تأثير فجوة الطاقة على كفاءة الخلية الشمسية، وتأثير درجة حرارة الشمس على القيمة المثلى لفجوة الطاقة

The effect of the energy gap on the efficiency of the solar cell, and the effect of the sun's temperature on the optimum value of the energy gap

نجاح أحمد الزعلوك

عضو هيئة التدريس ، قسم الفيزياء، كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة مصراتة ، مصراتة ، ليبيا

Najah A Alzalouk

Faculty member, Physics Department, College of Environment and Natural Resources, Misurata University, Misurata, Libya.

zanm2012@gmail.com

الملخص:

تم دراسة تأثير اتساع فجوة الطاقة للطبقة الماصة على كفاءة الخلايا الشمسية للحصول على أعلى قدر من الطاقة الكهربائية ومعرفة القيمة المثلى لهذا الاتساع الذي تقابله أعلى كفاءة للخلية الشمسية، كذلك تم دراسة تأثير حرارة الشمس على القيمة المثلى لفجوة الطاقة، وتمت الدراسة عن طريق محاكاة ونمذجة حاسوبية باستخدام الماتلاب (Math-lab) للتنبؤ بأداء الخلية الشمسية عند حدوث تغير في قيمة اتساع فجوة الطاقة وهذا التنبؤ يسهم في إمكانية زيادة الاداء. وقد أظهرت النتائج أن هناك قيمة مثلى لفجوة الطاقة تكون عندها كفاءة للخلية الشمسية أعلى مايمكن وعند زيادة اتساع فجوة الطاقة عن هذه القيمة تبدأ كفاءة الخلية الشمسية في التناقص تدريجيا، وقد تبين أن فجوة الطاقة المثلى عند حرارة (5800 K) للشمس تساوي (1.4) إلكترون فولت والتي عندها بلغت كفاءة الخلية الشمسية أقصى قيمة لها وكانت حوالي 22 %. ومن ناحية أخرى أظهرت النتائج أن القيمة المثلى لفجوة الطاقة تزداد بازدياد حرارة الشمس مما يستدعي ضرورة ضبط التصميم وفقاً للظروف المناخية المختلفة. وتم مناقشة وتفسير النتائج المتحصل عليها.

Abstract:

The effect of the energy gap width of the absorbing layer on the efficiency of solar cells was studied to achieve the highest amount of electrical energy and to determine the optimal value of this width that corresponds to the highest efficiency of the solar cell. Additionally, the impact of sunlight on the optimal energy gap value was examined. The study was conducted through simulation and computational modeling using MATLAB to predict the performance of the solar cell when there is a change in the energy gap width. This prediction contributes to the potential for performance enhancement. The results showed that there is an optimal bandgap value at which the efficiency of the solar cell is maximized. When the bandgap width exceeds this value, the efficiency of the solar cell begins to gradually decrease. It was found that the optimal bandgap at a temperature of 5800 K for the sun is (1.4) electron volts, at which the solar cell efficiency reached its maximum value of about 22%. On the other hand, the results showed that the optimal value of the energy gap increases with the rise in solar temperature, which necessitates the need to adjust the design according to different climatic conditions. The results obtained have been discussed and interpreted.

الكلمات المفتاحية:

الخلايا الشمسية، فجوة الطاقة، درجة الحرارة، الكفاءة.

Keywords:

Solar cells, energy gap, temperature, efficiency, Paraphrase text.

المقدمة :

في الآونة الأخيرة، تحول الاهتمام إلى البحث عن بدائل للوقود الأحفوري من أجل توليد الطاقة الكهربائية الكافية، وبما أن مصدر الطاقة الشمسية متاح بكثرة لهذا الهدف والتي يعتبر من أهم المصادر البديلة

ويمكن الاستفادة منه بشكل مباشر لتوليد الكهرباء، حيث أن استخدام التقنيات البديلة التي تخفف من مشكلة نقص الكهرباء لها مزايا كثيرة: من هذه المزايا أنها نظيفة وخالية من المخلفات، و يتم توليدها بسهولة وبكميات كبيرة، ويمكن توليدها بطرق عديدة في مساحات كبيرة [1،2،3،13] ، وتعد الخلايا الشمسية أحد هذه التقنيات البديلة وقد تكون أهمها حيث تولد الطاقة الكهربائية مباشرة من الإشعاع الشمسي إلى تيار مستمر وباستخدام منخفض للمواد [14] وقد حظيت باهتمام كبير في السنوات الأخيرة من قبل العديد من الباحثين [4 ، 5، 14، 6،13].

ومن العوامل التي تؤثر على كفاءة الخلية الشمسية التي تعرف على أنها: " نسبة القدرة المقدمة لحمل موائم في مقابل قدرة الإشعاع الساقط للخلية الشمسي"]7] : درجة حرارة الشمس، درجة حرارة الخلايا الشمسية، ومدى اتساع فجوة الطاقة] 3،7،8] . تناولت هذه الدراسة مدى تأثير اتساع فجوة الطاقة على كفاءة الخلية الشمسية وتحديد القيمة المثلى لها للحصول على أعلى كفاءة للخلية الشمسية وقد تم دراسة تأثير اتساع فجوة الطاقة عل كفاءة الخلية الشمسية في العديد من الدراسات [9،10،11]، وأيضا تناولت هذه الدراسة تأثير درجة حرارة الشمس على القيمة المثلى لفجوة الطاقة التي تقابل أعلى كفاءة للخلية الشمسية.

الطريقة:

نظرا لإمكانية ضغط فجوة الطاقة وتغييرها باستخدام تقنية النانو عن طريق تغييرالبنية الداخلية للخلية وكمية شبه الموصل في الطبقة الماصة [14,13] ونظرا لأن قيمة فجوة الطاقة تتغير بسبب تأثير الرقم الذري لمادة شبه الموصل [12] تم في هذا البحث تغيير مدى اتساع فجوة الطاقة للطبقة الماصة ودراسة تأثيره على كفاءة الخلية الشمسية ذات الوصلة (p -n) لتوليد الطاقة الكهربائية والمتمثلة في تحديد أقصى قدرة لها. كما أن إمكانية زيادة كفاءة الخلية الشمسية من خلال التحكم في فجوة الطاقة وتحديد قيمتها المثلى التي تتوافق مع أعلى كفاءة للخلية الشمسية من ضمن ما هدف إليه هذا البحث، وأيضا تم دراسة مدى تأثير حرارة الشمس على تغير القيمة المثلى لفجوة الطاقة التي تقابلها أعلى كفاءة للخلية الشمسية.، وتم ذاك بتطبيق المعادلة الرياضية *(1.1)* لشوكلي وكوسيه [7] وباستخدم طريقة المحاكاة الحاسوبية الماتلاب (Math-lab)، حيث أن المحاكاة والنمذجة الحاسوبية أدوات حيوية لدراسة وتحسين كفاءة الخلايا الشمسية تمكن الباحثين من تحليل تأثير المتغيرات المختلفة دون الحاجة إلى إجراء تجارب مكلفة ومعقدة، كما تتيح لهم استكشاف سيناريوهات متعددة بسرعة ودقة، مما يؤدي إلى تسريع عملية الابتكار والتطوير في تقنيات الطاقة الشمسية .

$$y = \frac{15}{\pi^4} X_s \int_{X_s}^{\infty} \frac{x^2}{e^x - 1} dx \qquad (1.1)$$

حيث:

$$X_{s=} = \frac{E_g}{K_B T}$$

y : كفاءة الخلية الشمسية.

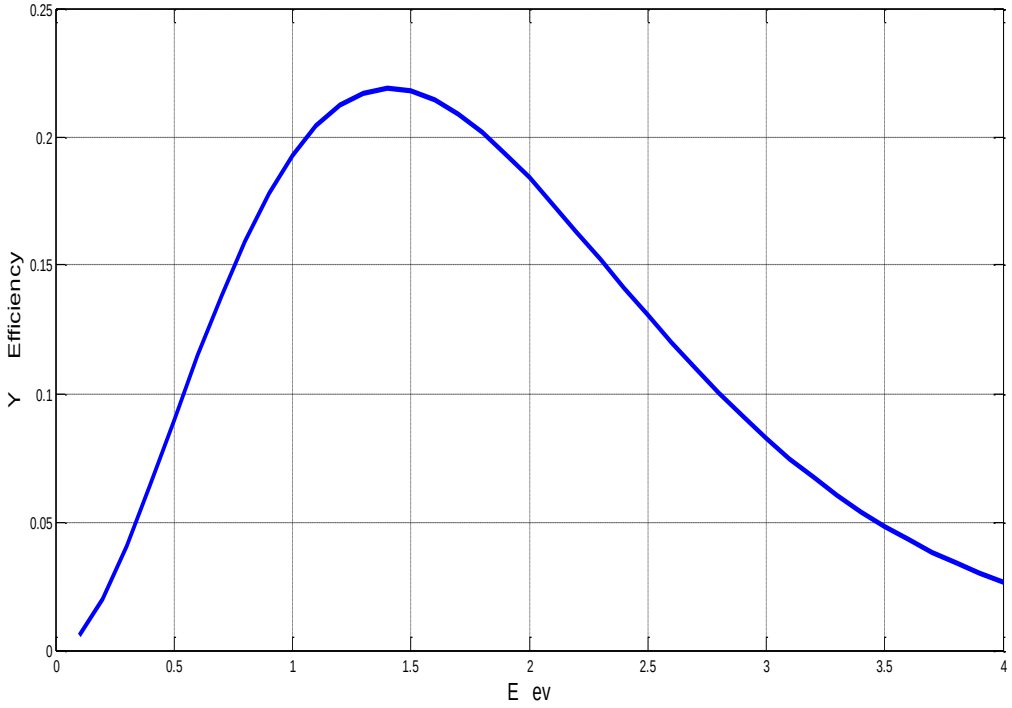
E_g : فجوة الطاقة.

T: درجة حرارة الخلية الشمسية.

K_B: ثابت الإشعاع $= 8.62 \times 10^{-5}$

الحسابات والنتائج:

1- تم استخدام برنامج المحاكاة الحاسوبية (Math-lab) و تطبيق المعادلة *(1.1)* تم دراسة تأثير اتساع فجوة الطاقة للطبقة الماصة على كفاءة الخلية الشمسية التي تقابل أقصى تيار دائرة مفتوحة وذلك بالتحكم في كمية الشوائب في الطبقة الممتصة للخلية الشمسية مع مراعاة المحافظة على العوامل الأخرى المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية ثابتة. تم الحصول على الشكل *(1.1)*، حيث درست كفاءة الخلية الشمسية لقيم فجوة طاقة تتراوح ما بين (0 -4) إلكترون فولت ، وأيضا تم االنوصل لمعرفة القيمة المثلى لفجوة الطاقة التي تقابلها أعلى كفاءة للخلية الشمسية ، وكانت الدراسة باعتبار أن درجة حرارة الشمس تساوي (5800K).

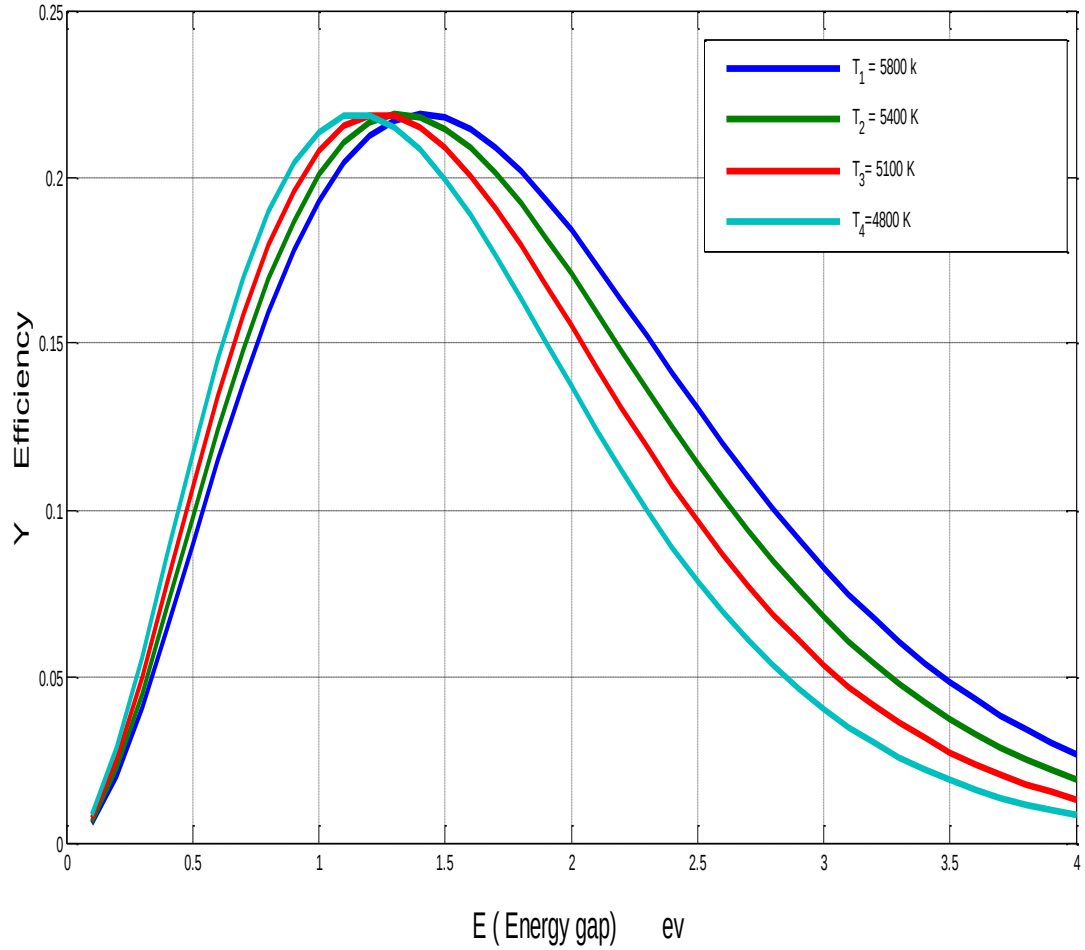


الشكل *(1.1)*: العلاقة بين كفاءة الخلية الشمسية مع فجوة الطاقة.

E= (0 -4) إلكترون فولت.

بالنظر للشكل *(1.1)* يتبين أن كفاءة الخلية الشمسية تزداد كلما زادت فجوة الطاقة اتساعا إلى أن تصل إلى قيمة معينة تكون عندها كفاءة الخلية الشمسية أعلى ما يمكن حيث يطلق على هذه القيمة (القيمة المثلى لفجوة الطاقة)، وتظهر هذه القيمة عند قمة المنحنى المبين بالشكل *(1.1)* ، وبعد تجاوز اتساع فجوة الطاقة لهذه القيمة تبدأ كفاءة الخلية بالانخفاض التدريجي ، حيث أظهرت النتائج أنه عند حرارة (5800 K) للشمس تكون القيمة المثلى لفجوة الطاقة تساوي (1.4) إلكترون فولت .

2- تم دراسة تأثير درجة حرارة الشمس على تغير القيمة المثلى لفجوة الطاقة التي تقابلها أعلى كفاءة للخلية الشمسية، وكانت الدراسة بتطبيق المعادلة (1.1) وبا باستخدام المحاكاة الحاسوبية الماتلاب (Math-lab) وذلك باعتباردرجات مختلفة لحرارة الشمس وتحديد القيمة المثلى لفجوة الطاقة التي تقابل كل درجة حرارة ، ودرجات الحرارة التي كانت تحت الدراسة هي : (4800 K- 5100 K 5400 K- 5800)، وكانت النتائج المتحصل عليها كما في الشكل (1-2) .



الشكل *(2.1)*: تأثيردرجة حرارة الشمس على القيمة المثلى لفجوة الطاقة.

وبالنظر للشكل (1-2) يتبين أن درجة حرارة الشمس تؤثر على القيمة المثلى لفجوة الطاقة التي تقابلها أقصى كفاءة للخلية الشمسية ، حيث بتضح من الشكل أن قيمة فجوة الطاقة المثلى لدرجات حرارة الشمس التي كانت تحت الدراسة وهي: (5800 K - 5100 K- 5400 K - 4800 K) تتراوح ما بين (1-1.5) إلكترون فولت ، وأن هذه القيمة تزداد كلما ازدادت درجة حرارة الشمس ، وهذا ما جاء متوافقا مع دراسات سابقة *[4]* ، و من الشكل (1-2) يتضح أنه عندما كانت درجة حرارة الشمس (*T= 4800 k*) ويمثل ذلك المنحنى ذو اللون الأزرق الفاتح كانت قيمة فجوة الطاقة المثلى تساوي (1.1 إلكترون فولت)، وعندما كانت درجة حرارة الشمس تساوي (*T= 5100 k*) كانت القيمة المثلى لفجوة الطاقة تساوي (1.2إلكترون فولت) ومثل ذلك المنحنى ذو اللون الأخضر وهذا ما أكدته النتائج التجريبية التي تم التوصل إليها في بعض الدراسات السابقة *[4]* ، وعندما كانت درجة حرارة الشمس (*T= 5400 k*) والذي يمثلها المنحنى ذو اللون الأحمر كانت قيمة فجوة الطاقة المثلى (1.3 إلكترون فولت) ، أما المنحنى ذواللون

الأزرق الغامق والذي كانت عنده درجة حرارة الشمس تساوي ($T=5800\ k$) كانت قيمة فجوة الطاقة المثلى تساوي (1.4 إلكترون فولت). وبالتالي نستنتج أن قيمة فجوة الطاقة المثلى تتغير وفقا لتغير حرارة الشمس وتتراوح ما بين (1.5-1.1) إلكترون فولت في النطاق الحراري للشمس الذي يتراوح ما بين (K 5800 -4800 K). أي أن قيمة فجوة النطاق المثلى تعتمد على درجة حرارة الشمس، مما يستدعي تصميم خلايا متخصصة لكل نطاق درجة حرارة.

المناقشة :-

كانت نتائج دراسة تأثير فجوة الطاقة على كفاءة الخلية الشمسية وتحديد قيمة فجوة الطاقة المثلى التي تقابلها اعلى كفاءة للخلية الشمسية، ودراسة مدى تأثير درجة حرارة الشمس على قيمة فجوة الطاقة المثلى تاذي تم باستخدام معادلة شوكلي كوسيه لحساب كفاءة الخلية الشمسية [7] وبرنامج المحاكاة الحاسوبية الماتلاب(Math-lab) وتقسيرها كما يأتي:

1- أنه كلما زاد اتساع فجوة الطاقة زادت كفاءة الخلية الشمسية إلى أن تصل الكفاءة إلى أعلى قيمة لها ويكون لها أعلى أداء عند اتساع لفجوة الطاقة قيمته (1.4) الكترون فولت وتسمى هذه القيمة ب (القيمة المثلى لفجوة الطاقة) ، أما عند قيم أعلى من (1.4) الكترون فولت تبدأ كفاءة الخلية الشمسية بالتناقص تدريجيا ، ويفسر ذلك بأن فجوة الطاقة تؤثر على امتصاص الضوء وتحويله إلى طاقة كهربائية، وكلما كانت فجوة الطاقة مناسبة زادت قدرة الخلية الشمسية على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة مستدامة ويحدث ذلك عندما تكون فجوة الطاقة مثلى حيث أن الخلية الشمسية تستطيع التقاط نطاق أوسع من الطيف الشمسي مما يزيد من كفاءتها في توليد الطاقة ، وأنه عند اتساع فجوة الطاقة بقيمة أكبرمن (1.4) الكترون فولت يقل الامتصاص ويقل تيار الدائرة القصيرة على الجانب الأخر [4]، ولأنه عند فجوة نطاق صغيرة يكون امتصاص الفوتونات كبير وعند فجوات طاقة كبير يكون امتصاص الفوتونات كبير كانت هناك فجوة طاقة مثلى (8) .
2- تم دراسة تأثير حرارة الشمس على القيمة المثلى لفجوة الطاقة ومثل ذلك الشكل (1-2) الذي من خلاله تبين أنه كلما زادت درجة حرارة الشمس كانت القيمة المثلى لفجوة الطاقة للطبقة الماصة في الخلية الشمسية أكبر حيث تراوحت القيمة المثلى لفجوة الطاقة ما بين (1.1-1.5) إلكترون فولت وذلك لدرجات الحرارة (4800 K- 5100 K- 5400 K – 5800 K) ويُعزى ذلك إلى التغيرات في الخصائص الإلكترونية والبصرية لمواد الشبه الموصلة مع التغير في درجة الحرارة.

لذلك يمكن تحسين كفاءة الخلايا الشمسية من خلال استخدام مواد جديدة ذات فجوة طاقة مثلى تستجيب بشكل أفضل لمختلف درجات حرارة الشمس. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحسين تصميم الخلية الشمسية لتقليل الفقد الطاقي في الأجزاء المختلفة من النظام. كما يمكن استخدام تقنيات التبريد الفعالة للحفاظ على درجة حرارة الخلية ضمن نطاق مثالي لضمان أعلى كفاءة ممكنة.

الخاتمة:

تكمن الأهمية العملية في تحسين فجوة الطاقة في القدرة على تصميم خلايا شمسية ذات كفاءة عالية، مما يزيد من قدرة هذه الخلايا على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بشكل أفضل. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن هناك قيمة مثلى لفجوة الطاقة تحقق أعلى كفاءة للخلايا الشمسية، وتبين أن هذه القيمة تتأثر بشكل كبير بدرجة حرارة الشمس. كما أوضحت المحاكاة الحاسوبية أن الأداء الأمثل يمكن تحقيقه عند تعديل فجوة الطاقة لتتناسب مع الظروف البيئية المختلفة، مما يساهم في تحسين كفاءة الخلايا الشمسية بشكل ملحوظ، وإن تصميم خلايا شمسية ذات فجوة طاقة مثلى يواجه عدة تحديات. من أبرز هذه التحديات هو تحقيق التوازن الدقيق بين اتساع فجوة الطاقة ومواد الخلية الشمسية لضمان الأداء الأمثل وكذلك تطوير مواد شبه موصلة ذات فجوة طاقة مثالية. مستقبل الطاقة الشمسية واعد ومن المتوقع أن تشهد نطورات كبيرة في السنوات المقبلة.

المراجع الإنجليزية :-

1- in 26- A.Sylla , S.Toure , and J. vilcat , "Numerical Modeling and Simulation of CIGS-Based Solar Cells With ZnS Buffer Layer,"Open Journal of Modeling and Simulation , vol.5 , N.4.,pp , 218-231. 2017.

2- in 26- K.Mamta , V.Maurya , "Sb2se3/CZTS dual absorber Layer based solar cell With 36.32% efficiency . A numerical Simulation ," Journal of Science: Advanced Material and Devices, Vol.7 , No.2.,pp , 1-8, 2022.

3- Hajar Ali Ashkirban , "Simulation Study of Thin Film Solar Cells Using Namerical Simulation Program in One Dimension (SCAPS)", 2024.

4- Md. Asaduzzaman*, Mehedi Hasan and Ali Newaz Bahar, " An investigation into the effects of band gap and doping concentration on Cu(In,Ga)Se2 solar cell efficiency,' *SpringerPlus, 5:578 , (2016).*

5- Giorgio Tseberlidis,† Vanira Trifiletti,† Elisa Vitiello,† Amin Hasan Husien,† Luigi Frioni,† Mattia Da Lisca,‡§‖José Alvarez,‡§‖ Maurizio Acciarri,† and Simona O. Binetti. " Band-Gap Tuning Induced by Germanium Introduction in Solution-Processed Kesterite Thin Films." ACS Omega. 2022 Jul 12; 7(27): 23445–23456.

6-Farhana Anwar*‡, Sajia Afrin*, Sakin Sarwar Satter*, Rafee Mahbub*, Saeed Mahmud Ullah," Simulation and performance study of Nanowire CdS/CdTe Solar Cell," INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH
F.Anwar et al., Vol.7, No.2, 2017.

7 - C. Julian Chen, " Physics of Solar Energy," مؤسسة هنداوي, 2017.
8 - Tetsuo Soga, " Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion," Elsevier, 2006.
9 - William Shockley, and Hans J. Queisser , "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells," Journal of Applied Physics . V.32, N.3, pp.510,(1961).

10 - Giorgio Tseberlidis, Vanira Trifiletti, Elisa Vitiello, Amin Hasan Husien, Luigi Frioni, Mattia Da Lisca, José Alvarez, Maurizio Acciarri, and Simona O. Binetti , "Band-Gap Tuning Induced by Germanium Introduction in Solution-Processed Kesterite Thin Films," ACS Omega , 7, 23445−23456 , 2022.
11 -Dr. Luqman Sufer Ali, and Anas Khalid Abdullah, "Computer Simulation of The Effect of Band Cap Grading of The Cigs Absorber Layer on The

Performance of Cds/Cigs Thin Film Solar Cell," Al-Rafidain Engineering Vol.20 No. 3 June 2012.

12 - Gasmallah Hassan Hassab Allah,Mubarak Dirar Abdallah, ,Mohammed Saeed Daw elbei & sawsan ahmed elhouri ahmed, " The change of energy gap and efficiency of Silicon solar cell when doped by some elements," International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology Vol. 6 , pp.184-192, 12–15 December.

13-JAIME MIMILA, " Optimization of Graded Band Gap CdHgTe Solar Cells", Photovoltaic Solar Energy Conference,1978.

14- Md. Asaduzzaman*, Mehedi Hasan and Ali Newaz Bahar, "An investigation into the effects of band gap and doping concentration on Cu(In,Ga)Se2 solar cell efficiency," *SpringerPlus, (2016) 5:578*.

المراجع العربية:

13- زينب عدنان عبدالحميد، " نحسين كفاءة الخلايا الشمسية" ، وزارة التعليم والبحث العلمي- جامعة بابل - كلية التربية للعلوم الصرفة- قسم الفيزياء،2023.

14- احمودة، عائشة عويدات، عبدالحميد، هدى، " نمذجة ومحاكاة الخلايا الفولتوضوئية باستخدام الماتلاب ،" جامعة سبها،2017 .