

ملخص:

إن متوسط شدة الإشعاع الشمسي اليومي للجمهورية اليمنية يقدر بـ ٢٠,١٨ ميجا جول.يوم/ م^{٢} ،وهو ما يمكن أن يوفر كمية كافية من الطاقة إذا تمت الاستفادة منه بصورة جيدة. وقد تناولت هذه الدراسة تأثير شدة الإشعاع الضوئي وتغير المسافة على كفاءة الألواح الشمسية السيلكونية وقدرتها. أجريت التجربة العملية لمحاكاة شدة الإشعاع الشمسي لحساب الكفاءة والقدرة على اللوحين الشمسيين، المستخدمتين في اليمن عند ثلاث قيم مختلفة لشدة الإضاءة، وقد سجل التيار المقابل للتغيير المنتظم للجهد الذي تم التحكم فيه بواسطة ريوستات، وتم الحصول على تحسين الكفاءة والقدرة للوحين الشمسيين، اللتين تتناسبان طردياً مع شدة الإضاءة. ولوحظ أن قيم شدة التيار للدائرة القصيرة اللتين تتناسبان طردياً مع شدة الإضاءة. واختُبِرت المحاكاة على نوعين من الألواح الشمسية: الأحادي البلورة والمتعدد البلورات، ودرست خصائصها لإيجاد المنحنيات (I-V) المميزة لهما. وقد أظهرت النتائج المحاكاة أنها جيدة، ويمكن اعتمادها واستخدامها في مختلف الدراسات وبحوث الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

* أستاذ مساعد، كلية التربية والعلوم، جامعة البيضاء، رداع، اليمن.
** أستاذ مشارك، جامعة ذمار والبيضاء، اليمن.
*** أستاذ مساعد، جامعة ذمار، اليمن.
**** فني معمل، كلية التربية والعلوم، جامعة البيضاء، رداع، اليمن.

١ – مقدمة:

درسنا سابقاً أفضل المواقع المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية[١]. إن متوسط شدة الإشعاع الشمسي اليومي للجمهورية اليمنية يقدر بـ ٢٠,١٨ميجا جول. يوم/م^{٢}، وهو ما يمكن أن يوفر كمية مقدرة من الطاقة، إذا تمت الاستفادة منه بصورة جيدة.

إن توليد الكهرباء باستخدام المنظومات الشمسية الفوتوفولتائية أصبح الآن من المصادر المهمة والمتنامية في دول كثيرة من العالم. وقد اكتسبت المنظومات الشمسية الفوتوفولتائية أهمية كبيرة؛ وذلك لضرورة استخدامها في كثير من التطبيقات، كمنظومات الاتصالات في المناطق المعزولة، وثلاجات الأدوية للمجمعات الصحية في المناطق الريفية النائية ولاسيما البعيدة عن خطوط الشبكة الكهربائية العامة مقارنة بالمصادر الأخرى؛ نظراً لسهولة استخدامها وعدم احتياجها للوقود. ومع ارتفاع سعر مشتقات البترول زاد اهتمام كثير من الدول بالطاقة الشمسية كمصدر لتوليد الكهرباء. وللتقليل من تكلفة المنظومات الشمسية الفوتوفولتائية أجريت أبحاث كثيرة من أجل تحسين كفاءتها وتشغيلها عند القدرة القصوى للخلية الفوتوفولتائية، ومن ثم تقليل عدد الألواح الشمسية المستخدمة في المنظومة[٢][٣][٤]. وقد أجريت العديد من

---

(١) العياني، عبدالجبار؛ القدسي، نبيل عبدالله. (يناير ٢٠١٦). "دراسة حول أفضل المواقع القابلة لتوليد الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية". مجلة جامعة الأندلس. العدد (٥). المجلد (١١).

(٢) A. Aziz Aldobhani, Fahr H. and A. R. Assad. (2001). " Factors Affecting the efficiency of PV systems", Sharjah solar conference, 19-22 Feb, 189-PVPH08

(٣) A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad and E. T. El Shenawy. (2005). "Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks", Renew. Energy,Vol. 30, pp. 1257-1268.

(٤) Gwon-Jong, Yu Myung-woong Jung, Jinsoo Song, In-Su Cha and In-Ho Hwang. (1996). "Maximum power point tracking with temperature compensation of photovoltaic for air conditioning system with fuzzy controller", Twenty Fifth IEEE Conference on Photovoltaic Specialists, 13-17 May, pp. 1429-1432.

البحوث في تأثير شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط الخارجي على القدرة المولدة من الألواح الشمسية، وقد اعتمدت مجموعة من هذه البحوث على التحليل الرياضي للمعادلة المكافئة للخلية الشمسية[٥][٦]. كما اعتمدت بحوث أخرى على الاختبارات المعملية أو منظومات محاكاة للمنظومات الفوتوفولتائية[٧][٨]. وفي هذا البحث تم اختبار نوعين من الألواح الشمسية في محاكاة مختبرية في اليمن وفي شدة إضاءة ومسافات مختلفة لدراسة خرج الألواح الشمسية عند درجة حرارة الوسط الخارجي للمعمل. وتتميز شدة الإضاءة المختارة بارتفاع الكفاءة والقدرة وزيادة شدة الإشعاع الضوئي وتقليل المسافة الفاصلة بين المصدر الضوئي والألواح الشمسية للحصول على بيانات كافية لفهم أداء المنظومة الفوتوفولتائية. وسيستفيد جميع الباحثين في حقل الطاقة الشمسية من نتائج هذا البحث، التي سوف تحفزهم على إجراء بحوث مشابهة على امتداد مساحات اليمن وبحوث مماثلة أيضاً للمجمعات الشمسية الحرارية التي تحتاج إلى مثل هذه الدراسة.

---

(٥) M. Enrique, E. Duran, M. Sidrach-de-Cardona and J.M. Andujar. (2007). "Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies", Solar Energy, January, Vol. 81, Issue 1, pp. 31-38.

(٦) Mellit A. (2006). "Artificial intelligence based-modeling for sizing of a Stand-Alone Photovoltaic Power System: Proposition for a New Model using Neuro-Fuzzy System (ANFIS)", 3rd International IEEE Conference on Intelligent Systems, Sept., pp. 606-610.

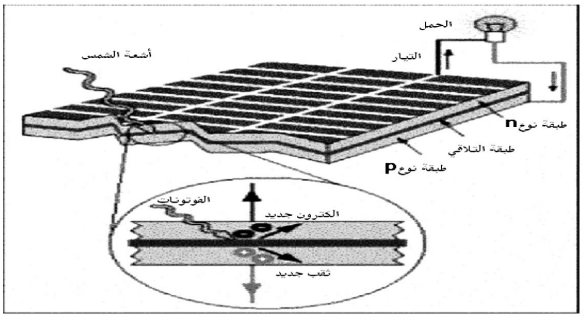
(٧) Boutalis, Yiannis S. Karlis, Athanassios D. Kottas and Theodoros L. (2006). "Fuzzy Cognitive Networks + Fuzzy Controller as a self adapting control system for Tracking Maximum Power Point of a PV-Array", IEEE 32nd Annual Conference on Industrial Electronics, IECON 2006, Issue Nov., pp. 4355-4360.

(٨) Chung, H.S.-H. Tse, K.K. Hui, S.Y.R. Mok, C.M. Ho and M.T. (2003). "A novel maximum power point tracking technique for solar panels using a SEPIC or Cuk converter", IEEE Transactions on Power Electronics, May, Vol. 18, Issue 3, pp. 717-724.

قد قسم هذا البحث إلى سبعة مباحث. في المبحث الثاني تم التعرض لنظرية عمل الخلية الشمسية وأنواعها. في المبحث الثالث تم إيضاح تأثير شدة الاستضاءة والمسافة المختلفة على الخلية الشمسية وخرجها. وفي المبحث الرابع تم شرح التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية والعوامل المؤثرة فيه. وفي المبحث الخامس تم عرض الجانب العملي والقياسات من الأدوات والأجهزة المستخدمة في تجربة العملية وتحليل النتائج الموضحة لتأثير شدة الاستضاءة المختلفة على جهد القدرة القصوى للألواح الشمسية الفوتوفولتائية عند مسافات مختلفة. وفي المبحث السادس تم شرح النتائج ودراسة تأثير نوعية الألواح المستخدمة على خرج المنظومة الشمسية ومكوناتها، وفي المبحث السابع تم استخلاص التوصيات التي يلزم مراعاتها عند اختيار مكونات المنظومة الفوتوفولتائية وتكملة هذا البحث لتحسين كفاءة الألواح الشمسية وقدرتها عن طريق إضافة العواكس المسطحة الموصى بها في هذه الدراسة.

٢ – الخلايا الشمسية (Photovoltaic Cells):

الخلايا الشمسية أجهزة بسيطة جداً مصنوعة من مواد شبه موصلة تمتلك القدرة على امتصاص الضوء وتحويله إلى تيار كهربائي. فالخلية الشمسية هي رقاقة رفيعة من السيلكون مشوبة بمقادير صغيرة من الشوائب لإعطاء جانب شحنة موجبة والجانب الآخر شحنة سالبة مكونة ثنائياً ذا مساحة كبيرة على نحو ما هو موضح في الشكل (١). من هذا الشكل نلاحظ أنه عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية، ويُمتص جزء منه بواسطة الطبقة



الشكل (١) – مبدأ عمل الخلية الكهروشمسية

الأولى للخلية التي تحتوي على الفوسفور، أما أغلبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاص الجزء الخاص بالطبقة التي تحتوي على خليط السيلكون والبورون. ويتكون من خلال هذه العملية إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي من أطراف الخلية، وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية ويتكون التيار الكهربائي المستمر. يمكن الاستفادة منه في توصيل حمل كهربائي من حركة الإلكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس على الخلية، وتبلغ القدرة الكهربية المنتجة للخلية الشمسية عادة (وات) واحداً[٩].

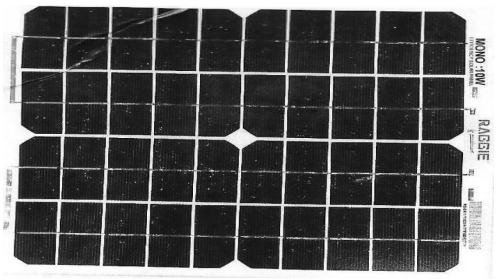
تُجمع وتُربط الخلايا الشمسية كهربائياً بعضها مع بعض؛ للحصول على الألواح الشمسية (Module) وبتجميع الألواح بعضها مع بعض نحصل على مصفوفة الألواح (Array). ويستخدم الربط على التوالي للحصول على الجهد اللازم والربط على التوازي ليعطى التيار المطلوب. تولد الخلايا الكهروضوئية تياراً مستمراً؛ لذلك يجب استخدام المحولات (Inverters) في تطبيقات النظم الكهروضوئية الموصلة بالشبكة أو الأحمال التي تعمل بتيار AC. ولم يصبح استخدام الطاقة الشمسية في الوقت الحالي لتغذية الأحمال الكهربائية ليس أمراً ملحاً فقط وإنما أمر حتمي يجب العمل عليه والبحث فيه بشكل جدي. وتعاني الألواح الشمسية المستخدمة اليوم في العالم من انخفاض الكفاءة وقدرة الخرج الكهربائية، وذلك في حال عدم توافر الظروف المثالية لعمل هذه الألواح، فضلاً عن كفاءتها المصنعية المنخفضة أساساً (١٥٪–٢٠٪) والمتعلقة ببنية خلاياها الشمسية. ويهدف هذا البحث إلى إيجاد تأثير شدة الإضاءة مختلفة القدرة والمسافة وقياس كل من تيار دائرة القصر (Isc) وتيار الحمل (Imax) وفولتية الدائرة المفتوحة (Voc) وفولتية الحمل (Vmax) لكل مسافة بين ألواح الطاقة

(٩) E. Lorenzo. (1994). "Solar Electricity- Engineering of Photovoltaic Systems", PROGENSA, S.A., Sevilla, Spain.

الشمسية والمصدر الضوئي، ورسم منحنيات خواص التيار–الفولتية لكل شدة ضوئية، وزيادة فعالية وكفاءة الألواح الشمسية بزيادة شدة الإشعاع الشمسي أو الضوئي الساقط على الألواح الشمسية وزيادة طول فترة السطوع الشمسي على ما هو في الحالة الطبيعية.

٢–١– أنواع الخلايا السيلكونية:

أ – الخلايا السيلكونية الأحادية البلورة (Monocrystalline silicon sells):



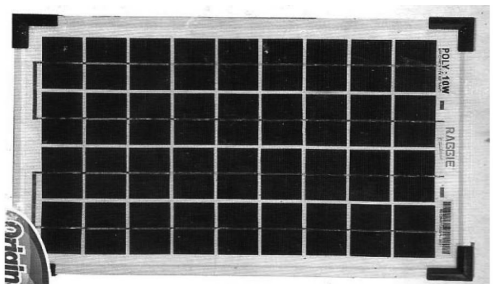
الشكل (٢) – لوح كهروشمسي أحادي البلورة

معظم الخلايا السيلكونية الأحادية البلورة المتوافرة في الأسواق ذات كفاءة تقارب ١٥٪، وتعرف الكفاءة بأنها النسبة المئوية من الطاقة الشمسية الساقطة على اللوح الكهروشمسي، التي يتم تحويلها إلى كهرباء. وتمتاز الشمسية الأحادية البلورة بكفاءة عالية والسعر المرتفع جداً؛ لكونها مصنعة من سيلكون أحادي البلورة وعالي النقاوة، ومن ثم فإن طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة. الشكل (٢) يبين لوحاً كهروشمسياً مصنوعاً من خلايا كهروشمسية أحادية البلورة[١٠].

ب – الخلايا السيلكونية المتعدد البلورات (polycrystalline silicon cells):

على الرغم من كون الخلايا الكهروشمسية المتعددة البلورات أرخص وأسهل تصنيعاً من الخلايا الأحادية البلورة؛ بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة؛ وذلك لكون حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب) المولّدة من

(١٠) Hadj Arab, A., F. Chenlo, K. Mukadam, and J. L. Balenzategui. (1999). Performance of PV water pumping systems, Renewable Energy, v. 18, no. 2, p.191.

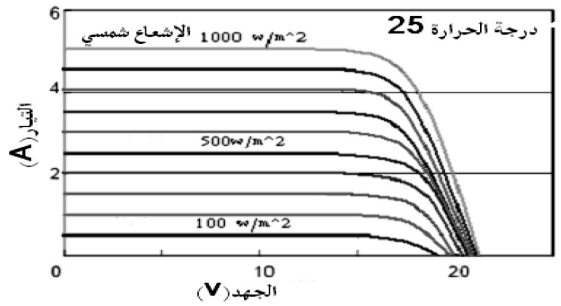


الشكل (٣) – لوح شمسي متعدد البلورات

قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السيلكون المتعدد البلورات. وقد وجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن في عملية تصنيع المادة عندما تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السيلكون المذاب ببطء ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل؛ وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات. الشكل (٣) يبين ألواحاً شمسياً مصنوعاً من خلايا كهروشمسية متعدد البلورات. وتصل كفاءة الخلايا السيلكونية المتعددة البلورات إلى ١٢٪ أو أكثر بقليل.

٢-٢- الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروشمسية :

يتألف اللوح الكهروشمسي من عدد من الخلايا التي تكون موصلة على التوالي والتوازي (Module) بعضها مع بعض ضمن لوحة واحدة، ويجب أن تكون محمية من الماء والرطوبة والحرارة والسقوط؛ حيث توضع الخلايا الكهروشمسية في غلاف محكم مصنوع من الزجاج المسطح المفرد أو المضاعف، ويصل الإشعاع الشمسي إلى هذه الخلايا من خلال الزجاج ويمكن تجميع الألواح بعضها مع بعض لتشكيل الصف (Array) الذي يكون بحجم معين. وتركب الصفوف الكهروشمسية لزيادة مساحة التعرض المباشر للشمس، وتوضع عادة في منطقة خالية من



الشكل (٤) – تغير قيم الجهد والتيار تبعاً للإشعاع الشمسي

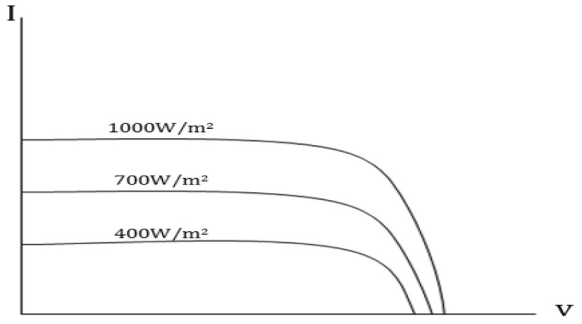
الأبنية والأشجار باتجاه الشمس وبزاوية مناسبة(١١).

فرق جهد الدائرة المفتوحة هو الفولت الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية عندما لا يمر في الدائرة تيارا، وهو تالفولت الأعلى الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية من الإشعاع الشمسي. في الدائرة تيار القصر فهو التيار المار في الخلية الكهروشمسية إلى دائرة خارجية بدون حمل أو مقاومة، وهو التيار الأعلى الذي تستطيع الخلية الكهروشمسية توليده من الإشعاع الشمسي (تيار القصر).

إن فرق الجهد المتولد من الخلية الكهروشمسية يبقى ثابتاً عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الساقط لكن التيار المتولد يتغير بشكل مباشر تبعاً لقيم الإشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية كما في الشكل(٤)(١٢).

٣ – تأثير شدة الاستضاءة على خرج الخلية الشمسية الفوتوفولتائية:

إن خروج الخلية الشمسية الفوتوفولتائية المصنعة من السيلكون أحادي البلورة ومتعدد البلورات يعتمد على شدة الإشعاع الضوئي الساقط، الذي يقاس بالوات/م٢. وكلما ازداد شدة الإشعاع الضوئي ازداد تيار خرج الخلية الشمسية. ويبين الشكل (٥) تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنى التشغيل للوح الشمسي عند ثبات درجة حرارة الخلية الشمسية.



الشكل (٥) – تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنيات التشغيل

شدة الإضاءة هي مقدار الفيض الضوئي

(١١) Florida Solar Energy Center. (1988). Photovoltaic design,course manual.- Cape Canaveral, FL.

(١٢) Salameh, Z., and D. Taylor. (1990). Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays, Solar energy volume 41, No. 1, pp 57-61.

(F) الساقط عمودياً على وحدة المساحة (A)، ويرمز لها بـ (Φ) ووحدة قياس شدة الاستضاءة هي W/M^2.

$$\Phi = \frac{F}{A} \qquad (١)$$

الفيض الضوئي وقوة الإضاءة خاصتان مميزتان للمصدر الضوئي؛ حيث يمكن تعريف الفيض الضوئي بأنه كمية الطاقة الضوئية التي تنبعث من المصدر الضوئي في جميع الاتجاهات في وحدة الزمن. وحدة قياس الفيض هي الوات. ويستخدم قانون التربيع العكسي في حساب شدة الإضاءة الواصلة للجسم عن طريق المسافة التي تبعده عن مصدر الضوء، ويكون من العلاقة الآتية[١٣]:

$$\frac{\Phi 2}{\Phi 1} = \frac{(d1)^2}{(d2)^2} \qquad (٢)$$

حيث إن: $\Phi 1$ تمثل شدة الاستضاءة الأولى و $\Phi 2$ تمثل شدة الاستضاءة الثانية وd1 تمثل المسافة الأولى وd2 تمثل المسافة الثانية.

٤ – التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية والعوامل المؤثرة فيه:

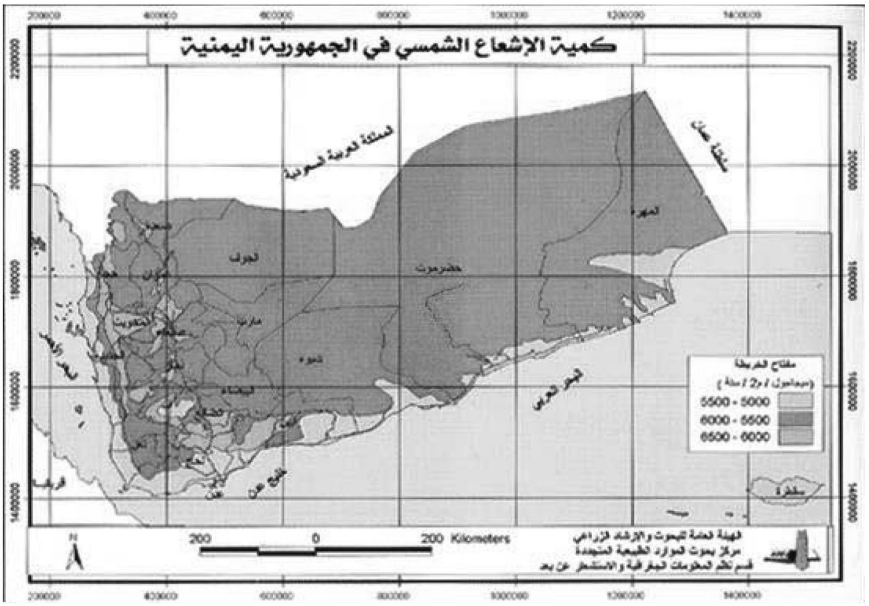
يمتاز موقع الجمهورية اليمنية باستقباله كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي على مدار السنة، نتيجة وقوعه ضمن المدى المداري بين خط الاستواء ومدار السرطان بين درجتي العرض ١٢–١٩,٥ شمالاً، على نحو ما هو موضح في الشكل (٦)[١٤].

يظهر الموقع الفلكي (فوق ٧ درجات عرضية) أن موقع الجمهورية اليمنية يكون ضمن المناطق المثالية لتوليد الطاقة الشمسية؛ حيث تتراوح كمية الإشعاع

---

(١٣) عبدالعباس محسن جاسم. (٢٠١٢). "دراسة موقعية حول تحسين نظام الإنارة في معمل الصناعات الجلدية في الكوفة باستخدام بدائل الإضاءة الحديثة". مجلة القادسية للعلوم الهندسية. المجلد الخامس. العدد الثاني. ٦٨–٧٧.

(١٤) الأرصاد الجوية اليمنية www.Yms.gov.ye.
مقبل الحياسي. (٢٠١٢). "دارسة الإشعاع الشمسي". قسم الجغرافية. كلية الآداب. جامعة ذمار.



الشكل (٦) – موقع اليمن والتوزيع الجغرافي لكمية الإشعاع

الشمسي بين (٣٥٠ و٦٠٠) كالوري/ سم^{٢}يوم. ولكن للأسف لم يتم الاستفادة منه كمصدر للطاقة بشكل اقتصادي حتى اليوم، وقد حصرت الاستفادة منه في تجفيف المحاصيل الزراعية واستخلاص الملح وتسخين المياه إلا أنه في الآونة الأخيرة بدأ الاهتمام يتزايد بهذا المورد الطبيعي المتجدد في إنتاج الطاقة الكهربائية، وتتباين كمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى الجمهورية اليمنية من وقت إلى آخر بسبب مجموعة من العوامل الطبيعية التي يستحيل التحكم فيها أو تغييرها، وهي المسؤولة عن التأثير على عناصر مناخ سطح الأرض وعلى المناخ السائد في الجمهورية اليمنية خلال شهور السنة وفصولها الأربعة، وأهم العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي هي[١٥][١٦]:

(١٥) شركة (IREN) للبحث العلمي والمعلومات (Irena. masder. Ac.ae).

(١٦) المحمد، جورج. (٢٠٠٧). محطات توليد الطاقة.

٤-١- زاوية سقوط الأشعة الشمسية:

هي الزاوية المحصورة بين أشعة الشمس والمستوى الأفقي لسطح الأرض، وتختلف هذه الزاوية خلال اليوم بحسب درجات العرض؛ فتكون الأشعة الشمسية أكثر قوة إذا كانت زاوية سقوطها عمودية، وهذه تعتبر أفضل زاوية؛ لتركزها على مساحة أصغر ولقصر المسافة التي تقطعها الأشعة الشمسية؛ مما يجعلها أقل عرضة لعمليات التبديد الجوي. درجة حرارة ساعات النهار تختلف خلال اليوم؛ إذ إن كمية الطاقة تصل ذروتها في وقت الظهيرة عندما تكون الشمس عمودية وتقل في الصباح والعصر بسبب ميلان الأشعة وتتأخر أعلى درجة للحرارة نهاراً قليلاً عن وقت الظهيرة؛ لأن الأرض تستمر في تخزين الحرارة في الساعات التي تلي وقت الظهيرة.

الجمع بين زاوية قريبة من العمودية ونهار طويل يوفر كمية هائلة من الطاقة في الصيف وخاصة في المناطق الواقعة بين ١٥ و ٣٠ درجة شمالاً وجنوباً، التي تعد الجمهورية اليمنية جزءاً منها: (١٢-١٩,٥ شمالاً). فالموقع بالنسبة لدوائر العرض ذو تأثير كبير على عناصر المناخ من حيث تحديد زاوية سقوط الأشعة الشمسية، وطول النهار وما يترتب عليهما من تحديد للمناخ لأي منطقة في الجمهورية اليمنية. والجدول (١) يوضح زاوية السقوط لعدد من المحافظات بحسب التوزيع الجغرافي للجمهورية اليمنية(١٧).

يلاحظ من الجدول (١) أن أقل زاوية سقوط في اليمن (٤٩,٣°)، وقد سجلت في محافظة صعدة أقصى الشمال، وأقل زاوية لسقوط الإشعاع في جميع الأقاليم تم تسجيلها في فصل الشتاء (ديسمبر)، ثم ترتفع هذه الزاوية بالتدرج حتى تتعامد على الجمهورية اليمنية، وعندها تم تسجيل أعلى قيمة للزاوية على مدار السنة في شهري (مايو، يوليو)؛ بسبب أنه في هذا الأثناء يحدث حركة للشمس من خط الاستواء إلى مدار السرطان في شهر مايو، وعودة

(١٧) مناخ محافظة مأرب. (٢٠٠٩). كتاب صادر عن الأرصاد الجوية اليمنية.

الجدول (١)

زوايا السقوط الشهرية والفصليه والسنوية لعدد من محافظات الجمهورية اليمنية

الإقليم / الفصل		المنخفضات الوسطى			المرتفعات الجبلية			السهول الساحلية			الهضبة الشرقية			المعدل العام
		صعده	صنعاء	المعدل	تعز	مكيراس	المعدل	الحديدة	عدن	سقطرى	مأرب	سيؤن	المعدل	
فصل الشتاء	ديسمبر	49.32	51.18	50.25	52.55	52.34	52.45	51.46	53.40	54.4	52.55	51.44	51.44	52
	يناير	57.22	59.9	58.56	60.46	60.24	60.35	59.31	61.31	62.14	60.46	58.23	59.35	59.9
	فبراير	65.12	66.59	65.86	68.35	68.14	68.25	67.26	69.19	70.04	68.35	66.13	67.24	67.9
	المعدل	57.22	59.22	58.23	60.45	60.24	60.35	59.36	61.30	62.19	60.45	58.25	59.35	59.8
فصل الربيع	مارس	72.02	74.29	73.16	76.25	76.04	76.15	75.19	77.60	77.54	76.25	74.02	75.14	75.5
	أبريل	80.52	82.39	81.46	84.15	83.54	83.85	83.06	85.00	85.44	84.15	81.52	82.84	83.2
	مايو	88.42	89.32	88.87	87.56	88.16	87.86	89.04	87.50	86.26	87.56	89.42	88.49	88.2
	المعدل	80.32	82.00	81.33	82.65	82.58	82.12	82.42	83.2	83.08	82.65	81.65	82.15	82.3
فصل الصيف	يونيو	73.28	81.41	77.35	80.05	80.26	80.16	81.14	79.36	78.36	80.05	82.05	81.05	79.9
	يوليو	88.42	89.32	88.87	87.56	88.16	87.86	89.04	87.10	86.26	87.56	89.42	88.49	88.2
	أغسطس	80.52	82.39	81.46	84.15	83.54	83.85	83.06	85.00	85.44	84.15	81.52	82.84	82.2
	المعدل	80.74	84.37	82.56	83.92	83.99	83.96	84.41	83.83	83.25	83.92	84.23	84.13	83.8
فصل الخريف	سبتمبر	73.02	74.29	73.16	76.25	76.04	76.15	75.16	77.10	86.26	76.25	74.02	75.14	76.1
	أكتوبر	65.12	66.59	65.86	68.35	68.14	68.25	67.26	69.69	70.04	68.35	66.13	67.74	67.6.
	نوفمبر	57.22	59.09	58.16	60.64	60.24	60.35	59.26	61.31	62.94	61.17	58.32	59.25	59.9
	المعدل	65.12	66.66	65.89	68.35	68.14	68.25	67.26	69.20	72.81	69.8	66.13	67.24	67.9
المعدل العام		70.85	73.06	72	73.86	73.74	73.67	73.36	74.38	75.33	74.38	72.57	73.22	73.45

الشمس من مدار السرطان إلى خط الاستواء في شهر يوليو، ويلاحظ أن أعلى متوسط لزاوية سقوط تم تسجيله في سقطرى، يليها محافظة عدن وسيئون ثم محافظة تعز ومحافظة الحديدة ومحافظة مأرب، والمتوسط لزوايا السقوط السنوي في اليمن هو (٧٣,٤٥°)، وهذه القيمة تقترب من القيمة العمودية؛ مما يجعل كمية الإشعاع الساقطة على اليمن جيدة.

٤-٢- طول النهار:

المقصود به هنا المدة التي يكون قرص الشمس ظاهراً في السماء، ولابد من التمييز بين مدة السطوع النظري ومدة السطوع الفعلي؛ إذ إن مدة السطوع النظري هي المدة المحصورة بين شروق الشمس وغروبها أما مدة السطوع الفعلي فهي التي يشاهد فيها قرص الشمس واضحاً في السماء خلال النهار. وتقل مدة السطوع الفعلي عن النظري لاحتجاب أشعة الشمس بالسحب والأتربة، وعندما يصحو الجو تماماً يحدث التطابق بينهما، وكلما ازداد طول النهار كانت طاقة الإشعاع التي يتلقاها مكان ما أكبر مقارنة بالنهار القصير، ويختلف طول النهار بحسب درجة العرض في أكثر الأيام شروقاً، ويدل موقع الجمهورية اليمنية على أنها تتميز بجو مشمس طوال العام ونهار طويل في أواخر الربيع وبداية الصيف، في حين تقل فترة السطوع في أواخر فصلي الخريف والشتاء وإن كان هذا التباين قليلاً بسبب موقعها الفلكي إلا أنه يؤثر في تباين معدل السطوع الشمسي. الجدول (٢) يوضح ذلك.

من الجدول (٢) يلاحظ أن محافظة حجة أقل المناطق اليمنية من حيث عدد ساعات السطوع الفعلية، وهي بمعدل ٦,٥ ساعة/يوم، ويرجع سبب ذلك إلى كثرة الغيوم وانتشار الضباب على أراضيها معظم أيام السنة، بينما نجد أن أعلى المحافظات اليمنية سطوعاً هي محافظة مأرب؛ حيث يبلغ معدل ساعات السطوع فيها ٩,٣ ساعة/يوم، ويرجع سبب ذلك إلى صفاء السماء في هذه المحافظة، ويلاحظ تسجيل أعلى عدد ساعات سطوع للهضبة الشرقية في محافظة مأرب؛ إذ يبلغ ٩,٣ ساعة/ يوم، للسهول الساحلية في الريان ٨,٨ ساعة/يوم،

للمرتفعات الجبلية في محافظة تعز ٨,٤ ساعة/يوم، وللمنخفضات الوسطى في محافظة صعدة ٩,٢ ساعة/يوم ومحافظة ذمار ٩ ساعة/يوم.

الجدول (٢)

عدد ساعات السطوح الفعلية في عدد من محافظات الجمهورية اليمنية

الشهر / المحافظة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
صعدة	9.2	9.2	9.4	8.5	10.6	10.2	5.9	7.2	8.3	10.5	10.3	10.3	9.2
صنعاء	9.6	9.4	8.9	8.8	9.0	9.0	6.2	7.1	9.0	10.5	10	10	9.0
ذمار	9.7	9.6	9.3	8.7	8.8	9.2	7.0	7.5	8.5	9.9	10.1	9.6	9.0
حجة	5.1	5.3	5.7	7.0	7.2	7.3	7.0	6.2	7.0	7.2	6.3	6.3	6.5
إب	8.6	9.2	8.7	8.4	7.5	6.9	5.4	5.3	6.8	9.3	8.8	8.8	7.8
تعز	8.4	8.7	9.1	8.7	8.8	7.4	7.0	7.6	8.0	9.4	9.5	8.7	8.4
الحديدة	8.1	8.0	8.3	8.9	9.1	6.3	6.3	7.3	7.8	9.3	9.4	8.1	8.1
الريان	8.7	8.9	8.5	10	9.6	5.8	7.5	8.5	7.9	10.1	9.7	9.8	8.8
سيئون	7.6	8.2	8.4	8.5	8.9	8.3	7.5	8.0	8.2	8.7	8.3	7.7	8.2
مأرب	9.7	9.1	9.0	8.7	9.9	9.4	8.2	8.5	9.2	10.3	10.4	9.6	9.3

٤-٣- صفاء السماء:

يقصد به خلو الجو من السحب وقلة محتواها من الشوائب المتمثلة في المركبات المختلفة: الغازية، والسائلة (قطرات السحب) والصلبة (العوالق والغبار والدخان)؛ نظراً لما تقوم به من إعاقة لجزء من الإشعاع عبر عمليات الانتشار والانعكاس والامتصاص. لذلك فإن صفاء السماء يؤدي دوراً مهماً في كمية الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض. وتمتاز ٧٠٪ من مساحة الجمهورية اليمنية بانخفاض الرطوبة النسبية، وتقل فيها نسبة التغييم عن ٣٠٪، ونسبة الغيم هذه متفرقة؛ تتكون أحياناً ولكن سرعان ما تتبدد هذه لتعود السماء إلى صفائها، وفي فصل الصيف وعندما تكون الشمس عمودية على مدار السرطان يرتفع الإشعاع الشمسي كثيراً؛ لعدم وجود ما يخفض حدة شروق الشمس، وعلى الرغم من أن أمطار الجمهورية اليمنية صيفية فإن قلة هذه الأمطار تعني قلة الغيوم التي تغطي السماء باستثناء محافظتي إب وحجة اللتين تكون نسبة التغييم فيهما مرتفعة بشكل عام.

٤-٤- كمية الإشعاع الشمسي:

يلاحظ أن المناطق التي تحظى بطول عدد ساعات السطوع تمتاز بكميات إشعاع كبيرة؛ مما يؤهلها لإنتاج الطاقة المتجددة. والجدول (٣) يوضح التوزيع الجغرافي لكمية الإشعاع، ومنه يلاحظ أن إقليم الهضبة الشرقية هو الأعلى من حيث كمية الإشعاع بمتوسط إشعاع يومي على مدار السنة يبلغ ٢١,٧ ميجا جول/م^{٢}.يوم، يليه إقليم المنخفضات الوسطى بمعدل ٢١,٢ ميجا جول/م^{٢} يوم؛ مما يؤهلهما – بشكل كبير – لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية، كما يلاحظ تسجيل أعلى معدل سنوي لكمية الإشعاع للهضبة الشرقية في مأرب ٢٢,٤ ميجا جول/م^{٢} يوم، للمنخفضات الوسطى في صنعاء ٢١,٩ ميجا جول/م^{٢} يوم، مدينة ذمار ٢١ ميجا جول/م^{٢}يوم. للسهول الساحلية في الريان ٢٠,٤ ميجا جول/م^{٢}يوم. للمرتفعات الجبلية في تعز ١٩,٩ ميجا جول/م^{٢} يوم[١٨].

٥ – الجانب العملي والقياسات:

تم اختبار الدائرة الكهربائية للألواح الشمسية؛ لمعرفة كفاءتها، وإن الأموال الطائلة التي تصرف على البحوث الفوتوفولتية هي من أجل زيادة كفاءة الألواح الشمسية، وتجرى القياسات داخل المختبر. ويستخدم في هذا البحث نوعان من الألواح الفوتوفولتية السيلكونية مستطيلة الشكل، سمكها (0.3 cm)، ومساحة اللوح الأول (0.0702 m^2) من النوع أحادي البلورة (Mano 10W)، والثاني (0.06644 m^2) من النوع متعدد البلورات (Poly 10W)، وتم تصنيع قاعدة تثبيت الألواح الفوتوفولتية بالوضع المناسب، وهي المتوافرة في السوق المحلي.

(١٨) القرضاوي، إبراهيم محمد. (١٩٩٥). "أجهزة الطاقة الشمسية". منشأة المعارف. الإسكندرية. مصر.

الجدول (٣)

معدل كمية الإشعاع الشمسي اليومي (ميجا جول/م^2 يوم)

الإقليم / الفصل		فصل الشتاء				فصل الربيع				فصل الصيف				فصل الخريف				المعدل السنوي
	المحطة	ديسمبر	يناير	فبراير	المعدل	مارس	ابريل	مايو	المعدل	يونيو	يوليو	أغسطس	المعدل	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	المعدل	
السهول الساحلية	الحديدة	16.6	16.3	17.8	16.9	18.8	20.8	21.1	20.2	17.7	17.4	18.7	17.9	18.8	19.9	18.2	19	18.5
	عدن	17.7	17.8	19.8	18.4	21.3	21.6	21.6	21.5	19.4	18.9	19.9	19.4	19.9	21	19.6	20.2	19.9
	الريان	19.2	18.2	20.2	19.2	20.7	23.8	23.1	22.5	16.8	19.6	21.4	19.3	19.8	22.4	20.1	20.8	20.4
	المعدل	17.8	17.4	19.3	18.2	20.3	22.1	21.9	21.4	18	18.6	20	18.9	19.5	21.1	19.3	20	19.6
المرتفعات الجبلية	تعز	17.8	18	20	18.6	21.2	21.8	21.8	21.6	19.1	18.3	19.5	19	19.6	21.4	20	20.3	19.9
	حجة	13.9	12.7	14.4	13.7	16.5	19.8	20.3	18.9	19.9	19.8	18.4	19.4	18.3	17.8	14.6	16.9	17.2
	إب	17.3	17.5	20.5	18.4	21.1	21.9	20.7	21.2	19.7	17.5	17.3	18.2	18.6	21	18.4	19.3	19.3
	المعدل	16.3	16.1	18.3	16.9	19.6	21.2	20.9	20.6	19.6	18.5	18.4	18.8	18.8	20.1	17.7	18.8	18.8
المنخفضات الوسطى	صنعاء	19	19.2	21.4	19.9	22.6	23.9	24.3	23.6	23.7	20.3	21.4	21.8	22.8	23.1	20.5	22.2	21.9
	صعدة	18.1	18	19.6	18.7	21.5	22.1	25.4	23	23.7	18.7	20.3	20.9	20.6	22.1	19.3	20.7	20.8
	تمار	18.8	19.5	21.3	19.9	22.1	22.6	22.8	22.5	22.5	19.9	20.6	21	21.2	21.1	19.3	20.5	21
	المعدل	18.6	18.9	20.8	19.4	22.1	22.9	21.2	23	23.3	19.6	20.8	21.2	21.5	22.1	19.7	21.1	21.2
الهضبة الشرقية	مأرب	19.1	19	21.3	19.8	22.8	23.7	25.9	24.1	24.2	22.7	23.1	23.3	23	23.1	21.1	22.4	22.4
	سيئون	16.9	17.3	20.1	18.1	21.8	23.2	24	23	22.1	21.6	22.4	22	21.9	20.5	18.6	20.3	20.1
	المعدل	18	18.2	20.7	19	22.3	23.5	25	23.6	23.2	22.2	22.8	22.7	22.5	21.8	19.9	21.4	21.7

٥-١- الأدوات:

تتألف الدائرة من "خلية شمسية – مقاومة متغيرة (ريوستات Riostat)– مصدر ضوئي محاكٍ لضوء الشمس وأسلاك الربط وبرنامج الإكسيل لإدخال البيانات لرسم منحنى الخواص (I-V) للوحين الشمسيين".

٥-٢- الأجهزة المستخدمة، وتشمل:

١ – فولت متر وأميتر Voltemeter and Ameter.

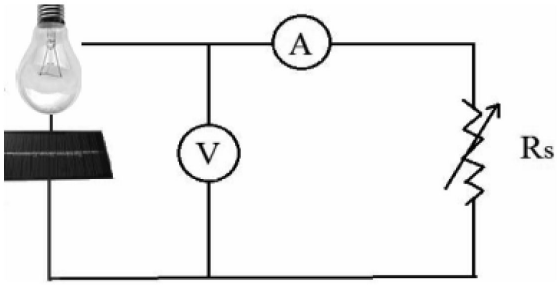
٢ – مقياس متعدد رقمي (Digital Multimeter) لقياس التيار والفولتية الخارجة من هذه الألواح.

٣ – محرار رقمي (Digital Thermometer) لقياس درجة حرارة اللوح. ومن ثم دراسة خصائص التيار – الفولتية (I-V) للوح الشمسي وحساب القدرة الناتجة وكفاءة أداء هذا اللوح.

٤ – مقياس شدة الإشعاع الضوئي لقياس شدة الإشعاع الضوئي الساقط على اللوح بوحدة W/m^2، وهذا الجهاز غير متوافر في المعمل لذلك تم قياسه رياضياً من العلاقة (١).

٥-٣- طريقة العمل والقياس:

١ – تم ربط كل من الخلية والريوستات والأميتر على التوالي وربط اللوح الشمسي مرة ثانية على التوازي بين طرفي الفولتمتر، وهو ما يوضحه الشكل (٧). لإجراء القياسات ودراسة الخصائص الكهربائية.



الشكل (٧) – رسم دائرة لقياس خصائص التيار – الفولتية

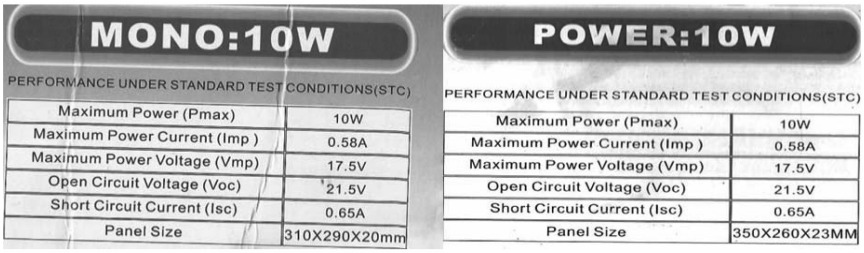
٢ – سلط ضوء ذو شدة (Intensity)، مقدارها $60,100,200\ W/m^2$ على اللوح الشمسي (بصورة عمودية) وحسبت قيم التيار والفولتية بتغيير قيم المقاومة المتغيرة (Riostat)، ومن ثم نجد مقدار فولتية الدائرة المفتوحة (Voc) أي ($I_{sc}=0$). ويحسب تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) عندما تكون ($V_{oc}=0$)، ثم يرسم منحنى خواص التيار – الفولتية، وتحسب القيمة العظمى للقدرة الناتجة (P_{max}) بواسطة المعادلة الآتية:

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \qquad (٣)$$

ومن ثم تحسب كفاءة أداء الألواح الشمسية من العلاقة الآتية:

$$n = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{A \times \Phi} \qquad (٤)$$

حيث إن: n كفاءة أداء الألواح الشمسية، وP_{max} القدرة العظمى الخارجة من الألواح، وP_{in} شدة الإشعاع الساقط، وA مساحة الألواح الشمسية.

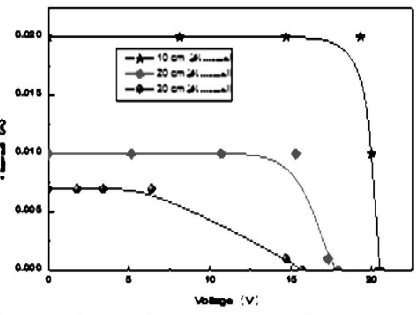


الشكل (٨) – مواصفات الألواح عند ظروف الاختبار القياسية

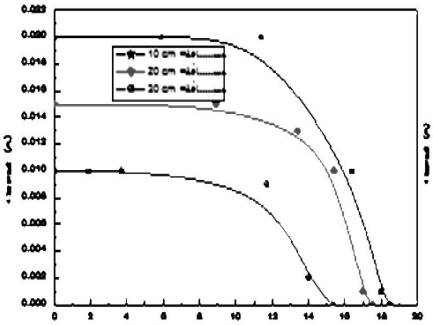
الجدول (٤)

عينات من القياسات المختبرية للوحين عند درجة حرارة (25°C)

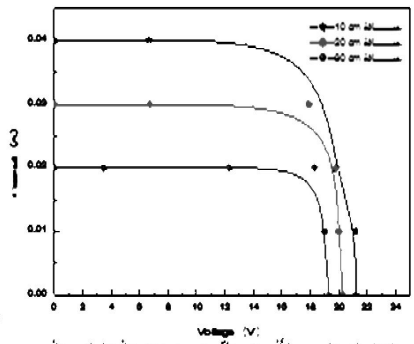
قياسات اللوح أحادي البلورة (Monocrystalline)							قياسات اللوح متعددة البلور (polycrystalline)					
المسافة (cm)	متوسط شدة الإضاءة الساقطة (w/m^2)	V_{max}	I_{max}	p_{max}	متوسط شدة الإضاءة الخارجة (w/m^2)	متوسط الكفاءة % (η)	متوسط شدة الإضاءة الساقطة (w/m^2)	V_{max}	I_{max}	p_{max}	متوسط شدة الإضاءة الجارحة (w/m^2)	متوسط الكفاءة % (η)
10	854.701	0	0.02	0	0	0		0	0.02	0	0	0
		15.532	0.015	0.172	2.455	0.287	903.071	14.175	0.013	0.164	2.472	0.305
		20.5	0	0	0	0		17.7	0	0	0	0
20	213.675	0	0.01	0	0	0		0	0.01	0	0	0
		12.108	0.0078	0.082	1.17	1.395	225.768	12.975	0.00775	0.0888	1.3365	0.59
		17.9	0	0	0	0		18.2	0	0	0	0
30	94.467	٠	0.007	0	0	0		0	0	0	0	0
		6.575	0.0055	0.124775	0.34125	0.36	100.341	6.825	0.0175	33.32	1.55425	0.172
		19.7	٠	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0
average	387.614	11.405	0.0094	0.127	1.322	0.681	409.727	11.325	0.013	0.066	1.788	0.356
10	1424.501	0	0.04	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0
		16.493	0.025	0.352	5.017	0.353	1505.117	7.94	0.028	0.156	2.342	0.158
		21.2	٠	0	0	0		19	0	0	0	0
20		0	0.03	0	0	0		0	0.03	0	0	0
	356.125	16.15	0.025	0.384	5.463	1.528	376.279	15.35	0.023	0.325	5.604	1.3
		20.3	0	0	0	0		17.9	0	0	0	0
30		0	٠,٠٢	0	0	0		٠	0.02	0	0	0
	158.278	13.3	0.018	0.218	3.109	1.96٣	167.235	13.225	٨0.012	0.142	2.141	1.285
		19.3	0	0	0	0		17.8	0	0	0	0
average	646.3013	15.314	0.023	0.318	4.529	1.281	682.877	12.172	0.021	0.208	3.362	0.914
10	متوسط القراءت	0	0.08	0	0	0		0	0.07	0	0	0
	2849.251	19.975	0.065	1.2655	١٨,٠٢٦٧٥	0.63	3010.235	18.25	0.0525	0.92025	13.851	0.465
		22.2	0	0	0	0		20.7	0	0	0	0
20		0	0.06	0	0	0		٠	0.06	0	0	0
	712.251	١٨,٥	٠,٠٤٢٥	٠,٧٣٦٥	10.491	1.47	752.559	16.875	0.045	0.725	10.912	1.455
		٢١,٤	0	0	0	0		١٩,٤	٠	0	0	0
30		0	0.04	0	0	0		0	0.04	0	0	0
	316.556	16.875	0.028	0.419	5.969	1.885	334.471	14.975	0.028	0.370	5.573	1.665
		20.8	0	0	0	0		18.6	0	0	0	0
average	1292.686	18.45	0.045	0.807	11.4955	1.328	1365.755	16.7	0.042	0.672	10.112	1.195



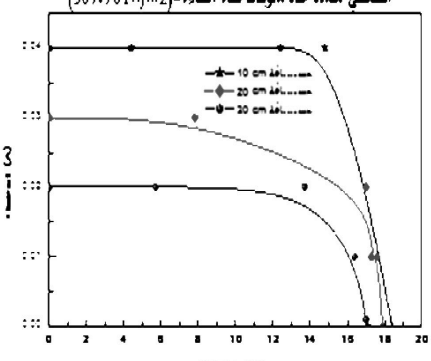
الشكل (9-a) - س تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي احادي عند متوسط شدة اضاءة=(387.761 w/m2)



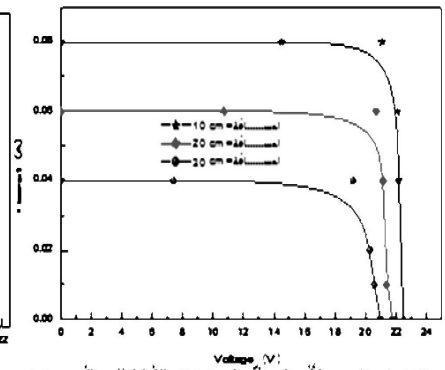
الشكل (9-b) - س تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي متعدد عند متوسط شدة اضاءة=(387.761w/m2)



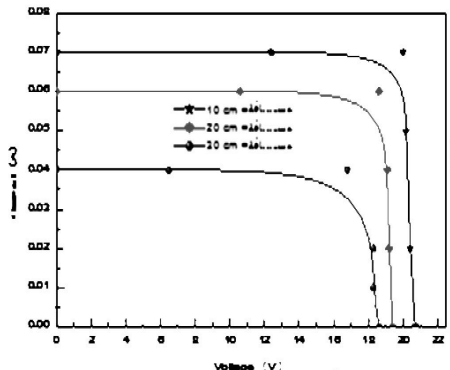
الشكل (9-c)- س تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي احادية البلورة عند متوسط شدة اضاءة=(646.301w/m2)



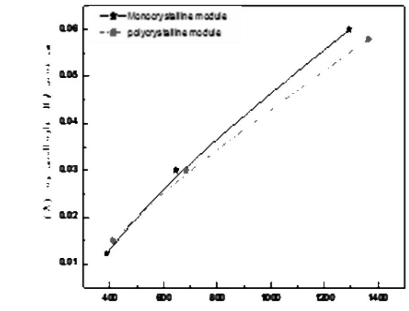
الشكل (9-d)- س تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي متعدد البلورات عند متوسط شدة اضاءة=(646.301w/m2)



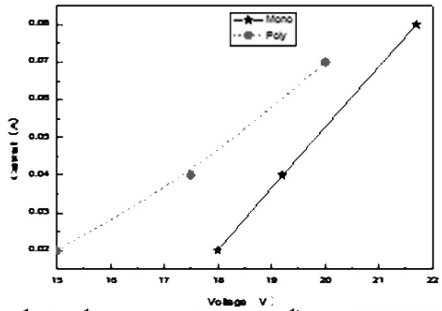
الشكل (9-e)- س تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي احادي عند متوسط شدة اضاءة =(1292.603w/m2)



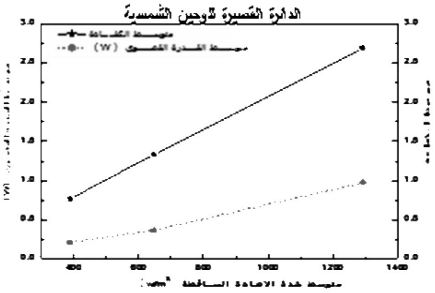
الشكل (9-f)- س تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي متعدد عند متوسط شدة اضاءة =(1292.603 w/m2)



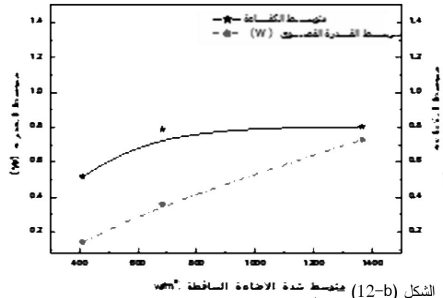
الشكل (10) – من تأثير متوسط شدة الاضاءة الساقطة على متوسط تيار الدائرة القصيرة للوحين الشمسية



الشكل (11) – يبين العلاقة بين تيار الدائرة القصيرة والفولتية المفتوحة للوحين الشمسية والمتعدد البلورات.



الشكل (12–a)– من تأثير متوسط شدة الاضاءة الساقطة على متوسط القدرة والكفاءة للوح الشمسي احادي البلورة



الشكل (12–b) من تأثير متوسط شدة الاضاءة الساقطة على متوسط القدرة والكفاءة للوح الشمسي متعدد البلورات

٦ – النتائج والمناقشة:

استناداً إلى القيم التفصيلية التي تم أخذها للوحين الشمسيين في أثناء القياسات المختبرية والتي على ضوئها رسمت منحنيات التشغيل (I-V) كما في الأشكال (9a, b, c, d, e, f) التي تبين تأثير المسافة على منحنيات التشغيل للوح الشمسي الأحادي والمتعدد التبلور عند متوسط شدة إضاءة مختلفة القيم؛ حيث إنه بزيادة المسافة تزداد قيم الجهد وتقل شدة التيار، وقد تم تحديد قيم التيار والجهد للشدة الضوئية المختلفة، ولوحظ من خلال الشكل (١٠) أن متوسط شدة الإضاءة الساقطة ترتفع خطياً مع متوسط شدة تيار الدائرة القصيرة للوحين الشمسيين، الذي تعتمد قيمته على مساحة الخلية الشمسية، ووجد أن أعلى قيمة في اللوح الاحادي Mono (I_{sc} = 0.08A) أكبر من قيمة متوسط شدة التيار في اللوح المتعدد poly (I_{sc} = 0.07A)، وكذلك قيمة جهد الدائرة المفتوحة

في اللوح الأحادي Mono تكون أعلى ($V_{oc}=21.7$) من اللوح المتعدد poly ($V_{oc}=20.0$) وكان الفرق 1.7 v، وهو ما يوضحه الجدول (٤) والشكل (١٠)؛ لأن متوسط شدة الإشعاع تؤثر بشكل غير مباشر على جهد الخلية الشمسية وتيارها؛ لأن ارتفاع قيمة متوسط شدة الإشعاع يؤدي إلى ارتفاع حرارة الخلية الشمسية. والشكل (١١) يبين العلاقة بين تيار الدائرة القصيرة والدائرة الفولتية المفتوحة للوحين الشمسيين والمتعدد البلورات، ووجد أن العلاقة عكسية بين التيار والفولتية. والشكل (12a, b) يوضح تاثير متوسط شدة الإضاءة والمسافة على كفاءة والقدرة للألواح الشمسية حيث تزداد كفاءة الخلية الشمسية (٣,٧٪ – ١٪) والقدرة (0.38W-1.69W) في اللوح أحادية البلورة وتزداد الكفاءة (٣,٣٪ – ١,٢٪) والقدرة (0.31W-1.4W) في اللوح متعدد البلورات ونلاحظ أن الزيادة في قيم الكفاءة والقدرة في الوح أحادية البلورة أكبر من اللوح متعدد البلورات وذلك بسبب زيادة مساحة اللوح الاحادي والفولتية. حيث يلاحظ أنه كلما زادة مقدار شدة الإشعاع الضوئي الساقطة على سطح اللوحين كلما زادت كمية الطاقة المستخرجة من النظام الشمسى. ويبين الشكل (12a, b) المدى الذي تتغير فيه قيمة التيار وثبوت الجهد عند مستويات شدة الإشعاع المختلفة للوح أحادي البلورة واللوح متعدد البلورات عند درجة حرارة ثابتة ($25^{o}C$) ولا سيما عند قيم الإشعاع التي تكون أعلى من $1000w/m^2$. ويتضح من خلال الجدول (٤) والشكل (12a, b) أن قيم كمية الإشعاع الضوئي تكون أقل ما يمكن عند المسافة (30 cm) ويعود السبب إلى مقدار شدة الأشعة المستلمة من سطح اللوحين في حين نجد أن أعلى القيم لكمية شدة الإشعاع الضوئي يحدث عند المسافة (10 cm) القريبة من المصادر الضوئية المختلفة؛ لأن كمية الشدة الضوئية الساقطة تكون أكبر، وتتركز في مساحة سطح اللوحين الشمسيين. حيث إن الأشعة الضوئية المارة خلال المسافة الفاصلة تعبره بأقصر طريق لها، في حين يكون طريقها أطول ما يمكن في المسافة الطويلة؛ مما يعرضها إلى الامتصاص والاستطارة بواسطة مكونات الهواء عند تلك المسارات الطويلة، كما

يتضح من خلال الجدول (٤) والشكل (12a, b) أن زيادة المسافة لها تأثير فعال وكبير على مقدار شدة الأشعة الضوئية الساقطة على مساحة معينة من سطح اللوحين، وعند دراسة تأثير زيادة المسافة من الطبيعي أن يكون تأثيرها باتجاه تقليل كمية الطاقة المستلمة؛ كونها تزيد من عمليات الامتصاص والاستطارة الحاصلة للشعاع الضوئي، وتزداد عمليات الامتصاص والاستطارة بزيادة عدد الجسيمات الواقعة ضمن مسار الشعاع الضوئي. ويتساوى اللوحان: الأحادية البلورة والمتعدد التبلور عندما تكون مقاومة الأسلاك صغيرة جداً وفي الظروف العادية ولكن عندما تكون مقاومة الأسلاك عالية تتفوق الألواح الأحادية البلورة Mono على المتعددة التبلور poly؛ وذلك بسبب فولتيتها العالية، على نحو ما في الشكل (٦). وإن كل واحد أفضل من الآخر؛ لأن الألواح الأحادية البلورة عندما تكون مقاومة الأسلاك عالية تكون أفضل من الألواح المتعددة التبلور poly.

٧ – التوصيات:

١ – الدعم المادي والمعنوي وتنشيط حركة البحث في مجالات الطاقة الشمسية. وتطبيق جميع سبل الترشيد للحفاظ على الطاقة ودراسة أفضل طرقها بالإضافة إلى دعم المواطنين الذين يستعملون الطاقة الشمسية في منازلهم.

٢ – تركيب مرايا مستوية وعدسات محدبة لتركيز الأشعة الشمسية أوالضوئية، والاستفادة منها بشكل أكبر؛ لأنها رخيصة وتحسن من كفاءة الألواح الشمسية.

٣ – توعية الأفراد بضرورة الاستبدال بالطاقات الحالية الطاقات المتجددة ولا سيما الطاقة الشمسية وتوسيع استخدامها في حياة الفرد والمجتمع، وتشجيع استخدامها في المنازل والمصانع والمعامل.

٤ – الاستبدال المصابيح المدمجة مصابيح فلورية وبالتدريج؛ كي لا يؤثرعلى الكلفة مع الأخذ بنظر الاعتبار قدرة المصابيح الجديدة نفسها ومقارنتها مع ما خلص إليه هذا البحث.

٥ – ضرورة استخدام الألواح الشمسية كمصدر للطاقة في المباني السكنية والحكومية؛ كونها مصدراً دائماً وصديقاً للبيئة؛ إذ إنه لم تعد هنالك مشكلة في توفير مساحات لتوضع الألواح بشكل مائل بل يمكن تركيبها على الجدران الشاقولية للمبنى لكن مع إضافة مرايا عاكسة تعوض نقص الإشعاع الناتج عن تركيب الألواح شاقولياً، كما أنها قد تعطي جمالية معمارية لهذه المباني.

٦ – الاستفادة من اشعة الشمس الساقطة على مياه البحر والطاقة البخارية الناتجة من عملية التبخر للاستفادة منها في تحلية المياه والزراعة في مساحات واسعة في اليمن.

المراجع

أولاً – المراجع العربية:

- العياني، عبدالجبار؛ القدسي، نبيل عبدالله. (يناير ٢٠١٦). "دراسة حول أفضل المواقع القابلة لتوليد الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية". مجلة جامعة الأندلس. العدد (٥). المجلد (١١).
- جاسم، عبدالعباس محسن. (٢٠١٢). "دراسة موقعية حول تحسين نظام الإنارة في معمل الصناعات الجلدية في الكوفة باستخدام بدائل الإضاءة الحديثة". مجلة القادسية للعلوم الهندسية. المجلد الخامس. العدد الثاني. ٦٨–٧٧.
- الأرصاد الجوية اليمنية <www.Yms.gov.ye>.
- مقبل الحياسي. (٢٠١٢). "دارسة الإشعاع الشمسي". قسم الجغرافية. كلية الآداب. جامعة ذمار.
- شركة (IREN) للبحث العلمي والمعلومات. (Irena. masder. Ac.ae).
- المحمد، جورج. (٢٠٠٧). محطات توليد الطاقة.
- مناخ محافظة مأرب. (٢٠٠٩). كتاب صادر عن الأرصاد الجوية اليمنية.
- القرضاوي، إبراهيم محمد. (١٩٩٥). "أجهزة الطاقة الشمسية". منشأة المعارف: الإسكندرية. مصر.

ثانياً – المراجع الأجنبية:

- A. Aziz Aldobhani, Fahr H. and A. R. Assad. (2001). ‘‘Factors Affecting the efficiency of PV systems", Sharjah solar conference, 19-22 Feb, 189-PVPH08.
- A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad and E. T. El Shenawy. (2005). "Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks", Renew. Energy,Vol. 30, pp. 1257-1268.
- Gwon-Jong, Yu Myung-woong Jung, Jinsoo Song, In-Su Cha and In-Ho Hwang. (1996). "Maximum power point tracking with temperature compensation of photovoltaic for air conditioning system

with fuzzy controller", Twenty Fifth IEEE Conference on Photovoltaic Specialists, 13-17 May, pp. 1429-1432.

- M. Enrique, E. Duran, M. Sidrach-de-Cardona and J.M. Andujar. (2007). "Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies", Solar Energy, January, Vol. 81, Issue 1, pp. 31-38.
- Mellit A. (2006). "Artificial intelligence based-modeling for sizing of a Stand-Alone Photovoltaic Power System: Proposition for a New Model using Neuro-Fuzzy System (ANFIS)", 3rd International IEEE Conference on Intelligent Systems, Sept., pp. 606-610.
- Boutalis, Yiannis S. Karlis, Athanassios D. Kottas and Theodoros L. (2006). "Fuzzy Cognitive Networks + Fuzzy Controller as a self adapting control system for Tracking Maximum Power Point of a PV-Array", IEEE 32nd Annual Conference on Industrial Electronics, IECON 2006, Issue Nov., pp. 4355-4360.
- Chung, H.S.-H. Tse, K.K. Hui, S.Y.R. Mok, C.M. Ho and M.T. (2003). "A novel maximum power point tracking technique for solar panels using a SEPIC or Cuk converter", IEEE Transactions on Power Electronics, May, Vol. 18, Issue 3, pp. 717-724.
- E. Lorenzo. (1994). "Solar Electricity- Engineering of Photovoltaic Systems", PROGENSA, S.A., Sevilla, Spain.
- Hadj Arab, A., F. Chenlo, K. Mukadam, and J. L. (1999). Balenzategui,Performance of PV water pumping systems, Renewable Energy, v. 18, no. 2, p.191.
- Florida Solar Energy Center. (1988). Photovoltaic design,course manual.Cape Canaveral, FL.
- Salameh, Z., and D. Taylor. (1990). Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays, Solar energy volume 41, No. 1, pp 57-61.