



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بغداد

كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم

قسم الفيزياء

## تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات اخاذيد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس

رسالة مقدمة الى

كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم - جامعة بغداد

وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من قبل الطالبة

**مريم ازهر علي غالب**

بكالوريوس علوم فيزياء / 2010

بإشرافه

**أ.م.د. علاء بدر حسن**

## الخلاصة

تم في هذا البحث تصميم خلية شمسية سليكونية ذات اخاديد تلامس سطحها العلوي لزيادة كفاءة الخلية عن طريق تقليل الانعكاسية للاشعة الساقطة، وكذلك زيادة طول المسار البصري للاشعة وتقليل عدد الاشعة الساقطة بزوايا اقل من الزاوية الحرجة، وبالتالي زيادة فرصة امتصاص الفوتونات داخل الخلية. تكون الاخاديد مصنوعة من السليكون وتضاف الى سطح الخلية الشمسية، حيث تلامس سطحها العلوي، وصممت بخمسة اشكال هي: (الاول: خلية شمسية ذات اخاديد مثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة، والثاني: خلية شمسية ذات اخاديد مثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس، والثالث: خلية شمسية ذات اخاديد مستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع، والرابع: خلية شمسية ذات اخاديد مستطيلة الشكل متغيرة العرض، والخامس: خلية شمسية ذات اخاديد نصف كروية الشكل). ويوضع اسفل كل خلية كاشف له ابعاد تساوي ابعاد الخلية يكون متحسسا للضوء المرئي والاشعة تحت الحمراء الذي يتوافق مع نفاذية السيليكون حيث كلما ازدادت الانعكاسات الداخلية للخلية ازدادت قراءة الكاشف، وبالنتيجة يمكن معرفة مقدار كسب الاشعة من خلال زيادة طول المسار البصري لها. صممت الاخاديد لقيم مختلفة من نسبة المظهر وهي (0.5 - 0.6 - 0.7 - 0.8 - 0.9 - 1 - 1.2 - 1.4 - 1.6 - 1.8 - 2)، وعند كل نسبة مظهر يتغير طول الاخدود (Z) مرة وعرض الاخدود (W) مرة اخرى، اذ تساعد هذه الاخاديد على تقليل الانعكاسية وزيادة طول المسار البصري، وبالتالي رفع كفاءة الخلية الشمسية. صممت الخلايا الشمسية في هذا البحث باستخدام برنامج (زيماكس) للتصاميم البصرية حيث استخدم نظام تتبع الاشعة غير المتسلسل وكان عدد الاشعة المستخدم في البرنامج نحو (1000) شعاع يسقط بصورة عمودية على الخلية ( $\Theta = 0^\circ$ )، وتم استخدام زاوية ميلان الاشعة الساقطة بحدود ( $10^\circ$  -  $80^\circ$ ) باتجاهين الاول موازي والاخر مقاطع للاخاديد، وذلك لمعرفة تأثير زاوية السقوط على كفاءة الخلية ومدى تأثير الاخاديد على زاوية السقوط. وبعد هذا العمل والدراسة فيه تم التوصل الى ان افضل نموذج من هذه النماذج الخمسة والاكثر كفاءة هو نموذج خلية شمسية ذو اخاديد نصف كروية الشكل اعطى اعلى قراءة كاشف (3500) شعاع اي ثلاثة اضعاف ونصف العدد الاصلي، ويليه ثانيا نموذج الخلية الشمسية ذات الاخاديد المثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة حيث اعطى اعلى قراءة كاشف (2500) شعاع اي يعادل مرتين ونصف العدد الاصلي من

الاشعة الساقطة، ثم يليه ثالثا نموذج الخلية الشمسية ذو الاخاديد المثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس وتصل اعلى قراءة كاشف (1400) شعاع، ويليه نموذج الخلية الشمسية ذات الاخاديد المستطيلة الشكل بنوعيتها وتصل اعلى قراءة كاشف (1000) شعاع اي العدد الاصلي نفسه من الاشعة الساقطة. ونلاحظ انه عند تغير الزاوية تظهر قراءة الكاشف بهبوط تدريجي. يكون توزيع الاستضاءة للنماذج بوجود تفاوت طفيف في توزيع الاشعة على الخلية، مما يثبت ان توزيع الاستضاءة منتظم لكل ابعاد الخلية.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ ﴿١﴾ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ ﴿٢﴾  
مَالِكِ يَوْمِ الدِّينِ ﴿٣﴾ إِيَّاكَ نَعْبُدُ وَإِيَّاكَ نَسْتَعِينُ ﴿٤﴾  
اهْدِنَا الصِّرَاطَ الْمُسْتَقِيمَ ﴿٥﴾ صِرَاطَ الَّذِينَ أَنْعَمْتَ  
عَلَيْهِمْ ﴿٦﴾ غَيْرِ الْمَغْضُوبِ عَلَيْهِمْ وَلَا الضَّالِّينَ ﴿٧﴾  
صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

الأهداء

الى شفيعي وقدوتي " الحبيب المصطفى "

احيا بك الله ارواحاً قد اندثرت

في تربة الوهم بين الكأس والصنم

نفست عنها غبار الخذل فأتقوتك

صلى الله عليه  
والرسل

وأبدت عنك وروث ما قبلت للأمم

محمد

الى مثالي الأعلى وثقتي وسندي " ابي الحبيب "

الى الجمال والحب الطارق ونبع الجنان الى العينين البريئتين التي انظر فيها كل

صباح لتعطيني الأمل والثقة والحب " امي الحبيبة "

الى من رحلت عنني ولا تزال تسكن قلبي " جدتي الحبيبة " رحمة الله

الى سندي وقلبي النابض ورفقاء دربي " اخواني وزوجة اخي ويوسف " بحاكم الله

الى اختي ورفيقتي وصديقتي وملاكي " زهراء خالجي ورنك باسم "

الى كل شهداء ارض وطني العراق الحبيب

## الشكر والتقدير

قال رسول الله (صلى الله عليه وسلم): ((من علمني حرفاً ملكني عبداً)).

اكتبه شكري وتقديري وكامل احترامي واعتزازي وثقتي لأستاذي  
الغالي ومشرّف رسالتي الأستاذ المساعد الدكتور علاء بدر حسن  
الذي ساندني بكل خطوة في رسالتي والذي لولاه لا أستطيع ان اخطو  
خطوة واحدة، واتمنى ان ارد له ولو شيئاً يسيراً من جميله الكبير علي.

ويسرني ان اقدم شكري وتقديري الى الاساتذة الفضلاء كل من  
الدكتور سمير عطا مكي والدكتور كريم علي جاسم والدكتور تغريد  
مسلم مريوش والدكتور خالد هلال والدكتورة ايمان عبد الحميد  
والدكتور ثائر والدكتورة مي عبدالستار والدكتور حميد مجيد وأستاذ  
طاهر.

والى كل من ساعدني من اهلي وصديقاتي وزملائي لكم مني  
معانبي الحب والاحترام والشكر والتفضل والتقدير وبارك الله في ايامكم  
وكتبه الله لكم التوفيق والرضا.

## المحتويات

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
<b>الفصل الاول</b>		
<b>دراسة نظرية</b>		
1	المقدمة	1.1
2	الاشعاع الشمسي	1.2
2	انواع الاشعاع الشمسي	1.2.1
3	تأثيرات الغلاف الجوي	1.2.2
4	العوامل المؤثرة في توزيع الاشعاع الشمسي	1.2.3
5	استغلال الطاقة الشمسية	1.3
6	الطاقة الشمسية الحرارية	1.3.1
10	الطاقة الشمسية الكهربائية	1.3.2
11	الخلية الشمسية	1.4
12	كفاءة الخلايا الشمسية	1.4.1
13	انواع الخلايا الشمسية	1.5
14	خلايا السيليكون	1.5.1
15	خلايا من مواد اخرى	1.5.2
15	السيليكون	1.6
17	الخواص البصرية للسيليكون	1.6.1
18	زاوية القبول	1.7
21	الدراسات السابقة	1.8
22	الهدف من البحث	1.9
<b>الفصل الثاني</b>		
<b>التصميم البصري</b>		
23	المقدمة	1.2
24	التصميم البصري	2.2
24	البرامج البصرية	2.3
25	برنامج زيماكس	2.4
25	نمط تتبع الأشعة	2.5
26	نمط تتبع الأشعة المتسلسل في زيماكس	2.6
29	نمط تتبع الأشعة غير المتسلسل في زيماكس	2.7
30	النموذج المستخدم	2.8

31	النموذج الاول	2.8.1
34	النموذج الثاني	2.8.2
35	النموذج الثالث	2.8.3
النتائج والمناقشة		الفصل الثالث
38	المقدمة	3.1
39	خلية شمسية ذات اخايد مثلثة الشكل	3.2
39	اخايد مثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة	3.2.1
46	اخايد مثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس	3.2.2
53	خلية شمسية ذات اخايد مستطيلة الشكل	3.3
53	اخايد مستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع	3.3.1
59	اخايد مستطيلة الشكل متغيرة العرض	3.3.2
65	خلية شمسية ذات اخايد نصف كروية	3.4
73	الاستنتاجات	
75	المشاريع المستقبلية	
76	المصادر	

## قائمة الاشكال

رقم الصفحة	العنوان	الشكل
3	طيف الاشعاع الشمسي الواصل للكرة الارضية	1.1
6	تطور استخدام الطاقات المتجددة عالميا على مدار الاعوام السابقة	1.2
8	القطع المكافئ للمركزات الشمسية الحرارية	1.3
9	ابراج الطاقة الشمسية	1.4
9	تصميم الصحن	1.5
10	عدسات فرينل	1.6
11	مبسط لخلية شمسية	1.7
18	نفوذ الاشعة من مادة السليكون	1.8
19	زاوية القبول على نظام بصري متكون من عدسة ومستلم	1.9
20	نفاذية الاشعة داخل نظام بصري لزاوية السقوط	1.10.
20	التفريق الزاوي $\theta_s$ (Angular Dispersion) للشمس	1.11
26	نمط تتبع الاشعة العام	2.1
27	النافذة الرئيسية لبرنامج زيماكس لنمط تتبع الاشعة المتسلسل	2.2
29	النافذة الرئيسية لبرنامج زيماكس لنمط تتبع الاشعة غير المتسلسل	2.3
33	خلية شمسية ذات اخاديد مثلثة الشكل	2.4
33	نافذة برنامج زيماكس لنموذج الخلية الشمسية ذات اخاديد مثلثة الشكل	2.5
34	خلية شمسية ذات اخاديد مستطيلة الشكل	2.6
35	نافذة برنامج زيماكس لنموذج الخلية الشمسية ذات اخاديد مستطيلة الشكل	2.7
36	خلية شمسية ذات اخاديد كروية الشكل	2.8
36	نافذة برنامج زيماكس لنموذج الخلية الشمسية ذات اخاديد نصف كروية الشكل	2.9
38	نافذة برنامج زيماكس للكاشف بعد سقوط الاشعة عليه	3.1

40	يمثل مقطع عرضي لآخدود مثلث الشكل متغير القاعدة	3.2
41	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف إلى نسبة مظهر لنموذج آخدود مثلث الشكل متغير القاعدة	3.3
42	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف لزوايا سقوط موازية للآخاديد لنسب مظهر مختلفة	3.4
43	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف لزوايا سقوط مقاطعة للآخاديد لنسب مظهر مختلفة	3.5
44	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف مع نسبة المظهر لزوايا سقوط موازية للآخاديد	3.6
45	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف بالنسبة لنسبة المظهر عند زوايا مختلفة	3.7
46	يمثل مخطط توزيع الاستضاءة لقراءة الكاشف لنموذج آخدود متغير القاعدة	3.8
47	يمثل مقطع عرضي لآخدود مثلث الشكل متغير الرأس	3.9
47	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف إلى نسبة المظهر لنموذج آخاديد مثلثة متغيرة عرض الرأس	3.10.
48	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف بالنسبة لزوايا السقوط لنسبة مظهر مختلفة	3.11
49	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف بالنسبة لزوايا السقوط لنسبة مظهر مختلفة	3.12
50	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا سقوط مختلفة	3.13
51	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا سقوط مختلفة	3.14
52	يمثل مخطط توزيع الاستضاءة لقراءة الكاشف لنموذج آخدود مثلث متغير الرأس	3.15
53	يمثل مقطع عرضي لآخدود مستطيل الشكل متغير الارتفاع	3.16
54	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف إلى نسبة المظهر لنموذج آخاديد مستطيلة الشكل	3.17
55	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف لزوايا السقوط موازية للآخاديد لنسب مظهر مختلفة	3.18
56	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف بالنسبة لزوايا السقوط لنسبة مظهر مختلفة	3.19
57	يمثل الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا سقوط مختلفة	3.20.

## قائمة الجداول

رقم الصفحة	العنوان	الجدول
24	بعض برامج التصميم البصري	2.1
32	معاملات الخلية الشمسية ذات الاخايد المثلثة	2.2
40	قراءة الكاشف الى نسبة المظهر لنموذج اخدود مثلث الشكل	3.1
66	نسبة المظهر المناظرة لقيم انصاف اقطار تكور الاخدود	3.2

## قائمة الرموز

الرمز	المعنى
$\alpha$	زاوية سقوط الاشعة على العدسة
$\theta$	زاوية القبول
$T$	نفاذية الاشعة داخل نظام بصري
$\theta_s$	التفريق الزاوي
$C_i$	منحني ناقل
$\theta_R$	زاوية القبول الحقيقية
$C_R$	منحني النفاذية الحقيقي
$L$	يمثل طول المسار البصري
$R^{\setminus}$	تمثل عدد الاشعة الساقطة على الكاشف
$Z$	ارتفاع الاخدود
$W$	عرض الاخدود
$r$	نصف قطر فتحة الاخدود
$R$	نصف قطر التكور للعدسة

قائمة المصطلحات

المصطلح	المعنى
<i>pv</i>	الطاقة الشمسية الفولطاضوية
<i>Si</i>	السيليكون
<i>CdTe</i>	تولوريد الكادميوم
<i>GaAs</i>	ارسينيد الكاليوم
<i>pn</i>	وصلة (الالكترن - فجوة )
<i>GaTe</i>	تلوريد الغاليوم
<i>IR</i>	الاشعة تحت الحمراء
<i>FDTD</i>	برامج التحليل العددي
<i>OBJ</i>	وصف الجسم في برنامج ZEMAX
<i>STO</i>	وصف الفتحة في برنامج ZEMAX
<i>IMG</i>	مستوى الصورة في برنامج ZEMAX
<i>A.R</i>	نسبة المظهر للاخدود
<i>T.H</i>	قراءة الكاشف

## 1.1 المقدمة Introduction :

تعد الشمس منذ القدم مصدرا مهما واساسيا للطاقة على سطح الارض، وقد تطور استخدام الطاقة الشمسية عبر العصور بتطور العلوم والتكنولوجيا، فبعد ان استخدمها الانسان للتدفئة والتجفيف، استغلها لتسخين الماء اعتمادا على مبدأ "التحويل الاشعاعي - الحراري" باستعمال اللاقط الشمسي، ثم تحولت وتطورت لانتاج الطاقة الكهربائية وذلك بالاعتماد على مبدأ "التحويل الاشعاعي - الالكتروني" باستعمال المولدات الشمسية الفولطاضوئية [1].

ان اهم الاجهزة التي صنعت لاستغلال الطاقة الشمسية هي الخلايا الشمسية التي تمتاز بسهولة تركيبها في اماكن استخدامها، وانها ذات طاقة متجددة ومستديمة ونظيفة وان تقنياتها معروفة وليست معقدة، ويمكن تطويرها واستخدامها لتطوير التقنيات الاخرى. وان استخدامها سوف يهيئ ويزيد من فرص عمل واسعة وان مستلزماتها المادية والبيئية متوافرة بشكل كبير، وهي ربما تحتاج الى رأس مال كبير في البداية، ولكنها لا تحتاج الى المواد الاولية لتوافرها في الطبيعة، كما انها لا تحتاج الى صيانة مستمرة [2]. لكن على الرغم من هذه المميزات لاتزال كلفتها باهضة الثمن مقارنة بالطاقة الكهربائية التقليدية. لهذا ماقتئت الجهود العلمية والتقنية الكبيرة التي تبذل في جميع انحاء العالم، اذ تسعى العديد من مختبرات البحث المختصة في هذا المجال الى تحسين مردودية هذه المولدات (الخلية والوحدات الفولطاضوئية) من حيث التحويل الطاقوي من ناحية، والى الحد من كلفتها من ناحية اخرى [3].

والجدير بالذكر ان الخلايا الشمسية تطورت في بادئ الامر من اجل التطبيقات الفضائية، اذ كانت تزود كذلك الاقمار الصناعية بالطاقة الكهربائية بالاعتماد على التحويل الفولطاضوئي [4].

### 1.2 الاشعاع الشمسي *Solar Radiation* :

يعد الاشعاع الشمسي مصدر الطاقة الرئيس في الغلاف الجوي، اذ يسهم بأكثر من (99.98%) من الطاقة التي تم استغلالها على سطح الارض و بالغلاف الجوي. أما بقية المصادر من الطاقة المتمثلة بطاقة باطن الارض وطاقة المد والجزر و النجوم فأنها لاتسهم الا بقسط ضئيل جدا [5] .

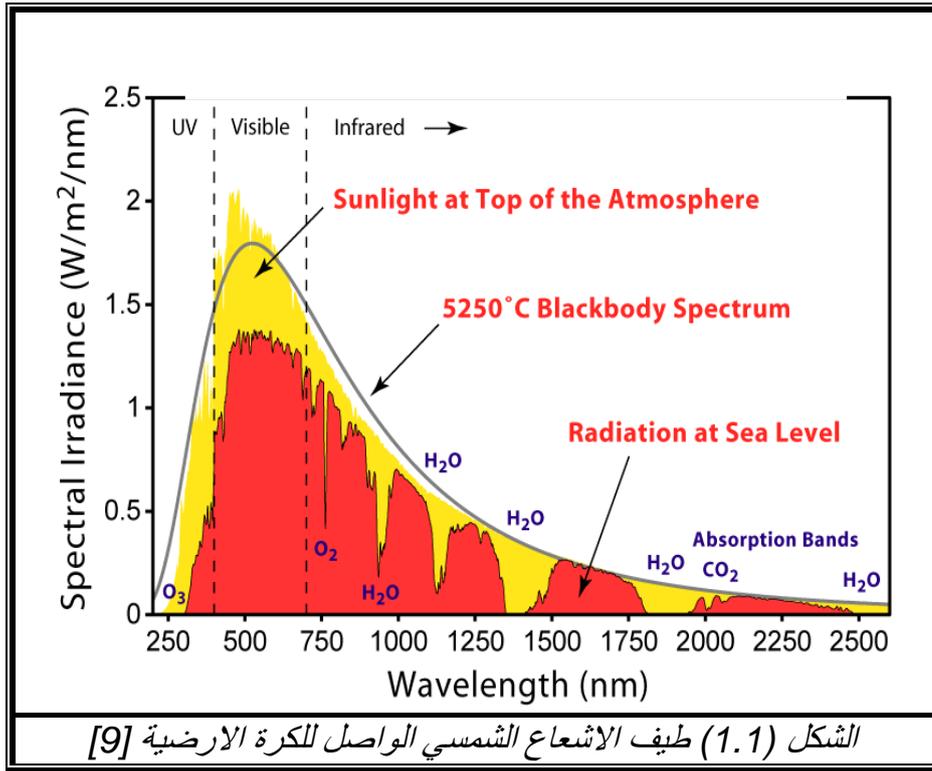
ان الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن كل العمليات التي يتم حدوثها في الغلاف الجوي كالاضطرابات الجوية والرياح والسحب والامطار والبرق والرعد وغيرها، وانها السبب الرئيس في حركة الغلاف الجوي المستمرة وحالات الطقس، وكما أن الاختلافات الرئيسة التي تحدث بين مكان وآخر هي في توافر طاقة الشمس. والشمس هي كتلة غازية ملتهبة تكبر عن الارض بمئة مرة من ناحية القطر وان حجمها يعادل تقريبا حجم الارض بمليون مرة وتقدر درجة الحرارة لسطح الشمس بنحو (6000) كلفن، وتبلغ حرارة المركز بقيمة اكثر من (20) مليون كلفن [6,7] .

ونظراً الى ان المدار الارضي شبه دائري، فأن انحرافه المركزي لايتعدى (0.01675)، لذا فإنه لايلحظ سوى تغير سهل في المسافة بين الارض والشمس بنسبة لاتتفوق (1.65%)، وتكون هذه المسافة في حدها الأدنى في اوائل شهر كانون الثاني وفي حدها الأقصى في اوائل شهر تموز. وينتج من خلال اقتراب الكرة الارضية وابتعادها عن الشمس تغير في القطر الزاوي من (31'.25) الى (32'.30)، مما يؤدي الى تغير يسير في شدة الاضاءة المرسله من الشمس يقدر بنحو (3.3%) اي ضعف النسبة المسجلة على المسافة. وتبلغ هذه النسبة اقصاها في الشتاء كما تتغير شدة الاضاءة بين مدد "الشمس الهادئة" ومدد ظهور "الكلف الشمسية الكبرى" بنسبة لاتتجاوز (4%) [8].

#### 1.2.1 الطيف الشمسي *Solar Spectrum* :

يمكن ان نقسم الطيف الشمسي الى ثلاثة اقسام هي:

1- الموجات الحرارية Thermal Waves: وهي اشعة غير مرئية بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي وتنسب الى مجموعة الموجات ذات المدى الطويل وتعرف بالاشعة تحت الحمراء وتقدر نسبتها نحو (49%) من مجموع الاشعاع الشمسي [9]. وجزئها الاكبر لهذه الاشعة يسهم في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي و سطح الارض وهي بذلك يكون لها اثر كبير في الدراسات المناخية، ويسهم بخار الماء في امتصاص قسم كبير منها عند اطوال موجية معينة كما مبين في الشكل (1.1).



2- الضوء المرئي Visible Light : وهي اشعة مرئية تقدر نسبتها بنحو (43%) من مجموع الاشعاع الشمسي، ويكون من ضمنها الاشعة الحمراء والزرقاء والخضراء وتعتمد النباتات على هذه الاشعة في عملية التركيب الضوئي [10].

3- الاشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Ray : وتضم نحو (7%) من مجموع اشعة الشمس وتكون هذه الاشعة ذات طول موجي قصير وتصبح مفيدة للانسان اذا وصلت له بكميات قليلة، اذ تساعد الانسان على العلاج من بعض الامراض ومثل الكساح، وذلك لقدرتها على انتاج فيتامين (D) وان وصولها للارض يكون بنسبة قليلة جدا، وذلك لانها تمتص من قبل غاز الاوزون الذي يكون ارتفاعه عن الارض نحو (35km).

اما بقية الاشعاع الشمسي يقدر بنحو (1%) فيكون بشكل اشعة سينية وكاما وموجات راديوية

[11].

## 1.2.2 تأثيرات الغلاف الجوي Atmosphere Effects :

يتعرض الاشعاع الشمسي عند انتقاله عبر الغلاف الجوي لعدة عمليات بسبب ما موجود من

مكونات في الغلاف، ومن اهم تلك العمليات هي :

1- الامتصاص The Asorption : يمتص الاوكسجين بعض من اشعة الشمس في اعلى طبقات الجو ويمتص جانبا من الاشعة فوق البنفسجية، وكذلك الاوزون يمتص ايضا وبكميات كبيرة جانبا

## الفصل الأول دراسة نظرية

من الأشعة فوق البنفسجية ، اما طبقات الهواء السطحية فتقل فيها الأشعة فوق البنفسجية بصورة نسبية، وذلك لان اغلبها يمتص في اعلى طبقات الجو فلا يصبح للاوكسجين أو الاوزون عمل في الامتصاص، وانما بخار الماء الذي يقوم بهذا العمل والذي يكثر تواجده في اسفل طبقات الجو، وكذلك تقوم المواد العالقة في الجو(الغبار) وبعض غازات الجو بالامتصاص [12] .

**2- استطارة الأشعة Ray Scattering :** ويترتب على تشتت الأشعة في عند مرورها في الغلاف الجوي انتشارها في جميع الاتجاهات وتقوم جزيئات الهواء وذرات الغبار بخار الماء وغيرها من الشوائب التي تكون عالقة في الغلاف الجوي بعملية الانتشار ، وهناك نوعان من الاستطارة (استطارة رايلي وماي) ان استطارة رايلي هي تبعثر مرن للضوء أو أي أشعة كهرومغناطيسية أخرى تتبعثر نتيجة تأثير جسيمات أصغر من الطول الموجي للضوء، يمكن أن تكون هذه الجسيمات إما ذرات مستقلة أو جزيئات، يمكن أن يحدث هذا التبعثر عند انتقال الضوء في وسط شفاف صلب أو سائل، لكن أغلب حالاته يحدث في الغازات [13] .

**3- انكسار الأشعة Ray Refraction:** عندما انتقال الشعاع من وسط الى اخر يختلف عنه في معامل الانكسار فإنه ينحرف عن اتجاهه المستقيم ، وتكون قطرات الماء الموجودة في الجو والسحب وغيرها من الشوائب عاملا كبيرا في انحراف جزء من الأشعاع الشمسي ولكن السحب تبقى هي العامل الرئيس [14] .

### 1.2.3 العوامل المؤثرة في توزيع الأشعاع الشمسي Effect Factors In Distribution Of

#### *Solar Radiation :*

العوامل التي تؤثر في توزيع الأشعاع الشمسي والتي تؤثر بشكل كبير في قوة الأشعاع

الشمسي من مدة لآخرى وهي [15] تتمثل ب :

**1- زاوية سقوط Angle of Incidrnce :** تؤثر هذه الزوايا في مقدار الأشعة الشمسية الواصلة لسطح الكرة الأرضية، وذلك لان الأشعة الشمسية ذات السقوط العمودي او شبه العمودي عند وصولها للأرض تكون قوية وذات شدة وتركيزا عالي جدا، ولكونه هذه الأشعة مسافات التي تقطعها اقصر من الأشعة ذات السقوط المائل، لذلك تكون اقل تعرض للخسارة بفعل تأثير كل من الانكسار والانتشار والامتصاص التي تحدث في الغلاف الخارجي، وكما ان حزم الأشعة العمودية تكون متوزعة على مساحة قليلة، بينما الأشعة ذات السقوط المائل فانها متوزعة على مساحة اوسع لذلك تصبح ضعيفة الاثر واقل شدة من الأشعة الشمسية العمودية .

$$\text{Angle of Incidrnce} = \text{Angle of Reflection}$$

**2- اختلاف فترة النهار Difference in the daytime:** يؤدي اختلاف فترة النهار دورا كبيرا في عدم تعادل كمية اشعة الشمس الواصلة الى سطح الكرة الارضية عند دوائر العرض المختلفة. فإنه لا يختلف فترة النهار والليل للمناطق المدارية طوال السنة تقريبا ، اما المناطق الباردة والمعتدلة فأن النهار فيها يزيد طوله في الصيف ويصبح اقصر في الشتاء، وكلما ازداد الفرق بين النهار والليل زادت دوائر العرض بينهما.

**3- شفافية الغلاف الغازي Transparent of Atmosphere :** يمثل كل من الغبار والسحب وبخار الماء والرماد دورا كبيرا في عملية امتصاص وتشتت الاشعة في الجو، وعلى ذلك فان المناطق التي يكثر فيها والهواء الملوث بالاتربة والسحب تستلم كميات قليلة من الاشعاع الشمسي مقارنة بالمناطق ذات الجو الشفاف .

**4- التضاريس Terrain :** تؤدي التضاريس دورا كبيرا في تباين كميات الاشعاع الشمسي الواصلة من منطقة الى منطقة اخرى فاتجاه السفوح الجبلية وانحدارها يؤثر بشكل كبير في كميات الاشعاع الشمسي التي تصل الى تلك السفوح وخاصة في المناطق المعتدلة والباردة، حيث تصلها اشعة الشمس بشكل مائل، اما المناطق المدارية ويكون فيها هذا العامل محدودا حيث يكون وصول اشعة الشمس اليها بشكل عمودي او شبه عمودي طوال السنة .

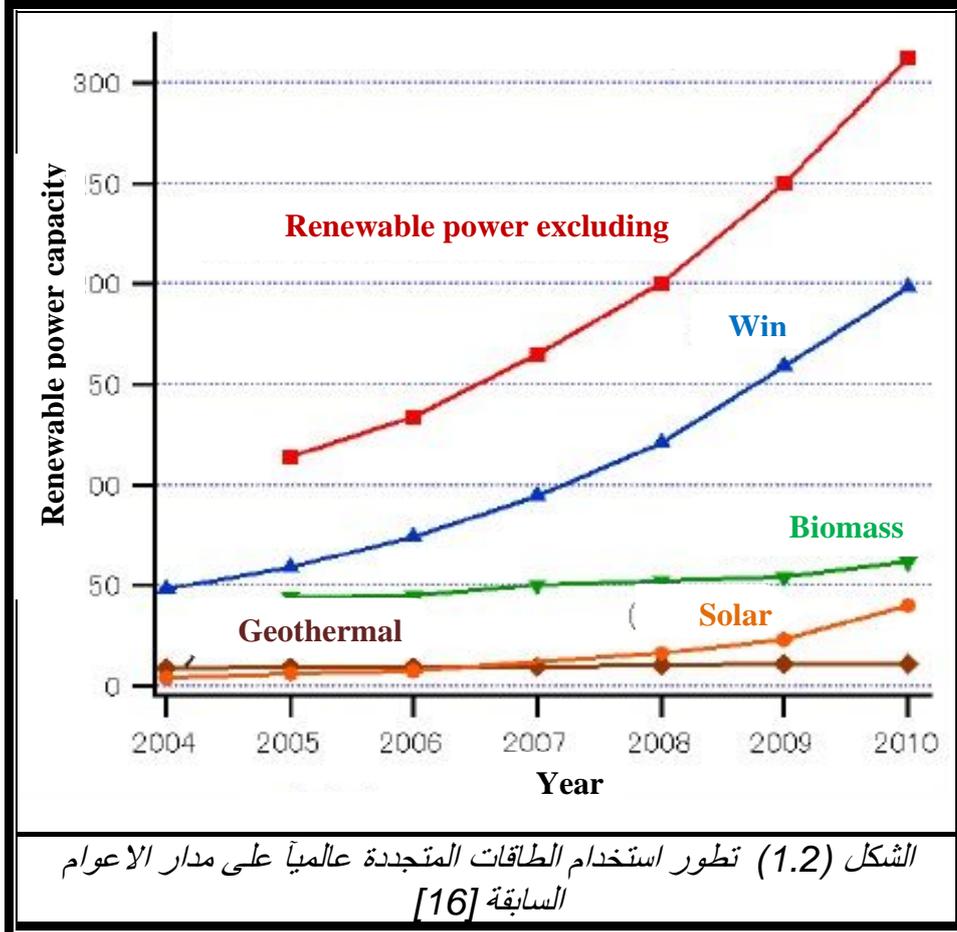
**5- الالبيدو Albedo :** وهو نسبة ما يعكس من قبل سطح الارض الى الفضاء بصورة مباشرة من الاشعاع الشمسي الصافي الواصل اليه ، وتختلف نسبة الالبيدو من مكان الى مكان اخر تبعا لموقع المنطقة من دوائر العرض واختلاف طبيعة السطح من حيث التركيب واللون ووجود النبات ونوعها أو عدم وجودها وتغطية المنطقة بالثلوج وطول مدة بقائها .

### 1.3 تطبيقات الطاقة الشمسية Application Of Solar Energy :

يتعرض عالمنا اليوم إلى أزمة اقتصادية مستمرة نتيجة لارتفاع أسعار الطاقة وزيادة الطلب عليها، وذلك لارتباطها بالوقود الأحفوري أو التقليدي ( النفط والغاز والفحم)، فضلا عن ذلك ما يتعرض له كوكب الأرض من تلوث بيئي نتيجة لانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى التي أدت إلى انحباس حراري وارتفاع درجات حرارة الجو وتساقط الأمطار الحامضية وذوبان الثلوج واغمار اراضي الصالحة للزراعة وانحباس الأمطار عن مناطق أخرى، مما يؤدي إلى التصحر. في مقابل ذلك تتوافر الطاقات المتجددة والمستديمة (Renewable Energy) في بقاع العالم كافة وهي ذات طاقة نظيفة غير ملوثة للجو و [16] .

من اهم انواع الطاقات المتجددة هي الطاقة الشمسية التي يعتمد عليها العالم اعتمادا كبيرا في السنوات الاخيرة، ولها اهمية كبيرة واهتمام ومراعاة من قبل العلماء مستقبلا بسبب تطور التقنيات

التي تستثمرها والطاقات المتجددة الاخرى مثل الرياح والطاقة الحيوية وطاقات المد والجزر والمياه الجوفية. والشكل (1.2) يوضح نسب اعتماد العالم على الطاقات المتجددة :



ولكي يتم الحصول على استفادة ممكنة من الطاقة الشمسية فيجب الاشارة الى تصاميم الدور السكنية والتجارية وسطوح العمارات وكيفية الاهتمام بها وجعلها على نحو مستمد طاقته من اشعة الشمس، وجعل تصميم الفضاء بشكل يمكنها من التهوية والتبريد والتسخين والاضاءة على نحو جيد . وتتم هذه الاستفادة الكبيرة من حركة الشمس واتجاه اشعتها واستغلال اكثر ما يمكن منها ، وكذلك اختيار المواد المستخدمة في البناء مواد ذات معامل امتصاص حراري جيد وهناك فرعان للطاقة الشمسية هما:

### 1.3.1 الطاقة الشمسية الحرارية (Solar Thermal Energy) :

يمكن انتاج الطاقة الحرارية باستغلال الطاقة الشمسية لإنتاج طاقة حرارية عن طريق المركبات الشمسية الحرارية (solar thermal collector) ونتيجة لتعدد الاغراض يمكن ان تقسم المركبات الشمسية الحرارية إلى ثلاثة أنواع هي: 1- مركبات واطئة التركيز 2- مركبات متوسطة التركيز 3- مركبات عالية التركيز و لكل نوع من الأنواع الثلاثة استخدامات معينة [17] :

### 1- المركزات الشمسية واطنة التركيز **Solar Concentrators Low Concentration**:

تستخدم سطوح مستوية لإنتاج حرارة بحدود حرارة جسم الإنسان، وفي الغالب تستخدم هذه المركزات في أحواض السباحة وتستخدم هذه المركزات الماء أو الهواء لنقل الحرارة كما تستخدم في التبريد و التدفئة و التهوية . تقوم السطوح الحرارية منها: (الصخور و الاسمنت و الماء ) بخزن الحرارة في النهار و إطلاقها في الليل عندما يبرد الجو .

ان من أهم استخدامات المركزات ذات الحرارة الواطئة هو انتاج الملح من مياه البحار، وذلك بالسماح لجزيئات الماء بالتبخر وترسيب الأواصر الثقيلة والتي تمثل الأملاح. أما الاستخدامات الحديثة إضافة لما ذكر من تهوية وتبريد وتدفئة فتستخدم أيضا في إزالة المواد الصلبة والعالقة من مياه المجاري الثقيلة، وكذلك عزل المواد والأواصر الطيارة من هذه المياه [18] .

### 2- المركزات الحرارية متوسطة التركيز **Solar Concentrators Medium Concentration** :

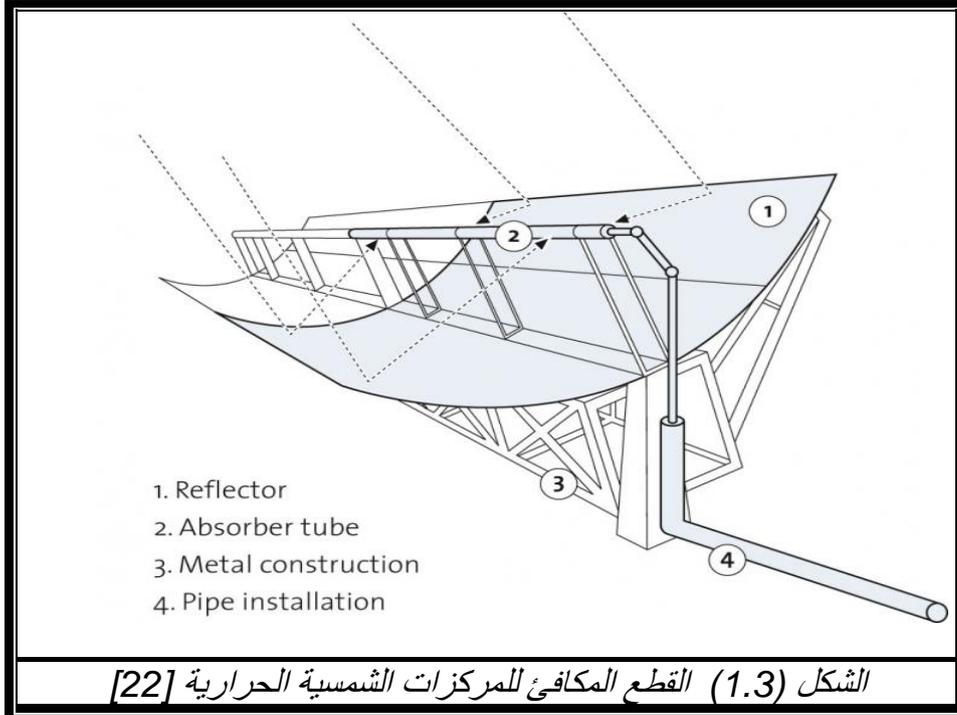
هي أيضا تستخدم السطوح المستوية و تنتج منها مياه حارة حيث تستخدم في الاغراض المنزلية والتجارية . لقد استخدمت طريقة تسخين المياه عن طريق استغلال الطاقة الشمسية الحرارية منذ قديم الزمان وقد طورت هذه التقنية كثيرا من قبل العلماء . كما تستخدم المركزات الحرارية متوسطة الحرارة للتجفيف (drying) والطبخ (cooking) والتقطير (distillation).

لقد استخدمت الطاقة الشمسية في درجات الحرارة المتوسطة، لتجفيف الخشب لإنتاج الوقود والفحم، وكذلك استخدمت في تجفيف الفواكه والحبوب والأسماك. وكذلك استخدمت الطاقة الشمسية للطبخ حيث أنتجت درجة حرارة تتراوح من (50 الى 100) درجة مئوية. والجدير بالذكر أن الطباخات الشمسية الحديثة تستخدم عاكسات لتركيز طاقة الشمس على الحاوية وتصل فيها درجات الحرارة إلى (250) درجة مئوية، ولكنها تحتاج الى طاقة شمسية مباشرة وتوجيه اشعة الشمس [19].

### 3- المركزات الشمسية عالية التركيز **Solar Concentrators Hghi Concentration**: هي

تستخدم في العدسات او المرايا المحدبة لتركيز أشعة الشمس وإنتاج درجات حرارة عالية . إن السطوح العاكسة المستوية لن تستطيع إنتاج درجات حرارة تزيد عن (250) درجة مئوية. في حين أن العدسات والمرايا المحدبة قد طورت كل منهما كثيرا لإنتاج درجات حرارة تزيد عن (1000) درجة مئوية، وأصبحتا تستخدمان لتبخير المياه ولتشغيل مراحل بخارية لتوليد الطاقة الكهربائية [21,20].

إن أهم التصاميم المستخدمة لتركيز أشعة الشمس هو استخدام تصميم القطع المكافئ (parabolic trough)، والمبين في الشكل (1.3)، حيث تستخدم سطوح مرآيا محدبة، إذ تقوم بعكس أشعة الشمس على سطوح زجاجية تحتوي على أنابيب تمتلأ بسوائل خاصة تملأ كل حجم القطع المكافئ. والجدير بالذكر انه من الممكن حفظ السوائل تحت المرآيا في فراغ حيث يكون فيها التبادل الحراري في أفضل كفاءته.



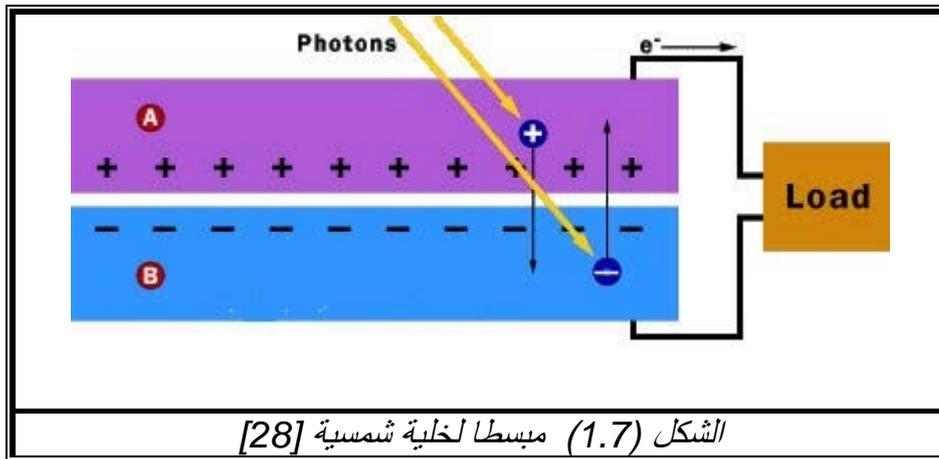
هناك تصاميم أخرى منها أبراج الطاقة (powertower)، كما في الشكل (1.4)، حيث تقوم باستلام أشعة الشمس وإسقاطها على آلاف المرآيا المركزية وتكون محددة الاتجاه، حيث تنتشر المرآيا على مساحة ميل مربع تتوسطها أبراج طاقة. لقد تم الحصول على درجات حرارة تصل إلى نحو (1000) درجة فهرنهايت وهي كافية لتسخين محلول ملحي والتي تنقل إلى أحواض لحفظ الطاقة بكفاءة تصل إلى (98%)، ومن محاسن هذا التصميم مقارنة بتصميم القطع المكافئ هو الحصول على درجات حرارة أعلى [23,22]. ومن التصاميم الأخرى هو تصميم الصحن، كما موضح في الشكل (1.5) التي تستخدم صحن عاكسة كبيرة تشبه صحن الاقطة حيث تقوم بتجميع الشعاع الشمسي في نقطة مركزية فوق الصحن. ومن مساوئ هذا التصميم هو الحاجة إلى محرك كبير لمتابعة موقع الشمس. كما يوجد تصميم آخر يدعى (عاكسات فرينيل) (Fresnel reflectors) ويتكون التصميم من مجموعة متوالية من المرآيا الطويلة والرفيعة ذات التحدب البسيط تقوم بعكس الضوء على مستلم حراري خطي (linear thermal receiver) [24]. كما موضح بالشكل (1.6).





### 1.3.2 الطاقة الشمسية الكهربائية (Solar Electrical Energy) :

وتسمى أيضاً بالطاقة الشمسية الفولطاضوئية (Photovoltaic) (pv): ويكون مبدأ عملها معتمداً على الظاهرة الكهروضوئية التي هي عملية تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية مباشرة باستخدام الخواص الإلكترونية لبعض المواد مثل السيليكون Si، والمركبات مثل (تولوريد الكاديوم CdTe وارسينيد الكاليوم GaAs) التي تصنف ضمن أشباه الموصلات [26,27]. إن تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية يتم من خلال تراكيب الكترونية تسمى الخلايا الشمسية (solar cells) والشكل (1.7) يبين تركيباً مبسطاً للخلايا الشمسية.



ان انتقال طاقة الفوتون الى الكترون يكون بشكل طاقة كامنة، وهذا مايسمى بالتحويل الكمي، (لان المستويات الالكترونية للطاقة في الاجسام هي بشكل عام مكممة). واخيرا فمن الضروري الا تسقط الالكترونات المهيجة بتفاعلها مع الفوتونات الى مستواها الاصلي، ويجب ان تجمع في خط مساري واحد. لذلك يجب ان تكون بنية التجميع بنية ناجحة [30] .

تصنع الخلايا الفولطاضونية من اشباه الموصلات (Semiconductors) واكثرها استخداما هو السيليكون، وذلك لانه يمتلك مجموعة من الخواص الكيماوية الخاصة لاسيما تكون في الشكل البلوري، تمتلك ذرة السيليكون (14) إلكترونات تكون مرتبة في ثلاث طبقات مختلفة، وأول الطبقتين القريبتين إلى المركز متثلتان تماماً، وتكون الطبقة الخارجية هي فقط طبقة نصف ممتلئة ولديها أربعة من إلكترونات وتقوم ذرة السيليكون ببحثها دائماً عن الطرائق لتملأ طبقتها الأخيرة باشتراك أربعة إلكترونات مع ذرة السيليكون التي تقع بالقرب منها عن التشويب [31] .

### 1.4 السيليكون Silicon :

هي مادة شبه موصلة يصنف من أشباه الفلزات يمتلك توصيلية كهربائية بين المواد الموصلة والعازلة عند ارتفاع درجة الحرارة تزداد التوصيلية الكهربائية لها، وهو عنصر كيميائي ذو رمز (Si) وله عدد ذري (14).

يكون ذو تكافؤ رباعي ، يكون نشاطه الكيميائي اقل من نظيره الكربون اللافلز، ولكنه أكثر نشاطاً من الجرمانيوم الذي من النادر وجوده نقياً في الطبيعة. واكثر مركباته توافرا في الطبيعة هو ثاني أكسيد السيليكون (السليكات). تتألف معادن السليكات نحو (90%) من القشرة الأرضية ، مما يجعل السليكون ثاني أكثر عنصر متوافر في القشرة (نحو 28% حسب وفرته) بعد الأكسجين [39] . ويكون استخدام معظم السليكون تجارياً على شكل مركبات.

وبسبب استخدام السيليكون الواسع في الدوائر المتكاملة التي هي أساس مجموعة من الحواسيب، لذا فإن تطبيقات كبيرة في التكنولوجيا تعتمد عليه. فهو من مادة صلبة وتكون موصلة ويتم التحكم في موصليتها الكهربائية عن طريق اضافة عناصر كيميائية أخرى لها فشبه الموصل مقاومته الكهربائية يكون موقعها بين مقاومة الموصلات والعوازل، وبأمكان مجال كهربائي خارجي ان يغير درجة المقاومة الكهربائية لشبه الموصل. فالمعدات والاجهزة التي يدخل السيليكون في تصنيعها هي مواد شبه موصلة وهي أساس الاجهزة والألكترونيات الحديثة التي تشمل جهاز الراديو، والكمبيوتر و الهاتف، والتلفزيون وأجهزة أخرى كثيرة. وان الأجزاء الألكترونية التي تعمل بأشبه

## الفصل الأول

### دراسة نظرية

الموصلات تشمل الترانستور، والصمامات الثنائية والخلايا الشمسية، والثنائيات باعثة الضوء، والدوائر المتكاملة التناظرية والرقمية، وموحدات التيار التي تعمل بالسيليكون. وكما تمثل ألواح الطاقة الشمسية بأنها أكبر مثالا للأجهزة التي تعمل بالمواد شبه الموصلة، حيث تقوم بتحويل الطاقة الضوئية الشمسية إلى طاقة كهربائية [40].

ينتقل التيار الكهربائي عن طريق الإلكترونات في الموصلات المعدنية، لكن في أشباه الموصلات فينتقل التيار الكهربائي عن طريق سيل من الإلكترونات يكون اتجاهها للقطب الموجب، خلال عملية البناء الذري للمادة والذي يكون مصحوبا بسيل من الفجوات (ذات شحنة موجبة) والتي تتجه للقطب السالب. الامر الذي يساعد على تكون فجوات إلكترونية موجبة وتشويب المادة شبه الموصلة مثل الجرمانيوم بمشوب من مادة أخرى.

يكون السيليكون صلبا في درجة حرارة الغرفة، ودرجة انصهاره وجليانه النسبيتين نحو ( $1414^{\circ}$  و  $3265^{\circ}$ ) درجة مئوية وهي على الترتيب. تكون كثافته اقل في الحالة الصلبة قياسا عن الحالة السائلة. ومن المفيد الاشارة الى ان السيليكون لا يحدث فيه انكماش حينما يتجمد مثل معظم المواد وانما يتمدد، مثلما يحدث مع الثلج كيفما يكن انه اقل كثافة من الماء، وقدرة نقله للحرارة تعادل ( $149 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )، لذا فإن السيليكون لا يمكن استخدامه كعازل حراري ويعتبر موصلا جيدا للحرارة [41].

والسيليكون عنصر شبه موصل يكون معاكس لدرجة حرارة المقاومة، لأن عدد شحناته التي يحملها تزداد عند ارتفاع درجة الحرارة. ان المقاومة الكهربائية لاي بلورة مفردة من السيليكون ممكن ان تتغير عند حدوث عوامل فيزيائية عليها مثل الضغط الميكانيكي.

معادن السيليكات: تحتوي السيليكات على معادن متعددة مثل (السليكون والأكسجين) ومعادن متفاعلة. وان الأكسجين والسيليكون يجذبان بقوة لبعضهما البعض، مكونين اكثر من شبكة من السيليكون والأكسجين في مركبات عديدة يعد التطاير فيها قليل. ولأن السليكون والأكسجين أكثر العناصر صفة هي انهما لا فلزيين ولا غازيين. [43].

ويستخدم السيليكون في تصنيع معظم الأجهزة التجارية التي تحتوي على مواد شبه موصلة، كما يمكن ان تستخدم مواد أخرى كثيرة منها (الجرمانيوم، وزنيخ الجاليوم الثلاثي، وكربيد السيليكون). ويعرف شبه الموصل النقي بشبه موصل. ويمكن تحسين التوصيلية وهي القدرة على توصيل الكهرباء، بإضافة عناصر أخرى تسمى "الشوائب" عن طريق صهرها وتركها فترة لتبرد

حتى تصبح بلورة جديدة ومختلفة عن الأصلية وتسمى هذه العملية (بعملية التشويب) باضافة شوائب إلى مادة نقية.

### 1.5 الخلية الشمسية Solar Cell :

إن الخلية الشمسية بصورة عامة هي عبارة عن محولات فولطاضوئية، تقوم باستلام ضوء الشمس المباشر وتحويله إلى كهرباء. تركز الاهتمام في إدخال الفولطاضوئيات كمصدر للطاقت المتجددة في امكانيات التطبيقات الأرضية لتطوير التقنية والوسائل المستخدمة في القطاعات السكنية والصحية والزراعية والصناعية والتعليم والنفط وغيرها في استخدامات الفولطاضوئيات المجدية من الناحية الاقتصادية.

والخلية الشمسية هي عبارة عن وصلة (pn) تكون فيها الطبقة (n) رقيقة ويتم تسليط الضوء من الفوتونات التي تحمل كل منها كماً محدداً من الطاقة الذي يجعل الالكترونات الحرة تكسب طاقة يجعلها تتحرر وتكسر الرابط الذري بالذرة شبه الموصله، ويتم تحرير شحنات مختلفة وانتاج مجموعة ازواج من ( الالكترونون - فجوة ) ثم تنطلق حاملات الشحنة بعد ذلك متجهة الى وصلة الثنائي وتنتقل بين نطاقي التكافؤ والتوصيل خلال فجوة الطاقة، ولتجمع عند سطح الخلية من الامام والخلف فيحدث مرور تيارا كهربائيا مستمرا عندما تتصل الخلية بجهد كهربائي [29,28] .

يمكن ان تصنف التطبيقات الارضية وتحدد وفق على ماتملك من القدرة الكهربائية على النحو

الآتي :

#### 1. تطبيقات القدرة منخفضة Application of Low Power:

وتشتمل على اجهزة ومنظومات مختلفة وهي : مثل الحاسبات ، والالعاب الالكترونية ، والساعات ، واهزة الاذاعة المسموعة ، والشاحنات ووسائط القدرة المنخفضة.

#### 2. تطبيقات القدرة المتوسطة Application of Medium Power:

وتشمل المنظومات الآتية: الانارة، واهزة الاذاعة المرئية ، وثلاجات اللقاح والامصال ، واشارات المرور والانذار ، ومرابح الاسقف والتهوية ، وهواتف للطوارئ ، وشاحن السياج الكهربائي. حيث يتم شحن السياجات الكهربائية المحاطة بالمزارع واماكن تربية الحيوانات لمنع اقتراب الحيوانات منها.

#### 3. تطبيقات القدرة العالية Application of Hghi Power :

وتشمل الاجهزة والمنظومات الآتية: ضخ كميات المياه ، ومحطات لاتصالات الموجات السنتمترية ، ومحطات القمر الصناعي في الارض ، والوقاية المهبطية لحماية انابيب الغاز والنفط والمنشآت المعدنية من التآكل ، وتغذية شبكة الكهرباء العامة.

### 1.5.1 كفاءة الخلايا الشمسية *Solar Cells Efficiency* :

وتعرف كفاءة الخلايا الشمسية على أنها القدرة الخارجة من الخلية الى القدرة الداخلة اليها طاقة الشمس (وقد تم الحصول على الكفاءة بنسبة %31) [33]. وتختلف قيمة التيار المستخلص تبعاً للمساحة السطحية للخلية. فكلما زادت المساحة السطحية ازداد التيار الكهربائي، ولكن زيادة المساحة بشكل كبير تؤدي إلى زيادة المقاومة المتواليّة (Series resistance) التي تؤدي بدورها إلى تقليل كفاءة الخلية. وقد تم تصنيع خلايا لمساحات مختلفة للحصول على تيار يتراوح من (2.5 - 3.5) أمبير للخلية الواحدة. لقد أمكن ربط الخلايا الشمسية على التوازي والتوالي لتشكيل وحدات توليد طاقة كهربائية (module)، فعند ربط الخلايا على التوالي تزداد الفولتية في حين يزداد التيار عند ربط الخلايا على التوازي، وعند ربط الخلايا على التوازي والتوالي في وحدات كبيرة يتم الحصول على الطاقة المطلوبة.

$$I = I_L - I_0 (\exp (qv / KT) - 1)$$

$$V_{OC} = KT / \ln (1 + I_L / I_0)$$

$$\eta = (p_m / p_{in}) * 100\% = (I_m v_m / p_{in})$$

### 1.6 انواع الخلايا الشمسية *Solar Cells Types* :

تصنف الخلايا الشمسية إلى عدة أنواع تبعاً للمادة المستخدمة في التصنيع والكفاءة المستخلصة منها، [34] هي:

• خلايا الأغشية الرقيقة (Thin Film Solar Cells) :

ومنها . Cadmium sulfide, cadmium telluride and copper indium selenide - وتترواح كفاءتها بين (12 - 18 %)، وهناك دراسات حديثة حققت كفاءة تتجاوز بنسبة (20%) وتتميز بانها رخيصة الثمن وسهلة التصنيع.

• الخلايا الشمسية متعددة الوصل (Multiplejunction Solar Cells) :

وهي غالباً ما تصنع من مادة ارسينيد الكاليوم (GaAs)، وهناك خلايا ذات اتصاليين أو ثلاث وصلات وتترواح كفاءتها من (30% - 35)، وهناك دراسات حديثة حققت كفاءة تزيد عن 42% وتتميز هذه الخلايا بصعوبة صناعتها وكلفتها العالية.

• الخلايا السيلكونية (Silicon Solar Cells) : ومنها :

إن الخلية الشمسية التي يختلط فيها السيليكون مع الشوائب اذ تختلط معها ذرات مشوبة لزيادة حاملات الشحنة في شبه الموصل. فمثلا مزج الفوسفور مع ذرة سيليكون، علما ان الفوسفور يمتلك

خمسة إلكترونات في غلافه الخارجي وهو يميل للاتصاق بالذرات القريبة منه في النواة وهي التي تجعل الذرة تبقى في محلها . وعندما يتم إضافة الطاقة إلى السيليكون النقي ستتسبب بتحرير بضعة إلكترونات من روابطها وتترك ذراتها، وفي كلتا الحالتين تقوم الإلكترونات بترك مجموعة من الفجوات ورائها وبالتالي تسير الإلكترونات المتحررة عشوائياً للحصول على فجوة لتتهبط فيها وتسمى هذه الإلكترونات (بالناقلات الحرة)، وتستطيع أن تحمل تياراً كهربائياً. وإن الإلكترونات الحرة الإضافية للفسفور لم ترتبط برابطة، وكننتيجة لذلك فإن أغلب هذه الإلكترونات تكون حرة. إن عملية إضافة الشوائب بشكل متعمد تسمى (التشويب) ويكون على نوعين :

النوع الأول: يكون عند إضافة ذرة مشوبة خماسية التكافؤ (الفسفور) يكون (N-Type) سلبياً بسبب انتشار إلكترونات حرة فيه، وإن السيليكون من نوع (N-Type) يعد ناقلاً جيداً وفضل من السيليكون النقي بكثير، (N- Type) هو الجزء الوحيد من الخلية الشمسية الذي يكون سالب وتشويب بقية الأجزاء التي لديها ثلاثة إلكترونات فقط بدلاً من أربعة في غلافها الخارجي بالبورون. النوع الثاني: يكون عند إضافة ذرة ثلاثية التكافؤ (البورون) ويكون (P-Type) إيجابياً ولأنه يمتلك فجوات حرة بدلاً من أن يكون لديه إلكترونات حرة، وهي ذرات منقوصة الإلكترون لذلك فهي تحمل الشحنة الموجبة .

#### • الخلايا الشمسية السيليكونية المتبلورة : Crystalline Silicon Solar Cells

تصنع خلاياها من السيليكون وذلك عبر إنماء القضبان من مادة السيليكون ( أحادي التبلور أو متعدد التبلور) ثم بعدها يضغط إلى رقائق، و يتم بعد ذلك معالجة الخلايا كيميائياً وفيزيائياً وذلك عبر أكثر من مرحلة حتى تصبح خلية شمسية، وتكون كفاءة هذه الخلايا بنسبة مرتفعة وتتراوح بين (9-17%) ويكون ثمن الخلية السيليكونية ذات التبلور الاحادي غالي ، حيث من الصعوبة تقنياتها واستهلاك الطاقة فيها، تكون الخلية السيليكونية ذات التبلور المتعدد أقل تكلفة وكفاءة من أحادية التبلور [36] .

1. احادية التبلور Monocrystalline: في هذا النوع من الخلايا يكون السيليكون هو المكون الرئيس والوحيد للخلية يتكون السيليكون من رقائق بلورات سيليكونية اسطوانية الشكل ثم تعالج بأفران لزيادة الخواص الكهربائية ثم تغطي الاسطح بمضادات الانعكاس. ويكون السيليكون على هيئة طبقات رقيقة مترسبة على اسطح الزجاج او البلاستيك. وهي ذات تكلفة رخيصة وسهلة التصنيع، ولكن اقل كفاءة من باقي انواع الخلايا الشمسية وتتراوح بين (12 – 15%).

## الفصل الأول دراسة نظرية

2. متعددة التبلور Polycrystalline: عبارة عن رقائق من السيليكون تعالج في اسطوانات يغطي سطحها مضاد للانعكاس وبعدها توضع في افران لزيادة الخواص الكهربائية، ويكون السطح الخلفي للوح الخلية موصلا ومغطى بطبقة عاكسة مزدوجة من مادة غير سيليكونية، وفي هذا النوع تكون الكفاءة عالية ويحتوي السيليكون على الكثير من البلورات .
3. متناهية الصغر بالتبلور Microcrystalline: وتتراوح كفاءة التحويل فيها من (18 - 22%) ، وهناك دراسات حديثة حققت كفاءة (25 %) وتصل الكفاءة النظرية الى (29%) .

### • الخلايا الشمسية السيليكونية العشوائية (متصدعة التبلور) : *Amorphus Silicon*

#### *Solar Cells*

تكون الخلايا في هذا النوع ذات تكوين بلوري المتصدع بسبب وجود عنصر الهيدروجين أو عناصر أخرى لتكسيبها خواص كهربائية مميزة، والجدير بالذكر ان الخلايا السيليكونية العشوائية تكون كلفتها قليلة قياسا بخلايا السيليكون البلوري، وتترسب فيها طبقة على شكل شريط رقيق، تتراوح كفاءة هذه الخلايا ما بين (4 - 9 %) يكون هذا بالنسبة للمساحة السطحية الكبيرة [37] .

### 1.6.1 خلايا من مواد اخرى *Cells From Another Materials*

تعد مادة السيليكون بكل حالاتها بانها ليست وحدها التي تستخدم في خلايا (PV) فمثلا يستخدم زرنيخيد الغاليوم (GaAs) وتلوريد الغاليوم (GaTe) في هذه الخلايا، وبما أنها مواد لديها فجوات ذات طاقة متعددة فإن التوافق سيتشكل بأطوال موجية متعددة وتكون فوتونات ذات طاقات مختلفة. وقد تم تطوير طريقة جيدة لإستخدام اما طبقتين او اكثر من طبقة من المواد اخرى غير السيليكون مع فجوات يكون ربطها غير متشابه ، فتبين ان المادة التي لها اعلى فجوة تكون طاقتها كبيرة على السطح والفوتونات التي تمتصها تكون ذات طاقة كبرى، بينما الفوتونات قليلة الطاقة تسمح لها، لأنها تمتص من قبل المادة التي تقع في الاسفل ذات فجوة الطاقة القليلة حيث تسمى مثل هذه الخلايا ب (الخلايا ذات الاتصالات العديدة)، والتي ايضا يمكنها أن تمتلك لديها اكثر من حقل كهربائي [38] .

### 1.7 الخواص البصرية للسيليكون *Optical Characteristics For Silicon*

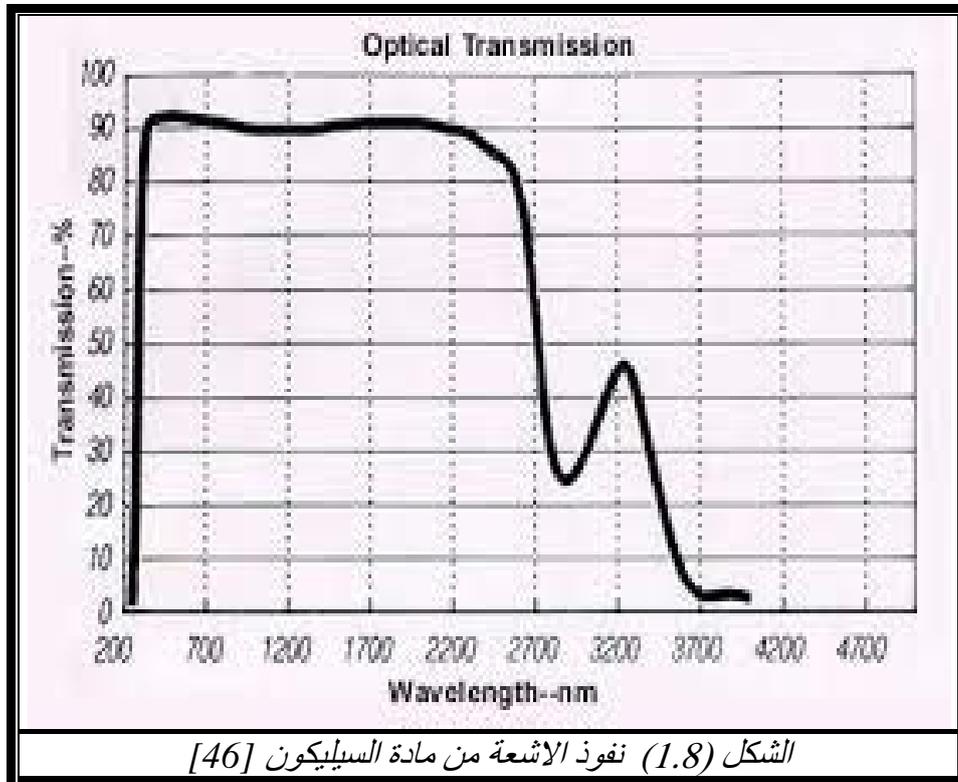
مصدر الإشعاع الطبيعي الأول لكل أنواع الطاقة الكهرومغناطيسية، فهذا الإشعاع الذي ترسله الشمس يكون على شكل موجات كهرومغناطيسية وهو متألف من ثلاثة أجزاء وهي : الأشعة فوق

## الفصل الأول دراسة نظرية

البنفسجية تشكل نحو (2%) من أشعة الشمس ، ويكون الضوء المرئي نحو (47%) والأشعة تحت الحمراء نحو (51%).

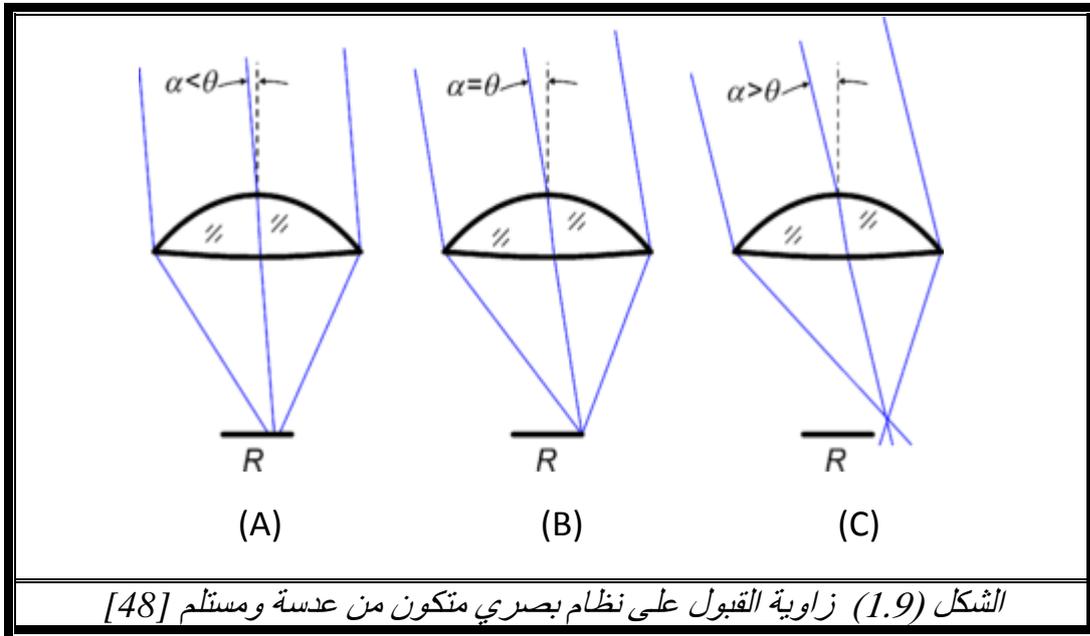
ويكون امتصاص السيليكون للضوء المرئي افضل من امتصاصه للأشعة تحت الحمراء، وذلك لان فجوة الطاقة للسيليكون العشوائي (1.7) إلكترون فولت، بينما تكون للسيليكون البلوري (1.1) إلكترون فولت، حيث ان السيليكون البلوري افضل من اللابلوري في امتصاص الضوء المرئي بالكامل، ويسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء الذي يجعل الخلايا الشمسية اكثر كفاءة في توليد التيار الكهربائي [44].

تقاس الخواص البصرية للسيليكون في درجة حرارة (300K) [45] ، في حين نفاذية السيليكون تكون لمديات تمتد من الضوء المرئي الى (IR)، وهذا يتوافق مع المدى الواصل من ضوء الشمس الى الارض، والشكل (1.8) يبين نفوذ الأشعة خلال السيليكون، حيث نجد النفاذية تصل الى نحو (70%) عند الضوء المرئي بينما تصل الى (40%) عند (IR) [46] .



### 1.8 زاوية القبول *Acceptance Angle*:

هي اكبر زاوية سقوط لاشعة الشمس على نظام بصري بحيث يعطي استضاءة مقدارها على الاقل (90%)، تعتمد زاوية القبول على نوع النظام المستخدم ومعامل انكسار المادة المتكون منها النظام، وتستخدم بصورة عامة في الانظمة البصرية غير الصورية (nonimaging optics) [47].



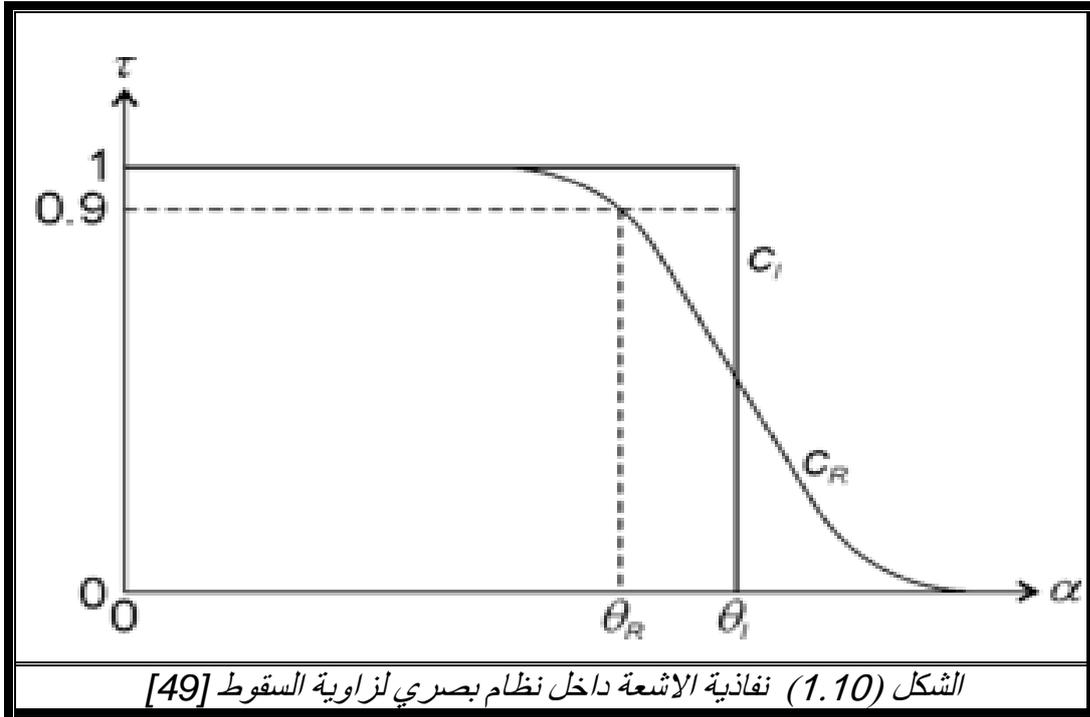
الشكل (1.9) يمثل زاوية القبول على نظام متكون من مركز شمسي (عدسة) ومستلم (R) ، وان الجزء (A) من الشكل يبين مكان انبعاث اشعة متوازية على المركز في زاوية ( $\alpha < \theta$ ) للمحور البصري، حيث ان ( $\alpha$  = زاوية سقوط الاشعة على العدسة ،  $\theta$  = زاوية القبول) كل الاشعة تنتهي على المستلم ولذلك يستلم الضوء بصورة كاملة. اما الرسم في الجزء (B) فيبين اشعة اخرى متوازية تسقط على المركز في زاوية ( $\alpha = \theta$ ) بالنسبة للمحور البصري، ونلاحظ ان الاشعة تسقط على حافة المستلم وهو اقصى مدى مسموح لها. واما الرسم في الجزء (C) لاشعة تسقط اكبر من زاوية القبول ( $\alpha > \theta$ ) فنلاحظ فيه ان الاشعة تتركز خارج المستلم اي ان الزاوية خارج مدى القبول [48].

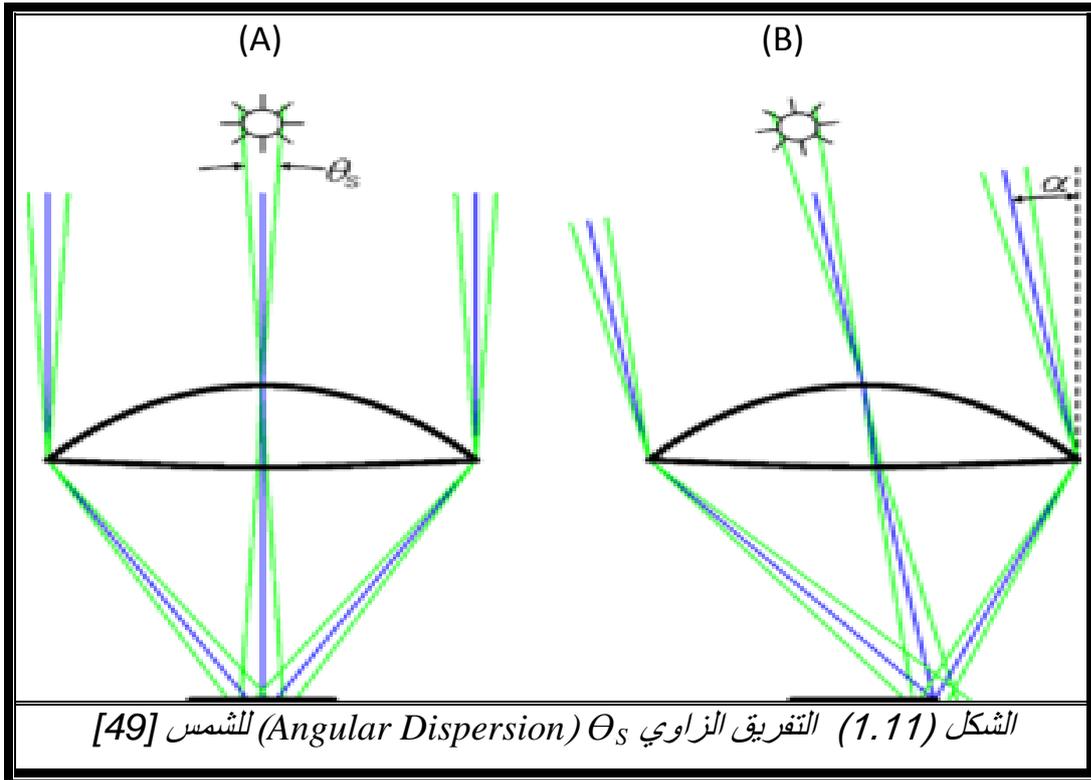
## الفصل الأول

### دراسة نظرية

يمثل الشكل (1.10) نفاذية الاشعة داخل نظام بصري لزاوية السقوط. في الحالة المثالية المركز الشمسي له منحنى ناقل ( $C_i$ ) كما في الشكل والنفاذية تكون ( $T=1$ ) لكل زاوية سقوط ( $\alpha < \theta_i$ ) و ( $T = 0$ ) لكل الزوايا ( $\alpha > \theta_i$ ).

ومن المفيد الاشارة اليه ان منحنى النفاذية الحقيقي ليس مثاليا ونوعا ما له شكل يشابه المنحنى  $C_R$  النفاذية ( $T = 1$ ) لزاوية ( $\alpha < \theta_R$ ) في تلك الحالة تكون زاوية القبول الحقيقية ( $\theta_R$ ) نوعا ما تعرف كزاوية لأي نفاذية تصل الى نحو (90%) ، ونلاحظ ان ( $T \neq 0$ ) عند زاوية ( $\alpha > \theta_R$ ) بسبب وجود التفريق الزاوي ( $\theta_S$ ) (Angular Dispersion) كما موضحة في الشكل (1.11).





الشكل (1.11) يوضح التفريق الزاوي  $\theta_s$  (Angular Dispersion) للشمس عندما ترصد من الارض.

ان شكل فتحة الزاوية لضوء الشمس على الجزء (A) تبين تأثير التفريق الزاوي لضوء الشمس على زاوية القبول. اشعة الشمس هي ليست اشعة متوازية مثالية (كما في الاشعة الزرقاء) ، ولكن لها زاوية معينة ( $\theta_s$ )، تسقط كما موضح بالاشعة الخضراء، فاذا كانت زاوية القبول كبيرة كفاية، فإن ضوء الشمس يسقط على طول المحور البصري لفتحة المركز [49]. كما مبينة في الشكل (1.11) ، حتى لو كانت زاوية السقوط اكبر من زاوية القبول ( $\alpha > \theta$ ) فنلاحظ قسما من الضوء يسقط على المستلم نتيجة تأثير التفريق الزاوي للشمس، وهذا مايجعل ( $T \neq 0$ ) في المنحني ( $C_R$ ) كما في الشكل (1.10).

### 1.9 الدراسات السابقة Literature Review :

ان موضوع تحسين كفاءة الخلايا الشمسية اخذ حيزا كبيرا من الدراسة لكونه اسهم في استغلال اكثر للطاقات الشمسية من غيرها فقد :

عمل S.A.Hammil في (2000) على زيادة الكفاءة للخلايا الشمسية، حيث قام بتقليل الانعكاس الضوئي من سطح الخلية الضوئية وكان تقليل الانعكاسية بنسبة (81%) وزيادة

امتصاص الضوء في الخلية ، وتقليل الخسائر الضائعة في شبكة القطب العلوي المعدنية نتيجة استخدام تصاميم جديدة للشبكة مثل الهرمية منتظمة وغير منتظمة [50].

قامت M. S. Murad في (2006) بعمل خلية شمسية سيليكونية احادية التبلور، حيث قامت باضافة طيات للسطح حيث حققت زيادة في كفاءة الخلية بعد اضافة الطيات للسطح من (4.1%) الى (5.5%) [51].

صنع R.Shyu et al في (2006) منظومة عدسات رقيقة تعمل عمل مراكز شمسية معتمدا على نسبة المظهر حيث استخدم نسبة مظهر عالية [52].

طور c. w.ruggiero في (2007) سطح الخلايا الشمسية السيليكونية ذات شكل شبه دائري او قطع مكافئ مع عامل المظهر للسطح وتتبع مسار الضوء بصورة مائلة ومرة اخرى بصورة متوازية للاخاديد مستخدما برنامج zemax [53].

قام M. Geetha في (2008) بتحسين كفاءة الخلايا الشمسية ودراسة نماذج من الاخاديد للخلايا الشمسية مع اكثر من قيمة لعامل المظهر لتحسين الكفاءة مستخدماً برنامج zemax [54].

قام A.Hamdani في (2008) بتصميم مركز حوضي جديد وبنائه، وهو ذو نوع ثنائي المرايا وقام بدراسة تأثيره، على المعلمات لتقييم اداء خلية شمسية من مادة السيليكون بحالتين مرة بوجود نظام تبريد ومرة بدون وجود نظام تبريد، حيث وجد ان كفاءة اداء الخلية السيليكونية قد ازدادت من ( 11.94% إلى 15.46%) عند عدم وجود نظام تبريد، أما عند وجود نظام تبريد لاحظ ان كفاءة الاداء ازدادت من ( 13.3% إلى 16.40%). وكذلك دراسة تأثير تجميع بين أنواع مختلفة من عدسات فرينيل مع هذا المركز على أداء الخلايا الشمسية حيث حصل على افضل كفاءة أداء للخلية (24%) من دون وجود نظام تبريد وعلى أفضل كفاءة اداء ( 26.6%) بوجود نظام تبريد [55].

قامت Y.Zaidan في (2009) بتصنيع خلية شمسية ذات تراكيب نانوية من الخلية الشمسية الاعتيادية، حيث تم انتاج طبقة من السليكون المسامي من شرائح السليكون (p-n) في حامض الهيدروفلوريك بتوظيف عمليتي التنميش الكهروكيميائي والكهروكيميائي الضوئي ، وتم دراسة الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية السيليكونية النانوية المحضرة. ان افضل الخصائص الكهربائية (اقل مقاومة واعلى تيار مار خلال الخلية) [56].

قام Jason H. Karp, Eric J. Tremblay and Joseph E. Ford في (2010) بتطوير نموذج مراكز شمسية مع دليل موجة لتحسين كفاءة الخلية الشمسية عن طريق استخدام مصفوفة عدسات (محدبة - مستوية) [57].

صمم (A.Bader) في (2013) مراكز شمسية تحتوي على مصفوفة عدسات رقيقة ودليل موجة لتحسين كفاءة الخلايا الشمسية [58].

اثبت H.Atwator في (2014) بروفييسور الفيزياء التطبيقية وعلوم المواد في جامعة (هوارد هيووز)، بأن السيليكون يمكنه ان يمتص جزءا معيناً فقط من الطيف الضوئي، والأطوال الموجية الباقية سوف تمر عبره مباشرة وكأنها هو مادة شفافة، كذلك وجد انه لو تم وضع وحدة ألواح شمسية بسيطة على اي سطح منزلي، فإن السيليكون سوف يمتص جزءاً فقط من الطيف، أما باقي الطيف الضوئي فلا يتحويلة إلى طاقة كهربائية، وانما سوف يؤدي إلى تسخين سطح المنزل فقط [59].

درس S. Lindner في (2015) خواص السيليكون النقية وغير النقية وفائدة تشويب السيليكون في الخلايا الشمسية [60].

### 1.10 الهدف من البحث : Aim of the Work

- 1- تصميم خلايا شمسية ذات كفاءة عالية باستخدام اخاديد متعددة الاشكال على سطح الخلية لزيادة طول المسار البصري للفوتون وبالنتيجة زيادة قدرة الامتصاص للخلية، وكذلك تقليل الانعكاسات على سطح الخلية وبذلك تقليل الخسائر الناتجة من ضياع الضوء المنعكس.
- 2- تقييم انواع الاخاديد المستخدمة على سطح الخلية وتأثير كل نوع على كفاءة الخلية الشمسية.
- 3- دراسة تأثير عامل المظهر على كفاءة الخلية الشمسية لكل نوع من انواع التصاميم المستخدمة.
- 4- دراسة تأثير زاوية سقوط الاشعة الشمسية على كفاءة الخلية لكل نوع من انواع التصاميم المستخدمة.

## 2.1 المقدمة Introduction :

اخذت البرامج الحديثة تؤدي دورا كبيرا في تطوير التصاميم، ويعد التطور الحاصل في هذه البرامج وتنوعها في المجالات العلمية والهندسية وكثرة استخدامها مما فيها مايساعد على اعطاء الصورة الصحيحة والفكرة الواضحة التي يقصدها المصمم ، وان هذه التصاميم التي يستخدمها العلماء والمهندسون والمصممون ممايجدونه مايلبي متطلبات مشروعهم وتوصيل فكرتهم كما هي في الواقع، ويعد العمل بهذه البرامج امرا مناسباً اكثر من غيرها، وذلك لتوفير الوقت وسهولة العمل وجهد اقل ونسبة الخسارة بالامكانيات والمواد تكون فيها اقل، وسنتدرج فيما نحتاجه من متطلبات يمكن ان توفرها لتحقيقها في البرامج. ان التصاميم البصرية عبارة عن مجموعة واسعة من معاملات الأنشاء البصرية (المتنوعة) التي تقدم متطلبات اداء المصمم ضمن حدود العمل والفكرة من ناحية الكلفة المادية وتحديد المصنع. وان اختيار مواد التصميم من العوامل المهمة في نجاح التصميم، حيث يجب مراعاة توافر المواد وجودتها للوصول الى تصميم ذي كفاءة عالية وبكلفة مناسبة [62,61].

ان كفاءة الخلية الشمسية ( هي كمية ما يتحول من طاقة ضوء الشمس إلى كهربائية )، وهذا يتم بمحاولة تحسين معاملات (parameters) الخلية الشمسية وتغييرها اثناء تصنيعها، وهذه المعلمات تتضمن شكل الخلية ونوعها ومقدار تركيز التشويب فيها وملحقاتها من مركبات شمسية او طلاات او اخاديد بالسطح [63]. ولتحسينها ايضا يمكن استخدام الخلايا ذات الطبقات المتعددة، لكونها أكثر تناسبا مع الطيف الشمسي من بقية الأنظمة (ذات الفجوة المفردة)، ولذا تكون نسبة الكفاءة فيها اعلى من غيرها [64]. ولتحسينها ايضا تم استخدام المركبات الشمسية، فالمركبات هي أجزاء اقطع مستخدمة بصرية تعمل على زيادة كمية الإشعاع الساقط على السطوح مثل سطح خلية شمسية أو سطح ماص حراري ، وان أهم ما يستخدم لهذا الغرض هو المرايا وعدسات فريزل ، ان استخدام هذه العدسات هو لزيادة التركيز وليس للحصول على صورة معينة وان المرايا تستخدم لهذا الغرض أو كلاهما معاً [65]. وكذلك تستخدم الاخاديد على السطح العلوي او السفلي للخلية الشمسية، وتكون هذه الاخاديد اما هرمية مثلثة الشكل او مستطيلة اقطع مكافئ او كروية لتقليل نسبة انعكاس الاشعة وزيادة طول المسار البصري، ولذا تحدث زيادة امتصاص الفوتونات داخل الخلية [66]. تمثل تقنية اضافة اخاديد لسطح الخلية من المواضيع الحديثة المهمة، وذلك على اعتبار انها اسهمت في تطوير كفاءة الخلايا بصورة واضحة، وكذلك سهولة تصنيعها عن طريق عمليات القولبة وهي لا تؤثر على حجم التصميم على اعتبار انها متداخلة مع الخلية [67].

## 2.2 التصميم البصري *Optical Design* :

التصاميم البصرية هي عبارة عن مجموعة واسعة من الافكار والمعاملات البصرية (المتنوعة) التي يعبر عنها بتصميم او شكل او مجسم باستخدام برامج بصرية تعطي صورة الفكرة. ويمكن دراسة خواصها وكفاءتها باستخدام هذه البرامج التي تقدم متطلبات اداء المصمم ضمن حدود العمل والفكرة من تحديد المصنع [68]، حيث يمكن باستخدام هذه البرامج لتصميم العدسات، والتليسكوب، والميكروسكوب، وعدسات الكاميرا، ومنظومات شمسية مثل الخلايا الشمسية، والكواشف... الخ [70,69].

## 2.3 البرامج البصرية *Optical Software Programs* :

وان استخدام هذه البرامج بطريقة صحيحة يحسن انتاجية المصممين. حيث تعتمد اغلب هذه البرامج على نظام تتبع الاشعة وتمثيل المصفوفات والحساب العددي ويوجد عدد من الخيارات المتنوعة لاختيار البرامج البصرية التي تكون مؤهلة لثلاث وظائف هي الاولى: تتبع الاشعة المتسلسل sequential ray-tracing ، والثانية تتبع الاشعة غير المتسلسل non-sequential ray-tracing، والثالثة: برامج التحليل العددي بطريقة (FDTD) Finite Difference Time Domain [72,71]. وهذه الوظائف لها برامج تتلخص في الجدول (2.1) الاتي:

جدول (2.1) بعض برامج التصميم البصري [71]	
البرامج	الوظائف
<i>Code V, OpTaliX, OSLO and ZEMAX</i>	تتبع الاشعة المتسلسل
<i>ASAP, FRED, Light Tool, SPEOS, Trace Pro and ZEMAX</i>	تتبع الاشعة غير المتسلسل
<i>FDTD Solutions, Full Wave, JCM suite, Omnisim and Opti FDTD</i>	برامج FDTD

## 2.4 برنامج زيماكس ZEMAX Software Program :

زيماكس هو عبارة عن برنامج تصميم بصري ذي استخدام واسع [73]. يستخدم لتصميم الانظمة البصرية وتحليلها. ويستطيع زيماكس ان يقوم بتتبع الاشعة الاصلية خلال العناصر البصرية من عنصر الى اخر بالتتابع عن طريق نمط تتبع الشعاع المتسلسل كتصميم الانظمة التقليدية مثل العدسات، والتلسكوب، وتحليل الضوء الشارد من دون تتابع في العناصر عن طريق نمط تتبع الاشعة غير المتسلسل كتصميم المواشير والالياف البصرية [74].

والجدير بالذكر ان برنامج (زيماكس) له سمات اخر مثل انه يستطيع تقييم تأثير الطلاء البصري على اسطح المكونات. يضم البرنامج مكتبة ضخمة من العدسات والمواد المصنعة لها [76,75]. كذلك يضم البرنامج طرائق عديدة لتقييم اداء التصميم عن طريق توزيع الاستضاءة ودوال الانتشار البصري واستخدام الكواشف. وقد استخدمت نسخة البرنامج (ZEMAX-EE 2005).

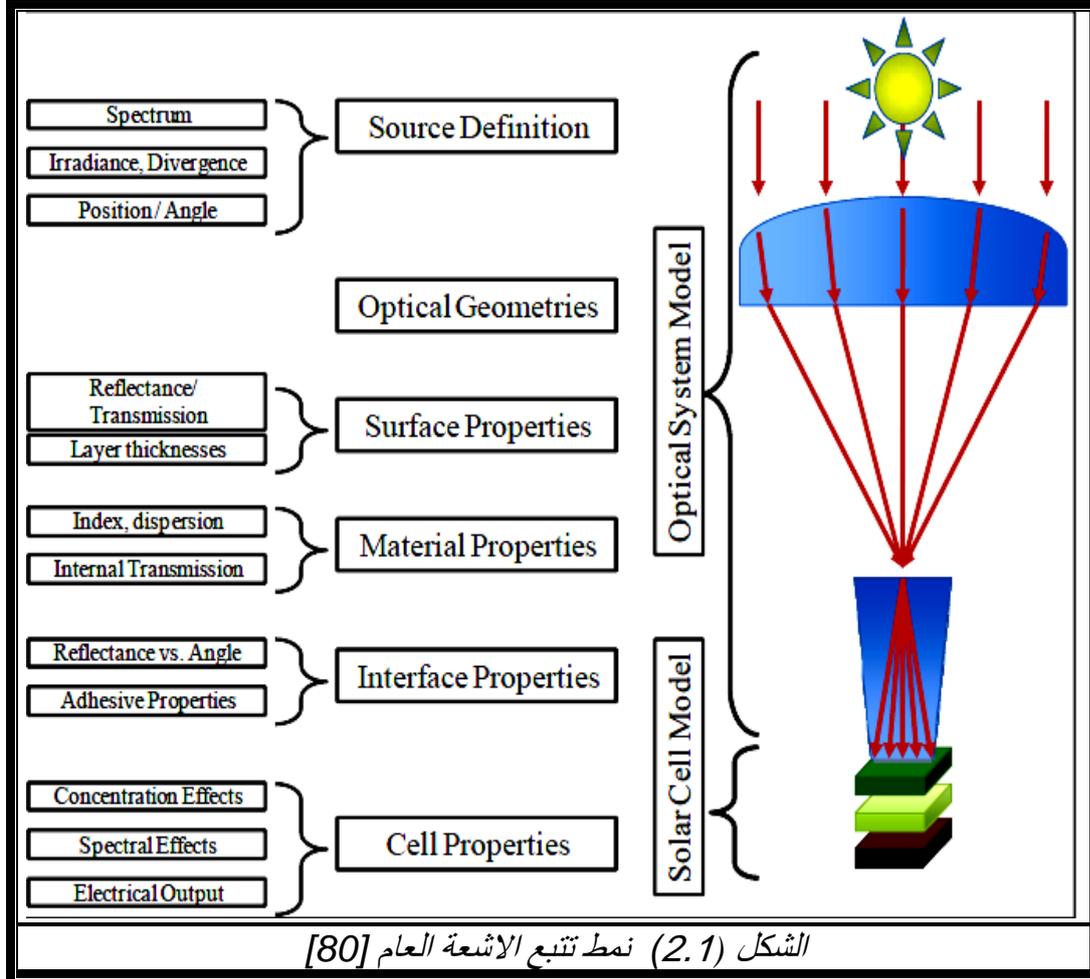
## 2.5 نمط تتبع الاشعة Ray – Tracing Mode :

يتكون نظام تتبع الاشعة العام من مصدر، ومسار بصري، ومستلم. الشكل (2.1) يبين مخطط نظام تتبع الاشعة العام. حيث وكما في المخطط يتكون من نموذج النظام البصري (Optical System Model) ونموذج الخلية الشمسية (Solar Cell Model)، حيث يضم نموذج النظام البصري الجزء الاول المصدر الذي يضم نوع طيف المصدر (spectrum) والذي يمثل الاشعة الواصلة الى الخلية مثل ضوء الشمس، والاستضاءة (Irradiance, Divergence) الذي يمثل مقدار شدة الضوء المنبعث من المصدر في وحدة المساحة وزاوية انتشاره، ويضم ايضا (Position, Angle) الذي يعني موقع المصدر بالنسبة للخلية وبعده عنها وزاوية سقوط الاشعة على الخلية. واما الجزء الثاني من نموذج النظام البصري فهو الوسائط الناقلة للضوء (Optical Geometries) ويقصد بها النظام الذي يجمع ضوء المصدر وينظمه، لينتقل الى الخلية وتضم خصائص السطح (Surface Properties) التي تدرس كل من الانعكاسية والنفاذية للسطح ومعامل الانكسار، وسمك الطبقات (Leyar Thickness) التي تؤثر في نفوذ الاشعة وامتصاصها، والامر الاخر والمهم هو خصائص المواد البصرية (Material Properties) ومعامل انكسار المادة والامتصاصية والنفاذية [79,78,77].

يضم نموذج الخلية الشمسية جزأين هما: الاول (Interface Properties) ويقصد به خصائص الحد الفاصل بين النظام البصري والخلية وهي التي تعمل على تماسك الطبقات وتلاصقها، حيث يجب ان تكون المادة نافذة للاشعة ومعامل انكسارها مناسباً للنظام، واما الجزء الاخير فهو خصائص الخلية (Cell Properties) من حيث تأثير التشويب لشبه الموصل المتكونة منه الخلية الشمسية وتأثير الطيف الواصل الى الخلية على كمية النفاذية والامتصاصية للاشعة داخل الخلية وتأثيرها على كفاءتها.

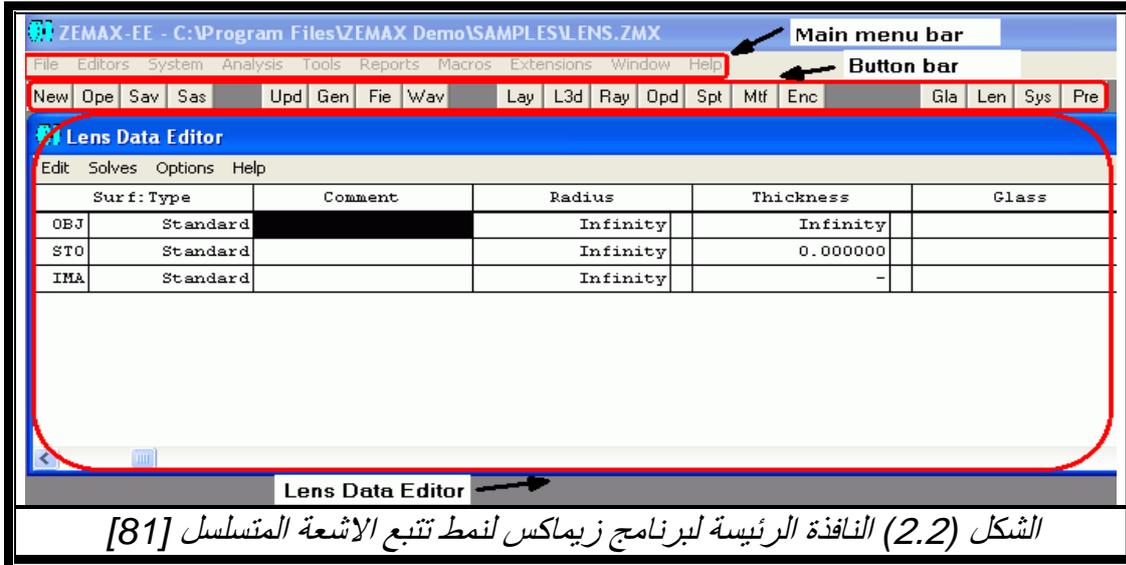
## الفصل الثاني التصميم البصري

واخير نلاحظ ان كمية الطاقة الكهربائية المتكونة من الخلية عن طريق نوعية ربط الخلايا مع بعضهما البعض على نحو (توالي أو توازي أو كلاهما) وحجم الخلية ونوع التطبيق واستخداماته [80].



### 2.6 نمط تتبع الأشعة المتسلسل في زيماكس Sequential Ray-Tracing Mode in ZEMAX :

نمط تتبع الأشعة هو تقنية واسعة التطبيق لنموذج مسار الضوء خلال النظام البصري، ونمط تتبع الأشعة عموماً يتعلق بالبصريات الهندسية. في نمط الأشعة المتسلسل خلال تسلسل معرف للسطوح في حين ينتقل من سطح الجسم إلى سطح الصورة [81]. حيث الأشعة تضرب كل سطح مرة واحدة على الترتيب (تسلسل) وصولاً إلى الهدف. علماً أن أنظمة الصورة تكون موصوفة بالسطوح المتسلسلة. ويبين الشكل (2.2) نافذة نمط تتبع الأشعة المتسلسل في زيماكس.



نافذة محرر بيانات العدسات (Lens Data Editor) هي النافذة الرئيسية للبرنامج وتحتوي على ثلاثة صفوف، هي الصف الاول: صف الجسم (المصدر) (OBJ) حيث يزود البرنامج مجموعة متعددة من انواع المصادر عن طريق قائمة بأنواع مختلفة، والصف الثاني: صف الفتحة (STO) التي ربما تكون اي نظام بصري مثل (عدسة، ومرآة، وحاجز... الخ) وتمثل مستوى الصورة (IMG)، والصف يمثل سطحا من سطوح النظام ويتضمن اسم السطح المعين من قبل البرنامج ويبدأ بنوع الصف (Standard) اذ يمكن تغييره والتحكم بنوعه من خلال خيارات عدة مثل (مربع، او مستطيل، او مخروطي،... الخ). والعمود الثاني يمثل (Comment) الذي يمثل وصف او اسم للسطح لا يوجد له خيارات بالتطبيق وانما يضاف من قبل المستخدم. واما الصف الثالث: فهو نصف القطر (Radius) الذي يعطيه البرنامج افتراضاً (Infinity) للدلالة على ان السطح مستوي، ويمكن التحكم بقيمة نصف القطر اذا كان السطح ذا تكور معين من خلال ادخال قيمة معينة. والعمود الرابع السمك (Thickness) الذي يمثل المسافة من السطح المعين الى السطح التالي. وعمود نوع الزجاج (Glass) الذي يحتوي على مكتبة وافرة من انواع الزجاج والمواد الاخرى التي تتيح للمستخدم خيارات كثيرة ومتنوعة للمواد للحصول على التصميم الامثل.

اماباقي الاعمدة فهي ذات مواصفات خاصة اضافية تخص نوع السطح وابعاده. (Smi.diameter) تمثل نصف قطر فتحة الادخال التي تحدد كمية الاضاءة الواصلة لكل سطح، ويمثل (Conic) عاملا اضافيا اذا كان السطح غير كروي (قطع مكافئ).

يتضمن برنامج (زيماكس) قائمة الخيارات الرئيسية (Main menu bar) تتضمن (file) التي تحتوي على خيارات لحفظ خطوات البرنامج وفتح نافذة جديدة وتغيير نوع نمط التتبع المتسلسل وغير

## الفصل الثاني التصميم البصري

المتسلسل. وتتضمن ايضا خيارا مهما هو خيار النظام بصيغته العام (General) الذي يتضمن (Aperture) نوع فتحة الادخال التي من خلالها تحدد شكل الفتحة بما يتوافق مع نوع التصميم فمثلا اذا كان التصميم مربعا فسنختار من الخيارات الموجودة مربعا وهكذا. وكذلك (Apearture Value) حجم الفتحة الذي يحدد قطر فتحة الادخال، كذلك يحتوي على (Fields) المجالات الذي يحدد زاوية سقوط الاشعة بقيم مختلفة في الوقت نفسه، والذي بدوره يعطي صورة متكاملة على تأثير زاوية السقوط على اداء المنظومة. الحقل المهم الاخر هو الطول الموجي (Wave Length) الذي من خلاله نحدد نوع الاطوال الموجية المستخدمة يدويا او قائمة جاهزة بأنواع المصادر منها (F.D.C) تسمى خطوط فرانهورفر وانواع اخرى مثل ليزر هيليوم - نيون، ... الخ من الانواع. يتيح برنامج (زيماكس) وحدات متعددة للطول (مايكرومتر، مليمتر، انج).

ان (زيماكس) برنامج يضم مجموعة واسعة من طرائق التحليل والتقييم لنوع التصميم لتبيان مدى كفاءته وهذه الطرائق مدروجة في خيارات التحليل (Analysis) وتضم كل من:

1. (Layout): المظهر التصميم الذي يتضمن شكل التصميم ثنائي الابعاد 2D، وثلاثي الابعاد 3D، و شكل مجسم Solid Model.
2. (Fans): يقوم بتحديد كمية الزيغ من خلال منحنيات الزيغ على شكل مروحة (Ray Fan Aberration).
3. (Spot Diagrams): مخطط توزيع الاستضاءة الذي يحدد نمط توزيع شدة الاستضاءة في مستوى الصورة.
4. Modified Transfir Function (MTF): دالة الانتقال البصرية المعدلة التي تعد من الدوال المهمة لتقييم نوع الصورة وجودتها.
5. Point Spreat Function (PSF): دالة التوزيع النقطية التي تحدد توزيع الاستضاءة في مستوى الصورة اذا كان الجسم نقطيا.
6. (Wave Front): جبهة الموجة التي تحدد شكل جبهة الموجة الواصلة للسطح.
7. (Encircled Energy): الذي يمثل توزيع الطاقة في مستوى الصورة.
8. (Illumination): الاستضاءة التي تحدد شدة الضوء الواصلة الى وحدة المساحة.
9. (Image Analysis): تحليل الصورة.
10. (Aberration Coefficient): معاملات الزيغ.
11. (Glass and Gradiant Index): الذي يمثل علاقة نوع الزجاج المستخدم بكفاءة النظام.
12. (Unviersal Plot): المخططات العامة التي تعطي وصفا عاما لتصرف النظام.
13. (Polarization): الاستقطاب الذي يحدد تأثير الاستقطاب بنوعية الصورة.

## الفصل الثاني التصميم البصري

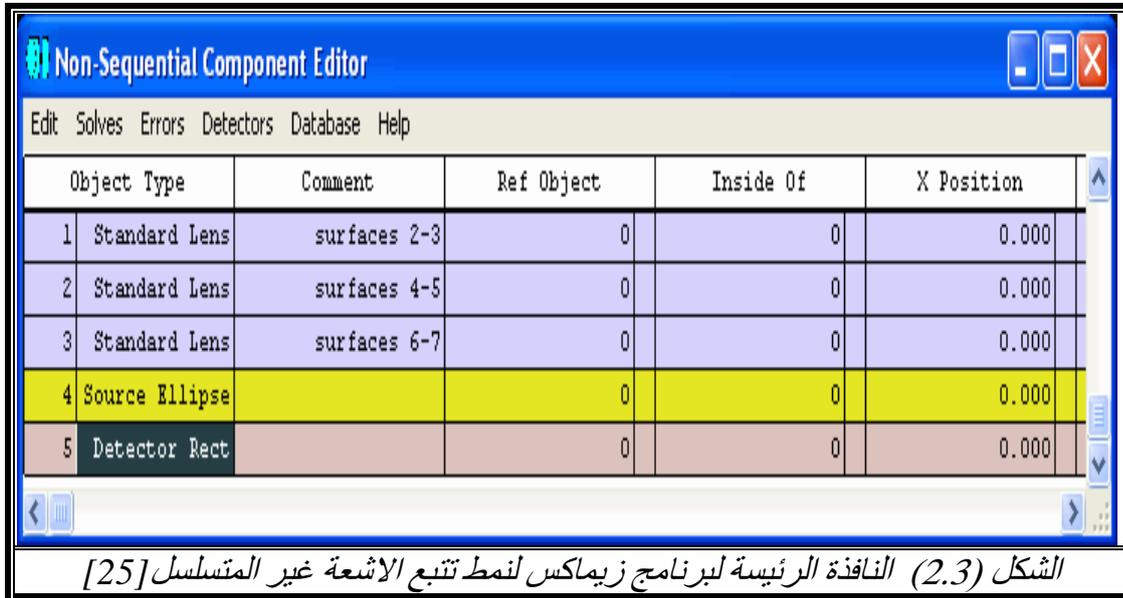
14. (Coatings): الطلاء الذي يحدد انواع الطلاءات وتأثيره على كفاءة النظام والعوامل الخاصة به.

15. (Physical Optics): يتضمن بعض التأثيرات البصرية الخاصة عند استخدام الصفات الموجية للضوء (بصريات كاوس).

وهناك ايضا قائمة مختصرات للايعازات المهمة على واجهة النافذة الرئيسية للبرنامج تتيح للمستخدم الوصول اليها مباشرة لاختصار الوقت.

### 2.7 نمط تتبع الاشعة غير المتسلسل في زيماكس Non-Sequential Ray-Tracing : Mode in ZEMAX

يتكون نظام تتبع الاشعة غير المتسلسل من مصدر، ومسار بصري، ومستلم. ان الاشعة ممكن ان تضرب كل سطح اكثر من مرة واحدة ومن دون ترتيب (غير متسلسل) وصولا الى الهدف، حيث انها تنتقل الى السطح وداخل السطح اكثر من مرة الى ان تصل الى الهدف. ومن الامثلة على الاجهزة البصرية المصممة على اعتماد هذا النمط : دليل الموجة ، والمواشير، والمرايا. يبين الشكل (2.3) نافذة نمط تتبع الاشعة غير المتسلسل:



ان نافذة مظهر التصميم عند التحليل (Analysis) لاتستخدم شكلا ثنائي الابعاد (2D) فقط، بل يوجد ثلاثي الابعاد للتصميم (3D) بحكم نوع التصاميم المستخدمة في هذا النمط بينما يوجد في نمط تتبع الاشعة المتسلسل بعدان للتصميم هما (2D-3D)، ان وجود الكاشف في نمط تتبع الاشعة غير المتسلسل من اهم عوامل تقييم اداء المنظومة الذي يحتوي على نافذة تمثل توزيع الاستضاءة على

## الفصل الثاني التصميم البصري

سطح الكاشف، وكذلك له حساب القدرة من خلال عدد الاشعة الساقطة عليه (Total Hit). هناك ايعازات او خيارات اخرى تتعلق بنوع الاشعة الواصلة الى الكاشف من ناحية الاستقطاب والاستطارة. وخيارات اخرى لتقييم اداء المنظومة مثل مخطط التفريق الذي يمثل العلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجي، وكذلك هناك مخطط يمثل انواع الزجاج المستخدم، ومخطط النفاذية، بالاضافة الى الطلاءات وتأثيرها على المنظومة من خلال زاوية السقوط والطول الموجي.

يمثل العمود الاول نوع الجسم (Object Type) ويقصد به شكل الجسم، وشكل نوع المصدر اذا كان مستطيلا او مربعا او مثلثا حيث يوجد الكثير من خيارات الاشكال التي يمكن تحديدها وصفوف هذا العمود تضم جميع الاجسام الموجودة ضمن هذا التصميم، فيوجد صف للمصدر وتليه الصفوف المتعاقبة التي تمثل مكونات النظام، ويمثل العمود الثاني التعليق (Comment) اشارة الى نوع السطح وشكله، وتليه اعمدة تمثل احداثيات موقع كل سطح بالمحاور (X,Y,Z)، وكذلك مقدار ميلان كل سطح عن المحاور الثلاثة من خلال الاعمدة (X,Y,Z) (Tilt About)، ويليه عمود الميلان عن محور Z (Tilt About Z) بزاوية معينة، ويليه عمود نوع المادة للجسم، ويمثل عمود ابعاد الجسم كل من طول وعرض وارتفاع ونصف قطر، بالاضافة الى معلمات اخرى تختص بنوع السطح المستخدم.

### 2.8 النموذج المستخدم Used Model :

ان تصميم الخلية الشمسية باستخدام برنامج (زيماكس) عبارة عن شريحة من مادة السيليكون ذات ابعاد هي (10 x 10 x 0.5) cm، حيث توجد على سطح الخلية الاخايد، وصمم النموذج نظريا في برنامج زيماكس للتصاميم البصرية، وتم استخدام نظام تتبع الشعاع لتقييم كفاءة التصميم عن طريق استخدام كاشف اسفل الخلية. حيث يتحسس الكاشف عدد الاشعة الساقطة عليه (Total Hit) اي عدد اسقاط شعاع على الكاشف نسبة الى العدد الاصلي الواصل الى الخلية وهو (1000) شعاع قيد الفحص عند الزاوية (0°). وهذا الكاشف الذي يوجد اسفل الخلية وهو كاشف يتحسس الاطوال الموجية من الضوء المرئي الى (IR) الذي يتوافق مع نفاذية السيليكون، لكشف عدد الاشعة التي تصل الى الخلية والتي تمثل نسبة كفاءة الخلية، علما ان هذا الكاشف ذو ابعاد تعادل ابعاد الخلية من حيث الطول والعرض. تعتمد كفاءة الخلية الشمسية في هذا العمل على شكل الاخايد من حيث

## الفصل الثاني التصميم البصري

ارتفاع الاخاديد وعرضها ودرجة تقعرها، وهذا يتم عن طريق حساب نسبة المظهر للاخاديد (Aspect Ratio (A.R)).

ان نسبة المظهر تعطينا قيمة ارتفاع الاخاديد وعرضها ودرجة تقعرها حيث الفائدة والغرض من هذه الاخاديد هي لتقليل الانعكاسات الخارجية للضوء وزيادة طول المسار البصري، وبذلك تحدث فرصة زيادة امتصاص الفوتونات داخل الخلية .

استخدم في هذا البرنامج مصدر للاشعة تحت الحمراء والضوء المرئي اللذان يتوافقان مع مدى امتصاص مادة السيليكون المصنوعة منها الخلية وكان العدد الافتراضي لها (1000) شعاع يسقط على الشريحة بحالتين هما: الحالة الاولى: تحدث بصورة عمودية على الشريحة والثانية: تحدث بصورة مائلة توازي الاخاديد بزوايا من (10° - 80°) مع العمود ، وذلك لتبيان تأثير ميلان الشعاع الشمسي على كفاءة الخلية ومعرفة زاوية القبول الخاصة بالنموذج المستخدم.

تم استخدام في نموذج للاخاديد اكثر من نسبة مظهر مختلفة، لذا حدثت زيادة نسبة امتصاص الاشعة وزيادة عددها عند الكاشف فتكون زيادة عدد الاشعة الساقطة على الكاشف يمثل زيادة عدد الانعكاسات الداخلية الكلية للاشعة، وبالتالي زيادة معدلات امتصاص الفوتونات داخل الخلية.

فعند استخدام زاوية ميلان للشعاع الساقط غير عمودية اي ذات قيمة (10° - 80°)، نلاحظ ان هناك تفاوتاً في قيمة الاشعة الساقطة على الكاشف (الكفاءة)، وقد استخدم محور الميلان الموازي للاخاديد، لتبيان تأثير زاوية السقوط بغض النظر عن تأثير الاخاديد. ومن المفيد الإشارة الى ان هذا التصميم طبق لثلاثة نماذج من الاخاديد وهي:

### 2.8.1 النموذج الاول : خلية شمسية ذات اخاديد مثلثة الشكل من السيليكون ثابتة على السطح العلوي

وتمتد على طول الخلية، كما مبين بالشكل (2.4). تتميز هذه الاخاديد بتغير اتجاه هذه الاشعة الساقطة عليها وصولاً الى زاوية اكبر من الزاوية الحرجة للحصول على انعكاس داخلي كلي، ومن الممكن ان تتكرر هذه الانعكاسات على السطوح الداخلية للخلية، وتقاس عدد الانعكاسات الداخلية المتكررة عن طريق الكاشف من خلال عدد الاشعة الواصلة اليه. فيكون طول المسار البصري دالة لعدد الانعكاسات بحسب العلاقة الآتية:

$$L = 2R^1 \dots \dots \dots (2 - 1)$$

## الفصل الثاني التصميم البصري

حيث ان (L) يمثل طول المسار البصري

وان (R) تمثل عدد الاشعة الساقطة على الكاشف

وهذه المعادلة تطبق على كل النماذج المستخدمة،

ان ابعاد الاخدود الواحد تتمثل بأرتفاع الاخدود (Z) وعرض الاخدود (W) التي تحدد شكل

الاخدود من خلال النسبة (Z / W) والتي تسمى نسبة المظهر التي لها دور كبير في تغيير اتجاه

الاشعة الداخلة الى الخلية، وبالتالي تحدد عدد الانعكاسات الداخلية في الخلية وبالنتيجة تحدد كفاءة

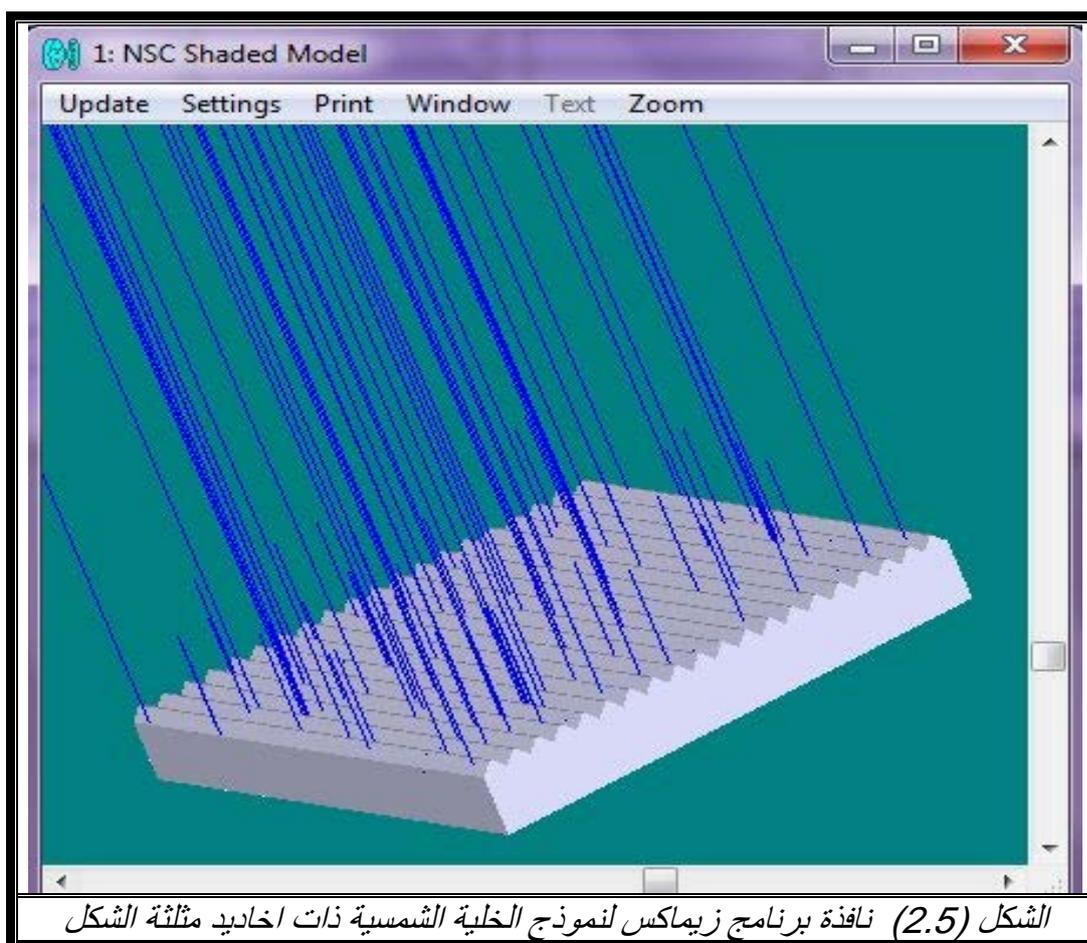
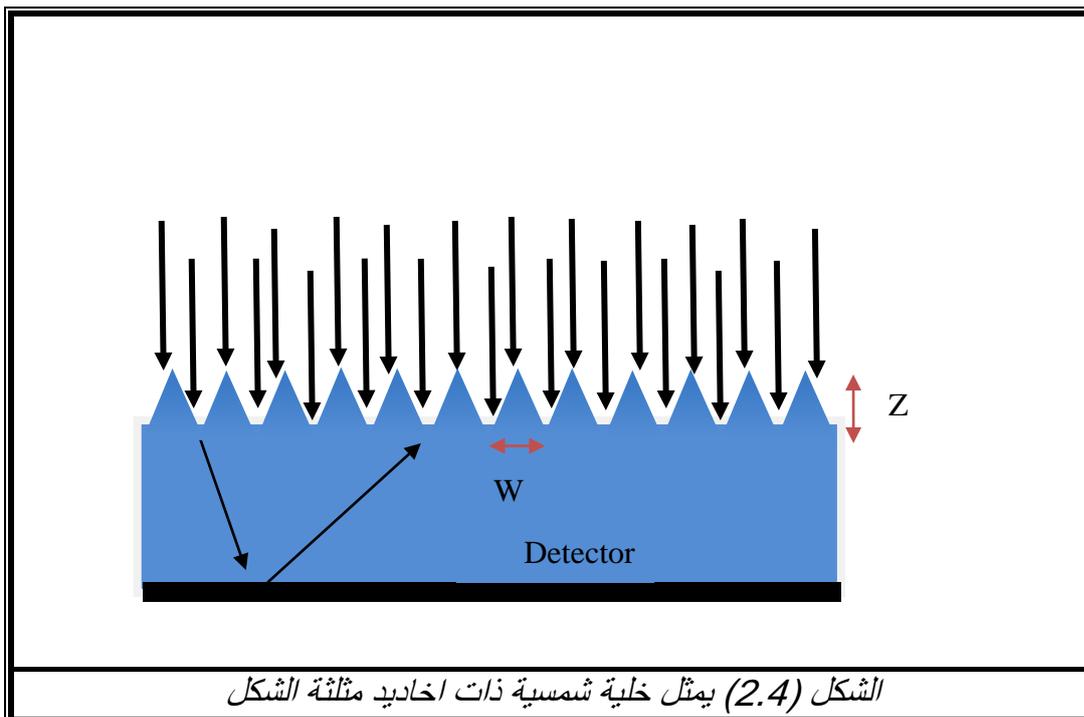
الخلية.

ويبين الجدول (2.2) ابعاد الخلية وخصائصها:

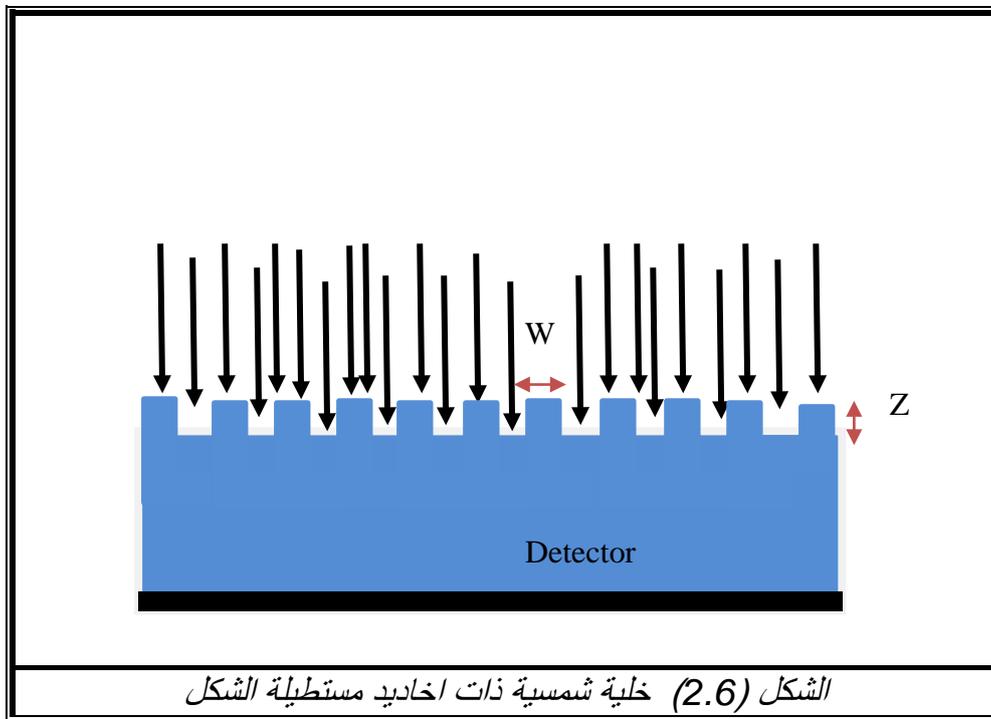
جدول (2.2) معاملات الخلية الشمسية ذات الاخاديد المثثة	
الخصائص	المعامل
ضوء الشمس	المصدر
السيليكون	نوع المادة
10 cm x 10 cm	فتحة الادخل
متغير	عدد الاخاديد
مربعة	شكل فتحة الادخل
(10 x 10 x 1) cm	ابعاد الشريحة

نلاحظ عند زيادة نسبة المظهر يزداد عمق الاخاديد، لذا تتغير اتجاهات الاشعة المنكسرة منها الى داخل الخلية فيؤثر على المسار البصري داخل الخلية ونتيجة لذلك تتغير كفاءة الخلية بحسب نسبة المظهر.

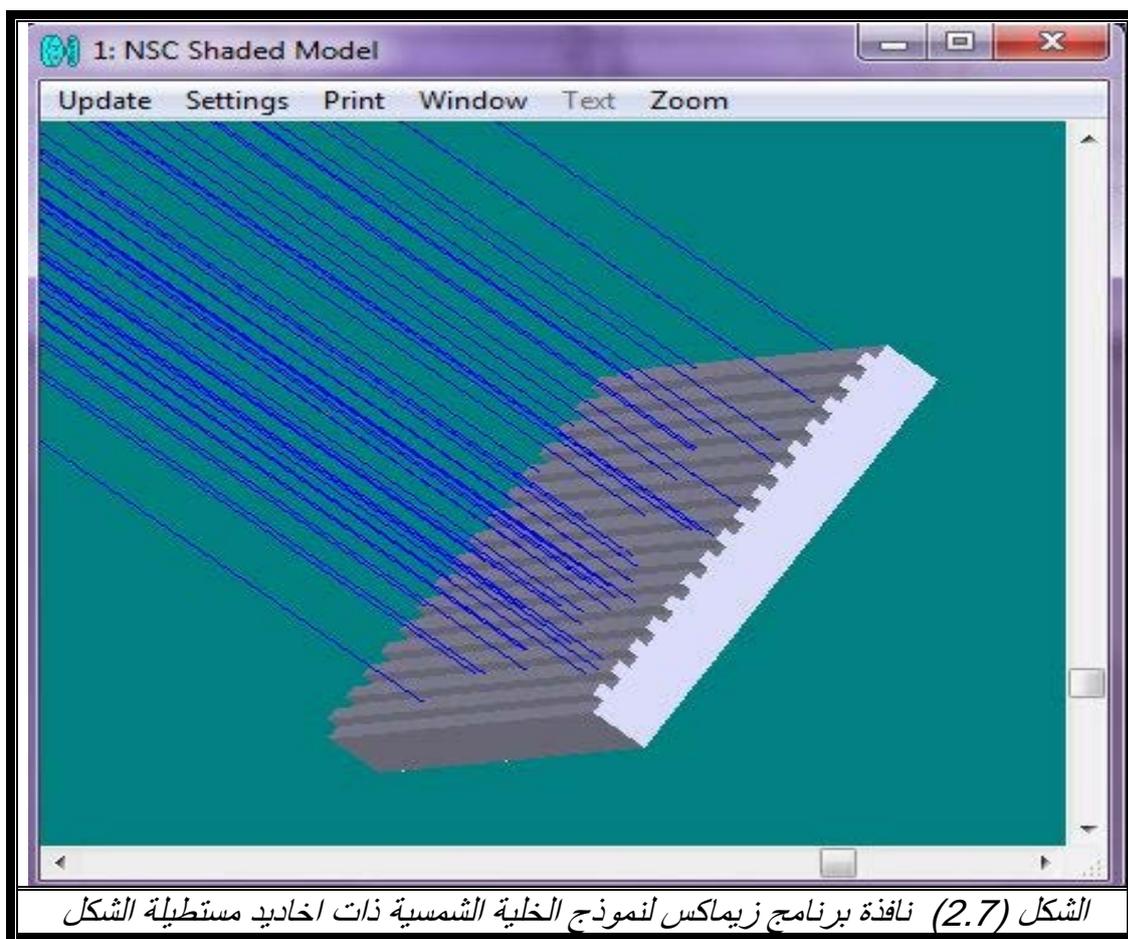
اختيرت ابعاد الخلية (10 X10) cm لكون الابعاد مناسبة للتصاميم العلمية وكذلك لقياس مستوى تأثير الاشعة على النموذج المصغر، لذا فإنه تم قياس كفاءتها، وكذلك تم استخدام السمك (1)cm لمراعاة ارتفاع الاخاديد حتى يكون التصميم متناسقا، وكذلك الحصول على انعكاسات داخلية بنسبة كبيرة عن طريق الوصول الى الزاوية الحرجة.



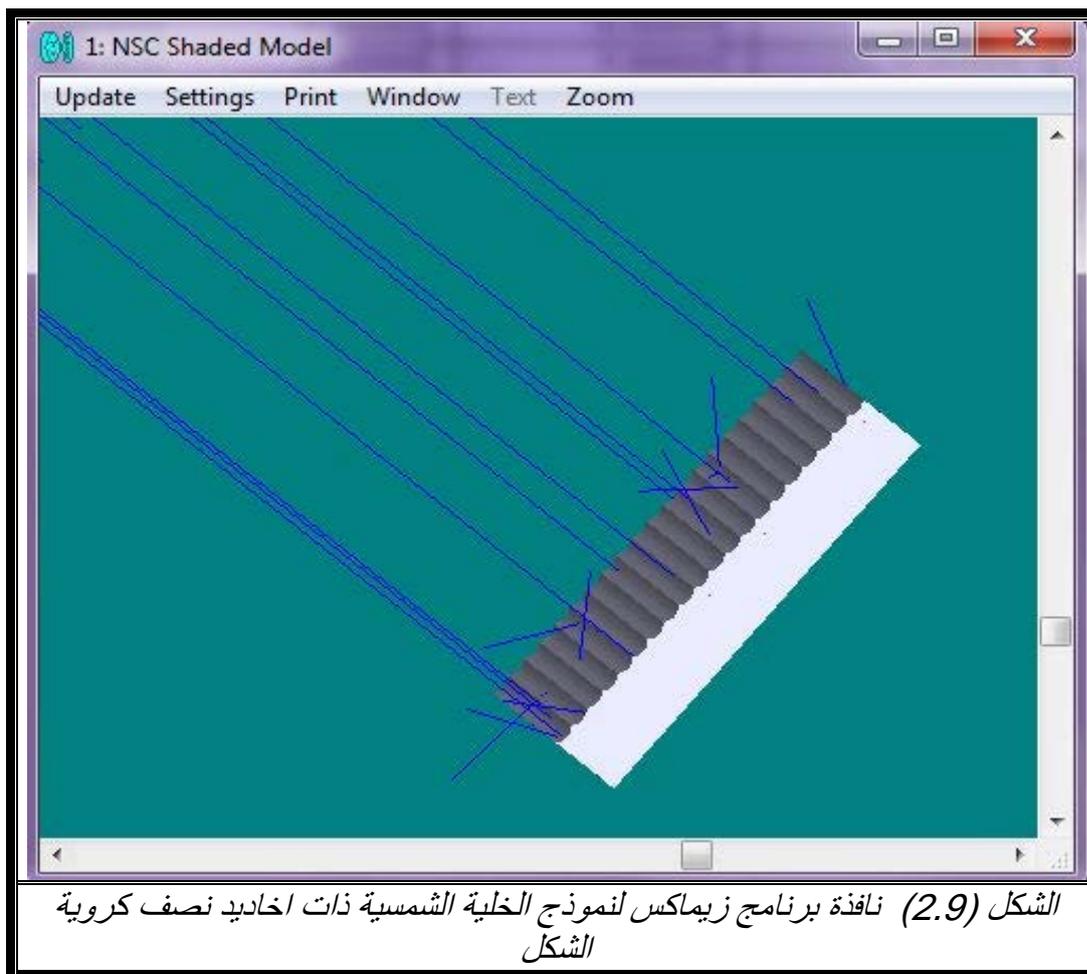
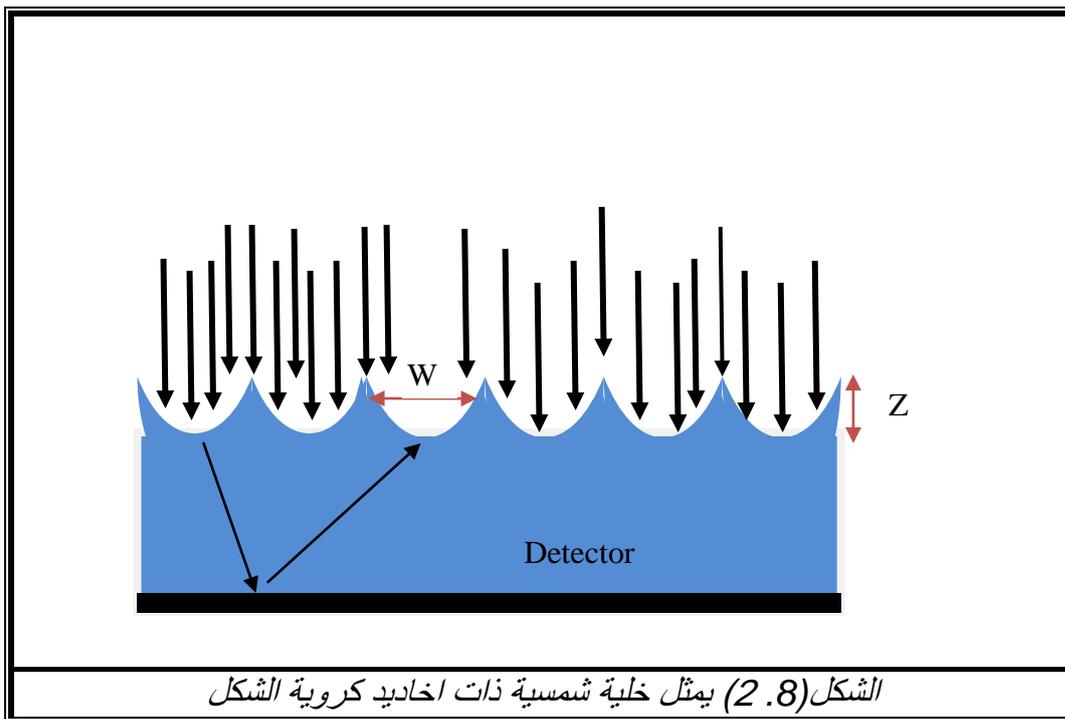
**2.8.2 النموذج الثاني :** يمثل هذا النموذج خلية شمسية ذات اخاديد مستطيلة على السطح العلوي تمتد على طول الخلية، كما مبين بالشكل (2.6). تتميز هذه الاخاديد بتغير اتجاه هذه الاشعة الساقطة عليها وصولا الى زاوية اكبر من الزاوية الحرجة للحصول على انعكاس داخلي كلي، ومن صفات هذا التصميم ان الاشعة لايتغير اتجاهها اذا كانت تسقط بصورة عمودية على النموذج بسبب شكل التصميم ذي الاخاديد غير المائلة، ولكن نحصل على تغير في مسار الاشعة عند استخدام زاوية مائلة.



الشكل (2.6) خلية شمسية ذات اخاديد مستطيلة الشكل



**2.8.3 النموذج الثالث :** وفيه خلية شمسية ذات احاديذ نصف كروية على السطح العلوي تمتد على طول الخلية كما مبين بالشكل (2.8). تتميز هذه الاحاديذ بتغير اتجاه هذه الاشعة الساقطة عليها وصولا الى زاوية اكبر من الزاوية الحرجة للحصول على انعكاس داخلي كلي.



## الفصل الثاني التصميم البصري

حساب نسبة المظهر للاخدود بال (Aspect Ratio (A.R)) وهي عبارة عن قيمة معينة تعتمد على المسافة بين حافتي الاخدود الواحد وارتفاع هذه الحافة عن قعر الاخدود وتمثل المعادلة الآتية :

$$(A.R = Z / W) \dots \dots \dots (2 - 2)$$

$$(W = 2r) \dots \dots \dots (2 - 3)$$

هنا تجدر الاشارة اليه ان النموذج الثالث يكون ارتفاع الاخدود (Z)، ويمكن لنا ان نحدده من خلال علاقة رياضية تعتمد على نصف قطر التكور على النحو الآتي :

$$(Z = (1 / R) * (r^2 / (1 + (r^2 / R^2)^2))) \dots \dots \dots (2 - 4)$$

$$r = \text{نصف قطر فتحة الاخدود}$$

$$Z = \text{ارتفاع حافة الاخدود عن القعر}$$

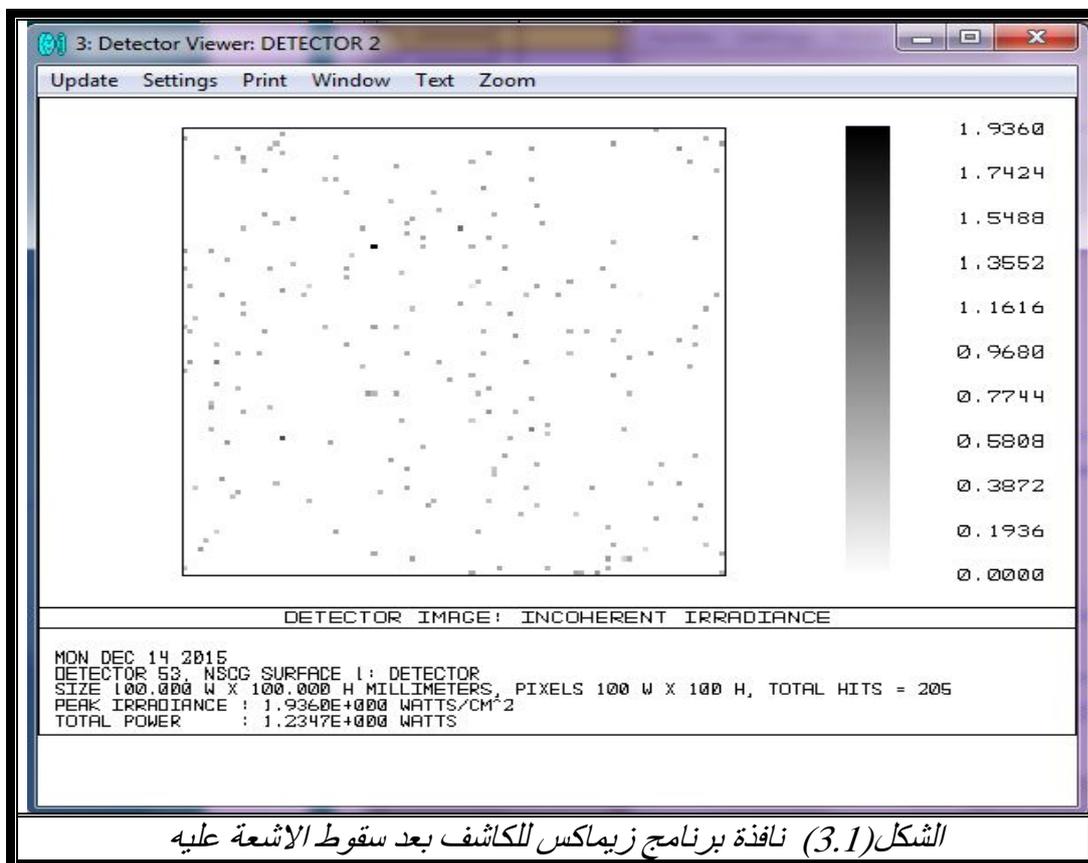
$$W = \text{المسافة بين حافتي الاخدود}$$

$$R = \text{نصف قطر التكور للعدسة}$$

تبين لنا المعادلات اعلاه ان العلاقة بين عامل المظهر وعدد الاشعة الساقطة على الكاشف هي التي تحدد كفاءة الخلية.

## 3.1 المقدمة Introduction :

يتضمن هذا الفصل عرض النتائج التي تم الحصول عليها من خلال دراسة الخلايا الشمسية وكيفية تصميمها ، ودراسة نسبة المظهر للتصميم، وعدد اسقاط الاشعة على الكاشف لكل تصميم ومناقشة هذه النتائج، وتتضمن التصميمات اعداد ذات اشكال مثلثة، مستطيلة، ونصف كروية. تم دراسة تصميم الخلية الشمسية وعمل نماذج مختلفة للمقارنة بين كفاءات كل نموذج، وتمثل الكفاءة عدد الاشعة الساقطة على الكاشف بالنسبة الى عدد الاشعة المستخدمة وهي (1000) شعاع، وهو معيار لكل قراءات الكاشف المستخدم في برنامج المحاكاة (ZEMAX) ، وصممت نماذج الخلية الشمسية لقيم مختلفة من نسبة المظهر للاعداد وهي (0.5 – 0.6 – 0.7 – 0.8 – 0.9 – 1 – 1.2 – 1.4 – 1.6 – 1.8 – 2) لكل نموذج. تم تصميم ثلاثة نماذج من الخلايا الشمسية وكل نموذج يمتلك شكلا لاخاديد مختلفة على السطح، ويوجد اسفل كل خلية كاشف صمم خلال البرنامج له ابعاد الخلية نفسها يوضع مباشرة اسفل الخلية، كي يقيس عدد الاشعة الساقطة على الخلية التي تنفذ خلالها ، وهذا الكاشف هو عبارة عن كاشف متحسس للاشعة المرئية و تحت الحمراء الذي يتوافق مع نفاذية السيليكون، لكشف عدد الاشعة التي تصل الى الخلية التي تمثل نسبة كفاءة الخلية ، وهذا الكاشف له نافذة لعرض النتائج والقراءات لأكثر من نوع مثل: عدد اسقاط الاشعة، ومخطط توزيع الاستضاءة. والشكل (3.1) يبين نافذة برنامج زيماكس للكاشف.



## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

استخدم في تصميم الخلايا برنامج (زيماكس) لنمط تتبع الأشعة غير المتسلسل الذي يتيح استخدام الكاشف بحيث يتتبع الأشعة لحين وصولها للكاشف بعد حدوث الانعكاسات الداخلية المتكررة. ان فكرة عمل اخاديد فوق سطح الخلية هو لزيادة طول المسار البصري (زيادة الامتصاص) عن طريق تغيير مسار الأشعة داخل الخلية وصولا الى انعكاسات داخلية تتكرر داخل الخلية وتقليل الانعكاسية .

تم استخدام اشعة ساقطة عمودية على الخلية ومائلة عن الخلية فتأتي بصورة موازية للاخاديد مرة وبصورة تقاطع الاخاديد مرة اخرى.

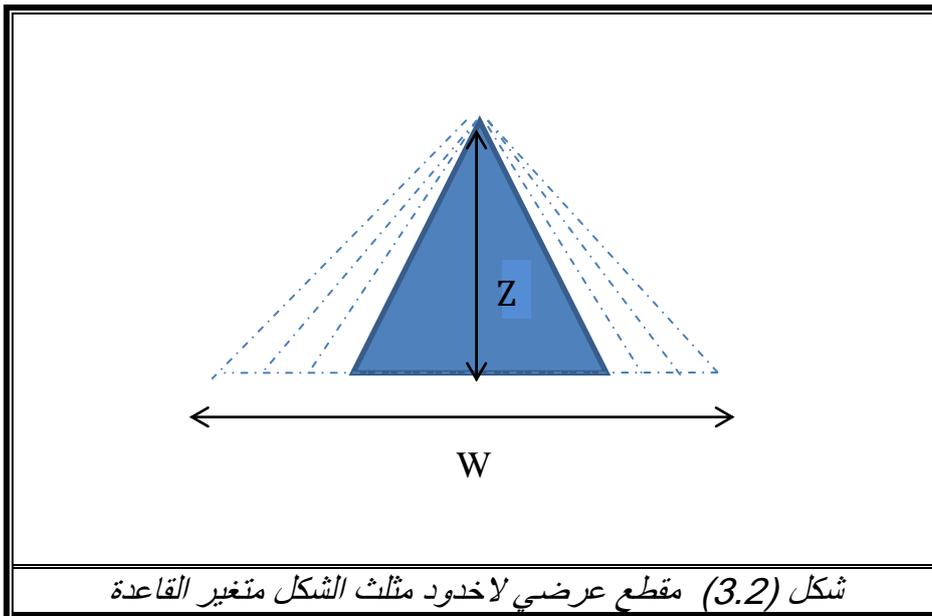
استعمل في هذا البرنامج مصدر (ضوء الشمس) الذي يتضمن الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي الذي يتوافق مع مدى النفاذية لمادة السيليكون [83,82] المصنوعة منها الخلية لدراسة تأثير ميلان الأشعة على محوري الخلية تسقط بصورة عمودية على الشريحة مرة وتسقط بصورة مائلة توازي الاخاديد مرة اخرى بزوايا من ( $10^{\circ}$  -  $80^{\circ}$ )، وذلك لتبيان تأثير ميلان الشعاع الشمسي في كفاءة الخلية ومعرفة زاوية القبول الخاصة بالنموذج المستعمل.

### 3.2 خلية شمسية ذات اخاديد مثلثة الشكل :

يعد استخدام اخاديد مثلثة على سطح الخلية من التصاميم الشائعة لسهولة التصنيع لها وقوة التأثير المتمثلة في زيادة كفاءة الخلية [85,84]. وقد استخدم في هذا العمل نموذج لاخاديد متغيرة نسبة المظهر اي متغيرة العرض والارتفاع للمقطع العرضي لشكل الاخدود، واستخدم نموذجان الاول: يكون متغير القاعدة السفلية للمثلث، والاخر: هو متغير عرض رأس المثلث للحصول على مقارنة بين النموذجين.

#### 3.2.1 اخاديد مثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة :

تصميم النموذج هو مثلث يتغير بحسب قيم نسبة المظهر ولكل قيمة من نسبة المظهر تتغير قاعدة المثلث فقط بحيث عند زيادة نسبة المظهر يقل عرض قاعدة المثلث، فيكون طول الاخاديد متساويا مع طول الخلية وتكون بصورة ملامسة لسطح الخلية. والشكل (3.2) يبين مقطع عرضي لخدود مثلث الشكل متغير القاعدة.

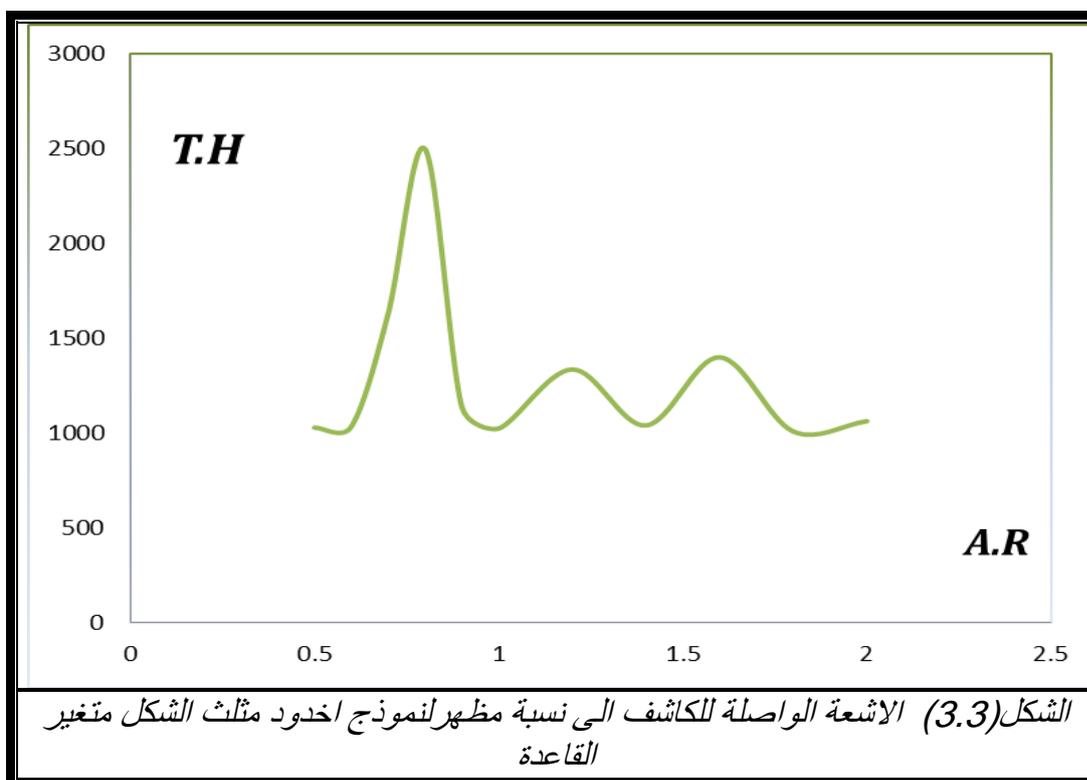


يبين الجدول (3.1) قيم ابعاد الآخدود، اذ يمثل (Z) (ارتفاع الآخدود)، ويمثل (W) (عرض الآخدود)، ويمثل (A.R) (Aspect Ratio = نسبة المظهر للآخدود)، وتمثل (T.H) (قراءة الكاشف) وهي عدد الأشعة الساقطة عليه نسبة الى العدد الاصلي للأشعة الساقطة على الخلية وهو (1000) شعاع.

الجدول (3.1) قراءة الكاشف الى نسبة المظهر لنموذج آخدود مثلث الشكل

Z	W	A.R	Total hit (T.H)
1	2	0.5	030
	1.66	06	1035
1	1.42	0.7	1630
1	1.25	0.8	2500
1	1.11	0.9	1140
1	1	1	1025
1	0.83	1.2	1337
1	0.714	1.4	1041
1	0.625	1.6	1401
1	0.555	1.8	1010
1	0.5	2	104

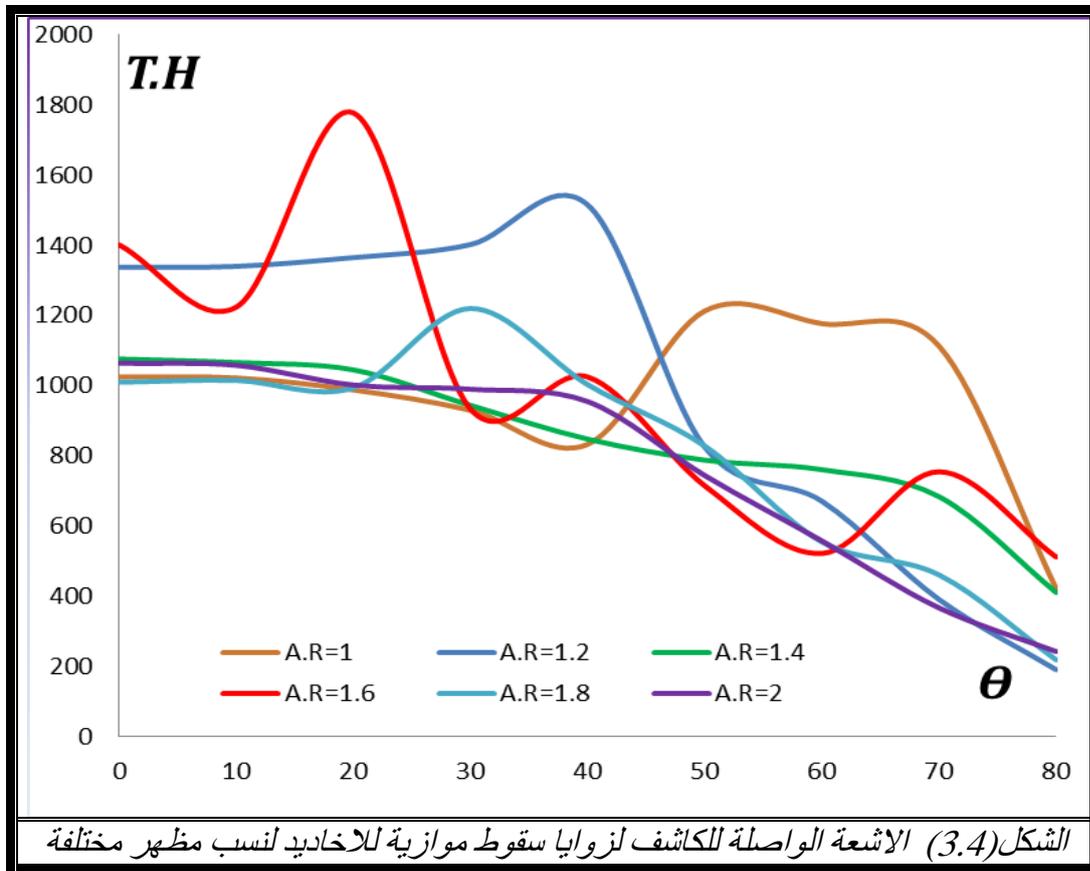
يبين الشكل (3.3) العلاقة بين عدد الأشعة الساقطة على الكاشف ونسبة المظهر عند استخدام زاوية سقوط ( $\Theta = 0^\circ$ ) عمودية، حيث يبين تذبذب قراءة الكاشف لقيم مختلفة من نسبة المظهر اي ان شكل الاخدود وابعاده له تأثير واضح على قراءة الكاشف. وسبب التباين في القيم يعود الى اختلاف ميلان زاوية المثلث في كل شكل والذي بدوره يؤثر على زاوية انكسار الأشعة داخل الخلية، وبذلك تتباين فرصة الحصول على زاوية حرجة اسفل الخلية التي تحقق بدورها انعكاس داخلي كلي اي تكرار ارتداد الأشعة داخل الخلية وهو ما يتحسس الكاشف من الأشعة. نلاحظ ان التصميم ذو نسبة المظهر (0.8) يمتلك اكبر عدد من الأشعة الواصلة للكاشف (2500) شعاع، لذلك يعد انسب تصميم قياسا لبقية النماذج لنسب المظهر الاخرى، حيث نجد بقية القيم لنسبة المظهر تكون متباينة بالقيمة.



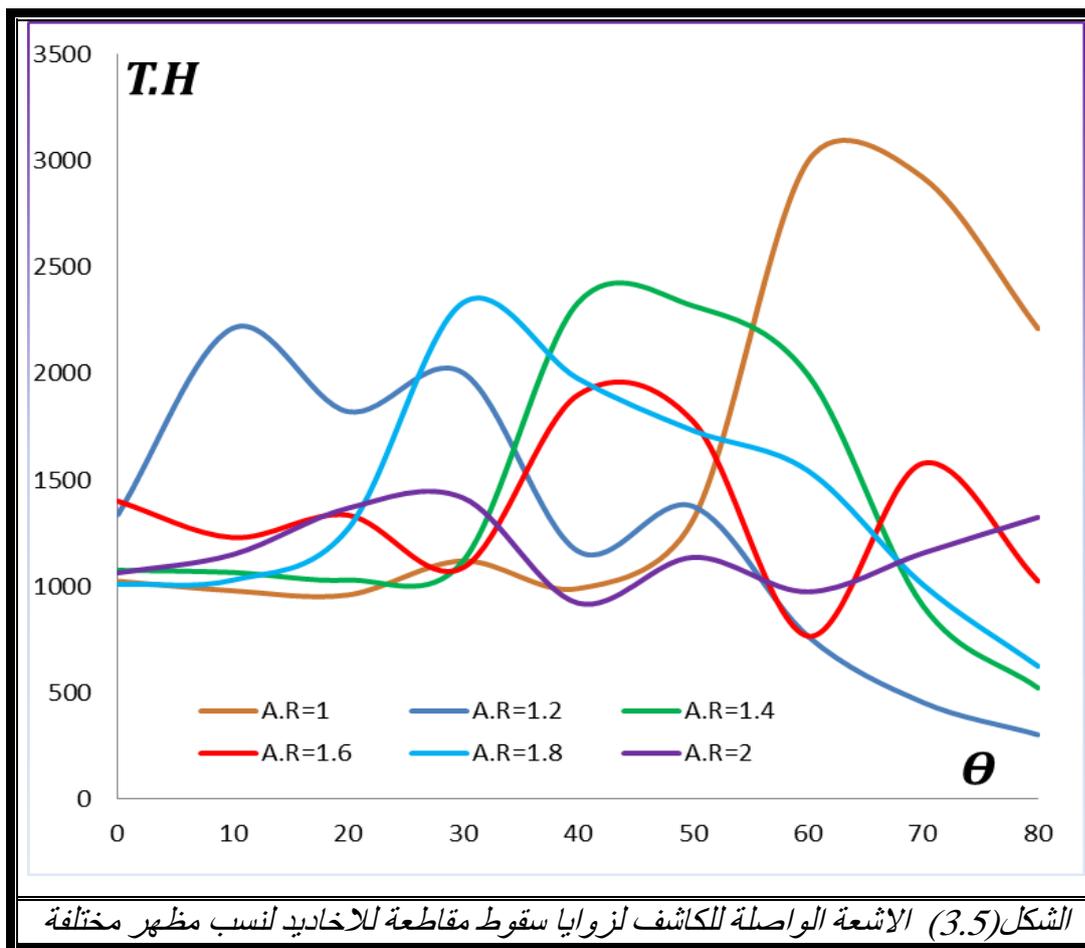
يبين الشكل (3.4) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لزاويا سقوط مختلفة على الخلية وبميلان يتوازي مع الاخاديد لدراسة تأثير زاوية السقوط على الخلية ومعرفة زاوية القبول لكل نموذج مستخدم. والجدير بالذكر ان تأثير الزاوية يعد من المسائل الحيوية والتطبيقية المهمة عند دراسة الخلايا الشمسية على اعتبار تعرض الخلية لاشعة الشمس على مدار ساعات النهار بزاوية تختلف تدريجيا.

## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

ويبين الشكل انحدارا تدريجيا من اعلى قيمة لقراءة الكاشف عند الزاوية ( $\theta = 0^\circ$ ) لاغلب النماذج المستخدمة ذات نسب المظهر المختلفة وصولا الى الزاوية ( $\theta = 80^\circ$ )، حيث يكون ميلان اشعة الشمس قريبا للافق، وهذا الامر طبيعي على اعتبار زيادة زاوية السقوط تؤدي الى انحراف اكبر لزاوية الانكسار في الخلية، ولذا ينتشت الضوء دون الوصول الى انعكاسات داخلية كافية، ولذلك تقل قراءة الكاشف. نلاحظ ان المنحني ذي نسبة المظهر (1.6) ويمتلك اعلى قيمة للاشعة الواصلة للكاشف (1800) شعاع عند الزاوية ( $20^\circ$ )، في حين المنحني ذا نسبة المظهر (1.2) ويمتلك (1400) شعاع عند الزاوية ( $40^\circ$ )، اما قيم بقية المنحنيات فتكون متشابهة تقريبا بحيث كلما زادت الزاوية قلت عدد الاسقاطات.



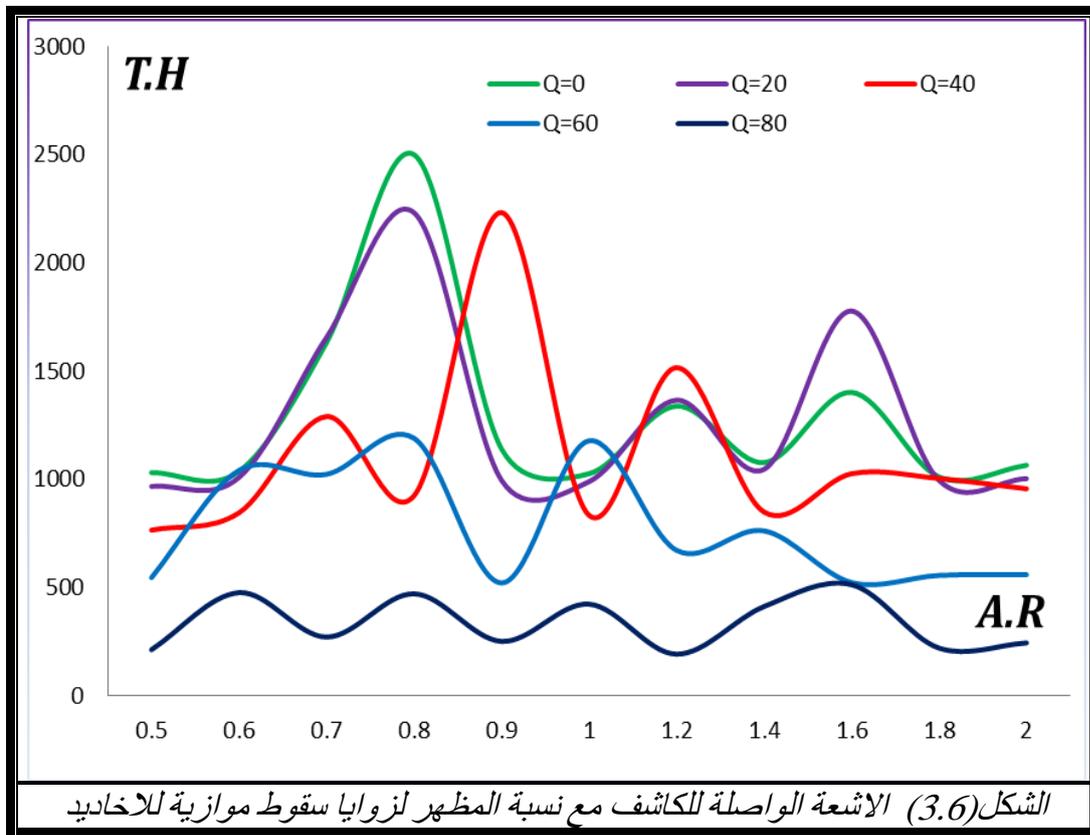
يبين الشكل (3.5) الاشعة الواصلة للكاشف لزوايا سقوط مختلفة على الخلية ولنسبة مظهر معينة، حيث يكون ميلان الزاوية بصورة تتقاطع مع الاخايد، اذ نلاحظ ان قيم عدد الاشعة الواصلة للكاشف افضل من حالة الشكل (3.4) ونلاحظ تباين المنحنيات اذ ان اعلى قيمة للاشعة الواصلة هي اكثر من (3000) شعاع للمنحني ذي نسبة المظهر (1) عند الزاوية ( $60^\circ$ )، ونلاحظ المنحني ذي نسبة المظهر (1.8, 1.4) انها متقاربة القيم وهي (2500) شعاع عند الزاوية ( $30^\circ, 40^\circ$ ) على التوالي، اما بقية المنحنيات فتكون متباينة القيم.



ان الفرق بين الشكلين (3.4) و (3.5) هو ان الشكل (3.5) اعطى قيمة للأشعة الساقطة على الكاشف اكثر، لان سقوط الأشعة على الخلية تتأثر بوجود الاخاديد، حيث كانت الأشعة مائلة بزوايا تتقاطع مع الاخاديد وتأثرها بزوايا الانكسار، وبالتالي اصبح عدد الأشعة الواصلة للكاشف اكثر من العدد الاصلي، بينما الشكل (3.4) اذ كان تأثير الاخاديد فيه اقل، لكون الأشعة بموازية الاخاديد.

## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

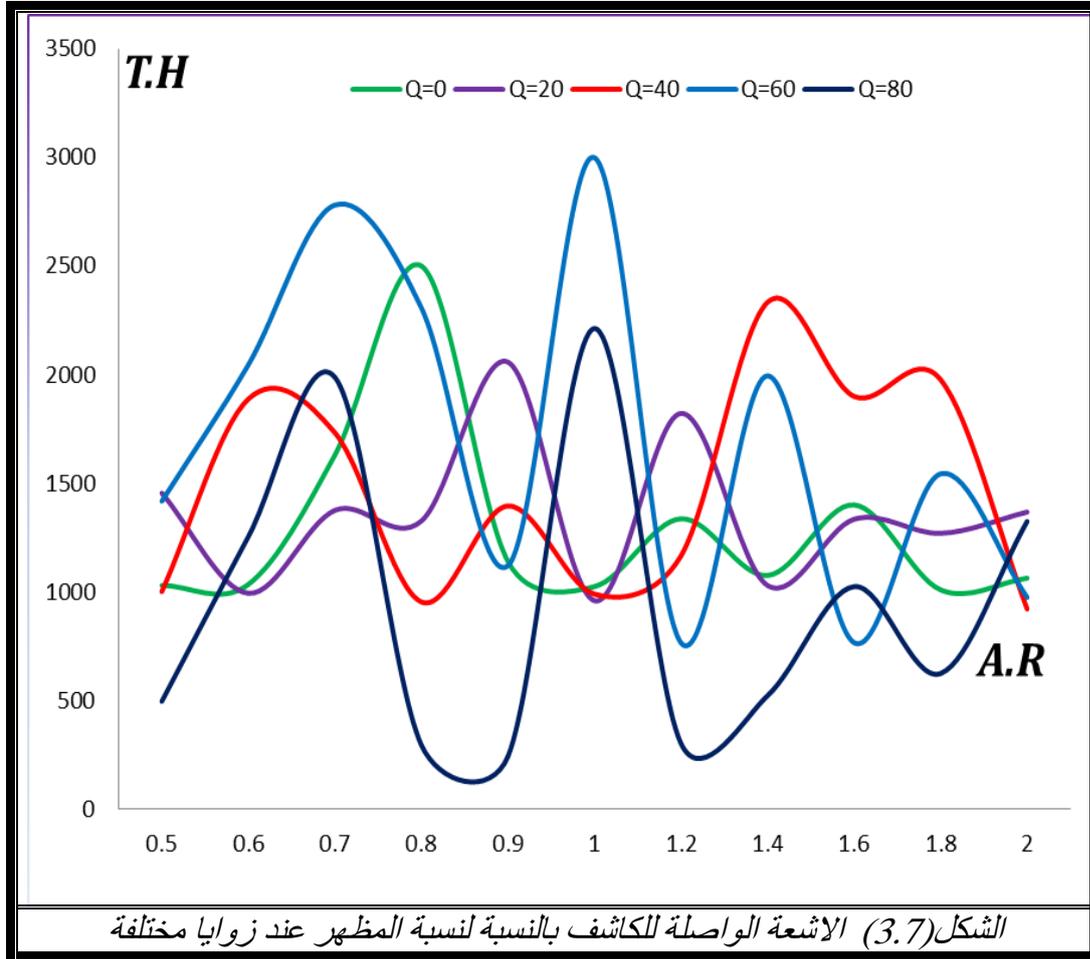
يمثل الشكل (3.6) العلاقة بين عدد الأشعة الواصلة للكاشف مع نسبة المظهر بالنسبة لزوايا السقوط عندما يكون المصدر مائلا عن الخلية بحيث يتوازي مع الاخاديد، اذ يتبين ان الزوايا ( $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ) تصل الى اكثر من (2400) شعاع عند نسبة المظهر (0.7)، وتعد هذه افضل من بقية الزوايا، ان هذا ادى الى ارتفاع قيمة قراءة الكاشف، وبسبب ان الاشعة الساقطة على الخلية تأثرت بالاخاديد مما ساعد على حدوث انكسارات في الاشعة، كذلك مما ادى الى حدوث انعكاسات داخلية ساعد في زيادة الاشعة الواصلة للكاشف ونلاحظ ان النموذج اسهم في زيادة عدد الاشعة الواصلة للكاشف وبالتالي زيادة كفاءة الخلية. اما بقية الزوايا فتعد غير مناسبة، وذلك لانها تعطي قيمة قليلة لقراءة الكاشف.



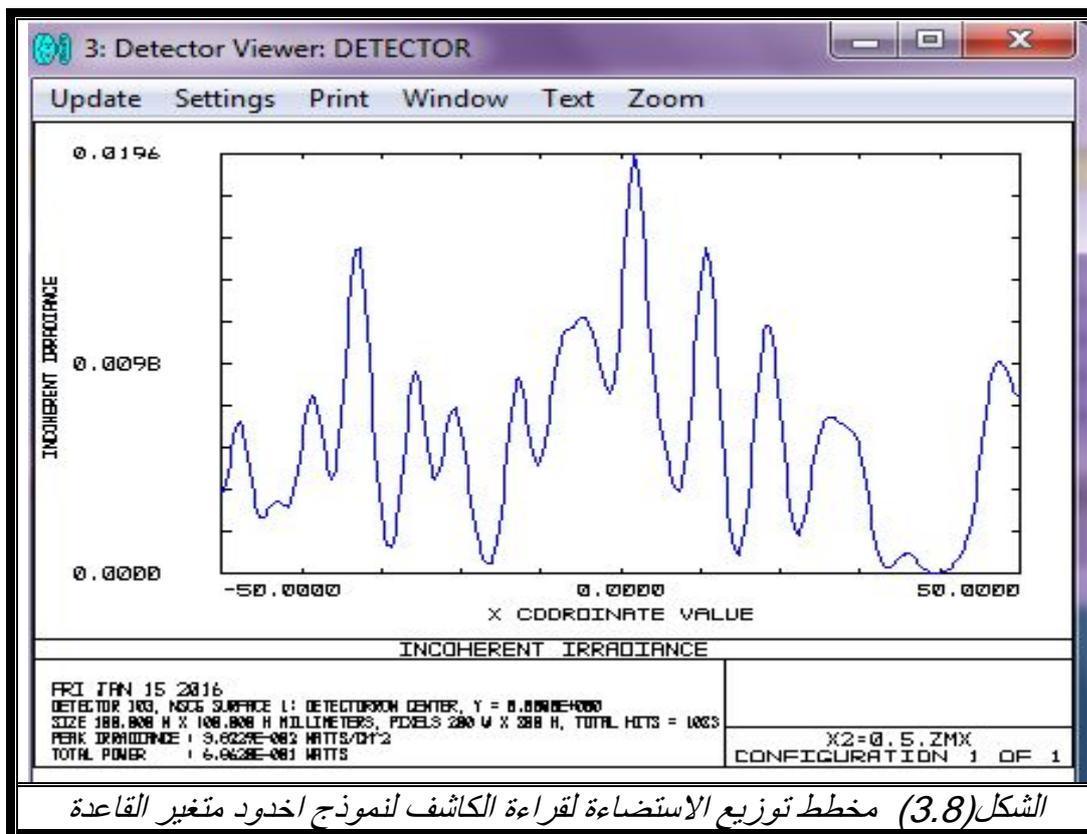
يمثل الشكل (3.7) العلاقة بين عدد الاشعة الواصلة للكاشف مع نسبة المظهر لزوايا سقوط مختلفة عندما يكون المصدر مائلا عن الخلية، حيث يكون بصورة تتقاطع مع الاخاديد، اذ يتبين ان الزاوية ( $60^\circ$ ) تصل الى اكثر من (3000) شعاع عند نسبة المظهر (1) وايضا نحو (2700) شعاع عند نسبة المظهر (0.7)، وتعد افضل من بقية الزوايا حيث تعطي قيمة عالية لاكثر من نسبة مظهر، اما بقية الزوايا فتعطي قيمة متباينة، لكنها تعد جيدة ولاكثر من نسبة مظهر. ان تأثير الاخاديد

## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

على الأشعة عندما تكون الأشعة بصورة تتقاطع معها أكثر مما لو كانت توازيها، حيث سبب في حدوث انعكاسات داخلية، مما أدى إلى زيادة عدد الإسقاط أي زيادة الكفاءة للخلية.



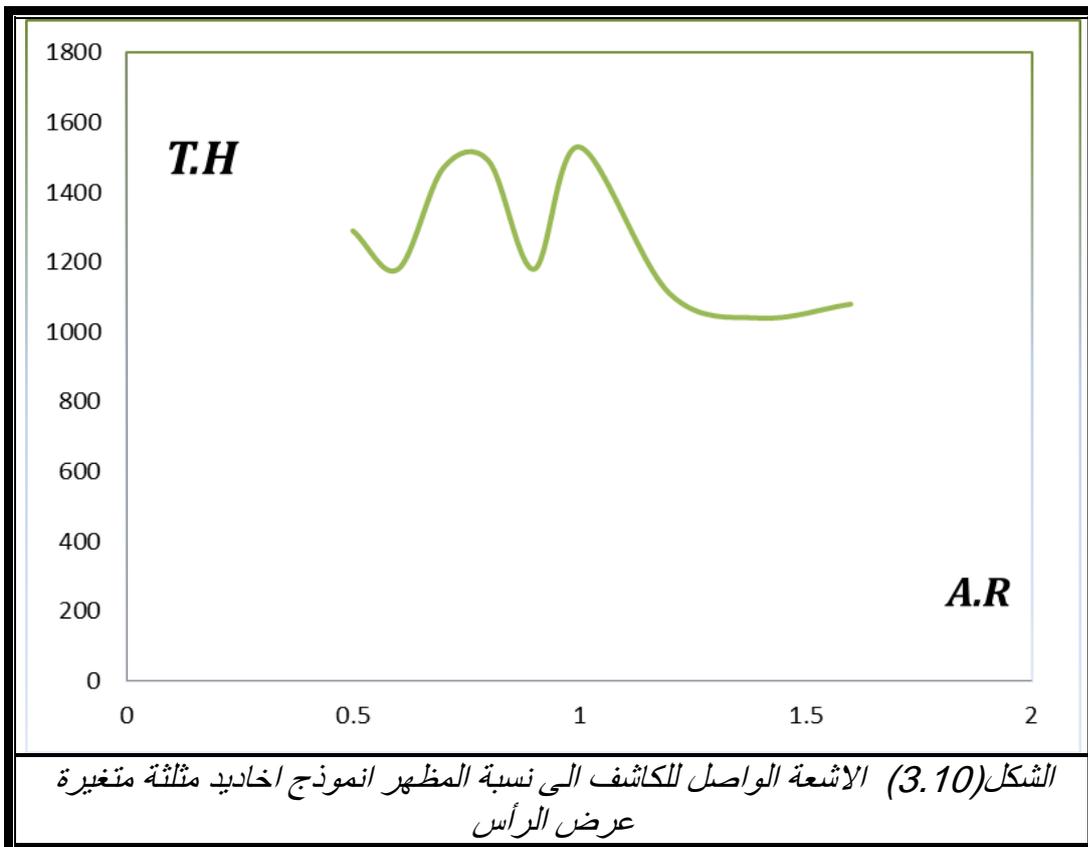
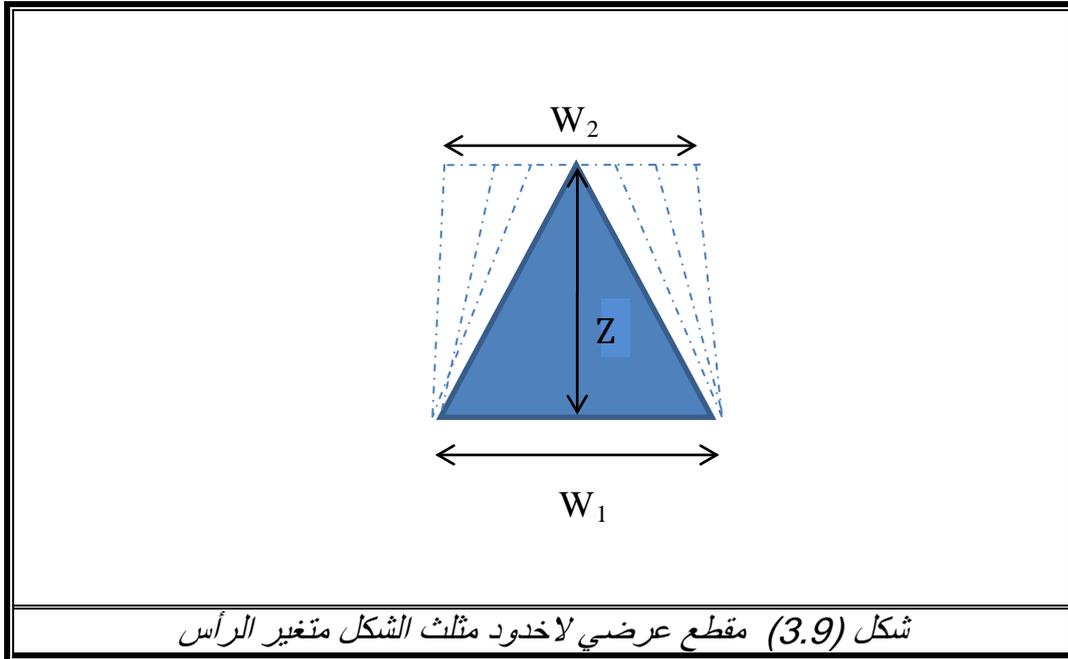
ان دراسة توزيع الاستضاءة على مستوى الكاشف من المسائل المهمة لتقييم كفاءة الخلية الشمسية. على اعتبار ان توزيع الاستضاءة بشكل منتظم على سطح الكاشف يبين تساوي توزيع الأشعة على طول الخلية، ولذا فإنه يعطي فكرة عن تفاعل الفوتونات مع كل اجزاء مادة شبه الموصل للخلية الشمسية. الشكل (3.8) يبين توزيع الاستضاءة في مستوى الكاشف على محور واحد فقط ( محور X ) بسبب تناظر المحورين (X , Y) وكون شكل الكاشف مربعاً، فلذلك اقتصرت القراءة على محور (X) الذي يبين تفاوتاً طفيفاً في توزيع الاستضاءة والذي يبين انتشار الأشعة على محور الخلية بصورة منتظمة أي وصول الأشعة إلى كل اجزاء الخلية.



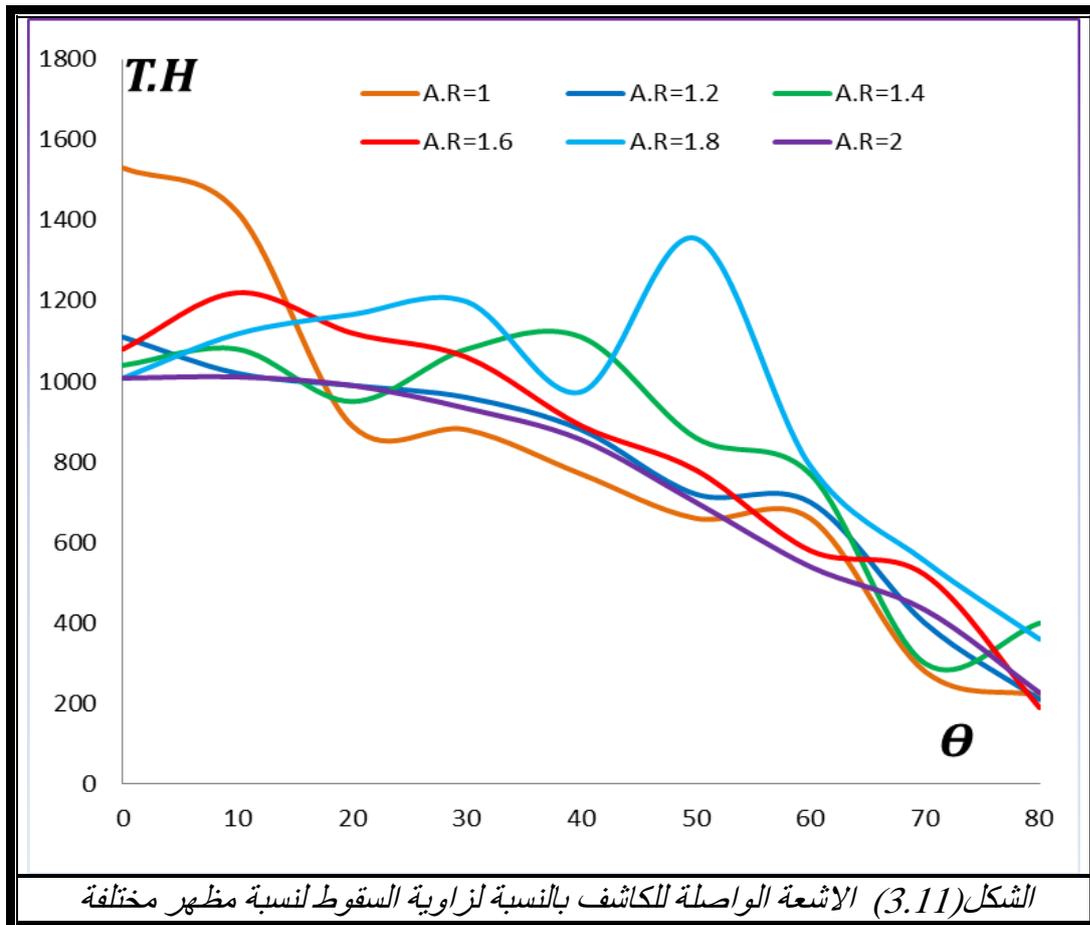
### 3.2.2 اخاديد مثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس :

يكون تصميم اخاديد هذا النموذج مثلث الشكل حيث يتغير بحسب قيم نسبة المظهر، ولكل قيمة من نسبة المظهر فإنها تتغير عرض رأس المثلث فقط، حيث عند زيادة نسبة المظهر يقل العرض، كما موضح في الشكل (3.9)، يكون طول الاخاديد متساويا مع طول الخلية وتكون بصورة ملامسة لسطح الخلية.

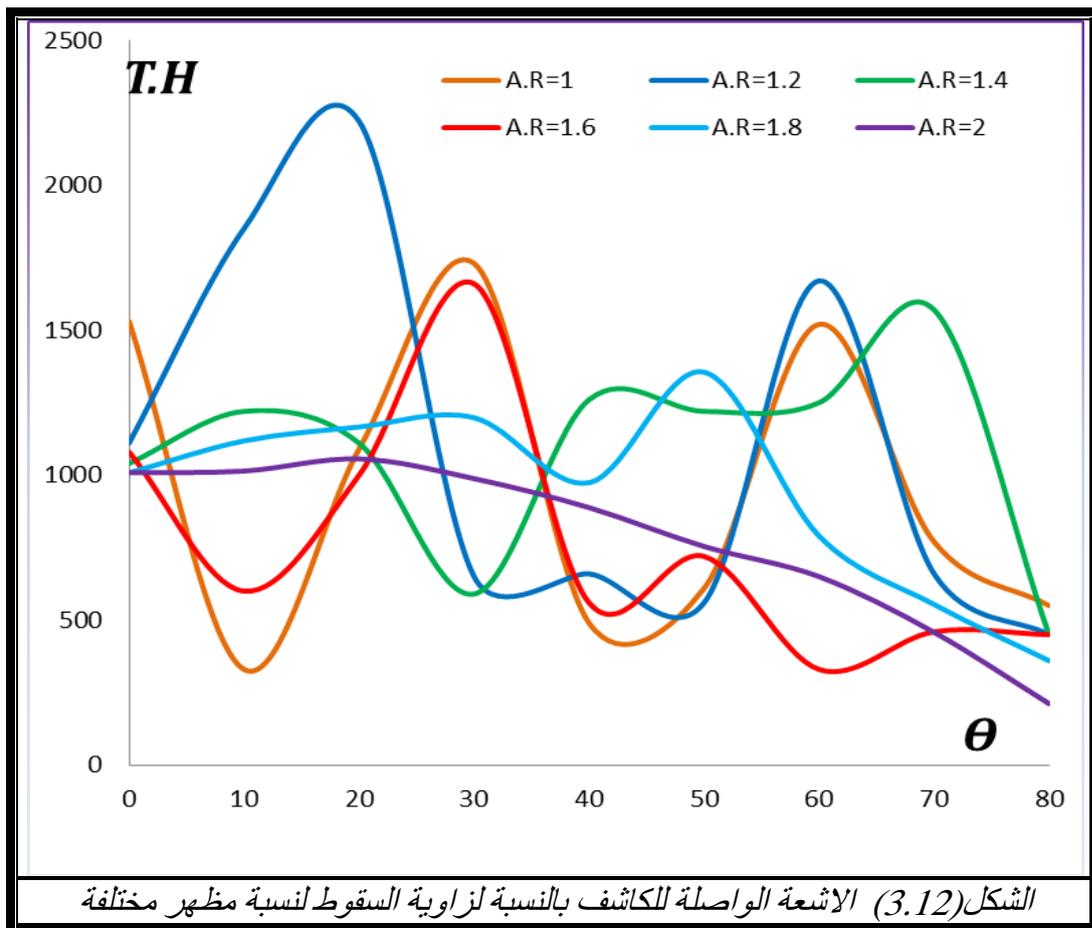
يبين الشكل (3.10) عدد الاشعة الواصلة للكاشف لنسبة مظهر مختلفة، حيث نلاحظ اعلى قيمة للاشعة تصل الى اكثر من (1400) شعاع عند نسبة المظهر (0.7, 1.4) فقط.



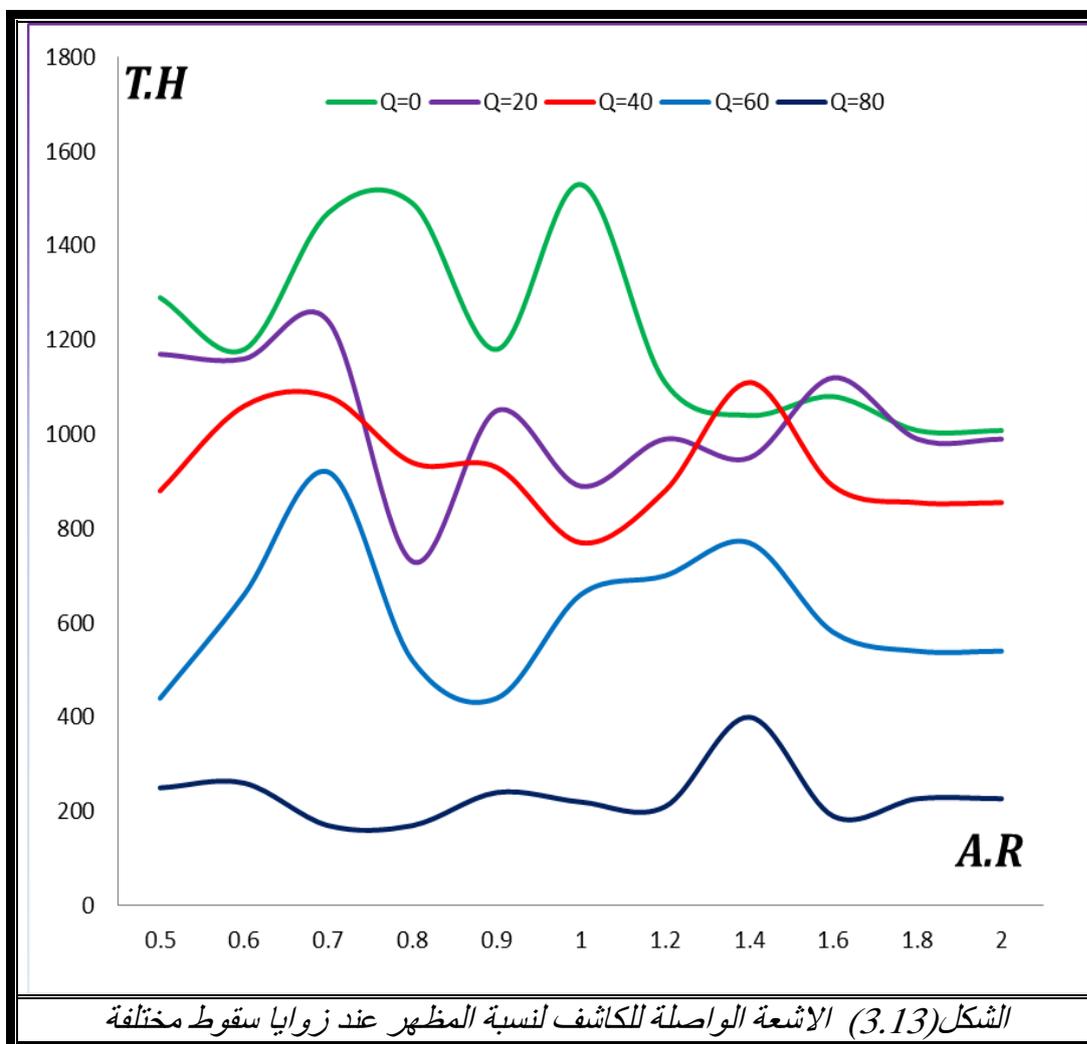
يبين الشكل (3.11) الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة مظهر معينة عند زوايا مختلفة حيث يكون ميلان الزاوية بصورة متوازية مع الاخاديد، اذ نلاحظ ان قيم عدد الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر (1) هي اعلى قيمة (1500) شعاع عند الزاوية ( $0^\circ$ )، ونسبة المظهر (1.8) عند الزاوية ( $50^\circ$ )، اما بقية المنحنيات فأنها تكون ذات قيم متقاربة وتقل كلما تزداد الزاوية. اي ان سقوط الأشعة على الاخاديد ادى الى حدوث انعكاسات داخلية، مما جعل عدد الأشعة الساقطة على الكاشف تزداد، لكن هذه الانعكاسات في هذا النموذج تكون اقل من الانعكاسات في نموذج الاخاديد ذات الشكل المثلث المتغير القاعدة. ونلاحظ كلما حدث انحدار في قيمة القراءة زادت قيمة الزاوية اي ان ميلان المصدر عن الخلية باتجاه يوازي الافق جعل امكانية وصول الأشعة للخلية بشكل اقل، حيث تحدث خسارة في الأشعة الواصلة للكاشف ولاتحدث انعكاسات داخلية كثيرة، مما يؤدي الامر الى انخفاض قيمة القراءة الى قيم اقل من عدد الأشعة الاصيلي.



يبين الشكل (3.12) الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة مظهر معينة عند زوايا مختلفة حيث يكون ميلان الزاوية بصورة تتقاطع مع الاخاديد، حيث نلاحظ قيم عدد الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر (1.2) هي اعلى قيمة (2400) شعاع عند الزاوية ( $50^\circ$ )، ونسبة المظهر (1) تكون قيمة عدد الاسقاط (1800) شعاع عند الزاوية ( $30^\circ, 60^\circ$ )، بسبب حدوث انعكاسات داخلية ادت الى حدوث هذه القيم ورفعتها عن القيمة الاصلية (1000) شعاع. اما بقية المنحنيات فتكون ذات قيم متباينة، لان في بقية الزوايا امكانية حدوث الانعكاسات الداخلية بصورة متفاوتة وتكون اقل، اي ان الأشعة الساقطة على الاخاديد تتأثر كثيرا لوجود الاخاديد وعدد الانعكاسات الداخلية اصبحت متفاوتة بصورة واضحة.

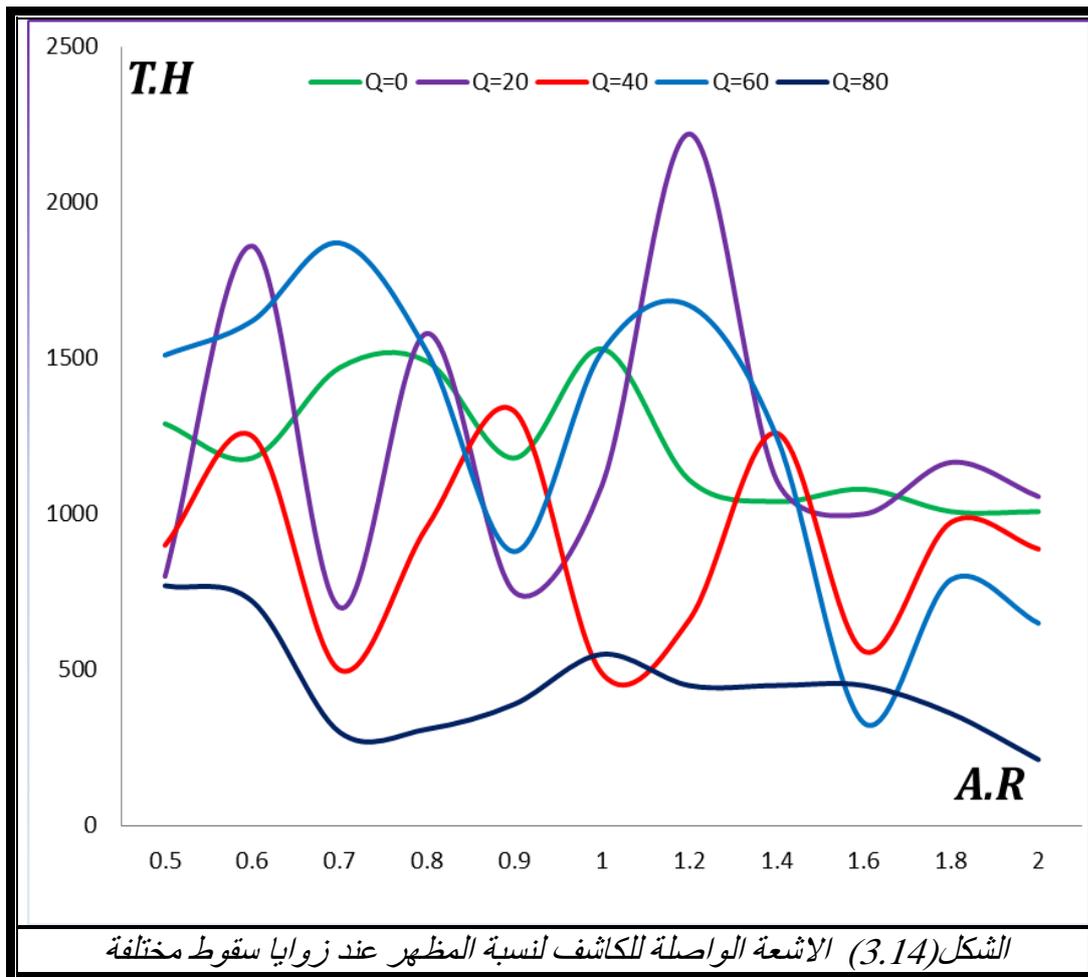


يبين الشكل (3.13) العلاقة بين عدد الاشعة الواصلة للكاشف لزوايا معينة عند قيم نسبة المظهر ويكون المصدر مائلا بصورة توازي الاخاديد، اذ نلاحظ انه عندما تزداد الزاوية تقل قيمها وتنخفض هذه القيم عندما تزداد قيم نسبة المظهر، وان الزاوية ( $0^\circ$ ) لها اعلى قيم لعدد اسقاط الاشعة وتكون لها اعلى قيمة (1500) شعاع عند نسبة المظهر (1).

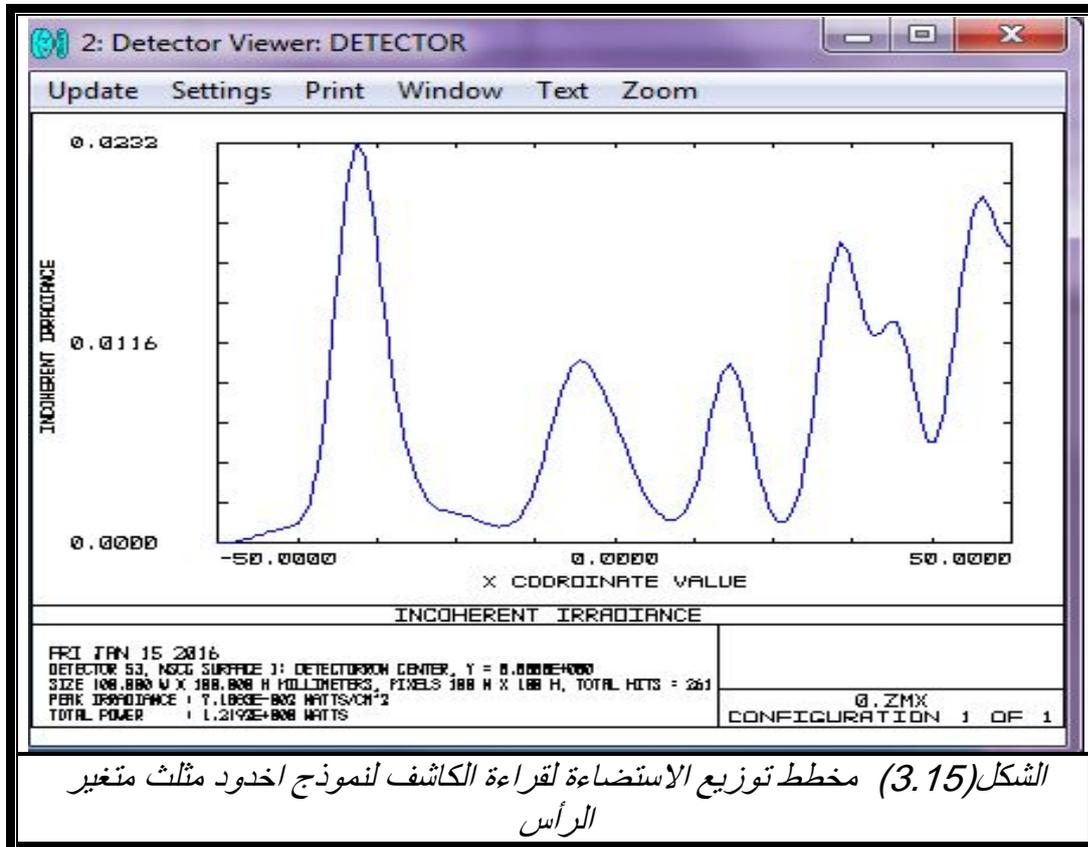


الشكل (3.13) الاشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا سقوط مختلفة

يبين الشكل (3.14) العلاقة بين عدد الأشعة الواصلة للكاشف لزوايا معينة عند قيم نسبة المظهر ويكون المصدر مائلا بصورة تتقاطع مع الاخاديد، حيث نلاحظ الزاوية ( $20^\circ$ ) تصل الى (2400) شعاع عند نسبة المظهر (1.2) وتتباين قيمها عند بقية قيم نسبة المظهر، ونلاحظ ايضا قيم عدد اسقاط الزاوية ( $60^\circ$ ) تصل الى (1900) شعاع عند نسبة المظهر (0.7)، اما بقية الزوايا فتتباين بالارتفاع والانخفاض عند قيم نسبة المظهر المختلفة. والمفيد الإشارة اليه انه نلاحظ بعض الزوايا ذات قيم لقراءة الكاشف تكون اقل من عدد الأشعة الاصيلي، لان هذه الزوايا اقتربت في ميلانها عن الخلية للافق، مما ادى الى انخفاض فرصة سقوط كل عدد الأشعة على الخلية وقلة حدوث الانعكاسات الداخلية.



يبين الشكل (3.15) مخطط توزيع الاستضاءة، حيث نلاحظ ان توزيع الاستضاءة على سطح الخلية متفاوتة قليلا بعد اخذ القراءة للكاشف ، وهو يدل على توزيع مناسب للاشعة على طول ابعاد الخلية .

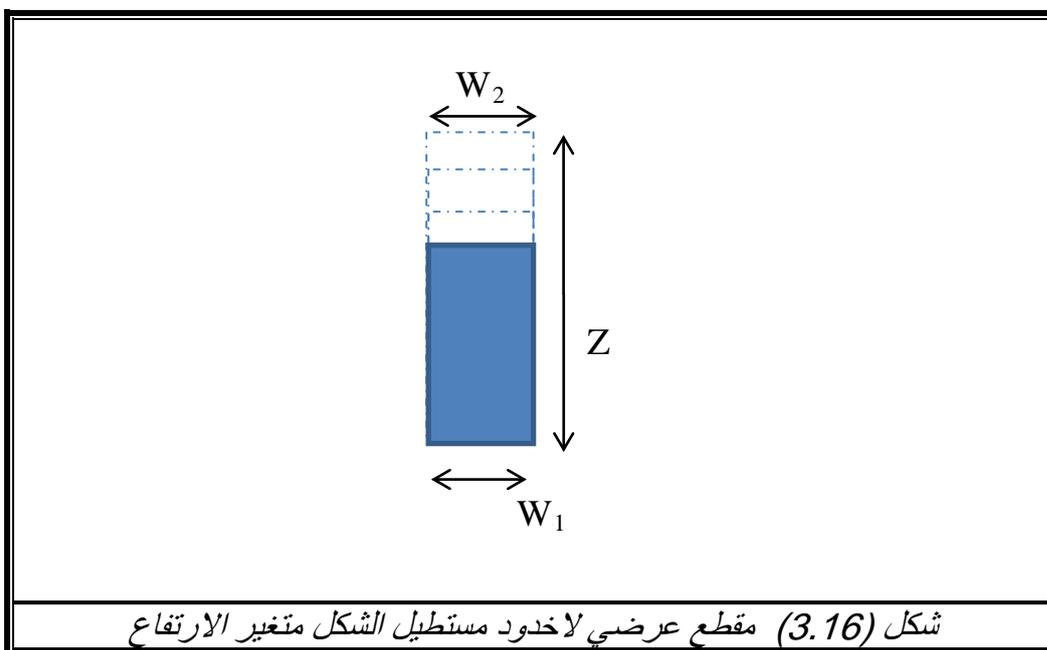


## 3.3 خلية شمسية ذات اخاديد مستطيلة الشكل:

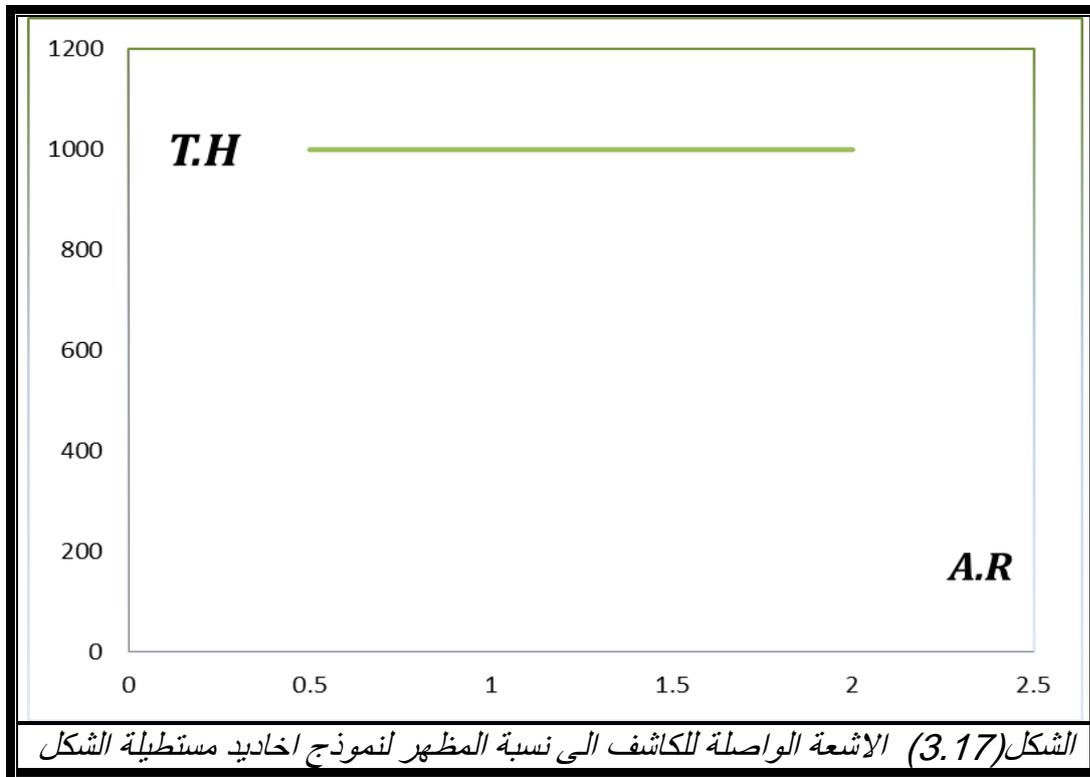
تم استخدام نموذجين في هذا التصميم لنسب مظهر مختلفة ، يعد النموذج الاول ذا اخاديد متغيرة الارتفاع، ويكون الثاني ذا اخاديد متغيرة العرض لعمل مقارنة بين النموذجين ومعرفة الاكثر ملائمة في التصميم من ناحية الكفاءة وزاوية القبول.

## 3.3.1 اخاديد مستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع :

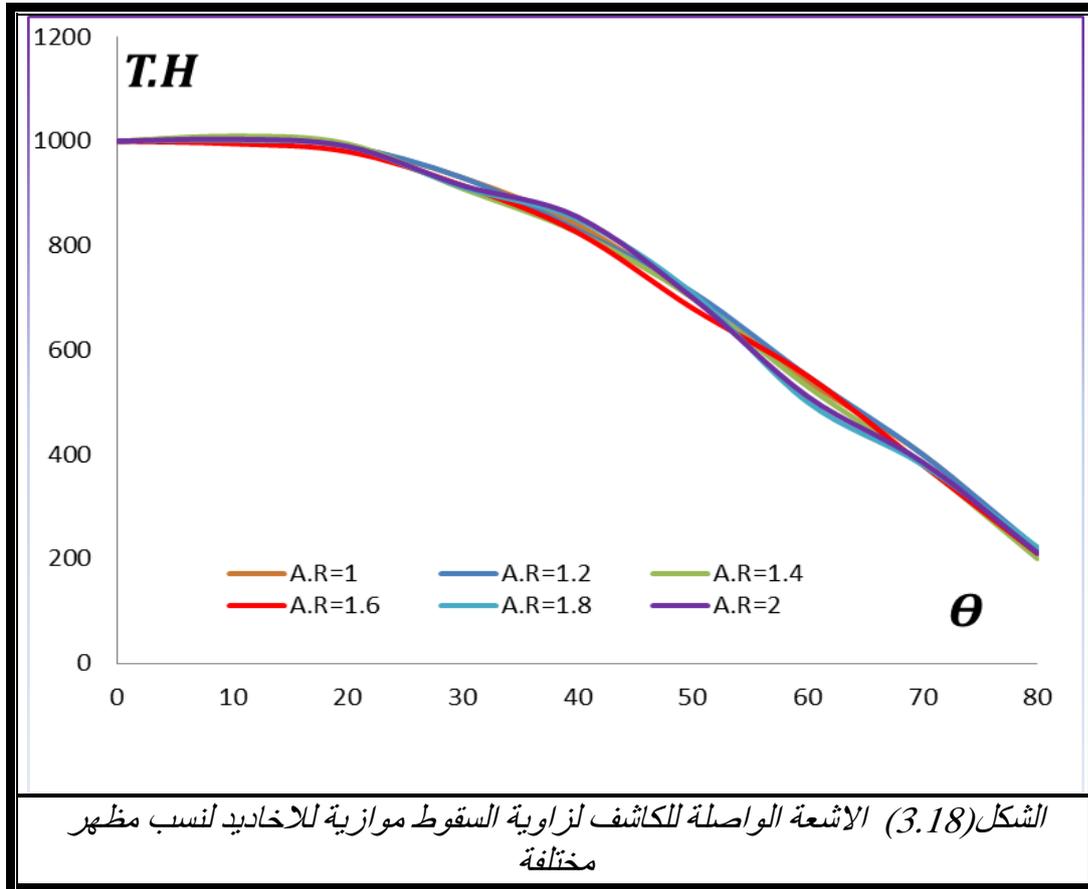
صممت اخاديد هذا النموذج بصورة مستطيلة وكان طول الاخدود متساويا مع طول الخلية، اذ يتغير ارتفاع الاخدود مع تغير نسبة المظهر لكل نموذج اي يختلف نموذج عن الاخر، بحيث يزداد ارتفاع الاخدود عن كل نموذج، ويبين الشكل (3.16) مقطع عرضي لآخاديد مستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع، وبالتالي تتغير نسبة المظهر. يبين الشكل (3.17) الاشعة الواصلة للكاشف لنسب مظهر مختلفة لزوايا سقوط عمودية على الخلية ( $\theta = 0^\circ$ ).



ونلاحظ ان الاشعة الواصلة للكاشف تبقى ثابتة ولا تتغير مع تغير نسبة المظهر اي اذا تغير ارتفاع الاخايد فلا يحدث تغير في عدد الاشعة الواصلة للكاشف، مما يعني عدم حدوث انعكاسات داخلية في الخلية. ولان الاشعة لم تتأثر بوجود الاخايد، اي ان تصميم الاخايد لن يساعد على حدوث انعكاسات داخلية او انكسار الاشعة الساقطة، عليها لان تصميمها يكون مستطيلا وغير مائل حيث يسمح للاشعة بالنفاذ من دون ان تنكسر وتسبب انعكاسات داخلية، وهذا واضح من نتيجة القراءة.

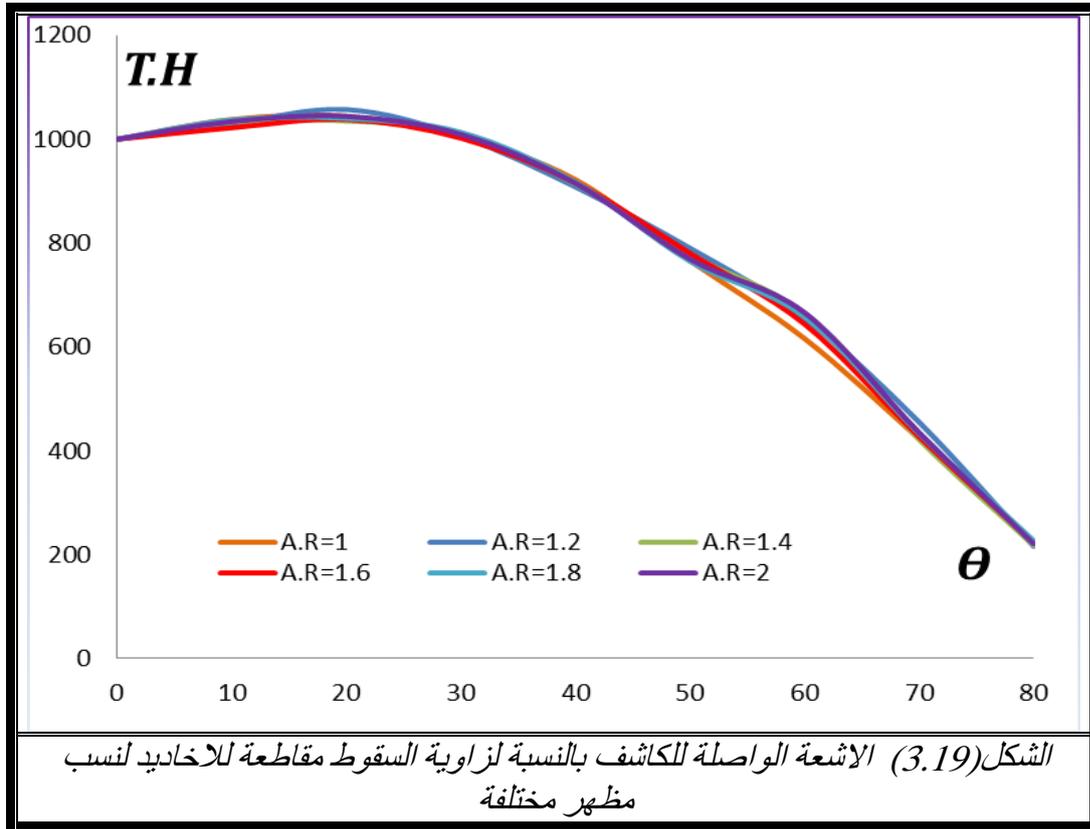


يبين الشكل (3.18) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا مختلفة حيث يكون المصدر مائلا بصورة تتوازي مع الاخاديد، حيث نلاحظ ان القيم تكون متشابهة ومتقاربة جدا وتقل هذه القيم عندما تزداد الزاوية، ولم ترتفع عن (1000) شعاع. وان سبب انحدار قيم القراءة هو ان الزوايا كلما زادت كلما اقتربت من خط الافق اذ يصبح وصول عدد الأشعة للخلية اقل عن العدد الاصلي، ومع هذا الانخفاض بعدد الأشعة يتبين ان الاخاديد المستطيلة لا تساعد في انكسار الأشعة التي تسقط عليها وتسمح لها بالنفاذ، مما يؤدي الى عدم حدوث انعكاسات داخلية حيث تصبح قراءة الكاشف مائلة بالانخفاض بصورة كبيرة.



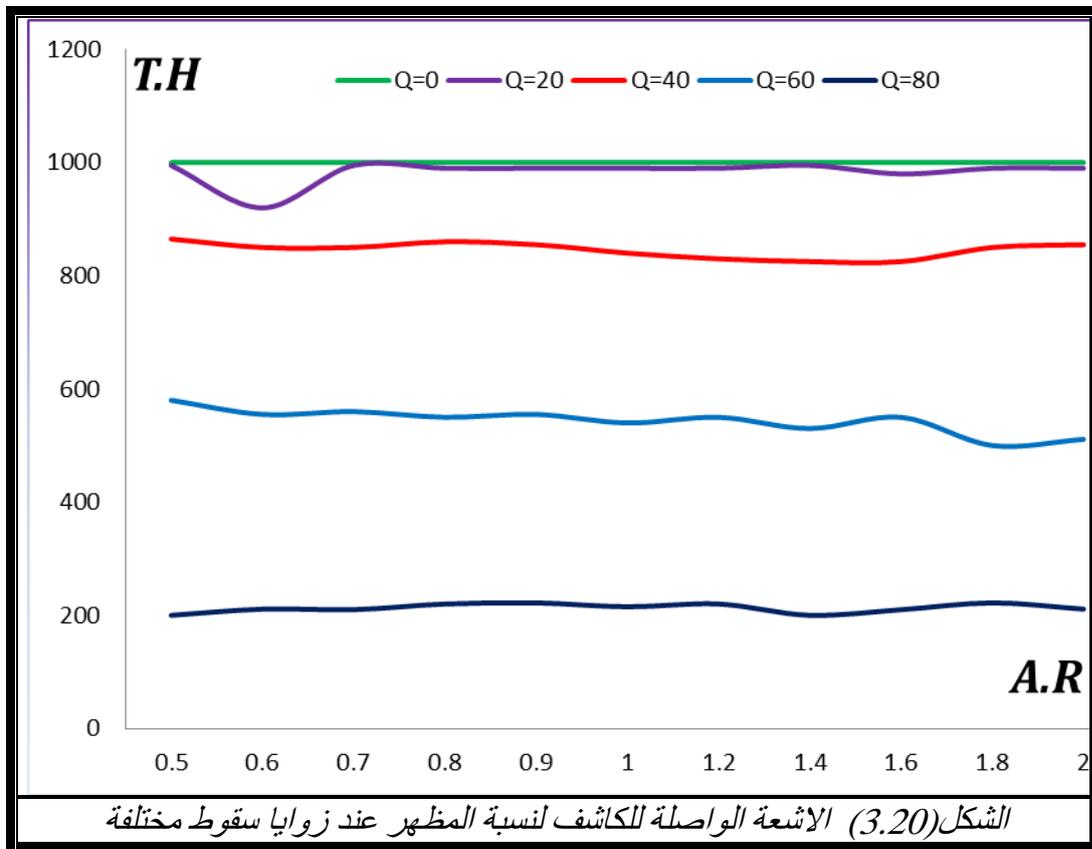
## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

يبين الشكل (3.19) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا مختلفة حيث يكون المصدر مائل بصورة تتقاطع مع الأخابيد، نلاحظ ان القيم تكون متشابهة ومتقاربة جدا ، ونلاحظ ايضا ارتفاع المنحنيات (1050) شعاع عند الزاوية (  $20^\circ$  ) فقط ، فكلما قلت هذه القيم زادت الزاوية. نلاحظ تأثير زاوية السقوط بالأخابيد بحيث الأشعة تنكسر عند السقوط على الأخابيد وتنفذ منها وتؤدي الى حدوث انعكاسات داخلية وهو يوضح تأثير الأخابيد على الأشعة المتقاطعة معها بزاوية معينة، وهو ما يلاحظ من خلال تغير طفيف في حالة الأشعة المتقاطعة مع الأخابيد، اذ تزداد قيمة القراءة بقيمة طفيفة (1050) شعاع، نظرا لحدوث انعكاسات داخلية قليلة ادت الى زيادة عدد الاسقاط عن العدد الاصلي.

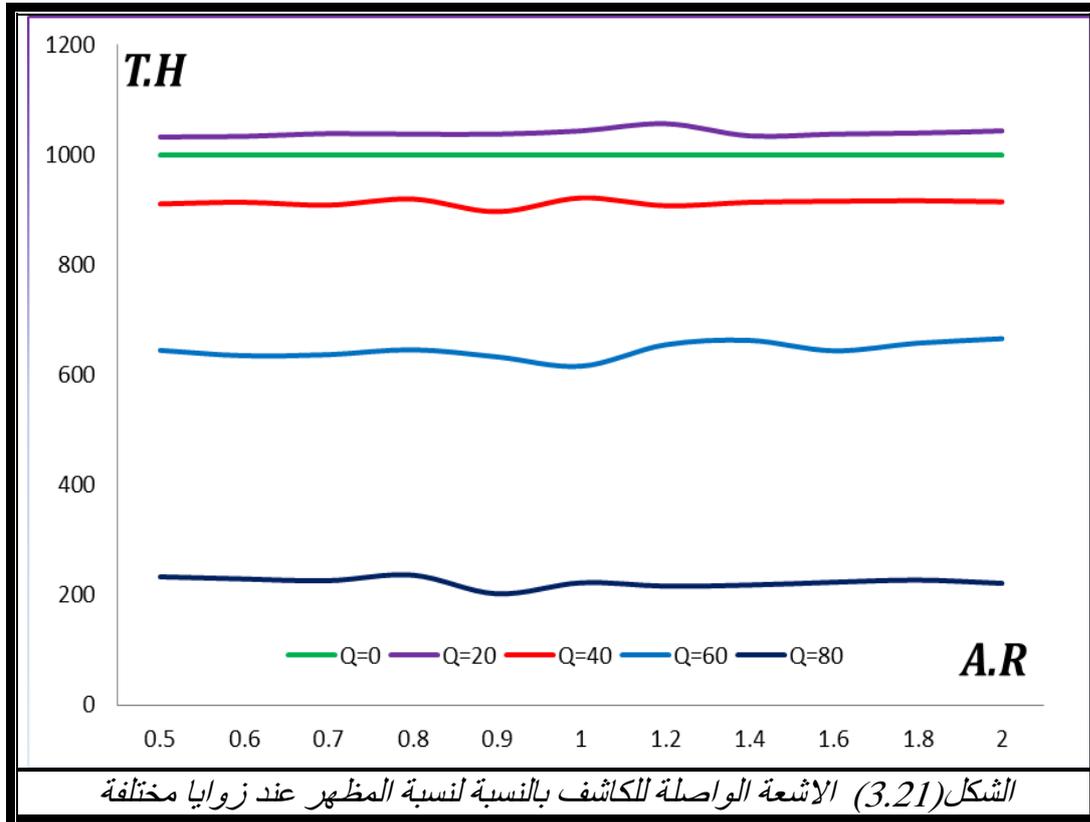


## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

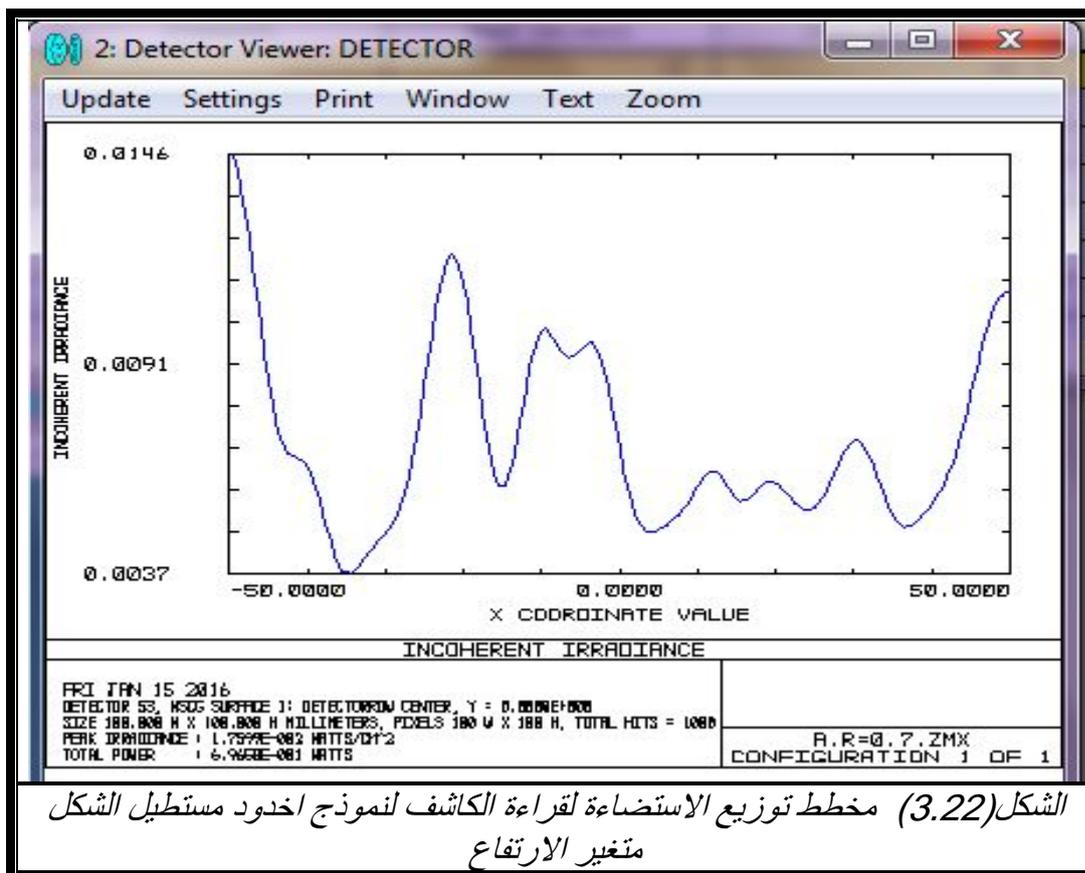
يبين الشكل (3.20) عدد الأشعة الواصلة للكاشف للزوايا عند قيم نسبة المظهر وان المصدر مائل عن الخلية بصورة تتوازي مع الاخاديد، اذ نلاحظ ان عدد اسقاط الاشعة يقل عندما تزداد الزاوية، ولكن يبقى ثابت عند هذه القيمة لكل قيم نسبة المظهر، وتكون الزاوية ( $0^\circ$ ) اعلى قيمة لعدد الاشعة الواصلة (1000) شعاع، لان الاشعة تنفذ من دون ان تنكسر وتسبب انعكاسات داخلية، اي ان الاشعة الساقطة لاتتأثر بتصميم الاخاديد المستطيلة، اذ ان قراءة الكاشف لم تتأثر بتغير نسبة المظهر للتصميم .



يبين الشكل (3.21) عدد الأشعة الواصلة للكاشف للزوايا عند قيم نسبة المظهر وان المصدر مائل عن الخلية بصورة تتقاطع مع الاخاديد، اذ نلاحظ ان عدد اسقاط الاشعة يقل عندما تزداد الزاوية، ولكن يبقى ثابتا عند هذه القيمة لكل قيم نسبة المظهر، وتكون الزاوية ( $20^\circ$ ) اعلى قيمة لعدد الاشعة الواصلة (1050) شعاع. وتكون الزاوية ( $0^\circ$ ) ذات قيمة تعادل (1000) شعاع، لان الاشعة تنفذ من دون ان تنكسر ولا تسبب انعكاسات داخلية اي ان الاشعة الساقطة لاتتأثر بتصميم الاخاديد المستطيلة، حيث ان قراءة الكاشف لم تتأثر بتغير نسبة المظهر للتصميم ولا تتغير الزوايا الا عند الزاوية ( $20^\circ$ ) حيث حدثت زيادة طفيفة بقراءة الكاشف، اي ان ميلان المصدر بصورة مقاطعة للاخاديد عند الزاوية ( $20^\circ$ ) ادى الى حدوث انكسار الاشعة الساقطة على الاخاديد، كذلك مما ادى الى حدوث انعكاسات داخلية قليلة.



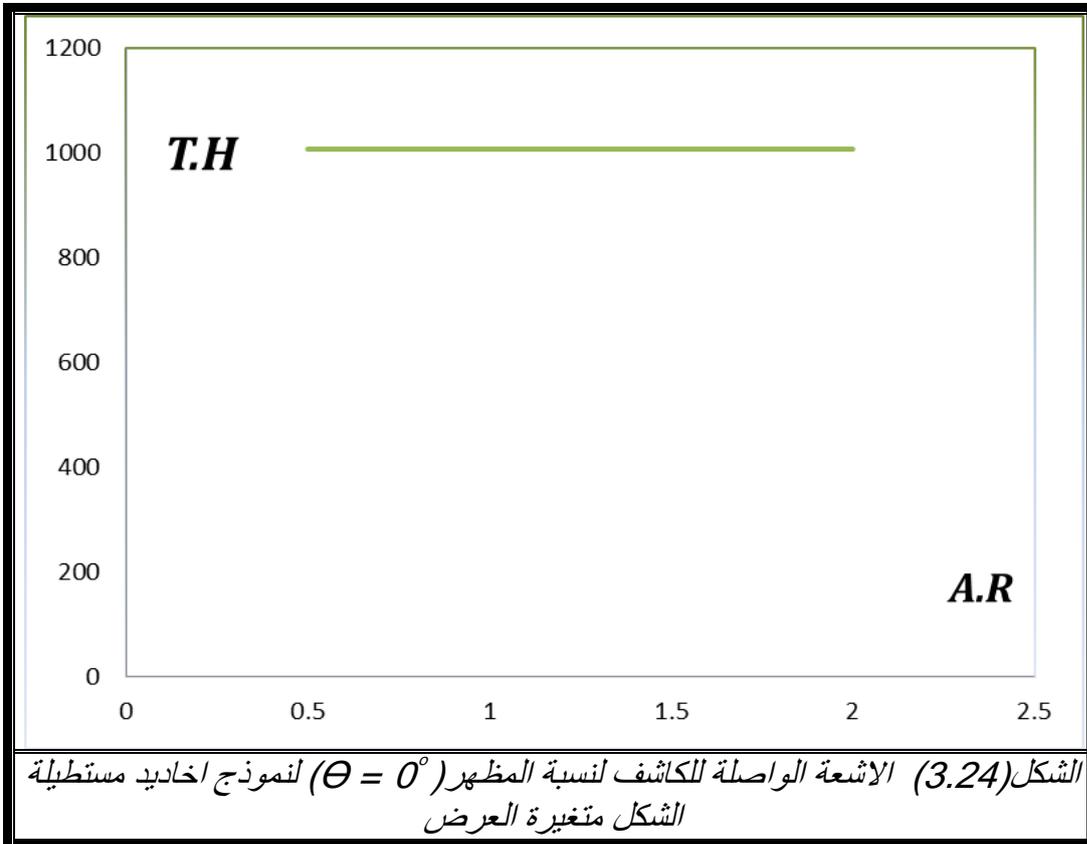
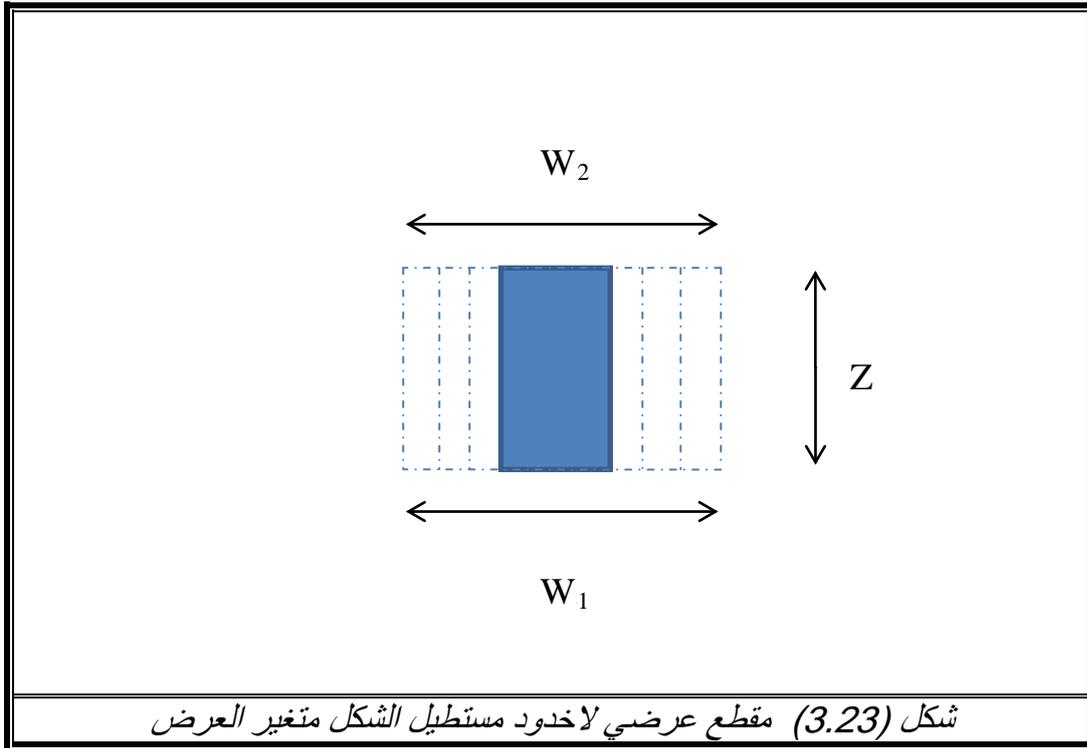
يبين الشكل (3.22) توزيع الاستضاءة على الخلية ذات الاخايد المستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع حيث نلاحظ توزيع الاستضاءة يكون متقاربا على سطح الخلية اي ان سقوط الاشعة على الخلية يكون متساويا تقريبا على كل الخلية.



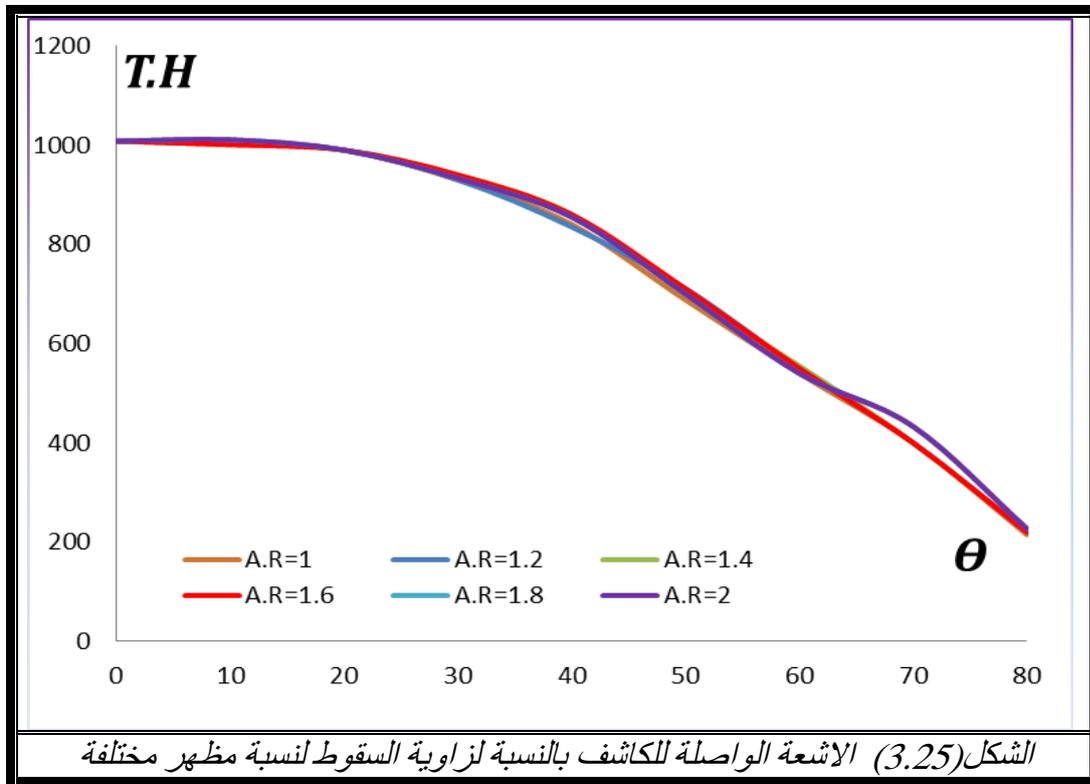
### 3.3.2 اخايد مستطيلة الشكل متغيرة العرض :

يكون تصميم اخايد هذا النموذج مستطيلا، وتتغير نسبة المظهر مع تغير عرض ويبقى ارتفاع الاخدود ثابتا ويعادل (1)، كما موضح في الشكل (3.23)، ويكون طول الاخايد مساويا لطول الخلية نفسها.

ويبين الشكل (3.24) ان عدد الاشعة الواصلة للكاشف تبقى ثابتة ولا تتغير مع تغير نسبة المظهر اي ان تغير عرض الاخايد لا يحدث تغيرا في عدد الاشعة الواصلة للكاشف، مما يعني عدم حدوث انعكاسات داخلية في الخلية في حالة سقوط الاشعة عمودية على الخلية ( $\theta = 0^\circ$ ).

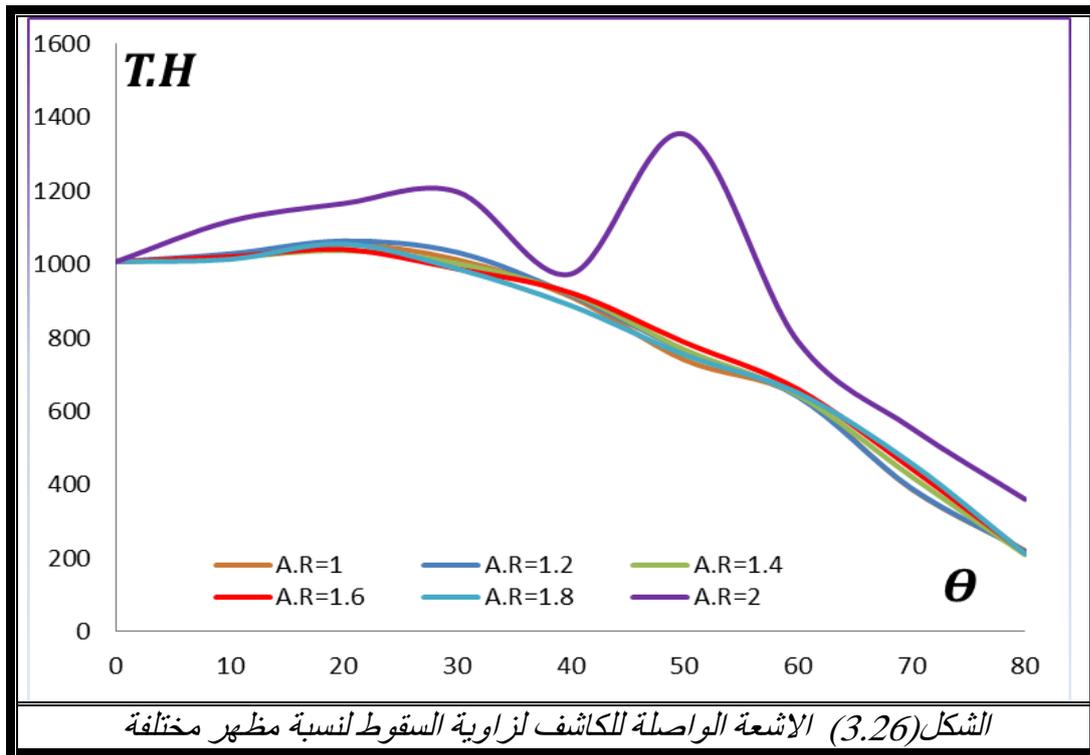


يبين الشكل (3.25) عدد الاشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا مختلفة حيث يكون المصدر مائل بصورة تتوازي مع الاخاديد اذ نلاحظ ان القيم تكون متشابهة ومتقاربة جدا وكلما قلت هذه القيم زادت الزاوية، ولم ترتفع عن (1000) شعاع. وان سبب انحدار قيم القراءة ان الزاوية كلما زادت اصبح وصول عدد الاشعة للخلية اقل عن العدد الاصلي، ومع هذا الانخفاض بعدد الاشعة ان الاخاديد المستطيلة لاتساعد في انكسار الاشعة التي تسقط عليها وتسمح لها بالنفوذ، مما يؤدي الى عدم حدوث انعكاسات داخلية حيث تميل قراءة الكاشف بالانخفاض بصورة كبيرة.



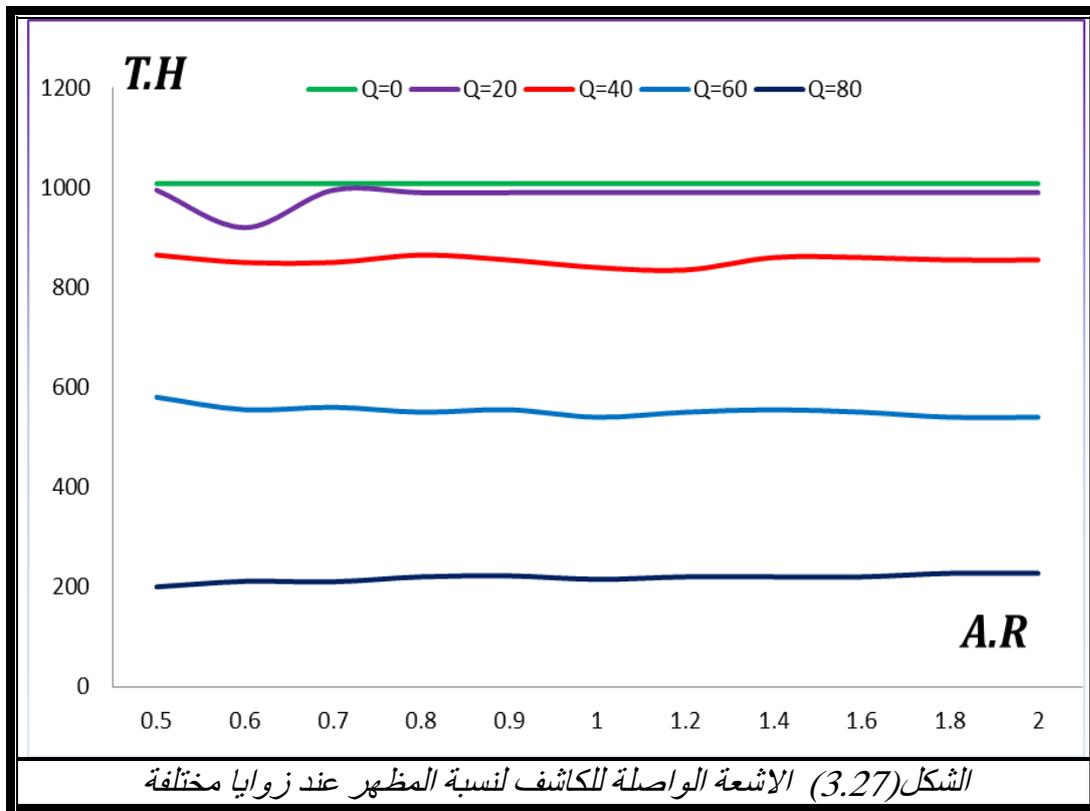
## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

يبين الشكل (3.26) عدد الاشعة الواصلة للكاشف لنسبة المظهر عند زوايا مختلفة حيث يكون المصدر مائلا بصورة تتقاطع مع الاخاديد، اذ نلاحظ عند نسبة المظهر (2) ارتفعت قيمة عدد الاشعة الى (1400) شعاع عند الزاوية ( $50^\circ$ ) فقط وتنخفض قيمتها عند زيادة الزاوية، ونلاحظ ان القيم تكون متشابهة ومتقاربة جدا وتقل هذه القيم عندما تزداد الزاوية، ولم ترتفع عن (1000) شعاع. وان سبب انحدار قيم القراءة ان الزاوية كلما زادت اصبح وصول عدد الاشعة للخلية اقل عن العدد الاصلي، ومع هذا الانخفاض بعدد الاشعة ان الاخاديد المستطيلة لاتساعد في انكسار الاشعة التي تسقط عليها وتسمح لها بالنفاذ، مما يؤدي الى عدم حدوث انعكاسات داخلية حيث تصبح قراءة الكاشف مائلة بالانخفاض بصورة كبيرة. وان تغير قيمة نسبة المظهر لم تساعد في حدوث انعكاسات داخلية اي عدم تأثر الاشعة بشكل الاخاديد الا في حالة ( $A.R = 2$ ) ساعد في حدوث انكسار في الاشعة الساقطة على الاخاديد وعدم نفوذها مباشرة، مما ادى الى حدوث انعكاسات داخلية نتيجة كون نسبة المظهر هذه مناسبة لاستلام اشعة بزواوية ( $50^\circ$ ) وتظهر انعكاسات داخلية تزيد قراءة الكاشف.

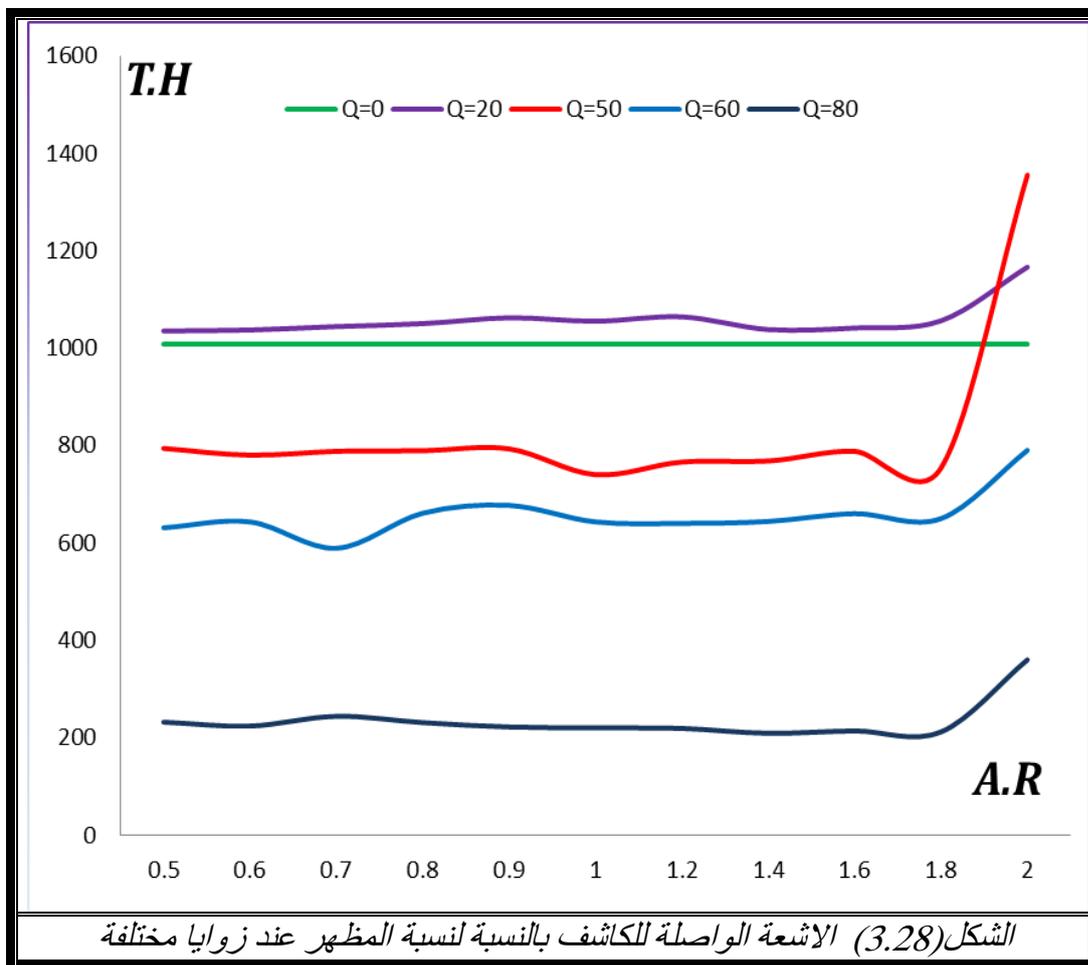


## الفصل الثالث النتائج والمناقشة

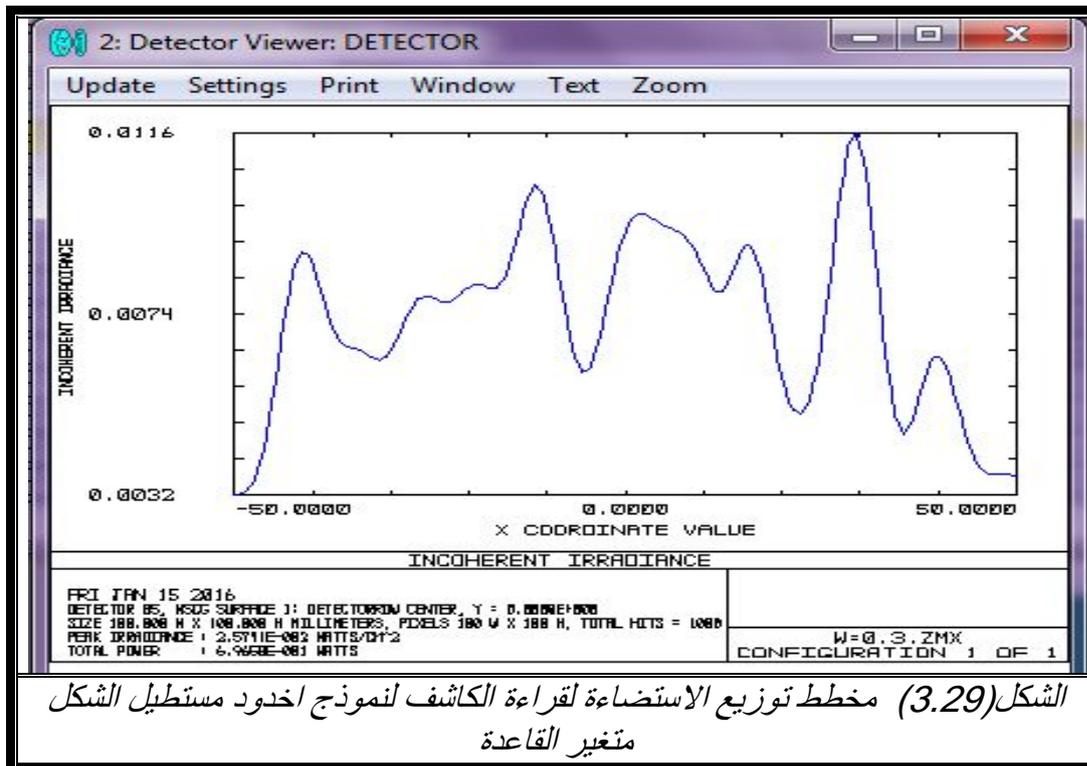
يبين الشكل (3.27) عدد الأشعة الواصلة للكاشف للزوايا عند قيم نسبة المظهر وان المصدر مائل عن الخلية بصورة تتوازي مع الاخاديد، اذ نلاحظ ان عدد اسقاط الاشعة يكون قليلا عندما تزداد الزاوية، ولكن يبقى ثابتا عند هذه القيمة لكل قيم نسبة المظهر، وتكون الزاوية ( $0^\circ$ ) اعلى قيمة لعدد الاشعة الواصلة (1000) شعاع، لان الاشعة تنفذ من دون ان تنكسر وتسبب انعكاسات داخلية، اي ان الاشعة الساقطة لا تتأثر بتصميم الاخاديد المستطيلة، حيث ان قراءة الكاشف لم تتأثر بتغير نسبة المظهر للتصميم .



يبين الشكل (3.28) عدد الأشعة الواصلة للكاشف للزوايا عند قيم نسبة المظهر وان المصدر مائل عن الخلية بصورة تتقاطع مع الاخاديد، اذ نلاحظ ان عدد اسقاط الأشعة يقل عندما تزداد الزاوية، ولكن يبقى ثابت لكل قيم نسبة المظهر ويتغير بزيادة فقط عند نسبة المظهر (2)، وتكون الزاوية (20°) اعلى قيمة لعدد الأشعة الواصلة (1020) شعاع ونلاحظ ايضا الزاوية (50°) تصل قراءة الكاشف الى (1400) شعاع عند نسبة المظهر (2) وتكون الزاوية (0°) ذات قيمة تعادل (1000) شعاع عند كل نسب المظهر . اي ان التصميم ذو نسبة المظهر (2) الوحيد الذي تأثرت به الأشعة وساعدت على حدوث انعكاسات داخلية، مما ادى الى زيادة القراءة.

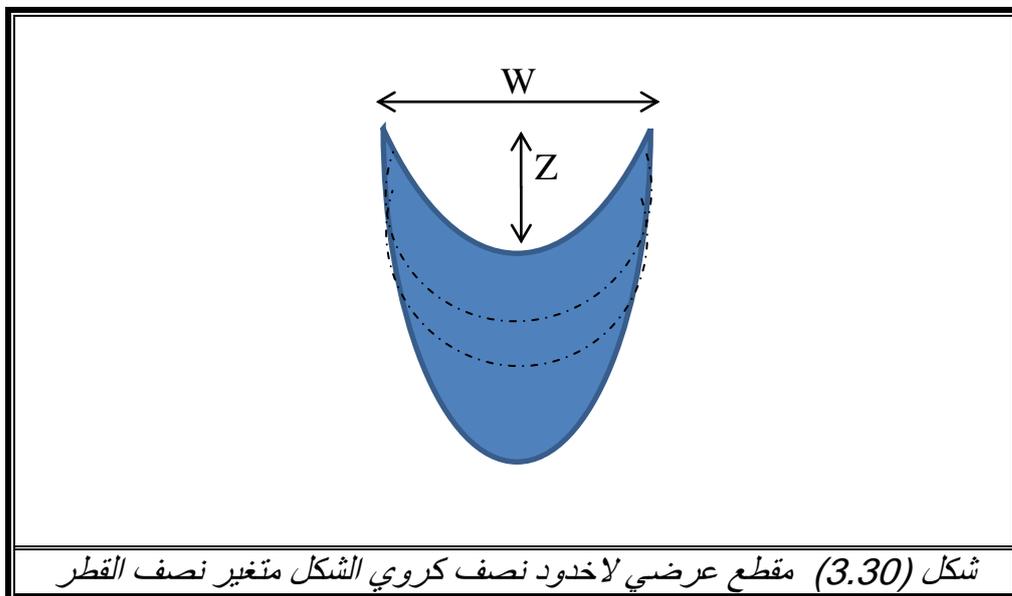


يبين الشكل (3.29) توزيع الاستضاءة على الخلية ذات الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة العرض، حيث نلاحظ ان توزيع الاستضاءة متقارب على سطح الخلية، اي ان سقوط الاشعة على الخلية يكون متساويا تقريبا على كل الخلية.



#### 3.4 خلية شمسية ذات اخاديد نصف كروية :

يعد هذا التصميم من التصاميم شائعة الاستخدام وان نسبة المظهر تختلف مع نصف قطر تكور الاخدود ويكون شكل الاخاديد مقعرا ويكون اختلاف نصف قطر التكور بحسب المعادلة (4 - 2). والجدول (3.2) يبين شكل الاخدود نصف كروي، حيث ان (Z) يمثل ارتفاع حافة الاخدود، و (R) يمثل نصف قطر تكور الاخدود. تم استعمال نموذج للاخاديد نصف كروية بنسب مظهر مختلفة عن طريق تغير تكور الاخاديد وبالنتيجة تتغير نسبة امتصاص الاشعة اي عدد الاشعة الساقطة على الكاشف.



يبين الجدول (3.2) نسبة المظهر المناظرة لقيم انصاف اقطار تكور الاختود، حيث نلاحظ انه كلما قلت قيم نسبة المظهر زادت قراءة الكاشف، ونلاحظ ان قيم نسبة المظهر بالسالب، لان شكل الاختود كروي مقعر تكون قيمة نصف قطر التكور بالسالب.

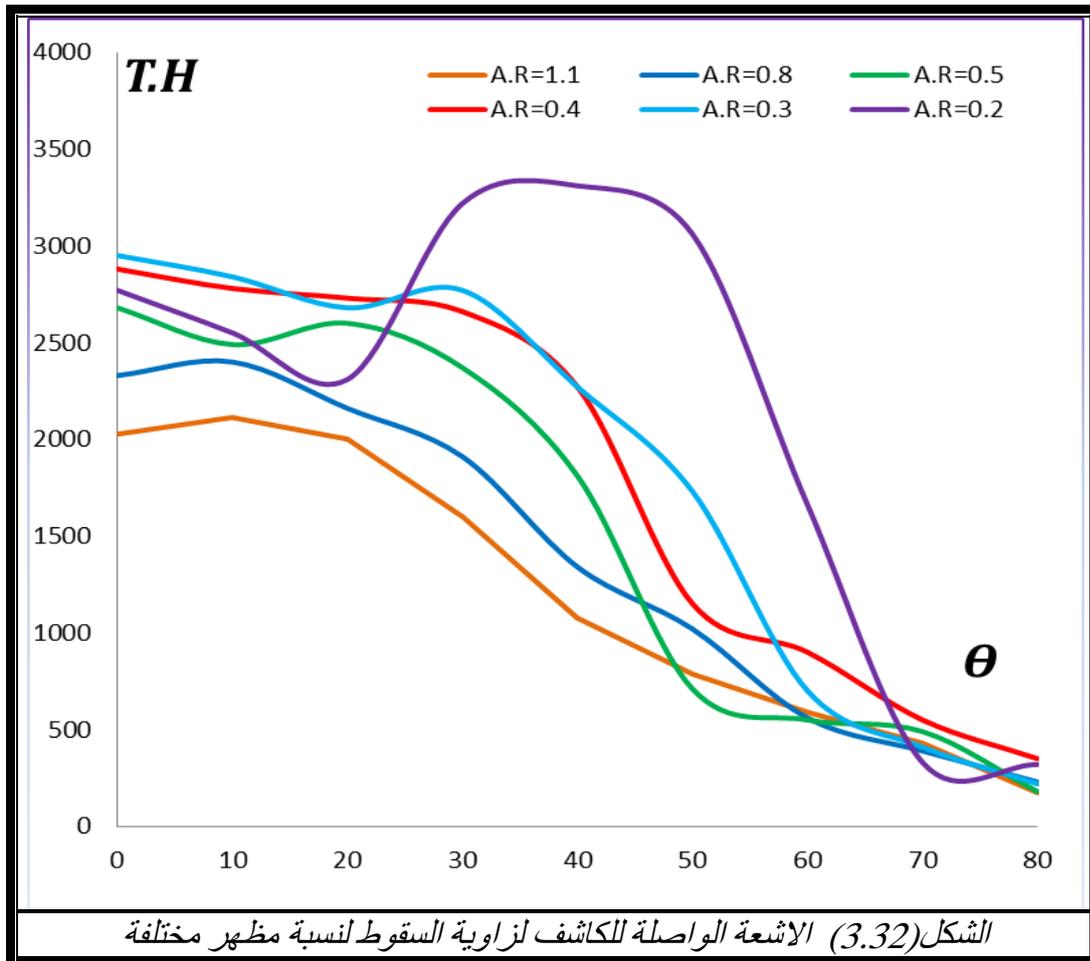
الجدول (3.2) نسبة المظهر المناظرة لقيم انصاف اقطار تكور الاختود

$Z$	$R$	$A.R$	$T.H$
-2.2	-1.5	1.1	2030
-1.5	-1.7	0.8	2330
-1	-2	0.5	2680
-0.7	-2.3	0.4	2880
-0.6	-2.5	0.3	2950
-0.47	-3	0.2	2770

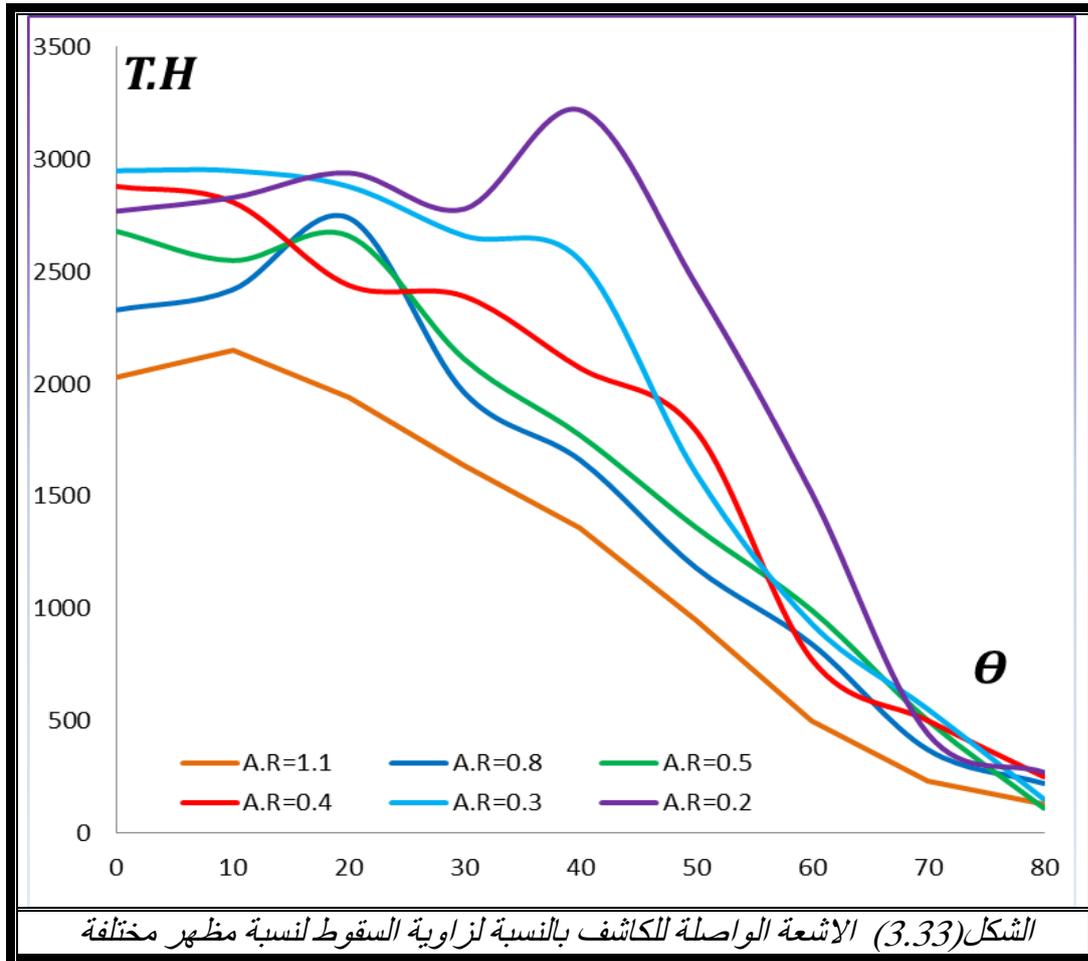
يبين الشكل (3.31) عدد الأشعة الواصلة الى الكاشف عند نسبة المظهر المختلفة، حيث نلاحظ في الشكل انه يبدأ بقيمة الأشعة نفسها القادمة من المصدر (1000) شعاع وبعدها تزداد القيمة الى اكثر من ثلاثة اضعاف الأشعة الواصلة، حيث تصل الى (3400) شعاع عند نسبة المظهر (0.3) وتبدأ بعدها القيم بالانخفاض. ان نسبة المظهر تعطينا درجة تقعر الاخايد اذ ان الفائدة من هذه الاخايد هي زيادة الانعكاسات الداخلية وتقليل الانعكاسات الخارجية للضوء وزيادة طول المسار البصري، وبذلك تتم زيادة فرصة امتصاص الفوتونات داخل الخلية .



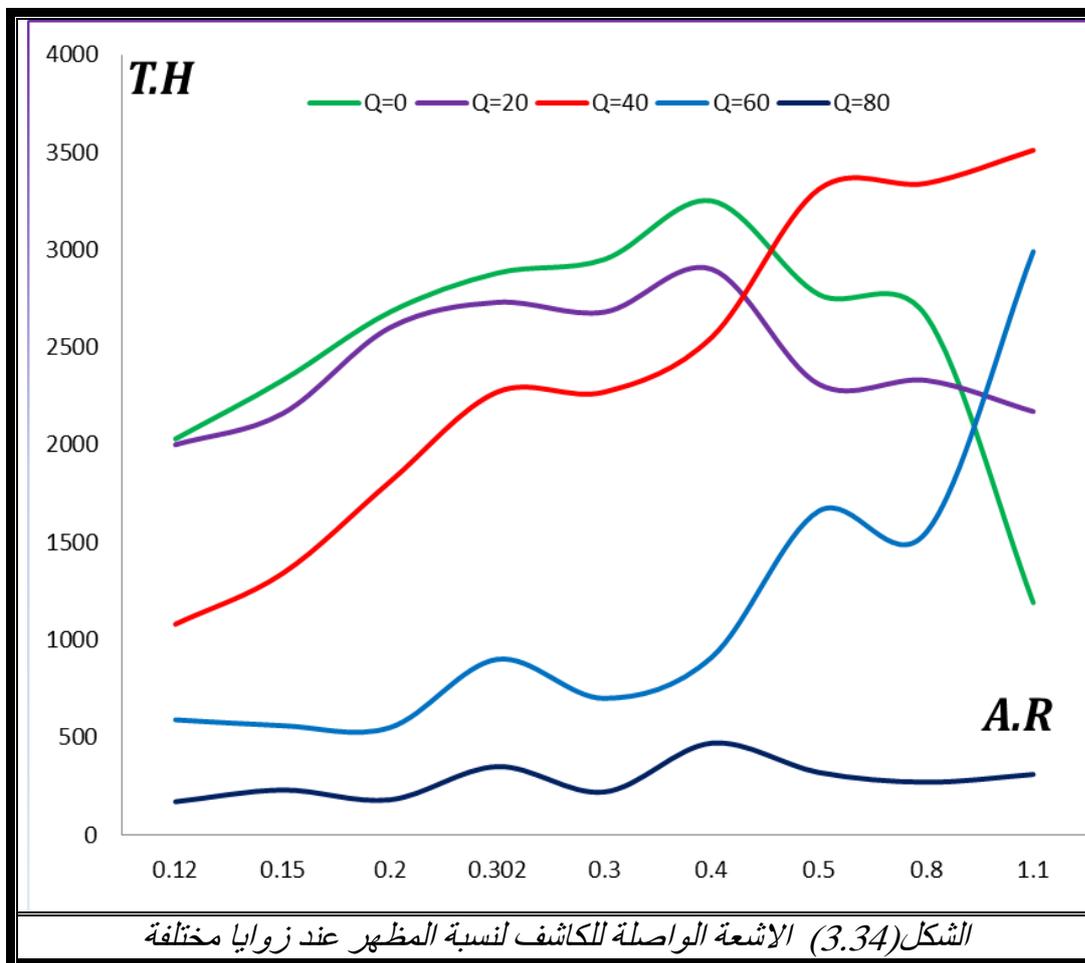
يبين الشكل (3.32) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لكل نسبة مظهر ولزوايا مختلفة حيث يكون المصدر مائلا بصورة تتوازي مع الأضداد، حيث نجد أعلى قيمة (3500) شعاع لنسبة المظهر (0.2) عند الزاوية ( $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ). أما بقية المنحنيات فتصل إلى (3000) شعاع أي ثلاثة أضعاف الأشعة الساقطة وبعدها تنخفض القيم عندما تزداد الزاوية. بسبب حدوث انعكاسات داخلية بنسبة كبيرة وتقليل الانعكاسات الخارجية للضوء وزيادة طول المسار البصري، وبذلك تحصل زيادة فرصة امتصاص الفوتونات داخل الخلية .



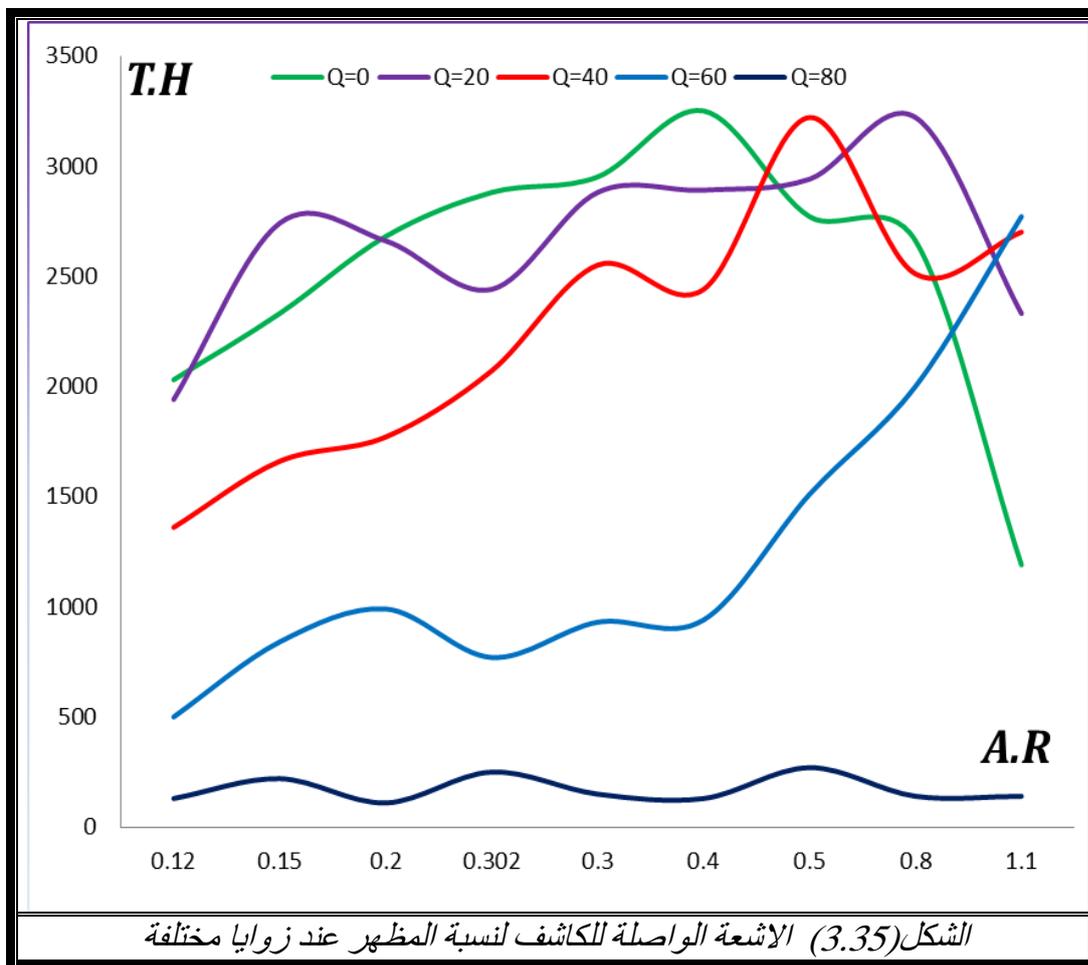
يبين الشكل (3.33) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لكل نسبة مظهر ولزوايا مختلفة حيث يكون المصدر مائلا بصورة تتوازي مع الاخاديد حيث نجد اعلى قيمة (3500) شعاع لنسبة المظهر (0.2) عند الزاوية (40°, 50°). اما بقية المنحنيات فتصل الى (3000) شعاع اي ثلاثة اضعاف الأشعة الساقطة وبعدها تنخفض القيم عندما تزداد الزاوية.



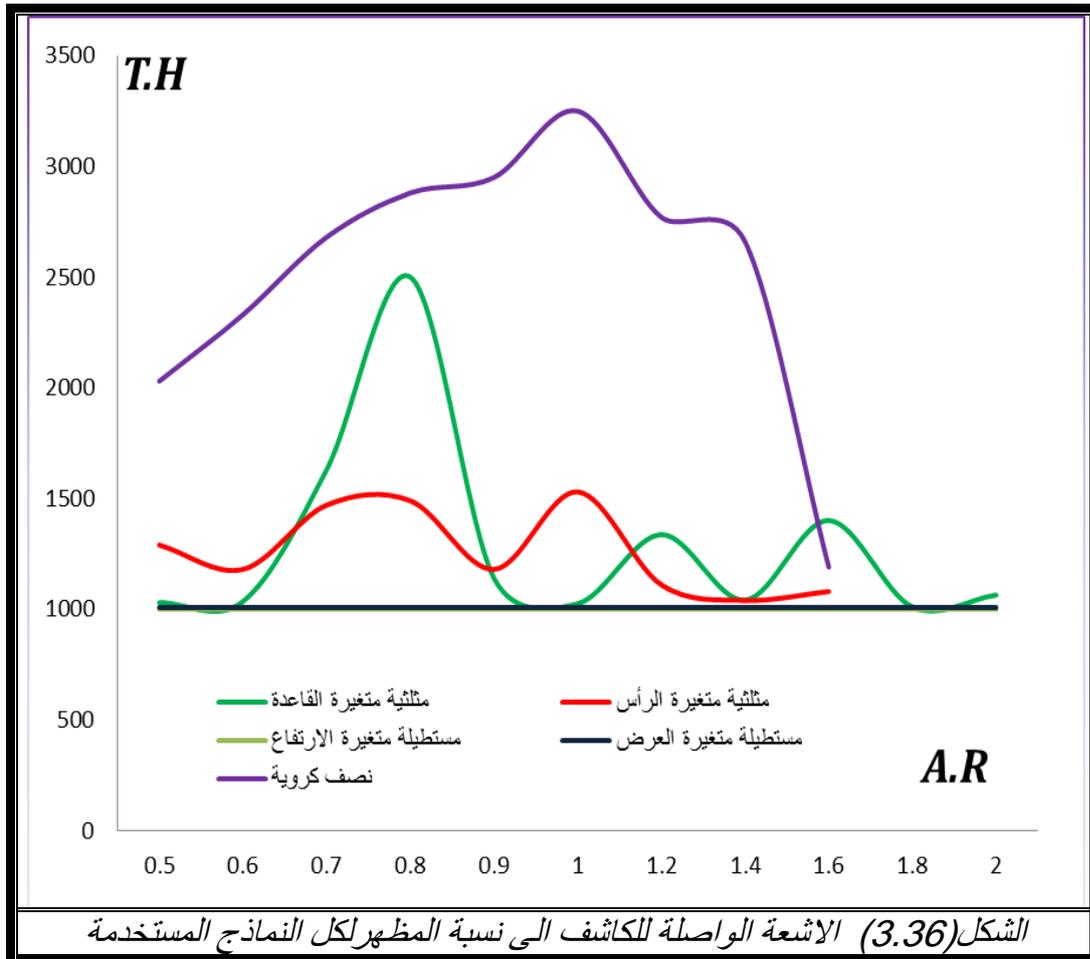
يبين الشكل (3.34) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لكل زوايا مختلفة عند كل نسبة مظهر، حيث يكون المصدر مائلا بصورة تتقاطع مع الاخاديد، اذ نجد اعلى قيمة للزوايا عند نسبة المظهر (1.1) هي (3500) شعاع لنسبة المظهر عند الزاوية (  $60^\circ$  ,  $40^\circ$  )، اما بقية المنحنيات فأنها تصل الى (3000) شعاع اي ثلاثة اضعاف الاشعة الساقطة وبعدها تنخفض القيم حينما تزداد الزاوية.



يبين الشكل (3.35) عدد الأشعة الواصلة للكاشف لكل لزوايا مختلفة عند كل نسبة مظهر، حيث يكون المصدر مائلا بصورة تتوازي مع الاخاديد، حيث نجد ان اعلى قيمة للزوايا عند نسبة المظهر (0.4, 0.6, 0.8) هي تقريبا (3500) شعاع عند الزاوية (0°, 20°, 40°)، اما بقية المنحنيات فتصل الى (3000) شعاع اي ثلاثة اضعاف الاشعة الساقطة وبعدها تنخفض القيم عندما تزداد الزاوية.



يبين الشكل (3.36) قراءة الكاشف لنسب مظهر مختلفة لكل نموذج عند الزاوية ( $\Theta = 0^\circ$ ) حيث نلاحظ ان افضل نموذج هو ذو الاخاديد النصف كروية الذي يعطي اكبر قيمة للكفاءة وتعادل (3500) شعاع اي ثلاثة اضعاف ونصف قيمة الاشعة الاصلية، ونلاحظ نموذج ذو الاخاديد المثلثة الشكل متغيرة القاعدة يأتي في المرتبة الثانية وتصل اعلى قيمة للكفاءة (2500) شعاع، اي تعادل ضعفين ونصف العدد الاصيلي للاشعة ، وثم يأتي بعدها المنحني التابع لنموذج ذو الاخاديد المثلثة متغيرة الرأس، واخيرا ان منحني النموذج ذو الاخاديد المستطيلة حيث تكون المستطيلة فيه ثابتة ولا تتغير عن عدد الاشعة الاصيلي.



### الاستنتاجات :Conclusio

ان نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد نصف كروية الشكل هو افضل النماذج المستخدمة حيث اعطى اعلى قراءة كاشف (3500) شعاع اي ثلاثة اضعاف ونصف العدد الاصلي ، ويليه نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة حيث اعطى اعلى قراءة كاشف (2500) شعاع اي يعادل مرتين ونصف العدد الاصلي من الاشعة الساقطة، ويليه نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس وتصل اعلى قراءة كاشف (1400) شعاع، ويليه نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد المستطيلة الشكل بنوعها وتصل اعلى قراءة كاشف (1000) شعاع اي العدد الاصلي نفسه من الاشعة الساقطة.

النموذج ذو الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة اظهر تفاوتاً في قراءة الكاشف لنسب مظهر مختلفة، وكانت اعلى قيمة لقراءة الكاشف (2500) شعاع عند نسبة المظهر (0.8). نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة له افضل زاوية قبول عند نسبة المظهر (1.6)، ويمتلك اعلى قيمة للاشعة الواصلة للكاشف (1800) شعاع عند الزاوية (° 20)، اذا كانت الاشعة تسقط موازية للاخايد . نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة له افضل زاوية قبول نسبة المظهر (1) عند الزاوية (° 60) وتكون اعلى قراءة للكاشف (3000) شعاع ، عندما تكون الاشعة تسقط متقاطعة مع الاخايد، وتعتبر هذا النوع من الاخايد افضل من الاخايد مثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس.

يبين مخطط توزيع الاستضاءة وجود تفاوت طفيف في توزيع الاستضاءة الذي يبين انتشار الاشعة على محور الخلية بصورة منتظمة اي وصول الاشعة الى كل اجزاء الخلية لنموذج الخلية الشمسية ذي الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض القاعدة. نموذج الخلية الشمسية ذي الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس تكون اعلى قيمة للاشعة الواصلة (1400) شعاع عند نسبة المظهر (0.7 , 1.4) عند الزاوية (° 0). نموذج الخلية الشمسية ذي الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس افضل نسبة مظهر (1) تعطي اعلى قراءة كاشف (1500) شعاع عند الزاوية (° 0)، ونسبة المظهر (1.8) عند الزاوية (° 50)، وتقل عندما تزداد الزاوية بصورة موازية للاخايد. نموذج الخلية الشمسية ذو الاخايد المثلثة الشكل متغيرة عرض الرأس تكون نسبة المظهر (1.2) تعطي اعلى قراءة كاشف (2400) شعاع عند الزاوية (° 20)، اذا كانت تسقط بصورة متقاطعة للاخايد. توزيع الاستضاءة على سطح الخلية الشمسية ذات الاخايد المثلثة

## الفصل الرابع الاستنتاجات

الشكل متغيرة عرض الرأس متفاوتة قليلا بعد اخذ القراءة للكاشف ، والذي يدل على توزيع مناسب للإشعة على طول ابعاد الخلية.

تصميم خلية شمسية ذو الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع تمتلك قيمة ثابتة لقراءة الكاشف مهما تغيرت نسبة المظهر للإشعة الساقطة بصورة عمودية على الخلية عند  $(\Theta = 0^\circ)$ . نموذج خلية شمسية ذو الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع التي تعطي قيما لقراءة الكاشف تتضاءل تدريجيا، كلما زادت زاوية السقوط الموازية للاخاديد. بينما هناك زيادة طفيفة للقراءة عند الزاوية  $(20^\circ)$ ، عند استخدام اشعة تتقاطع مع الاخاديد. نموذج خلية شمسية ذو الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة الارتفاع وفيه يكون توزيع الاستضاءة متقاربا على سطح الخلية اي ان سقوط الاشعة على الخلية يكون متساويا تقريبا على كل الخلية.

نموذج خلية شمسية ذو الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة العرض تمتلك قيمة ثابتة لقراءة الكاشف مهما تغيرت نسبة المظهر للإشعة الساقطة بصورة عمودية على الخلية عند  $(\Theta = 0^\circ)$ . نموذج خلية شمسية ذو الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة العرض تعطي قيما لقراءة الكاشف تتضاءل تدريجيا، كلما زادت زاوية السقوط الموازية للاخاديد. بينما هناك زيادة طفيفة للقراءة عندما تكون الزوايا مائلة بصورة مقاطعة للاخاديد فتكون نسبة المظهر (2) ارتفعت قيمة عدد الاشعة الى (1400) شعاع عند الزاوية  $(50^\circ)$  فقط وتنخفض قيمته عند زيادة الزاوية. توزيع الاستضاءة على الخلية ذات الاخاديد المستطيلة الشكل متغيرة العرض متقاربا على سطح الخلية اي ان سقوط الاشعة على الخلية يكون متساويا تقريبا على كل الخلية.

نموذج الخلية الشمسية ذات الاخاديد نصف الكروية تزداد قراءة الكاشف الى اكثر من ثلاثة اضعاف الاشعة الساقطة بحيث تصل الى (3400) شعاع عند نسبة المظهر (0.3) عندما تكون الزاوية عمودية على الخلية  $(\Theta = 0^\circ)$ . نموذج الخلية الشمسية ذات الاخاديد نصف الكروية تمتلك اعلى قيمة لقراءة الكاشف (3500) شعاع لنسبة المظهر (0.2) عند الزاوية  $(30^\circ, 40^\circ)$  الموازية للاخاديد، واعلى قيمة لقراءة الكاشف عند نسبة المظهر (1.1) هي (3500) شعاع عند الزاوية  $(40^\circ, 60^\circ)$  المتقاطعة مع الاخاديد.

### المشاريع المستقبلية *Futuer Work* :

1. استخدام طلاء من مواد غير عاكسة للضوء على سطح الخلية ذات اخاديد شبه كروية.
2. استخدام اخاديد متعددة الاشكال على السطح السفلي للخلية الشمسية.
3. استخدام اخاديد هرمية الشكل فوق سطح الخلية الشمسية .

4. وضع الاكاديد داخل الخلية الشمسية .

## REFERENCES

1. Martin A.Green, "Silicon Solar Cell, Advanced Principles & Practice", Center for Photovoltaic Devices and Systems, University of New South Wales, Australia, (1995).
2. H. B. Serreze, "Optimizing Solar Cell Performance by Simultaneous Consideration of Grid Pattern Design and Interconnect Configuration", Conference Record, 13th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Washington, D.C., (1978).
3. J. Mark and M. Delucchi, "[A Path to Sustainable Energy by 2030](#)", *Scientific American*, **301** (5), 58–65 (2009).
4. Y .S. Tsuo, J.M. Gee, P. Menna, D.S. Strebkov, A. Pinov, V. Zadde, "Environmentally Bening Silicon Solar Cell Manufacturing", Presented at the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion; Vienna, Austria; 6-10 July (1998).
5. G. Kopp and J. Lean, "A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance". *Geophys. Res. Lett.*, L01706 (2011).
6. R. Willson and A. Mordvinov, "Secular total solar irradiance trend during solar cycles", *Geophys. Res. Lett.*, **30**(5), 21–23 (2003).
7. G. Smestad, H. Ries, R. Winston and E. Yablonovitch, "The Thermodynamic Limits of Light Concentrators" , *Solar Energy Materials* **21**, 99-111(1990).
8. B. Myriam and G. Newsham, "Effect of daylight saving time on lighting energy use: a literature review", *Energy Policy* **36**(6), 1858–1866. (2008).
9. C. Kandilli and K. Ulgen, "Solar Illumination and Estimating Daylight Availability of Global Solar Irradiance", *Energy Sources*, **23**(9), 24-33 (2009).
10. R. Willson and A. Mordvinov, "Secular total solar irradiance trend during solar cycles", *Geophys. Res. Lett.*, **30**(5), 21–23 (2003).
11. M. J. O'Neill , A . J. McDaniel , P. J. George , M . F. Piszczor , D. L. Edwards, D. T. Hoppe, M. L. Eskenazi, M. M. Botke, P. A. Jaster, H. W. Brandhorst, " *Development of The Ultra-Light Stretched Lens Array* " , 29<sup>th</sup> IEEE PVSC , New Orleans,( 2002).
12. B. Galiana, C. Algora, I. Stolle and G. Vara, "A 3-D model for concentrator solar cells based on distributed circuit units" *IEEE*. **52**, 2552-2558(2005).
13. R. Stevens and N. Davies, "Lens Arrays and Photography", *the Journal of Photographic Science*. **39**, 199–208 (1991).
14. B. Besold and N. Lindlein, "Fractional Talbot effect for periodic microlens array", *Opt. Eng.* **36**(4) 1099-1105 (1997).
15. G. Christopher, A. Ebbesen, D. Sune, M. Mogens, F Lackner and S. Klaus "[Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O with renewable or nuclear energy](#)",*Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**(1), 1–23(2011).

## REFERENCES

16. R. Pearson, "[Energy Storage via Carbon-Neutral Fuels Made From CO<sub>2</sub>, Water, and Renewable Energy](#)". *Proceedings of the IEEE* **100** (2): 40–60 (2012).
17. M. O'Neill, M. Piszczor, M. Eskenazi, A. McDanal, P. George and M. Botke, "The Stretched Lens Array (SLA): A Low-Risk, Cost-Effective Concentrator Array Offering Wing-Level Performance of 180 W/Kg and 300 W/m<sup>2</sup> at 300 VDC", *IECEC*. 20115, 1- 6 (2002).
18. M.O'Neill, "1000 W/kg Solar Concentrator Arrays for Far-Term Space Missions", *Space Tech. & App. International Forum (STAIF)*, **12**,1-8(2004).
19. G. Martini, E. Randone, M. Fathi and S. Donati, "Uniformity of Concentration Factor and BFL in Microlens Array for Image Detectors Applications", *Optics Express*, **15**(3), 18066-18074 (2009).
20. J. H. Karp, E. J. Tremblay and J. E. Ford, "Micro-Optic Solar Concentration", *SPIE*, 1201004 (2010).
21. J. H. Karp, E. J. Tremblay and J. E. Ford, "Planar micro-optic solar concentrator" *Proc. of SPIE.*, **7407**, 74070, 1-11 (2010).
22. A. Salomoni, C. Majorana, G. Giannuzzi, A. Miliozzi and D.Nicolini, "New Trends in Designing Parabolic Trough Solar Concentrators and Heat Storage Concrete Systems in Solar Power Plants", *ISBN*, **22**(9), 432-440 (2010).
23. J. H. Karp and J. E. Ford, "Multiband Solar Concentrator using Transmissive Dichroic Beam splitting", *UCSD*, **33**(12), 34-42 (2008).
24. J. M. Hallas, J. H. Karp, E. J. Tremblay, K.A. Baker and J. E. Ford, "Novel Tracking of a Planar Micro-Optic Solar Concentrator", *UCSD*, **12**(3), 21-31 (2010).
25. R. Pall, "High Temperature Solar Concentrator", *EOLSS*, **13**(1), 12-23 (2009).
26. G. Sala, G. L. Araújo, A. Luque, Ruiz, M. A.Coello, E. Lorenzo, F. Chenlo, J. Sanz, A. Alonso. Proc ISES, "International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress" (Pergamom, New York 1979), 1737.
27. M. O'Neill, A. McDanal, P. George, M. Piszczor, D. Edwards, D. Hoppe, M. Eskenazi, P. Jaster and H. Brandhorst, "Development of the Ultra-Light Stretched Lens Array", *29<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, (2002).
28. M. Richard Swanson, "Photovoltaic Concentrator", *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Edited by A. Luque and S. Hegedus© 2003 John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-471-49196-9.
29. F. Piszczor, M. O'Neill, M. Eskenazi and H. Brandhorst, "Stretched Lens Array (SLA) Photovoltaic Concentrator Hardware Development & Testing", *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Japan* (2003).
30. Y. Inomata, K. Fukui, K. Shirasawa, "Solar Energy Materials", *Solar Cells*, vol. 48, (1997).

## REFERENCES

31. Douglas S. Ruby, Saleem H. Zaidi, Madhu Roy, Mohan Narayanan, "Plasma Texturing of Silicon Cells", Presented at the 9th Workshop on Crystalline-Silicon Solar Cell Materials and Processes, Breckenridge, August, (1999).
32. M Currie, J. Mapel, T. Heidel, S. Goffri and M. Baldo, "High-efficiency organic solar concentrators for photovoltaics", *Science*, **321**(5886), 226-228 (2008).
33. B. Galiana, C. Algora, I. Stolle and G. Vara, "A 3-D model for concentrator solar cells based on distributed circuit units" *IEEE*. **52**, 2552-2558(2005).
34. P. Widenborg, I. Aberle and G. Armin, "[Polycrystalline Silicon Thin-Film Solar Cells on AIT-Textured Glass Superstrates](#)", *Advances in Opto-Electronics*, **12** (5), 1-10 (2007).
35. G. Araujo and A. Mart, "Absolute limiting efficiencies for photovoltaic energy conversion" *Solar Energy Mater. and Solar Cells*, **33**(3), 213–240 (1994).
36. T. Tiedje, E. Yablonovitch, G. Cody and B. Brooks, "Limiting efficiency of silicon solar cells", *IEEE Trans. on Elec. Dev.*, **31**(2), 711–716 (1984).
37. R.A.Street, Hydrogenated "Amorphous Silicon", Cambridge University Press, (2005).
38. E. Ralph., "Solar Energy", *Microsystem Technologies*, **10**(21), 67–71 (1966).
39. M.Zhou, and I.Gosh, *Piptide Science*, 88, **NO.3**, pp: 325-339 (2006).
40. T. Tiedje, E. Yablonovitch, G. Cody and B. Brooks, "Limiting efficiency of silicon solar cells", *IEEE Trans. on Elec. Dev.*, **31**(2), 711–716 (1984).
41. M. J. O'Neill , " *Silicon Low-Concentration , Line-Focus, Terrestrial Modules* ",Chapter 10 in *Solar Cell and Applications* John Wiley & Sons, (1995).
42. S. Ka Ming Chow., " *Integration of High Efficiency Solar Cell on Carriers For Concentrating System Applications* ", M. Sc. Thesis University of Ottawa , (2011).
43. Qassim Ahmed Mekeef. Characteristics of Silicon Nanostructures Produced by High Power Lasers. University of Technology Applied Sciences Department Laser Physics Branch. M.S.C. Supervisor: Dr. Bassam Ghalib Rasheed.2010.89p
44. Hull Robert (1999). [Properties of crystalline silicon](#). 421 صفحة. [ISBN 978-0-85296-933-5](#).
45. R. Haas, "[PMMA, Acrylic glass](#)", *Refractive index.info.*, **5**(2), 43-51 (2012).
46. Mmmmm silicon
47. Chaves, Julio (2008). *Introduction to Nonimaging Optics*. CRC Press. ISBN 978-1420054293.
48. Benitez, Pablo; et al. (26 April 2010). "High performance Fresnel-based photovoltaic concentrator". *Optics Express* **18** (S1): A25.doi:10.1364/OE.18.000A25.

## REFERENCES

49. Y. Wang, G. Zheng and C. Yang, "Characterization of acceptance angles of small circular apertures", *Optics Express*, **17**(26) 23903-23913 (2009).
50. Sadik Abid.H, "Texturing And Top Grid Effects To Enhance The Local Solar Cells Efficiency ", Iraq, 2000.
51. Muna Sargon.M, " Effect of Surface Texturing on Silicon Solar Cell Absorption", Iraq, 2006.
52. R. Shyu, C. Pan and S. Lin, "Parametric Study of Spherical Micro-lens Array", *Materials Science Forum*, **505**(5), 595-600 (2006).
53. C.W.Ruggiero " Array Tracing Investigation of Ligh Trapping due to Grooves in Solar Cells" (2007).
54. . M. Geetha, P. Senthil kumar, R. Govindan, P. Ramu, L. Arivuselvam and P. M. Anbarasan, "Design of Microlens Focused V-Groove Textured Silicon Solar Cell with Different Aspect Ratio Using ZEMAX", *Recent Research in Science and Technology*, **2**(10), 5-8 (2010).
55. د. علي هادي الحمداني "تحسين أداء الخلايا الشمسية باستخدام تصاميم جديدة لمركز حوضي مركب نوع V ثنائي المرايا المغطى بعدسات فريزيل" (2009) ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 27، 3، 1- 5.
56. Yasmeen Zaidan D. "Preparation of porous silicon and it's application in solar cell", 2009. Page 132.
57. J. H. Karp, E. J. Tremblay and J. E. Ford, "Radial Coupling Method for Orthogonal Concentration within Planar Micro-Optic Solar Collectors", *UCSD*, **44**(23), 344-351 (2010).
58. Alaa Badr H. " Design and Evaluation of Micro-lenses Array Solar Concentrator", Iraq, 2013.
59. <https://www.facebook.com/zcfriends/posts/854925837939131:0>
60. Sarah Lindner " New Generation Silicon Solar Cells" 15.09.2015
61. D. Feder, "Automatic Optical Design", *Appl. Opt.* **2**, 1209–1226 (1963).
62. R. Volkel, M. Eisner and K. Weible, "Miniaturized Imaging Systems", *Microelectronic Engineering*, **67**, 461–472(2003).
63. G. Araujo and A. Mart, "Absolute limiting efficiencies for photovoltaic energy conversion" *Solar Energy Mater. and Solar Cells*, **33**(3), 213–240 (1994).
64. Ferlauto.C., Ferreira.A., Chen.G. and Koh.C., "Evolution of microstructure and phase in amorphous, protocrystalline, and microcrystalline silicon studied by real time spectroscopic ellipsometry", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **78**(8), 1–4. (2003).
65. M. Manevich, M. Klebanova and V. Lyubina, "Gap Micro-Lithography for Chalcogenide Micro-Lens Array Fabrication", *Chalcogenide Letters*, **5**(4), 61-64 (2008).
66. C. Rockstuhl, T. Scharf, H. Peter Herzig , W. Noell and R. Völkel, "Focal-point shaping of microlenses by amplitude or phase masks", *Opt. Lett.* **25**(6), 191-193 (2000).

## REFERENCES

67. Bakshi.U. and Godse.A., "[Basic Electronics Engineering](#) and Technical Publications", *ISBN*, 21(3), 8–10(2011).
68. S. Muhammad Arif, "Studies on the Design of Micro and Nano Optical Elements", *Ph. D Thesis, Uni. of Tech. Iraq*, (2011).
69. M. Hill, "Computer Performance Evaluation", in *Optical System Design*, Ch. 10 (2004).
70. M. Baba and K. Ohtani, "Optical Resolution in Telescope", *J. Pure Appl. Opt.*, **3**(8), 276-283(2001).
71. G. Mark, "Optical software" *Inst. of Phys. and IOP Pub.* **3**, 15-19 (2006).
72. M. Hill, "Basic Optics and Optical System Specifications", in *Optical System Design, ch. 1*(2004)
73. T. John, "[Latest Zemax creates and evaluates designs](#)", *Laser Focus World*, 33(23), 2-13 (1997).
74. Software for optical design; zemax development corporation ,( 2005).
75. 23W. Smith, "The Basic of Lens Design" in *Modern Optical Engineering*, Ch. 15 4<sup>th</sup>. Ed. (2007).
76. A. Stockham and J. Smith, "Tolerancing Microlenses Using ZEMAX", *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, **38**(4), 590-599, (2006).
77. R. Barakat and M. Morello, "Computation of the Total Illuminance (Encircled Energy) of an Optical System from the Design Data for Rotationally Symmetric Aberrations", *J. Opt. Soc. Am.*, **54**, 235–240 (1964).
78. P. Schreiber, S. Kudaev, P. Dannberg and U. Zeitner, "Homogeneous LED-illumination using microlens arrays", *Applied Optics and Precision Mechanics*, **21**(8), 23-31 (2006)
79. M. Herzberger, "Light Distribution in the Optical Image", *J. Opt. Soc. Am.*, **37**, 485–493 (1947).
80. 24B. Unger, "Dimpled Planar Lightguide Solar Concentrators", *PhD. Thesis. University of Rochester, New York* (2010).
81. "Optical Design Program" *User's Guide, ZEMAX Development corp. USA*, (2005).
82. [Green MA](#), [Keevers MJ](#). Optical properties of intrinsic silicon at 300 K. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 1995 ;3:189 - 192.
83. M. Zimmermann, M. Schmidt, A. Bich and R.Voelkel, "Refractive Micro-Optics for Multi-Spot and Multi-Line Generation", *the 9th International Symposium on Laser Precision Microfabrication* (2008).
84. P. Benítez, "Simultaneous multiple surface optical design method in three dimensions", *Opt. Eng.*, **43**(7), 1489–1502(2004).
85. K. Tvingstedt, S. Dal Zilio, O. Inganäs1 and M. Tormen, "Trapping Light with Micro Lenses in Thin Film Organic Photovoltaic Cells", *Optics Express*, **16**(26), 21608-21615 (2008).

## *ABSTRACT*

In this work silicon solar cell has been designed with grooves texture on its upper surface to increase efficiency by reducing reflection of rays and increasing optical path through the cell and subsequently increasing absorption photons into the cell. The grooves are designed from silicon and appended to the upper surface of solar cell. There are five samples that have been designed: triangle shape grooves solar cell with variable base, triangle shape grooves solar cell with variable apex, rectangular shape grooves solar cell with variable height, rectangular shape grooves solar cell with variable width, and semicircular shape grooves solar cell. There is a detector positioned at the bottom of the cell which has sensitivity for visible light and IR that is appropriate with silicon optical transmission and whenever internal reflections for the cell increase the detector reading then the result is the quantity of rays from increasing optical path. The grooves are designed with variable values of aspect ratio (0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 and 2) and at any aspect ratio value either grooves length ( $z$ ) or grooves width ( $w$ ) is variant. The grooves decrease reflection and increase optical path through the cell and subsequently increase solar cell efficiency. In this work, the solar cell has been designed by using non-sequential ray tracing mode software program for optical design (Zemax). The number of rays used in the program (1000) rays incident vertically on the cell ( $\theta = 0^\circ$ ) and used incident ray bevel angle  $10^\circ - 80^\circ$  (in two directions parallel and cross with the grooves to explain the effect of incident angle on cell efficiency and grooves effect range on incident angle). The best model achieved the five models and (more efficiency) it

semicircular shape grooves that gives detector reading (3500) rays equal three times and half of grand number of incident rays, and then triangular shape grooves with variable base that gives detector reading (2500) ray equal twice and half of the grand number of incident rays, and then triangular shape grooves with variable apex that gives detector reading (1400) ray, and then rectangular shape grooves that gives detector reading (1000) ray equal the grand number of incident rays. Obviously increasing angle caused graduated detector reading. The illuminance distribution shows variation of rays distribution on the cell that give uniform illuminance distribution for all cell dimensions.

*Republic of Iraq  
Ministry of Higher Education  
And Scientific Research  
University of Baghdad  
College of Education for Pure  
Science / Ibn Al-Haitham  
Department of Physics*



***Efficiency Evaluation of Different Grooves  
Silicon Solar Cell Using ZEMAX***

*A thesis*

*Submitted to the Counsel of Education for Pure Science / Ibn  
Al-Haitham - Baghdad University in Partial Fulfillment of The  
Requirements for the Degree of Master of Science in Physics*

*By*

***Maryam Azher Ali Ghalib***

*BSc. in Physics / 2010*

*Supervised by*

***Asst. Prof. Alaa Badr Hasan***

*1437 A.H*

*2016 A.D*