الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
هندسة الطاقة الكهربائية

تحسين كفاءة اللاقط الشمسي باستخدام النموذج الهجين (اللواقط الشمسية الحرارية)

Improving The Efficiency Of Solar Cells By Using Hybrid PV/Thermal System

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقات الكهربائية المتجددة

إعداد المهندسة

عبير أحمد زين

المشرف العلمي

الدكتور المهندس رائد الشرع

2019م

فهرس المحتويات

Table of Contents

فهرس المحتويات II

TABLE OF CONTENTS II

فهرس الأشكال VII

فهرس الجداول IX

جدول الرموز و المصطلحات X

الملخص 1

ABSTRCT 2

مقدمة عامة: 3

الفصل الأول: دراسة مرجعية 5

LITERATURE REVIEW 5

1-1 مقدمة: 6

2-1 الدراسة المرجعية الأولى:**APPLICATION ASPECTS OF HYBRID PV/T SOLAR SYSTEMS** 6

3-1 الدراسة المرجعية الثانية : **Field Experiments Of PV/Thermal Collectors For Residential Application** 7

4-1 الدراسة المرجعية الثالثة: **Areview of solar collectors and Thermal energy storage in solar thermal Application** 8

5-1 الدراسة المرجعية الرابعة: **Historical and recent development of photovoltic thermal (PVT)technologies** 10

6-1 الدراسة المرجعية الخامسة: **Design and Evaluation of a Photovoltaic/Thermal-Assisted Heat Pump Water Heating System** 11

7-1 خاتمة: 12

الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي و مركباته 13
SOLAR RADIATION AND ITS COMPONENTS 13
2-1 مقدمة: 14
2-2-1 إشعاع الجسم الأسود: 14
2-2-2 العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي أثناء انتقاله إلى الأرض: 15
2-2-3 مركبات الإشعاع الشمسي: 16
2-3 الاعتبارات الحرارية THERMAL CONSIDERATIONS 18
2-3-1 تأثير درجة الحرارة 18
2-3-2 درجة حرارة الخلية للتشغيل النظامي : 19
2-4 الخاتمة : 22
الفصل الثالث: اللواقط الشمسية 23
SOLAR COLLECTORS 23
3-1 مقدمة: 24
3-2 اللواقط الشمسية الحرارية SOLAR THERMAL COLLECTORS : 25
3-2-1 اللواقط المسطحة (FPC)FLAT PLATE COLLECTORS : 25
3-3 اللواقط الشمسية الكهرضوئية SOLAR PV PANELS : 26
3-4 اللاقط الكهرضوئي الحراري الهجين(PVT)HYBRID PHOTO VOLTAIC THERMAL COLLECTOR: 29
3-5 خاتمة: 30
الفصل الرابع: اللواقط الشمسية الحرارية الهجينة (PVT) 31
HYBRID PHOTO VOLTAIC THERMAL CELLS 31
4-1 مقدمة : 32
4-2 لواقط PVT : 32
4-3 تصنيف لواقطPVTحسب الناقل الحراري : 33
4-3-1أنظمة PVT العاملة على الهواء(PVT/A): 33

2-3-4 أنظمة PVTالعاملة على الماء(PVT/W): 34
3-3-4 أنظمة PVT العاملة على أساس وسيطي تبريد: 35
4-3-4 أنظمةPVT التي تعتمد على وسيط تبريد نانوي:NANO-FLUID PVT 35
5-3-4 أنظمة PVT التي تعتمد على مواد متغيرة الطور :PHASE CHANGE MATERIALS(PCM) 35
6-3-4 أنظمة PVT التي تعتمد على الأنبوب الحراري : 36
4-4 التصنيف حسب طرائق تصنيع اللاقط: 36
1-4-4 لواقط PVT المسطحة: 37
2-4-4 لواقط PVT المرنة FLEXIBLE PVT MODULES: 39
3-4-4 لواقط – مركزات:PVT CONCENTRATED PVT MODULES: 40
5-4 الماص الحراري للواقط:PVTTHERMAL ABSORBERS FOR PVT MODULES: 41
1-5-4 تصنيف اللواقط حسب بنية الصفيحة و الأنبوب:SHEET AND TUBE STRUCTURE: 41
2-5-4 النفق المستطيل مع أو بدون (زعانف تبريد /أخاديد): 41
3-5-4 مجموعة الأنابيب الحرارية ذات القناة الميكروية(حصيرة حرارية) :MICRO – CHANNEL HEAT PIPE ARRAY: 41
4-5-4 المبادل الحراري المقذوف EXTRUDED HEAT EXCHANGER: 42
5-5-4 المبادل الحراري ذو الأنابيب المتعرجةROLL-BOND HEAT EXCHANGER: 42
6-4 طرائق التصنيع و الدمجINTEGRATION / MANUFACTURING METHODS : 42
1-6-4 دمج لاقط PV مع ماص حراري بوساطة الوصل المباشر : 43
2-6-4 دمج لاقطPV مع ماص حراري بوساطة اللاصق الحراري THERMAL ADHESIVE : 43
3-6-4 دمج لاقط PV مع ماص حراري بوساطة التثبيت الميكانيكي MECHANICAL FIXING : 44
4-6-4 دمج لاقطPV مع ماص حراري بوساطة التصفيح المباشر :DIRECT LAMINATION 44
7-4 اللاقط الشمسي مع زجاج و بدون زجاج:GLAZED AND UNGLAZED SOLAR COLLECTOR: 46
1-7-4 لاقطPVT مع زجاج : 46
2-7-4 لاقطPVT بدون زجاج : 47

8-4 خاتمة: 49

الفصل الخامس: نمذجة و محاكاة اللواقط الشمسية (PV&PVT) 50

MODELLING AND SIMULATION OF SOLAR CELLS(PV&PVT) 50

5-1مقدمة: 51

5-2 البنية الداخلية للواقط الشمسية الحرارية الهجينةPVT: 51

1- لواقط بمبادل حراري مائي: 52

2-لواقط شمسية بمبادل حراري-هوائي: 52

5-3 وصف النظام الكهروضوئي الهجين المقترح: 53

5-3-1خصائص اللاقط: 53

5-3-2 النظام المتكامل: 55

5-3-3 المعادلات الواصفة للنظام: 55

5-4 نمذجة النظام الكهروضوئي المقترح: 58

5-4-1 تحديد قيمة الإشعاع الشمسي : 59

5-4-2 نمذجة اللاقط الكهربائي التقليدي: 60

5-4-3 نمذجة النظام المتكامل للاقط الشمسي الحراري الهجين: 61

5-5 نتائج النمذجة في بيئة MATLAB/SIMULINK : 63

5-5-1 حالة يوم شتوي بتاريخ10/12/2017: 63

5-5-2 حالة يوم صيفي بتاريخ20/7/2018: 66

5-5-3 خمسة أيام صيفية متتالية من تاريخ20/7/2018إلى25/7/2018: 68

5-5-4 خمسة أيام صيفية متتالية عند ثلاث درجات حرارة مختلفة: 71

5-6 الخاتمة 74

الفصل السادس: اختبار النموذج الفيزيائي 75

TESTING OF THE PHYSICAL MODEL 75

6-1 مقدمة: 76

2-6 بناء النموذج الفيزيائي : 76

3-6 النتائج التجريبية : 78

1-3-6 أجهزة القياس: 78

2-3-6 نتائج اختبار النموذج الفيزيائي : 79

3-3-6 مقارنة النتائج الفيزيائية مع النتائج الحاسوبية : 83

4-6 الخاتمة: 85

النتائج و التوصيات 86

المراجع العلمية العربية و الأجنبية 88

فهرس الأشكال

الشكل (1-1) أربعة تراكيب مختلفة للواقط الشمسية الحرارية 9
الشكل (1-2)أربعة نماذج لبناء اللاقط الشمسي الهجين 10
الشكل (2-1) التوزع الطيفي لإشعاع الحزمة 16
الشكل(2-2) المركبات الثلاثة للإشعاع الشمسي الساقط على لاقط مائل على الأفق 17
الشكل(2-3): تأثيردرجة الحرارة على المميزةI-V لخلية شمسية 18
الشكل (2-4): الفرق بين درجتي حرارة الخلية و المحيط كتابع للإشعاع الشمسي 20
الشكل(2-5):ميزة توتر-استطاعة للاقط بدلالة الاستطاعة الشمسية و درجة حرارة الخلية أو درجة حرارة المحيط 22
الشكل (3-1) تصنيف لواقط الطاقة الشمسية 24
الشكل(3-2) التصميم النموذجي لـFCP 25
الشكل (4-1) مخطط أصناف لواقط الـPVT 33
الشكل (4-2) تصاميم مختلفة لبناء اللاقط الهجين بمبادل حراري هواء 34
الشكل (4-3) نماذج مختلفة لبناء لاقط هجين بمبادل حراري ماء 35
الشكل (4-4) تصنيف لاقط الـPVTحسب نوع اللاقط PV 37
الشكل(4-5) البنية الأساسية للواقط PVT المسطحة 38
الشكل (4-6) التصنيف النموذجي لـPVT 38
الشكل (4-7) بنية لاقط PVT المرن 39
الشكل (4-8) بنية مركزات الـPVT 40
الشكل(4-9)لاقطPVT يستخدم الدمج بالجل السيليكوني 44
الشكل (4-10) بنية لاقط هجين-A– دمج اللواقط مع الماص باستخدام صفيحةEVA مع صفيحة خلفية من الـTPT 45
-B-دمج اللاقط مع الماص باستخدام صفيحة EVA بدون الـTPT 46
الشكل (4-11) بنية اللاقط الهجين –بدون زجاج – مع زجاج 47
الشكل (4-12) اللاقط الهجين مع عاكس 48
الشكل(5-1) بنية اللاقط الشمسي الهجينPVT 51
الشكل(5-2) اللاقط الشمسي الهجين بمبادل حراري ماء. 52
الشكل(5-3) اللاقط الشمسي الهجين بمبادل حراري- هواء 52
الشكل(5-4) لاقط الـPVT -A–مقطع عرضي -B- مقطع أفقي 53
الشكل (5-5) منحني الخصائص الكهربائية للاقط المستخدم 54
الشكل(5-6) النظام الكهروضوئي الهجين المقترح 55
الشكل (5-7) تسلسل عملية الحصول على قيم الإشعاع 60
الشكل (5-8) نمذجة اللاقط PV في بيئة MATLAB 60
الشكل(5-9) نمذجة النظام الكهروضوئي الهجين المقترح 62

الشكل (5-10) الاشعاع الشمسي في يوم شتوي10/12/2017 63
الشكل(5-11)تغيردرجة حرارة اللاقط بتغير الاشعاع في يوم شتوي 64
الشكل(5-12) تغيرطاقة الخرج الكهربائية بتغيرالاشعاع في يوم شتوي 65
الشكل (5-13) تغيرطاقة الخرج الحرارية بتغير الاشعاع في يوم شتوي 65
الشكل (5-14): تغيرالاشعاع الشمسي في يوم صيفي 66
الشكل(5-15) تغيردرجة حرارة اللاقط بتغير الاشعاع في يوم صيفي 67
الشكل (5-16) تغيرطاقة الخرج الكهربائية بتغيرالاشعاع في يوم صيفي 67
الشكل (5-17)تغيرالطاقة الحرارية بتغيرالإشعاع في يوم صيفي 68
الشكل(5-18) تغيردرجة الحرارة في 5 أيام صيفية متتالية 70
الشكل(5-19) تغيرطاقة الخرج الكهربائية 70
الشكل(5-20)تغيرالطاقة الحرارية لخرج اللاقط الهجين 71
الشكل(5-21) تغيردرجة الحرارة 72
الشكل (5-22) تغيراستطاعة الخرج الكهربائي -A- تغيرالاستطاعة لخمسة أيام متتالية .-B- تكبيرلقمة اليومين الأول و الثاني.73
الشكل (6-1) شبكة الأنابيب النحاسية 77
الشكل (6-2) الياف الصوف الزجاجي 77
الشكل (6-3) الغطاء البلاستيكي الخلفي. 78
الشكل (6-4) أجهزة القياس المستخدمة في الاجراء التجريبي 79
الشكل(6-5) منحنيات خصائص اللواقط عند النقاط المدروسة 81
الشكل (6-6) مقارنة النتائج الحاسوبية مع الفيزيائية 84

فهرس الجداول

الجدول (1-1)تغير الطاقة الحرارية و الكهربائية خلال عام كامل 7

الجدول (1-2) محددات اللواقط السيليكونية أحادية البلورة واللواقط متعددة البلورة 8

الجدول (1-3)طاقة الخرج الحرارية و الكهربائية 8

الجدول(1-4) فترة استرداد رأس المال 8

الجدول (4-1) خرج الطاقة السنوي للاقط الشمسي التقليدي و الهجين 48

الجدول (4-2) فترةاسترداد رأس المال وانبعاث غاز CO_2 للاقط تقليدي و لاقط هجين 49

الجدول (5-1) :مواصفات الألواح المستخدمة 54

الجدول(5-2) تغير قيمة التدفق مع تغير درجة الحرارة و الإشعاع 58

الجدول (5-3) تغير الاشعاع لـ 5 أيام متتالية 69

جدول (6-1) مواصفات اللاقط الكهرشمسيPV 76

الجدول (6-2) نتائج اختبار اللاقط الهجين. 80

الجدول (6-3) نتائج اختبار الدارة المفتوحة 82

الجدول (6-4) نتائج اختبار الدارة المقصورة 82

الجدول (6-5) نتائج اختبار التدفق القسري 82

جدول الرموز والمصطلحات

المصطلح العلمي	الرمز
امتصاصية اللاقط.	α
ثابت ستيفان بولتزمان	σ
انبعاثية اللاقط	ε_{pvt}
مساحة سطح اللاقط	A_{pv}
العامل الحقيقي المعتمد على تقنية PV	A
سعة تسخين اللاقط	C_{pvt}
طاقة الفجوة لنصف الناقل المستخدم في بناء الخلية	E_{BG}
الإشعاع الشمسي الوارد	G
الاشعاع الشمسي في الشروط النظامية	G^{stc}
معامل الحمل القسري بالنسبة لتأثير الاشعاع الحراري	h_{conv}
تيار خرج اللاقط	I
تيار الخلية	I_{PH}
تيار الإشباع العكسي للاقط	I_{RS}
تيار إشباع الخلية	I_S
تيار قصر اللاقط عند الشروط النظامية	I_{sc}^{stc}
ثابت **بولتزمان**	K
معامل درجة الحرارة لتيار القصر	K_I
كتلة اللاقط	m_{pvt}
عدد الخلايا التفرعية	N_p
عدد الخلايا التسلسلية	N_S
اللاقط الشمسي التقليدي	PV
اللاقط الشمسي الحراري الهجين	PVT
طاقة خرج اللاقط وهي الطاقة الكهربائية المستخلصة منه	P_{pvt}
شحنة الالكترون	Q
صافي الإشعاع الشمسي الواصل للوجه الأمامي للاقط	Q_{solar}
الطاقة الناتجة عن تبادل حرارة إشعاع الموجات الطويلة	Q_{rad}
الطاقة الناتجة عن التبادل الحراري بين السطح الأمامي للاقط والهواء المحيط	Q_{conv}

الطاقة الناتجة عن الحرارة المزالة من خلال التبريد	Q_{Rf}
المقاومة التسلسلية	R_s
المقاومة التفرعية	R_{SH}
درجة حرارةالوسط المحيط المطلقة	T_{amb}
درجة حرارة اللاقط	T_{pvt}
درجة حرارة اللاقط في الشروط النظامية	T_{pvt}^{stc}
توتر خرج اللاقط	V

الملخص

مع زيادة التقدم العلمي والطلب على الطاقة كان لابد من تطوير تطبيقات الطاقة الشمسية، حيث تعد الطاقة الشمسية أهم مصادر الطاقة المتجددة، ولكن هناك عوامل تؤثر على كفاءة هذه النظم سلباً مثل (التظليل والمطر وارتفاع درجة حرارة اللاقط وحاجتها لمساحات كبيرة)، وبالتالي ستتغير القدرة الكهربائية المقدمة من هذه النظم وفقاً لظروف التشغيل المختلفة.

تقدم هذه الدراسة أحد الحلول المقترحة لمشكلة ارتفاع درجة الحرارة واستغلال المساحة التي تشغلها هذه النظم، من خلال استخدام النموذج الهجين (اللواقط الشمسية-الحرارية)، والتي تعتمد على دمج اللواقط الشمسية مع السخان الشمسي وبالتالي تحسين مردود اللواقط في المناطق ذات درجات الحرارة المرتفعة، ما يزيد متانة اللواقط الكهروضوئية وحمايتها من ارتفاع درجة الحرارة.

تم استخدام البرامج الحاسوبية (PVSYST, MATLAB/Simulink) في دراسة النموذج المقترح.وبناء نموذج فيزيائي للنظام الهجين واختباره ومقارنة النتائج مع لاقط تقليدي ومع النموذج الحاسوبي،وقد بينت النتائج مدى فاعلية هذا النموذج في تحسين مردود النظام المتكامل (الكهربائي-الحراري) وذلك باستغلالالمساحةنفسها لتوليد طاقة كهربائية وحرارية بالمقارنة مع النموذج التقليدي.

Abstrct

With the increase in development and the increase in demand for energy، it was necessary to develop applications of solar energy. Although solar energy is one of the most important sources of renewable energy، there are many factors that affect the efficiency of these systems negatively (such as shading - rain - high temperature of the PV - the need for large areas) Change the electrical power provided by these systems according to different operating conditions. This dissertation presents one of the proposed solutions to the problem of high temperature and exploitation of the space occupied by these systems. The Hybrid PV/Thermal system، which is based on the integration of solar water pumps with the photovoltaic cells and thus improve the yield of the polarized in high temperature areas، which increases the durability and protection of PVs Of high temperature.

The PVSYST-MATLAB / Simulink software was used in the study of the proposed model,andBuild the physical model of the hybrid system and test it and compare the results with a conventional model and with the computer model.

The results showed the effectiveness of this model in improving the return of the integrated system (thermal and electrical)، in addition to exploiting the same area to generate electricity and heat compared to the conventional model.

مقدمة عامة:

تطورت اللواقط الشمسية وكذلك المركزات لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة النظيفة ،حيث تعد الشمس أهم مصادر الطاقة المتجددة، وبسبب تأثرها الكبير بالعوامل المحيطة (التظليل–المطر–ارتفاع درجة الحرارة .....وغيرها)كان لابد من العمل الدؤوب للتقليل من هذا التأثر ومن هنا كانت بداية الأبحاث الحديثة فكانت إحدى الأساليب المستخدمة التهجين وكان هناك العديد من الاتجاهات في هذا المجال، وسيتم التركيز في أطروحتنا هذه على اللواقط الشمسية الحرارية (PVT Photo Voltaic Thermal)التي تقوم على دمج اللواقط الشمسية التقليدية PVمع السخان الشمسي، وبالتالي يمكننا الحصول على طاقة حرارية مستخرجة من المبادل الحراري في السخان الشمسي، إضافة إلى الطاقة الكهربائية من اللاقط PV،حيث تم ملاحظة زيادة الطاقة الكهربائية المستخلصة بفضل تبريد الخلية ،وبالتالي تقليل المساحة المطلوبة للحصول على الكمية نفسها من الطاقة الكهربائية والحرارية من الآلة نفسها وبالوقت نفسه.

تتكون الأطروحة من ستة فصول،يتضمن **الفصل الأول** دراسة مرجعية حول اللواقط الشمسية الحرارية نبين من خلالها توجه الأبحاث في تطوير هذه اللواقط،وتسليط الضوء على أهم ماتوصل إليه الباحثون في هذا الخصوص.

ويقدم **الفصل الثاني** نظرة عامة عن الإشعاع الشمسي ويبين مكوناته والعوامل المؤثرة عليه وكذلك أثر تغير درجة الحرارة على اللواقط التقليدية،وأثر تغير الأطوال الموجية عليها .

أما في **الفصل الثالث**، فقد تم تقديم لمحة عامة عن اللواقط الشمسية التقليدية وأنواعها،وكذلك لمحة عن المركزات الشمسية وأنواعها .

و في **الفصل الرابع** قمنا بعرض مقدمة نظرية عن اللواقط الشمسية الحرارية،وتصنيف اللواقط حسب اختلاف مكوناتها مع تبيان مزايا كل مكون مضاف ومساوئه، وتصنيفها حسب المبادل الحراري المستخدم،وحسب الطبقات الزجاجية المضافة على الوجه العلوي المقابل للشمس(مع زجاج أو بدون زجاج).

و تضمن **الفصل الخامس** بنية اللواقط الشمسية المختارة لعملية النمذجة، حيث تم اقتراح ربط خمسة لواقط مربوطة على التسلسل للحصول على 1kw، وتم وصف المعادلات الرياضية لهذا النظام،وتم تقديم نموذج

حاسوبي في بيئة Matlab/Simulink لمجموعة اللواقط الموصلة تسلسليا وإبراز النتائج لعمل هذه اللواقط في أيام مختارة عشوائيا من الصيف والشتاء.

أما**الفصل السادس** فتم فيه شرح مبسط لبناء النموذج الفيزيائي للاقط الهجين الذي قمنا باختباره،وعرض لنتائج الاختبار على اللاقط الهجين واللاقط التقليدي ومقارنة النتائج العملية مع النموذج الحاسوبي .

الفصل الأول: دراسة مرجعية

Literature Review

1-1مقدمة:

سنقدم في هذا الفصل خمس دراسات مرجعية تتعلق باللواقط الشمسية الحرارية الهجينة (PVT)، تتضمن كل دراسة ملخص بحث ونتائج وتوصيات توصل لها الباحث ،وسنذكر في نهاية هذا الفصل خلاصة هذه الأبحاث التي تسمح لنا بتوضيح الدراسة المقدمة في هذه الأطروحة بالنسبة لهذه البحوث العالمية المنجزة ذات الصلة.

1-2الدراسة المرجعية الأولى:

العنوان:

APPLICATION ASPECTS OF HYBRID PV/T SOLAR SYSTEMS

اسم الباحث:

Y. Tripanagnostopoulos and M. Souliotis

R. Battisti and A. Corrado

تاريخ ومكان النشر:

Physics Department, University of Patras, Patras 26500, Greece

Department of Mechanics and Aeronautics, University of Rome “La Sapienza”, Rome 00184, Italy

ملخص:

تقدم هذه الدراسة تغير خرج اللواقط الشمسية الحرارية واللواقط التقليدية عند تغير درجات الحرارة اللاقط بين (25-35-45℃) خلال عام كامل بدون زجاج ومع زجاج، وكذلك بدون عاكس ومع عاكس، بالإضافة لدراسة تغير فترة استرداد رأس المال،وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2.

تبين من خلال هذه الدراسة أن إضافة طبقة زجاجية تساعد في زيادة الخرج الحراري ولكنها تؤثر سلبا على الخرج الكهربائي،أي زيادة المردود الحراري مع انخفاض المردود الكهربائي، أما المحصلة فكانت زيادة المردود الكلي للاقط، ويوضح الجدول (1-1) لنا نتائج الاختبارات على اللاقط PVTمع زجاج و بدون زجاج، خلال عام كامل وفي درجات حرارة مختلفة.

الجدول (1-1)تغير الطاقة الحرارية والكهربائية خلال عام كامل

Month	PVT/UNGL 25 °C kWh/m²mo		PVT/UNGL 35 °C kWh/m²		PVT/UNGL 45 °C kWh/m²mo		PVT/GL 25 °C kWh/m²mo		PVT/GL 35 °C kWh/m²mo		PVT/GL 45 °C kWh/m²mo	
	Thermal	Electric	Thermal	Electric	Thermal	Electric	Thermal	Electric	Thermal	Electric	Thermal	Electric
Jan	4.32	11.87	-	11.07	-	10.27	27.92	9.96	3.67	9.19	-	8.38
Feb	8.41	11.99	-	11.18	-	10.37	31.24	10.06	7.16	9.28	-	8.47
Mar	18.61	15.57	-	14.51	-	13.45	46.38	13.05	17.29	12.04	-	10.98
Apr	35.92	16.24	-	15.13	-	14.07	60.74	13.61	30,24	12.55	-	11.44
May	61.80	19.94	15.95	18.58	-	17.21	87.99	16.69	54.06	15.38	20.12	14.00
Jun	91.74	20.36	44.20	18.95	-	17.55	111.26	17.02	76.07	15.67	40.89	14.26
Jul	106.84	21.75	60.99	20.24	15.15	18.73	125.75	18.17	91.81	16.71	57.87	15.20
Aug	107.43	22.11	64.86	20.56	22.29	19.02	127.18	18.44	95.67	16.96	64.16	15.41
Sep	78.38	19.27	40.36	17.93	2.33	16.59	99.35	16.10	71.20	14.81	43.05	13.47
Oct	50.91	16.23	14.89	15.11	-	14.00	72.13	13.58	45.46	12.51	18.80	11.39
Nov	24.74	12.57	-	11.71	-	10.86	44.72	10.54	21.26	9.71	-	8.85
Dec	8.53	10.36	-	9.66	-	8.96	27.90	8.69	6.08	8.02	-	7.32
Total	597.63	198.26	241.25	184.66	39.76	179.10	862.55	165.92	519.98	152.83	244.87	139.17

1-3الدراسة المرجعية الثانية :

العنوان:

Field Experiments Of PV/Thermal Collectors For Residential Application

اسم الباحث:

Thipjak Nualboonrueng , Pongpith Tuenpusa , Yuki Ueda and Atsushi Akisawa

تاريخ ومكان النشر :Bangkok-2012

الملخص:

تقدم هذه الدراسة ملخص نتائج اختبارية على PVTفي مناخ Bangkokوتمت المقارنة بين خلايا PVT سيليكونية أحادية البلورة وخلايا PVTسيليكونية متعددة البلورات

خلصت المقالة الى زيادة المردود وانخفاض فترة استرداد رأس المال عند استخدام اللواقط السيليكونية أحادية البلورة وهذه النتائج مبينة بالأرقام في الجداول (1-2) و(1-3):

الجدول (1-2) محددات اللواقط السيليكونية أحادية البلورة واللواقط متعددة البلورة

Item	a-Si PVT	mc-Si PVT
Collector area (m^2)	0.9	1.96
Packing factor of PVT collector	0.9	0.9
Working fluid thermal capacitance (kJ/kg·K)	4.19	4.19
Nominal efficiency of PV panel (%)	6.3	12.7
Collectors slope (degree)	15	15
Number of glass covers	1	1
Glass cover transmittance	0.92	0.92
Storage tank volume (m^3)	0.12	0.12
Temperature coefficient of PV cell efficiency	−0.0023	−0.0043
Loss coefficient of bottom and edge losses ($J/s \cdot m^2 \cdot K$)	0.31	0.31

الجدول (1-3) طاقة الخرج الكهربائية والحرارية

	a-Si PVT	mc-Si PVT
Thermal energy output [kWh/m^2]	1.2×10^3	1.1×10^3
Electrical energy output [kWh/m^2]	61	72

الجدول(1-4) فترة استرداد رأس المال

	a-Si PVT	mc-Si PVT
Payback [years]	7.6	14.5

1-4 الدراسة المرجعية الثالثة:

العنوان:

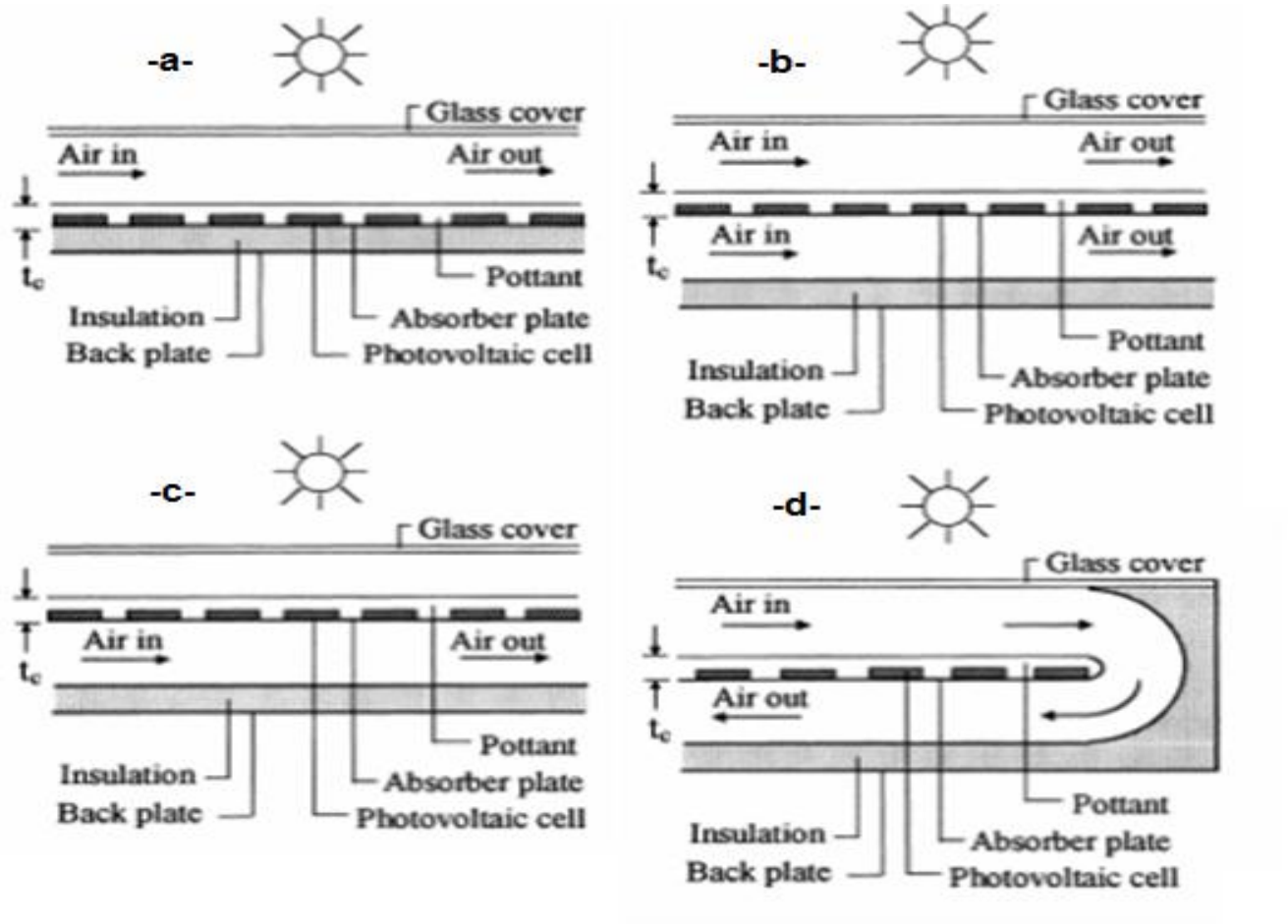
Areview of solar collectors and Thermal energy storage in solar thermal Application

اسم الباحث:Y. Tian , C.Y. Zhao

تاريخ ومكان النشر: 2013، بريطانيا

الملخص:

تدرس هذه المقالة آخر التطورات في أبحاث تصميم اللواقط الشمسية الهجينة وميزات ال PVT ،وتعرض أنواع مختلفة من اللواقط الشمسية ومناقشتها عند درجات حرارة خلية مختلفة، حيث تمت المقارنة بين أربع تراكيب للواقط الشمسية الحراريةPVT الموضحة في الشكل (1-1)



الشكل (1-1) أربعة تراكيب مختلفة للواقط الشمسية الحرارية

تمت – نتيجة لهذه الدراسة – معرفة أنه في الشكل الأول -a-حيث الهواء يتدفق فوق اللاقط فقط ، وهو الأقل مردوداً والأقل تكلفة ويزداد كل منهما بالتدريج في –b– و-c-حتى نصل إلى الشكل -d–حيث يدخل الهواء من أعلى اللاقط ليخرج من أسفله محققاً بذلك أعلى مردود،إلا أنه يتطلب تكلفة أعلى.

5-1 الدراسة المرجعية الرابعة:

العنوان:

Historical and recent development of photovoltic thermal (PVT)technologies

اسم الباحث: Anil Kumar, Prashant Baredar

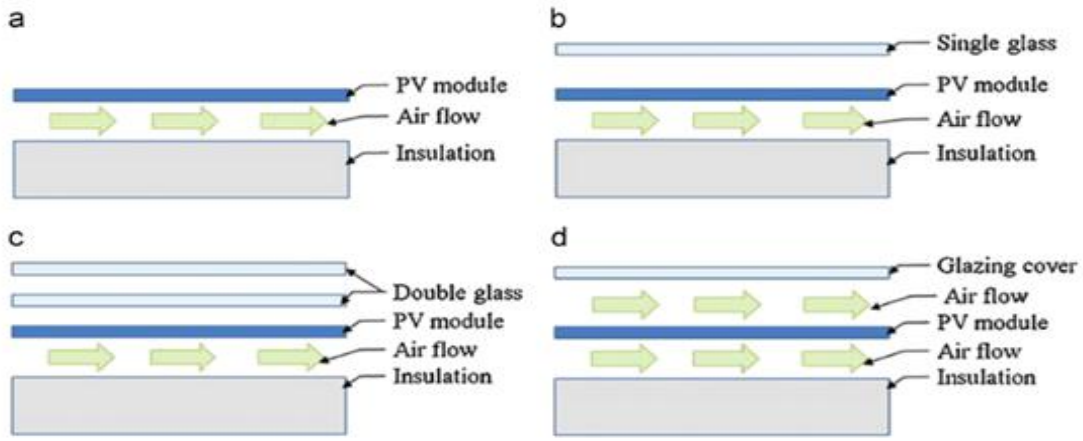
تاريخ ومكان النشر:الهند//شباط//2015

الملخص:

تم في هذه المقالة توضيح الفرق بين أربعة نماذج للخلايا الهجينة الموضحة في الشكل (1-2)، كماتم اعتماد copolymer ماصاً بسبب خواصه الفيزيائية .

ويوضح الشكل (1-2)أربعة نماذج لبناء اللاقط الشمسي الهجين حيث في النماذج -a– و -b-و-c- كان جريان الهواء تحت اللاقط فقط أما النموذج -d– فكان جريان الهواء فوق وتحت الاقط PV.

كما يتميز النموذج -c–عن النموذج -b–بوجود طبقة زجاج مضاعفة.



الشكل (1-2) أربعة نماذج لبناء اللاقط الشمسي الهجين

النتائج والتوصيات :

يقدم هذا البديل(copolymer) العديد من المزايا:

- تخفيض الوزن
- يؤدي إلى الإقلال من المواد المستخدمة في التصنيع وسهولة التركيب.
- بساطة عملية التصنيع بسبب انخفاض المكونات الداخلة.
- يمكن خفض نفقات الاستثمار نتيجة لانخفاض تكاليف المواد والتركيب.

سلبياتها:

- الموصلية الحرارية المنخفضة.
- التمدد الحراري الكبير.

ويجب أن تكونالكوبوليمرات المستخدمة متينةمن الناحية الفيزيائية، وذات حماية من الأشعة فوق البنفسجية والاستقرار الكيميائي.

6-1 الدراسة المرجعية الخامسة:

العنوان:

Design and Evaluation of a Photovoltaic/Thermal-Assisted Heat Pump Water Heating System

اسم الباحث:Huan-Liang Tsai

تاريخ ومكان النشر:*20 May 2014، سويسرا*

الملخص:

تم في هذه المقالة شرح للاقط PVT وبنيته المتكاملة، بالإضافة إلى نمذجة لاقط هجين PVT وإعطاء النتائج خلال فترة عمل يوم واحدلهذا اللاقط الهجين .

تم بيان أهمية هذا اللاقط الهجين مقارنة مع اللاقط التقليدي وإظهار النتائج خلال فترة عمل يوم كامل من استخدام اللاقط PVT

7-1 خاتمة:

توضح الدراسات السابقة خطوطاً مهمة في دراسة تطور الأبحاث على اللواقط الشمسية الهجينة،ونستنتج منها :

- طبقات الزجاج تقلل المردود الكهربائي وتزيد المردود الحراري.
- العواكس تزيد المردود الحراري.
- تدفق وسيط التبريد على جانبي اللاقط PVتزيد المردود الكهربائي والحراري.
- تختلف نتائج القياس باختلاف نوع اللاقط PVلذلك يجب المقارنة بين لاقط PVولاقط PVTيحتوي نوع ال PV نفسه.

الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي ومركباته

Solar Radiation and its Components

2-1مقدمة:

تبلغ الطاقة المولدة من الشمس $3.845*10^{20}[MW]$، و لاتصل هذه الطاقة كاملة الى الأرض ، لأن زاوية مخروط الطاقة الواصلة للأرض هي 0.32°فقط، ومن الممكن حساب كمية الطاقة الواصلة للأرض من العلاقة:

$$I_{hitting} = I_{sun}\frac{R_{sun}^2}{AU^2} = 1367[W/m^2] \quad .....(1-2)$$

حيث:

R_{sun} :هي نصف قطر الشمس[km]

$$\text{Astronomic unit } AU = 1.5*10^7[W/m^2] \quad .....(2-2)$$

تختلف طرق الاستفادة من هذه الطاقة الشمسية باختلاف اللاقط المستخدم و يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من اللواقط مشروحة بالتفصيلفي الفصل الثالث من هذه الرسالة[1][4].

2-2الإشعاع الشمسي:(Solar radiation)

هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحةٍ معينة و القادرة على توليد قدرةٍ كهربائية . لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس، التي تقدر بنحو [MW]130 لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن الطاقة الحرارية لسطح الأرضكلها و غلافها الجوي.

2-2-1إشعاع الجسم الأسود:

الجسم الأسود ماص مثالي ومطلق للإشعاع ، وعندما يتم تسخينه يبدأ بالتوهج ، أي بإصدار إشعاع الكترومغناطيسي حيث التسخين الأكثر يولد ضوءاً ذا طول موجي أقصر ،والتوهج الأحمر الابتدائي يتحول تدريجيا الى اللون الأبيض.

لم تكن الفيزياء التقليدية قادرة على وصف توزع الطول الموجي للضوء الصادر عن جسم مسخن، وفي عام 1900توصل (ماكس بلانك) إلى علاقة رياضية تصف هذا التوزع ،على الرغم من أن الفيزيائية المتضمنة لم تفهم إلا بعد انتهاء (اينشتاين) من عمله حول الكوانتية بعد خمس سنوات.

الاستطاعة الطيفية الصادرة عن جسم اسود هي الاستطاعة الصادرة عن وحدة المساحة لأجل مجال طول موجي وهي معطاة بعلاقة توزع بلانك [1].

$$E_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5[\exp(\frac{hc}{\lambda kT})]-1} \quad .....(2-3)$$

حيث:

$h = 6.626 * 10^{-34}$: ثابت بلانك

$c = 3.8 * 10^8 [m/s]$:سرعة الضوء

λ :طول الموجة مقدرة بالمتر [m]

K:ثابت بولتزمان[j/k]

T درجة الحرارة بالكلفن.

2-2-2 العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي أثناء انتقاله إلى الأرض:

يتعرض الإشعاع الواصل الى سطح الأرض لعوامل جوية بسبب ظاهرتين:

1- الانتثار عند عبوره للغلاف الجوي بسبب تفاعل الأشعة مع جزيئات الهواء والماء والغبار.

2- امتصاص الأشعة بسبب الأوزون لبخار الماء،وثاني أوكسيد الكربون.

عندما تكون السماء صافية فإن أكبر إشعاع يصل الأرض هو عندما تكون الشمس عمودية، وعندها يكون مسار ضوء الشمس عبر الغلاف الجوي أصغرياً، ويشار عادةً لطول المسار بمصطلح كتلة الهواء AM التي يخترقها الإشعاع الشمسي ليصل الى الأرض ، ويمكن حسابه من العلاقة:

$$AM = \frac{1}{\cos\phi} \quad .....(2-4)$$

حيث Φ زاوية السمت، وهي الزاوية بين المستقيم الواصل بين المكان و الشمس وبين الناظم فوق المكان مباشرة.

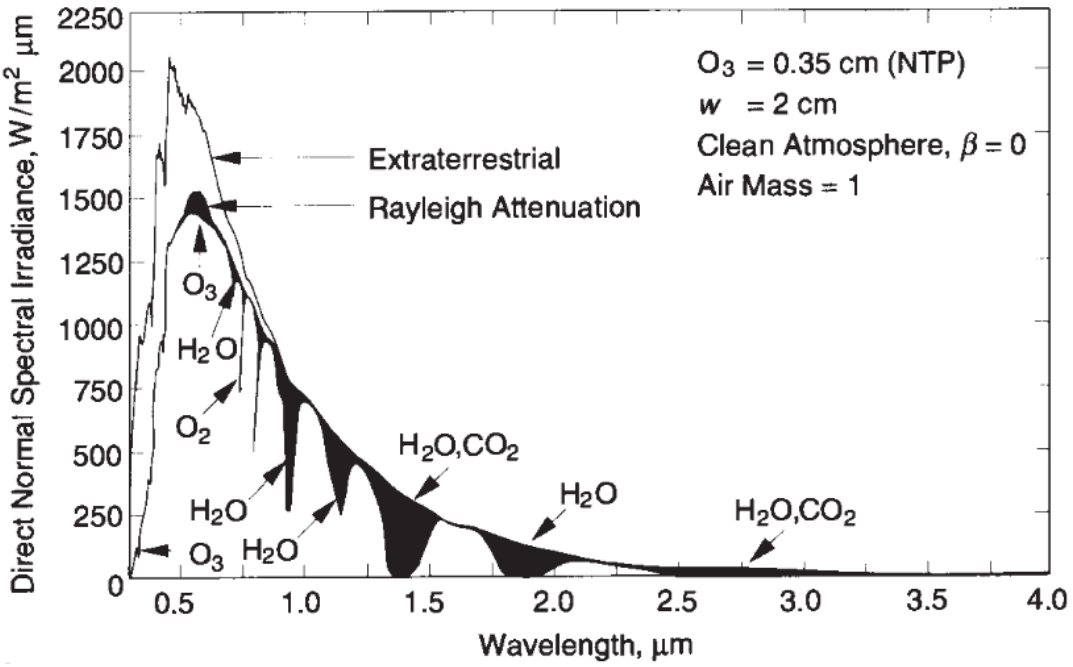
لأجل زاوية سمت $\phi = 0$ تكون كتلة الهواء 1 ونقول إن المكان يستقبل إشعاع AM1 أي الأشعة عمودية.

يبين الشكل (2-1) مثال على تأثير الانتثار والامتصاص في الغلاف الجوي على التوزع الطيفي لإشعاع الحزمة، يضعف الإشعاع الشمسي بمقدار حوالي 30-50% خلال عبوره الغلاف الجوي بسبب الانتثار والامتصاص ويعود ذلك لأسباب كثيرة أهمها:

1- تبعثر رايلاي للإشعاع الشمسي من قبل جزيئات الغلاف الجوي وبخاصة لأجل الموجات القصيرة إذ إن هذا التبعثر يتناسب عكسا مع λ^4 .

2- التبعثر بسبب دقائق الغبار ومواد صلبة أو مائعة معلقة في الهواء من مصادر مختلفة كمبيدات الحشرات.

3- الامتصاص من قبل غازات جوية مثل الآزوت ،الأوكسجين ،بخار الماء و ثاني أوكسيد الكربون [1] .[4]



الشكل (2-1)التوزع الطيفي لإشعاع الحزمة

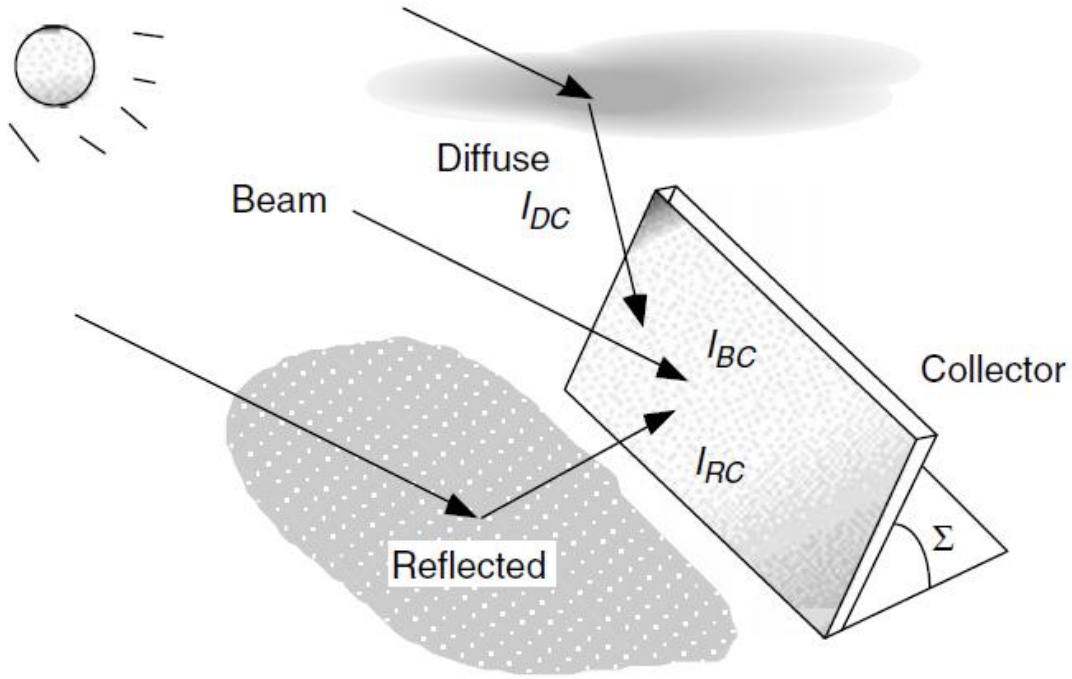
2-2-3مركبات الإشعاع الشمسي:

يتألف الفيض الشمسي الوارد الى لاقط مائل مركب على سطح الأرض من ثلاثة مركبات موضحة في الشكل (2-2)

1- الإشعاع المباشر: وهو الذي يعبر الغلاف الجوي على شكل خط مستقيم الى اللاقط ويخلف ظلال لأنه يأتي من الشمس مباشرة .

2- الإشعاع المنتثر: وهو الذي يصل الى اللاقط من اتجاهات عشوائية مختلفة بسبب تبعثر الإشعاع الشمسي من قبل جزيئات الغلاف الجوي وخاصة لأجل الأطوال الموجية القصيرة والتبعثر من قبل دقائق الغبار ومواد أخرى.

3- الإشعاع المنعكس :وهو الذي يصل الى اللاقط بعد انعكاسه عن الأرض أو أجسام بجوار اللاقط .



الشكل(2-2) المركبات الثلاثة للإشعاع الشمسي الساقط على لاقط مائل على الأفق .

ويمكن حساب الإشعاع الواصل الى سطح مائل من العلاقة التالية:[2]

$$G_T = DNI\cos\theta_S + G_D(\frac{1+\cos\Sigma}{2}) + G_R(\frac{1-\cos\Sigma}{2}).....(2-5)$$

حيث:

G_T:الإشعاع على سطح مائل [w/m^2].

DNI:كمية الإشعاع الواصلة على سطح موازٍ خلال 60 دقيقة [w/m^2].

θ_S:زاوية سقوط الإشعاع الشمسي المباشر .

Σ:زاوية ميل اللاقط .

G_D:الإشعاع المباشر[w/m^2].

G_R:الإشعاع المنعكس[w/m^2].

3-2الاعتبارات الحرارية Thermal considerations

2-3-1تأثير درجة الحرارة

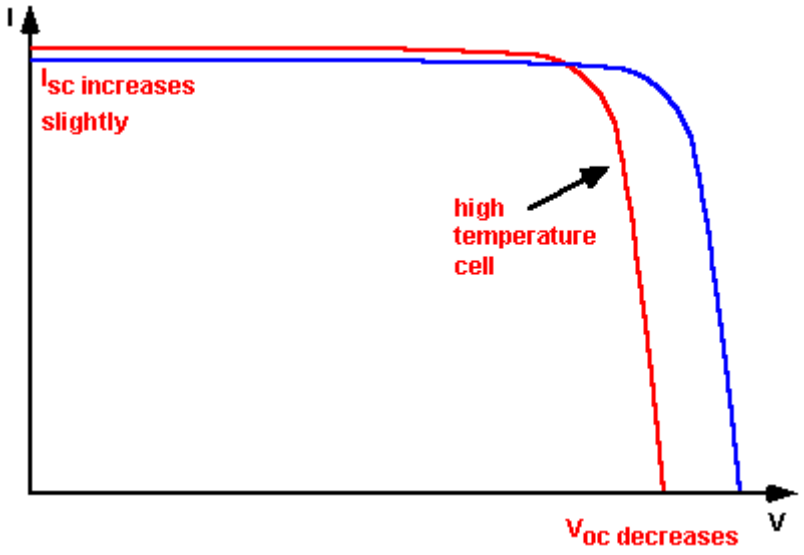
العوامل التي تحدد درجة حرارة التشغيل للخلية الشمسية هي:

- درجة حرارة الوسط المحيط ambient air temperature
- خواص اللاقط الذي توجد ضمنه الخلية .
- شدة ضوء الشمس الساقط على اللاقط. .
- عوامل أخرى مثل سرعة الرياح.

إن الخلية الشمسية حساسة لدرجة الحرارة، مثلها مثل جميع أجهزة أنصاف النواقل،حيث إن تزايد درجة حرارة الخلية يؤدي إلى تخفيض فجوة الحزمة لنصف الناقل، وبالتالي تأثّر جميع بارامترات المادة نصف الناقلة.

إن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض فجوة الحزمة الذي يمكن النظر إليه أنه تزايد طاقة الالكترونات في المادة أي نحتاج طاقة أقل لكسر الروابط (نقصان طاقة الروابط).

المحدد الأكثر تأثراً بدرجة الحرارة هو توتر الدارة المفتوحة المعبر عنها في الشكل(2-3).



الشكل(2-3): تأثير درجة الحرارة على المميزة IV لخلية شمسية

سبب تناقص توتر الدارة المفتوحة مع ارتفاع درجة الحرارة هو ازدياد I_0

لأجل خلايا سيليكونية في درجة حرارة الغرفة، تتضاعف I_0 لأجل كل تزايد حرارة بمقدار 10 درجات مئوية.

إن حساسية الخلية لدرجة الحرارة تعتمد على توتر الدارة المفتوحة للخلية؛ فكلما كان توتر الدارة المفتوحة أعلى تكون الحساسية أقل.

أما تيار القصر فيزداد قليلاً مع ارتفاع درجة الحرارة. السبب هو نقصان طاقة فجوة الحزمة E_G وبالتالي يملك عدداً أكبر من فوتونات الطاقة لخلق أزواج(الكترون – ثقب)e-h.

من المرغوب أن تعمل الألواح وخاصة السيليكونية البلورية في درجات حرارة منخفضة قدر الإمكان. للأسباب التالية:

- ازدياد خرج الخلية
- نقصان الإجهادات والدورات الحرارية
- تضاعف معدلات التراجع لكل $10^{\circ}C$ تزايد في درجة الحرارة.

لتخفيض معدّل التراجع، يجب رفض الأشعة تحت الحمراء، لأن أطوالها الموجية أطول من أن تستطيع الخلايا امتصاصها. ولكن لم يتم التوصل حتى الآن إلى طريقة فعالة واقتصادية لتحقيق ذلك. لذلك يجب أن تستفيد الألواح من التبريد بالإشعاع والنقل والحمل وأن تمتص أدنى كمية من الإشعاع غير المستعمل. نظامياً، حوالي نصف الفقد الحراري من اللوح يتم عن طريق الحمل ونصفه عن طريق الإشعاع.
تستخدم الصناعة أنواعا مختلفة من نظم التغليف التي تملك أيضا خواص حرارية مختلفة، وذلك لتلبية حاجات السوق المختلفة. [4] [1].

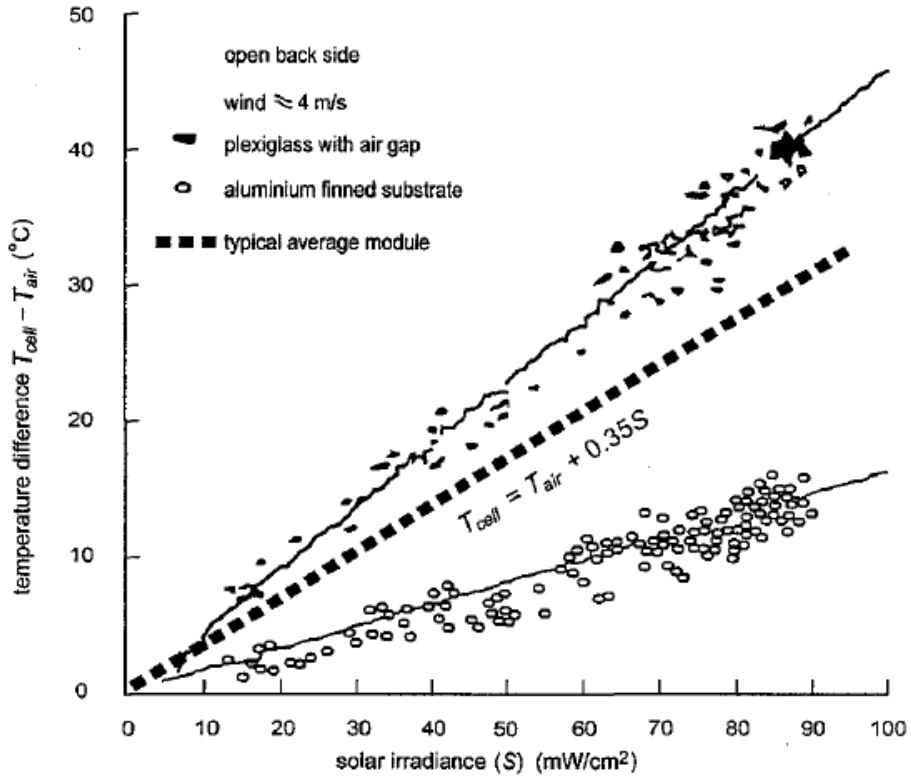
2-3-2 درجة حرارة الخلية للتشغيل النظامي :

يستكمل توصيف اللاقط بقياس درجة حرارة الخلية للتشغيل النظامي Normal operation cell temperature (NOCT) والتي تُعرّف بأنها درجة حرارة الخلية في لاقط عندما يعمل كدارة مفتوحة تحت شروط التشغيل التالية:

- الاستطاعة الشمسية: $0.8\ KW/m^2$
- درجة حرارة المحيط: $20^{o}C$
- سرعة الرياح = $1\ m/s$
- السطح الخلفي للاقط مفتوح

يبين الشكل (2-4) ارتفاع درجة الحرارة فوق درجة حرارة المحيط لأجل أنواع مختارة من اللواقط،

ونلاحظ أن هذا الارتفاع يتناسب خطياًمع تزايد استطاعة الإشعاع الشمسي



الشكل (2-4): الفرق بين درجتي حرارة الخلية والمحيط كتابع للإشعاع الشمسي

بينت الدراسات أنالأداء الأفضل للاقط يكون عند درجة حرارة NOCT = 33˚C والأداء الأسوأ عند درجة حرارةNOCT = 58˚C والنظامي عند درجة حرارةNOCT = 48˚C. تُستخدم درجة حرارة الخلية للتشغيل النظامي في حساب درجة حرارة الخلية T_{Cell} بالدرجة المئوية أثناء عمل اللوح من العلاقة التقريبية:

$$T_{Cell} = T_{Air} + \frac{NOCT - 20}{0.8} \times G' \qquad (2-6)$$

حيث:

G':شدة الإشعاع الشمسي [W/m2]

T_{Air}: درجه حرارة الوسط المحيط (˚C).

نحسب توتر الدارة المفتوحة للاقط المؤلف من N خلية على التسلسل لأجل T_{Cell} بتوسيع استخدام المعادلة العائدة للخلية السيليكونية وتطبيقها على اللاقط:

$$V_{oc} = V_{oc-STC} - 0.0022 \times N(T_{Cell} - 25) \qquad (2\text{-}7)$$

حيث:

V_{oc}: توتر الدارة المفتوحة [v].

$V_{oc\text{-}stc}$:توتر الدارة المفتوحة للاقط عند الشروط النظامية [v].

N: عدد الخلايا الموصولة على التسلسل.

T_{cell}:درجة حرارة الخلية مقدرة بسيليزيوس .

إذا كان عدد الخلايا غير معروف فيمكن افتراض أن V_{oc} يهبط بحوالي 0.37% لأجل زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة، و أن تيار القصر I_{SC} يزداد حوالي 0.05%.

كما نحسب الاستطاعة العظمى باستخدام المعادلةالسابقة العائدة للخلية وتطبيقها على اللاقط:

$$P_{max} = P_{max-STC}[1 - 0.005(T_{Cell} - 25)] \qquad (2\text{-}8)$$

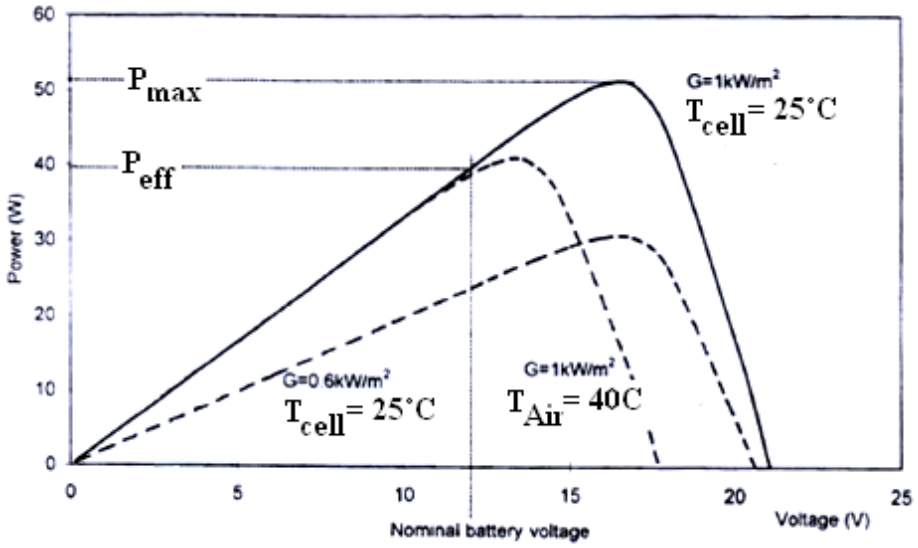
حيث:

P_{max}: الاستطاعة العظمى للاقط [w].

$P_{max\text{-}stc}$:الاستطاعة العظمى للاقط في الشروط النظامية [w].

يوضح الشكل (2-5)تغير استطاعة اللاقط كتابع للتوتر لظروف عمل ثلاثة مختلفة الأول عند اشعاع شمسي $1kw/m^2$ودرجة حرارة خلية 25درجة مئوية، والثاني عند نفس الإشعاع السابق $1kw/m^2$ولكن عند درجة حرارة وسط محيط 45 درجة مئوية حيث نلاحظ من هذين المنحنيين انخفاض الاستطاعة عند ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط لنفس قيمة الإشعاع.

أما المنحني الثالث فكان عند درجة حرارة خلية 25 درجة مئوية وإشعاع $0.6kw/m^2$ ونلاحظ بعد مقارنته مع المنحني الأول أن الاستطاعة تنخفض إذا انخفض الإشعاع البشمسي عند ثبات درجة حرارة الخلية.



الشكل(2-5):تغير استطاعة اللاقط كتابع للتوتر

تعطى استطاعة خرج اللاقط عندئذ بالعلاقة:[1]

$$P = I_{sc}(G') \times V_{Bat} = G'P_{eff} \qquad (2-9)$$

حيث:

$$P_{eff} = I_{sc} V_{bat} \qquad (2\text{-}10)$$

4-2 الخاتمة :

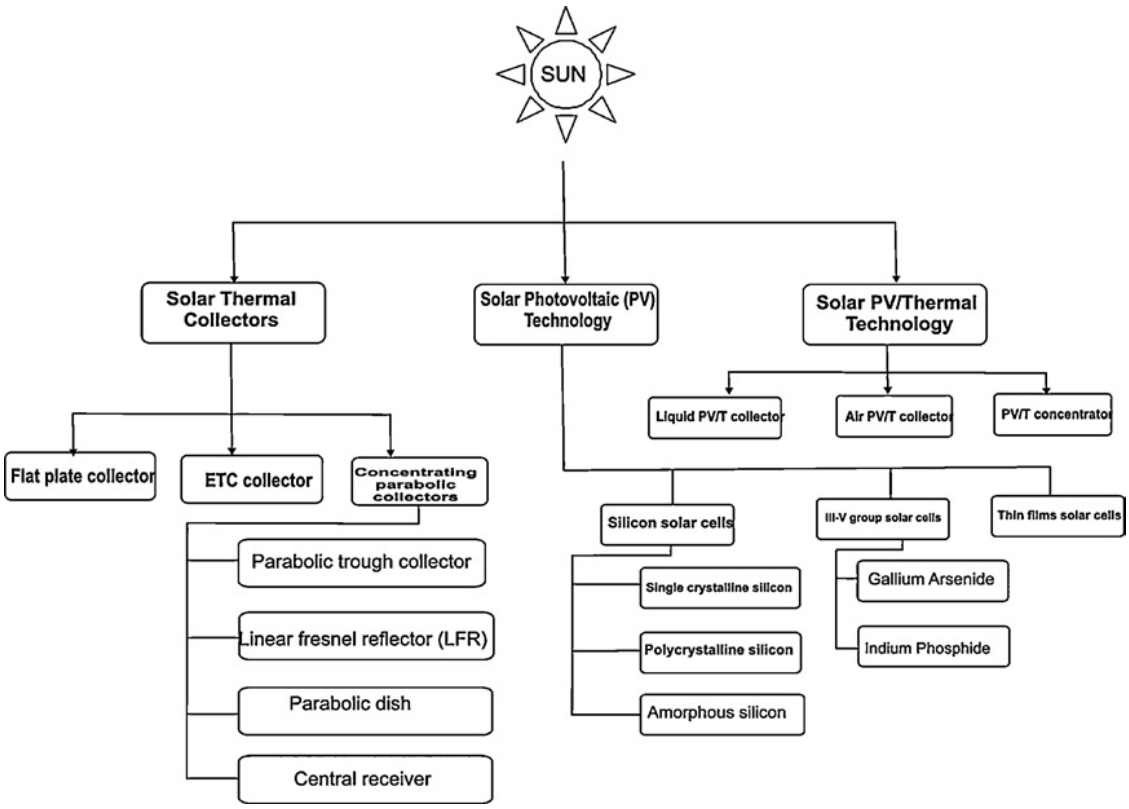
إن تغير الإشعاع ودرجة الحرارة(اللاقط والوسط المحيط)من أهم العناصر المؤثرة على اللاقط وتم التمييز في هذا الفصل بين درجة حرارة الخلية ودرجة حرارة الهواء المحيط ، كما تم التعريف بالأطوال الموجية المختلفة للاقط ومعرفة المفيدة منها في توليد الطاقة الكهربائية .

الفصل الثالث: اللواقط الشمسية

Solar Collectors

3-1مقدمة:

تختلف طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية باختلاف اللاقط المستخدم حيث يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من اللواقط كما هو موضح في الشكل(3-1)



الشكل (3-1) تصنيف لواقط الطاقة الشمسية

النوع الأول: لاقط الحرارة للشمسيةsolar thermal collector

هو من الأنواع المنتشرة عندما يراد تحويل الإشعاع الشمسي الى طاقة حرارية، وينقلها عبر ناقل حراري للاستفادة منها في تطبيقات أخرى.

النوع الثاني: اللاقط الكهرضوئيphoto voltaiccollector (PV)

وهو اللاقط الأكثر استخداما و يقوم على تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة الى كهرباء باستخدام الأثر الفوتوني الكهربائي لأنصاف النواقل.

النوع الثالث: اللاقط الكهرضوئي الحراري الهجين hybrid photo voltaic thermal collector(PVT)

وهو لاقط يمكننا من الحصول على الطاقة الحرارية و الكهربائيةبالوقت نفسه ومن الأداة نفسها و يقوم على الجمع بين طريقتي تحويل الطاقة السابقتين[4].

2-3 اللواقط الشمسية الحرارية solar thermal collectors :

تحول هذه اللواقط الطاقة الحرارية الشمسية إلى طاقة داخلية مفيدة ولها نوعان مركزات (concentrating) و بدون مركزات (non-concentrating) حيث تتميز المركزات بأنها تحتوي على سطح عاكس مقعر لتركيز الأشعة في منطقة صغيرة ما يزيد تدفق الإشعاع .

من اللواقط الشمسية الموجودة في الأسواق :

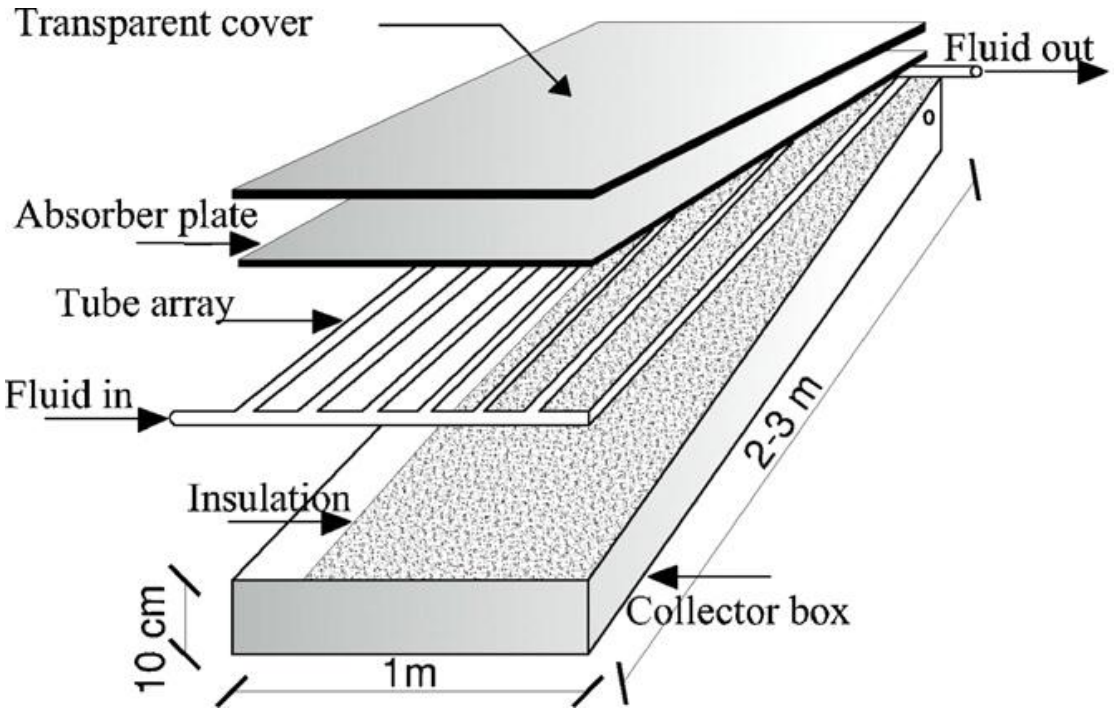
i. اللواقط المسطحة flat plate collectors(FPC) .
ii. اللواقط الاسطوانية المفرغة evacuated tube collectors(ETC) .
iii. المركزات concentrating collectors .

وسيتم شرح لواقط (FPC) في رسالتنا هذه [4].

1-2-3 اللواقط المسطحة flat plate collectors(FPC) :

صممت هذه اللواقط للعمل عند درجات حرارة منخفضة أقل من 60 °C أو درجات حرارة متوسطة أقل من 100°C ، واستخدمت هذه اللواقط لامتصاص طاقة الشمس وتحويلها لحرارة ومن ثم نقلها عبر ناقل حراري

(سائل أو غاز) والشكل (3-2) يوضح التصميم النموذجي ل(FPC) .



الشكل(3-2) التصميم النموذجي ل FCP

عادة ما تكون (FPC) مثبتة بشكل دائم حيث إنها لا تحتاج إلى ملاحقة الشمس ما يجعلها أكثر سهولة من المركزات من الناحية الميكانيكية ، وغالباً ما تستخدم لأهداف صناعية أو سكنية .

- الميزات الأساسية للواقط(FPC)التقليدية :

- صمم السطح الماص الأسود بحيث يقوم بامتصاص الأشعة الساقطة .
- يتدفق السائل عبر الأنابيب الموجودة خلف الماص لإزالة الحرارة عن السطح الماص .
- تحاط السطوح الخلفية والجوانب بطبقة عازلة لتقليل الضياعات الحرارية للمادة الموصلة للحرارة.
- يستخدم الغطاء الناقل المصنوع من الزجاج أو البلاستيك لتخفيض الضياعات الحرارية بالحمل والإشعاع .
- المادة الشفافة التي تعلو المكونات السابقة [10] [4].

3-3 اللواقط الشمسية الكهرضوئية solar PV panels :

تقوم هذه اللواقط على أساس تحويل أشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء حيث الخلايا الشمسية هي الأداة نصف الناقلة التي تولد الكهرباء عند سقوط الضوء عليها .

مبدأ عملية التحويل هو أن الطاقة الضوئية الساقطة على نصف الناقل تخلق جسيمات مشحونة متحركة في نصف الناقل لا تلبث أن تنفصل عن بعضها بعضاً بوساطة البنية الخاصة للخلية منتجة تياراً كهربائياً.

الفوتونات التي طاقتها أكبر من طاقة فجوة الحزمة bandgap energy (E_g) يمكن أن تحولها الخلايا الشمسية إلى كهرباء .

إن طاقة الفجوة–هي الطاقة اللازمة للالكترون لينتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل مارا بفجوة الحزمة bandgap–وتكون كبيرة في العوازل أكبر من 5الكترون فولط($E_g \geq 5$ eV) بينما تكون صغيرة في المواد نصف الناقلة ($E_g < 5$ eV) وتكاد تكون معدومة في المواد الناقلة للكهرباء .

ولقد تم الحصول على أنواع مختلفة من اللواقط بسبب استخدام أنواع متعددة من أنصاف النواقل في صناعة الطبقات ، حيث إن كل مادة من هذه المواد لها كمياتها وميزاتها وعيوبها .

تعد وصلة الفجوة (band gap matching) من الأمور الأساسية التي يجب الانتباه لهاعند تصميم اللواقط الشمسية .

حيث إن طاقة الفجوة يجب أن تكون بين 1.1 eV و 1.7 eV ويجب أن تمتلك المادة حاملات شحنة ذات توصيل وحياة طويلتين ، وهناك متطلبات أخرى مثل :

i. هيكل الفجوة المباشر direct band structure .
ii. التوافر الكبير large availability .
iii. غير سامة .
iv. سهولة التشكيل و إعادة التصنيع (easy reproducible deposition technique)
v. كفاءة تحويل الطاقة PV الجيدة .
vi. العمر الطويل .

يمكن تصنيف اللواقط الشمسية الكهرضوئية في ثلاث مجموعات رئيسة :

a. اللواقط التقليدية : أحادية البلورة (se-si) و متعددة البلورات (pc-si) .
b. الخلايا الشمسية الرقيقة : سيليكونية غير بلورية (a-si) ، زرنيخ الغاليوم (GaAs) وفوسفيد الإنديوم (InP) ، تيلوريد الكاديوم (CdTe) ، كبريتيد الإنديوم (In_2S_3) و سيلينيد (غاليوم (كبريت)) إنديوم النحاس (CIS/CIGS/CIGSS) .
c. الجمع بين التقنيات : الخلايا الشمسية متعددة الوصلات multi-junction .

<u>اللواقط التقليدية :</u> إن السيليكون نصف الناقل الواعد والأكثر استخداماً من بين العديد من المواد المتاحة للخلايا الشمسية لأنه متوفر ويمتلك مواد خام آمنة ومردود أداء عالٍ .

تتكون الخلايا الشمسية **أحادية البلورة** من السيليكون المتبلور و عادة مايتم إشابته بكميات قليلة من عناصر أخرى للتغيير من خصائص التوصيل الخاصة به ، وتتميز هذه الخلايا بأنها الأعلى كفاءة من بين الخلايا السيليكونية .

أفضل مردود وصلت إليه الخلايا الشمسية أحادية البلورة في المخبر هو % 24.7 بينما وصلت خارج المخبر إلى 20% .

تتكون الخلايا السيليكونية **متعددة البلورات** من حبيبات صغيرة متعددة من السيليكون البلوري التي تعرقل تدفق الالكترونات وبالتالي تقلل من طاقة خرج الخلية ، لهذه الأسباب فإن خلايا PV متعددة البلورة أقل كفاءة من خلايا PV أحادية البلورة بقيم تصل إلى 18% .

إلا أنه وبالمقارنة مع السيليكون أحادية البلورة فإن مادة السيليكون متعددة البلورة أقوى وذات تكلفة أقل .

الخلايا الشمسية الرقيقةthin film: يتم ترسيب طبقة رقيقة من مواد ال PV على ركائز مختلفة منخفضة التكلفة تتضمن الزجاج والصلب و البلاستيك .

تمتلك المواد الرقيقة قدرة امتصاص أعلى للضوء من المواد البلورية على الرغم من أن مواد ال PV المرتكز عليها رقيقة جداً حيث تتراوح بين بضعة ميكرومترات إلى أقل من ميكرومتر (يمكن أن تكون الخلية البلورية الواحدة بثخانة 0.3 µm) أما بالنسبة للكفاءة فهي أقل من كفاءة الخلايا السيليكونية التقليدية ولكنها متوازنة من حيث نسبة كسب الطاقة إلى الوزن .

- ✓ الخلايا السيليكونية غير البلورية a-si: هو نوع غير بلوري من السيليكون أي ذرات السيليكون موزعة بشكل غير منتظم .

لقد كانت الأفلام الرقيقة الأولى من حيث الإنتاج التجاري وهي الآن الوحيدة التي لها حصة في التسويق وتتميز a-si بالامتصاص العالي لأشعة الشمس وهي أعلى ب 40 مرة من امتصاصية الخلايا السيليكونية وحيدة البلورة sc-si ، لذلك فإن طبقة واحدة من a-si كافية لصنع خلايا كهرضوئية بثخانة 1µm أما بالنسبة للخلايا السيليكونية البلورية فنحن بحاجة إلى ثخانة من 200-300 µm ،إضافة إلى ذلك تكون عملية التصنيع أسرع وتتطلب درجات حرارة منخفضة وبالتالي طاقة دخل أقل أي أنه نادرا ما تتجاوز كفاءة تحويل الطاقة 10% في المختبرات و 6-9 % خارجها .

- ✓ زرنيخ الغاليوم وفوسفيد الإنديوم GaAs & InP : تقدم هذه الخلايا بعض الميزات بالنسبة للخلايا السيليكونية البلورية أما بالنسبة للخلايا غير البلورية فإن لديها مستوى عال من امتصاص الضوء لذلك فهي تتطلب طبقات من بضعة ميكرومترات فقط لامتصاص الطاقة الشمسية .

وسلبية استخدام هذه الخلايا تكلفة الإنتاج العالية ما أدى إلى اعتبارها مواد غير واعدة في الخلايا الشمسية وحيدة الوصلة .

ارتفاع مقاومتها الحرارية يجعلها مثالية للاستخدام في أنظمة المركزات التي تكون فيها درجات الحرارة مرتفعة والتطبيقات الفضائية لأنها تتطلب مقاومة قوية ضد الإشعاع الشمسي وكفاءة عالية .

عند البحث عن مواد رقيقة أكثر ملاءمة تم اكتشاف أن ($CIGS/CdTe/CuInSe_2$) تتمتع بتكلفة إنتاج منخفضة وتم ترشيحها كأفضل خلايا واعدة بالجيل القادم من الخلايا الشمسية .

متعددة الوصلات : إن اعتماد المزيد من المواد المستخدمة في بناء اللواقط الكهرضوئية يمكن أن يزيد من كفاءة تحويل الإشعاع الشمسي ، تتكون الخلايا الشمسية متعددة الوصلات من مادتين مختلفتين أو أكثر بحيث تمتلك فجوات مختلفة بشكل كبير (مثل السيليكون البلوري والسيليكون غير البلوري) وتوضع واحدة فوق الأخرى بحيث تكون المادة ذات الفجوة الأكبر في الأعلى ، عوضاً عن ذلك يمكن استخدام تكوين خاص حيث يتم تهجين مواد مختلفة بحيث يتم تقسيم الإشعاع الشمسي لتتلقى الخلية الكهرضوئية الفوتونات ذات الطول الموجي الصحيح [4] [1].

4-3 اللاقط الكهرضوئي الحراري الهجين (PVT)hybrid photo voltaic thermal collector:

منذ بداية السبعينيات تم إجراء بحث وتطوير مهم على تقنية PVT، بداية كانت الجهود البحثية على النظريات الأساسية ودراسة جدول تكوينات PVT الأساسية، بينما في التسعينيات تم البدء بالعمل على بناء التصميم المتكامل، كانت الدراسات معتمدة بشكل أكبر على تصميم المجمع وتحسين المردود الاقتصادي.

في العقد الماضي تم التركيز بشكل عام على تطوير المنتجات و إجراء الاختبارات عليها وتحسين التصميم .

عند استخدام أدوات تحليلية قوية و النمذجة الديناميكية الصريحة تصبح التحليلات العددية أكثر شمولية علاوة على ذلك كان هناك اهتمام متزايد بالتطبيقات في البناء المتكامل لأنها تجمع وتكامل بين ميزات ال PV و الأنظمة الشمسية الحرارية .

حالياً هناك بحوث وأعمال تطوير بأداء اللاقط متضمنة تصميم وتصنيع ماص حراري، اختيار مواد الغطاء، تحويل الطاقة وفعاليتها، اختبار الأداء، تحسين النظام والتحكم والوثوقية .

إن لاقط PVT ليس فقط لإنتاج الكهرباء بل هو أيضاً يقوم على امتصاص الحرارة، وبهذه الطريقة يمكن إنتاج الطاقة الحرارة والكهربائية في وقت واحد ومن لاقط واحد .

تستخدم خلايا ال PV جزءاً من الإشعاع الشمسي فقط، وتحوله إلى طاقة كهربائية ،والإشعاع المتبقي تحوله إلى حرارة، ورفعَ درجة حرارة ال PV أدى إلى انخفاض كفاءته، أما لاقط ال PVT فيقوم على استعادة جزء من هذه الحرارة واستخدامها في التطبيقات العملية ما يؤدي إلى تبريد ال PV ويحافظ على الكفاءة الكهربائية في مستوى مقبول ، ومنه نجد أن لاقط ال PVT يقدم طريقة أفضل لاستخدام الطاقة الشمسية بكفاءة أعلى .

يمكن إنشاء تركيبات مختلفة للاقط PVT بتغيير كثافة الخلايا أو التقنيات الكهرضوئية من أجل تحقيق التوازن بين إنتاج الكهرباء والحرارة .

في العقود السابقة تمت دراسة PVTيستخدم الهواء كناقل حراريأما الآن فتتم دراسة PVTيستخدم الماء في نقل الحرارة وميزة هذه الأنظمة أنها تحقق كفاءة أعلى من PVTالهواء بسبب ارتفاع الناقلية الحرارية للماء بالتالي زيادة السعة الحرارية للمياه .

وهناك أنواع أخرى من لواقط PVTمثل :PVT

1-مع زجاج و PVT بدون زجاج .

2-PVT بتدفق قسري للناقل الحراري أو تدفق طبيعي .

3-PVT أنظمة مستقلة .

وستتم دراسة هذه الفروقات بشكل تفصيلي في الفصول القادمة [10] [4] [1].

5-3 خاتمة:

استعرضنا في هذا الفصل أنواع اللواقط الشمسية الكهرضوئيةPV والحرارية والهجينةPVT ،وتم التمييز بين الأنواع المختلفة لكل منها،أما اللواقط الهجينة فسيتم شرحها بالتفصيل في الفصل الرابع من هذه الرسالة.

الفصل الرابع: اللواقط الشمسية الحرارية الهجينة (PVT)

Hybrid Photo Voltaic Thermal cells

4-1مقدمة :

لاقت الأنظمة الهجينة اهتماماً كبيراً من العلماء والمهندسين في العقد الماضي بسبب كفاءتها العالية واستقرار الأداء بالمقارنة مع اللواقط التقليدية . و تظهر لواقط PV ارتفاع درجات الحرارة عند تشغيلها حيث يتحول معظم الإشعاع إلى حرارة وليس كهرباء و يمتص اللوح 80% من الإشعاع الشمسي ولكن الذي يتحول لكهرباء هو فقط % 15-10، و عند استخدام لاقط PVT يتم تحويل الطاقة المتبقية لحرارة يمكن الاستفادة منها لأغراض أخرى .

إن اللواقط السيليكونية التقليدية تقدم كهرباء أكثر عند تبريدها و تعطينا 0.2-0.5% طاقة أكثر مقابل كل درجة سيليزيوس واحدة مخفضة ولكن عندما يكون اللاقط متكاملاً مع السقف ستكون حرارته أعلى من اللاقط الحر(المفتوح من الخلف) وهذه النقطة هي التي أسهمت في البداية بلفت الانتباه إلى لواقط[4] [8] [7]PVT.

4-2 لواقط ال PVT :

بما أن جميع المباني تحتاج إلى تدفئة بالشتاء ونظرا للحاجة الدائمة للمياه الساخنة في منازلنا، يمكن تأمين الحرارة باستخدام لواقط PVT .ترتفع درجة حرارة اللاقط بارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط إلا إذا استخدمنا الأنابيب التي تسهم في تبريد اللاقط .

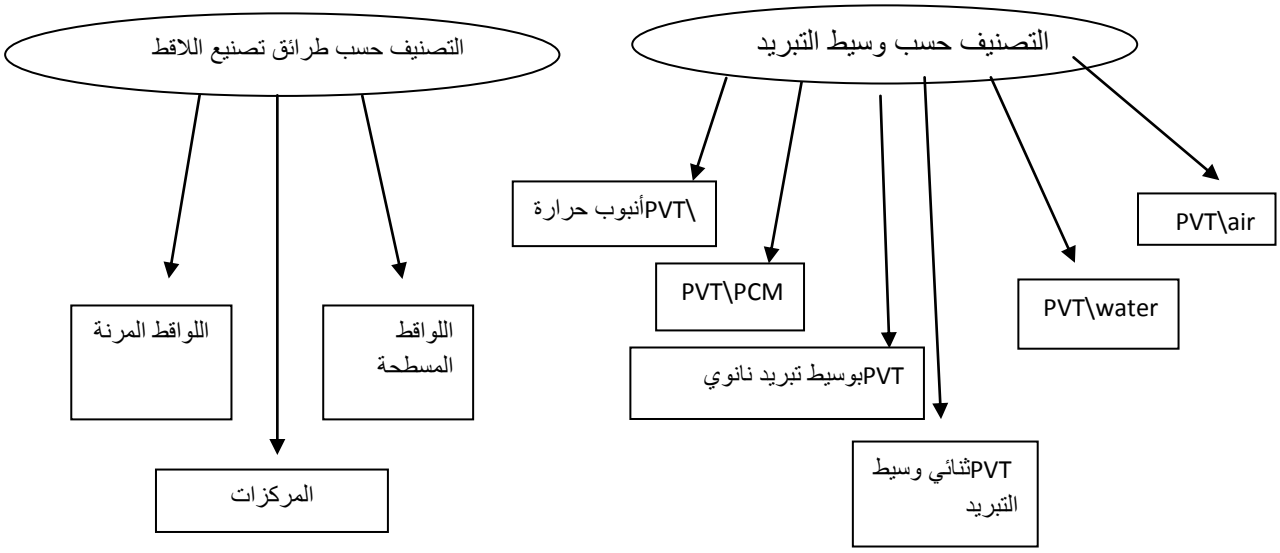
إضافة لذلك تتميز لواقط PVT بأن مساحتها المستخدمة أقل وطاقتها المقدمة أكبر مقارنة مع استخدام نظامين مستقلين (لاقط PV تقليدي – سخان شمسي) .

حيث إن سخان شمسي بمساحة $1m^2$ و لاقط PV بمساحة $1m^2$ يؤمنان 520 Kw حرارة و 72 Kw كهرباء سنوياً ، بينما لاقط PVT بمساحة $2m^2$ يؤمن 700Kw حرارة و 132Kw كهرباء سنوياً[8] .

من أجل تحسين الكفاءة العامة يجب إجراء تقييمات دقيقة وموضوعية متعددة مع الأخذ بالحسبان جميع المتغيرات المعنية .

عموماً يتم تشكيل لاقط PVT من دمج لاقط PV مع ماص حراري معدني برابطة كيميائية أو ميكانيكية ، ويمكن تصنيف لاقط الPVT حسب عدة اعتبارات منها : نوع اللاقط – وسيط التبريد – الماص الحراري .....

والشكل (4-1) يعطينا مخططاً لأصناف لواقط [9] [4] [3]PVT.



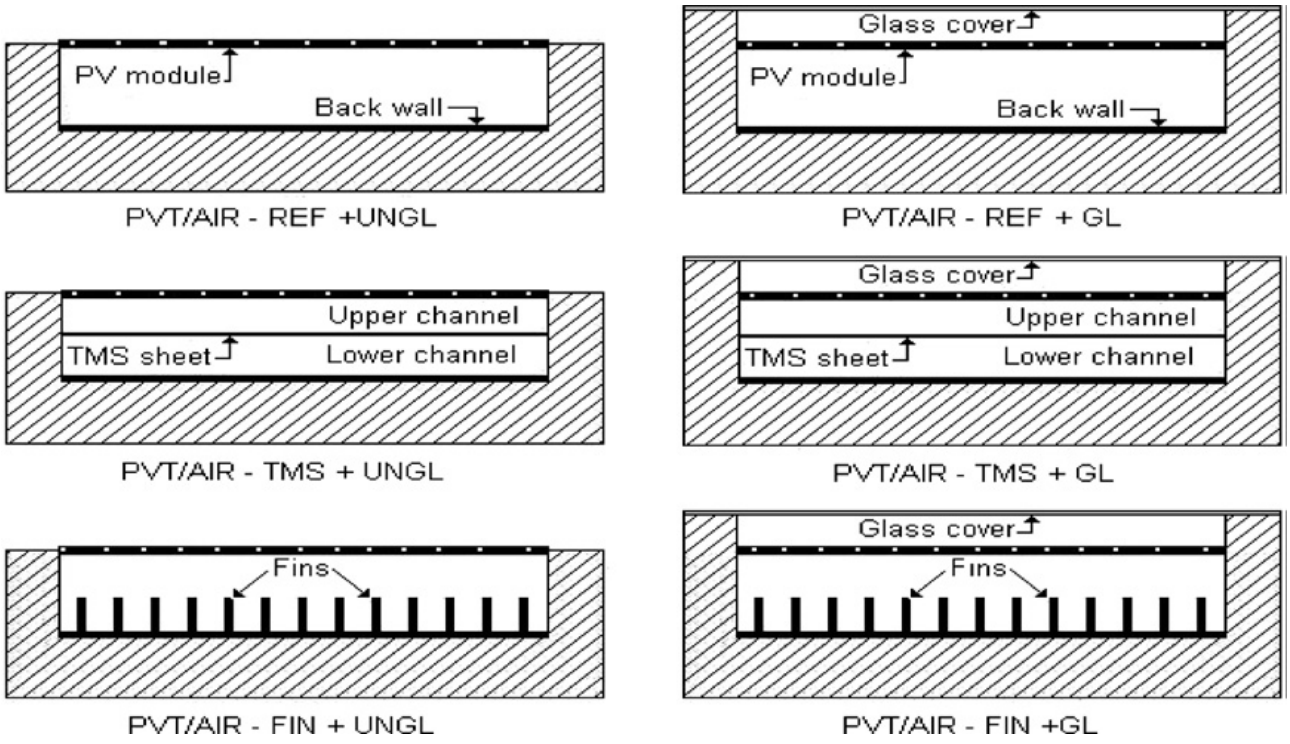
الشكل (4-1)مخطط أصناف لواقط PVT

3-4 تصنيف لواقط PVT حسب الناقل الحراري :

1-3-4 أنظمة PVTالعاملة على الهواء (PVT/a):

توفر هذهاللواقط حلا بسيطاً واقتصادياً لتبريد طبقة PV وتتميز حسب مكان جريان الهواء (فوق الماص– تحت الماص – على جانبي الماص – استخدام تمرير واحد أو مزدوج)،والشكل (4-2)يوضح تصاميم للواقط PVT/a مع عواكسref–مع زجاج GL–مع زعانف fin.

يمكن تسخين الهواء إلى درجات حرارة مختلفة حسب طبيعة جريان الناقل الحراري (قسري– طبيعي) ،حيث أن الجريان القسري أكثر كفاءة من الطبيعي بسبب نقل الحرارة بشكل أفضل وإمكانية التحكم بالجريان.لكن هذا الجريان يقلل صافي الكهرباء المنتج بسبب استهلاك جزء منه في تشغيل المروحة [3] [4] [6].



الشكل (4-2)تصاميم مختلفة للاقط الهجين بمبادل حراري هوائي

4-3-2 أنظمة PVTالعاملة على الماء (PVT/w):

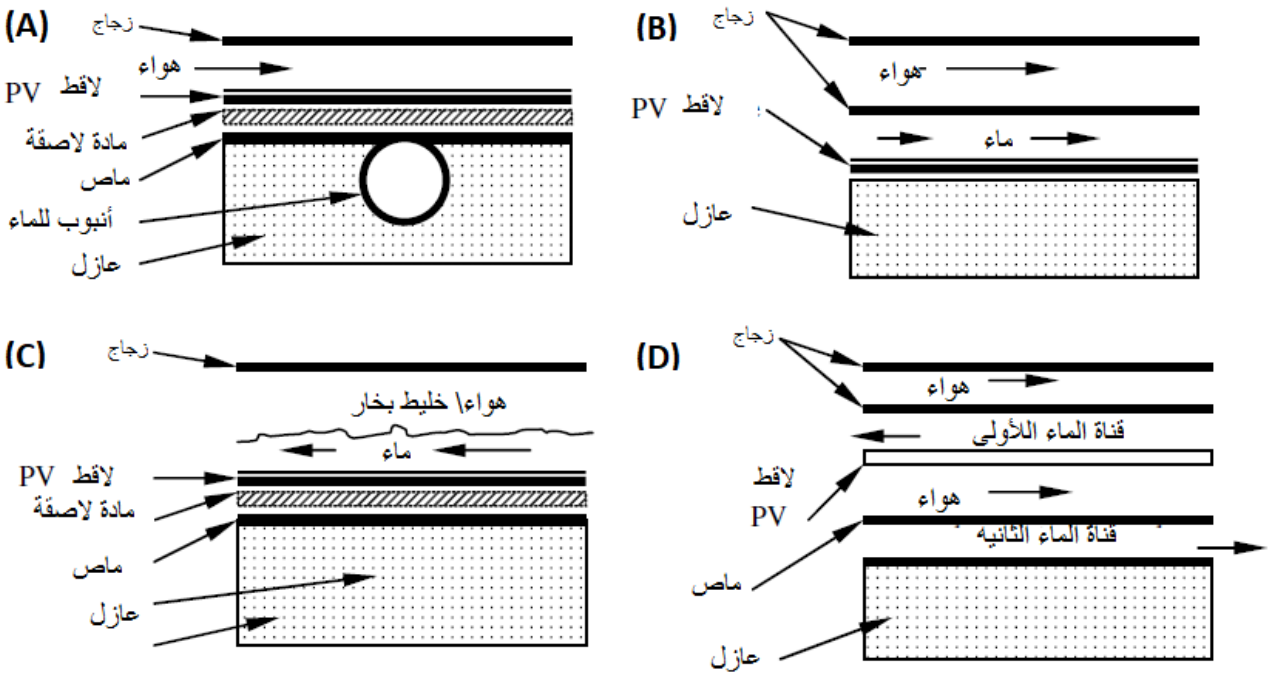
بما أن لواقط PVT/a لا يمكنها العمل بكفاءة عالية في المناطق ذات درجات الحرارة العالية بسبب انخفاض الخواص الفيزيو حرارية للهواء (كثافته المنخفضة – سعة حمله المنخفض للحرارة.....) ، فإن الماء يتحمل حرارة أكبر مقارنة مع الهواء ،حيث يمكن تصنيف لواقط PVT\w حسب جريان الماء كما هو مبين بالشكل (4-3)إلى :

A. الجريان في أنبوب.

B. الجريان عبر قناة.

C. الجريان الحر.

D. استخدام ناقلي حرارة(هواء – ماء).[10][7] [4].



الشكل (4-3) نماذج مختلفة لبناء لاقط هجين بمبادل حراري مائي

A–الجريان في أنبوب B–الجريان عبر قناة C–الجريان الحر D– استخدام ناقلي حرارة

4-3-3 أنظمة PVTالعاملة على أساس وسيطي تبريد:

عمل الباحثون على دراسة اثنين من وسائط التبريد في جهاز PVT واحد وتمت تسميته PVT ثنائي الوسيط ، و غالباً يتم استخدام الماء والهواء لإنتاج الماء والهواء الساخنين إضافة للكهرباء وبذلك يتم التخلص من قيود PVT\a و PVT\w الفردية والاستفادة من مزاياهما[4].

4-3-4 أنظمة PVT التي تعتمد على وسيط تبريد نانوي:nano-fluid PVT

يعمل الباحثون على قابلية تطبيق وسيط التبريد النانوي – وسيط التبريد التقليدي مثل الماء، والزيوت الحاوية على جزيئات نانوية بحجم أقل من 100nm –على الأنظمة الشمسية كمائع في نقل الحرارة أو كمرشح بصري .لوحظ أثناء الدراسات أنه يمكن استخدامها في تطبيقات خاصة حسب : نوع الجسيمات النانوية ، حجم الجزيئات النانوية والسائل الأساسي ، حجم الجزيئات ....وغيرها[4].

4-3-5 أنظمة PVT التي تعتمد على مواد متغيرة الطور :phase change materials(pcm)

PCMهي مادة ذات حرارة انصهار عالية تنصهر وتتجمد عند درجات حرارة محددة وهي قادرة على تخزين وإطلاق كميات كبيرة من الطاقة ، ولقد استخدمت على نطاق واسع في العديد من التطبيقات وعلى

نطاق واسع جدا في أنظمة تسخين الماء الشمسي ،ولكن تبين أنها فعالة أكثر إذا كانت مدمجة مع أنظمة PVT بدلاً من نظم PV المستقلة [4].

6-3-4 أنظمة PVT التي تعتمد على الأنبوب الحراري :

يستخدم أنبوب الحرارة عادة لحمل الحرارة بالاعتماد على مبدأ التبخر والتكثيف دون استخدام أي قوة خارجية .

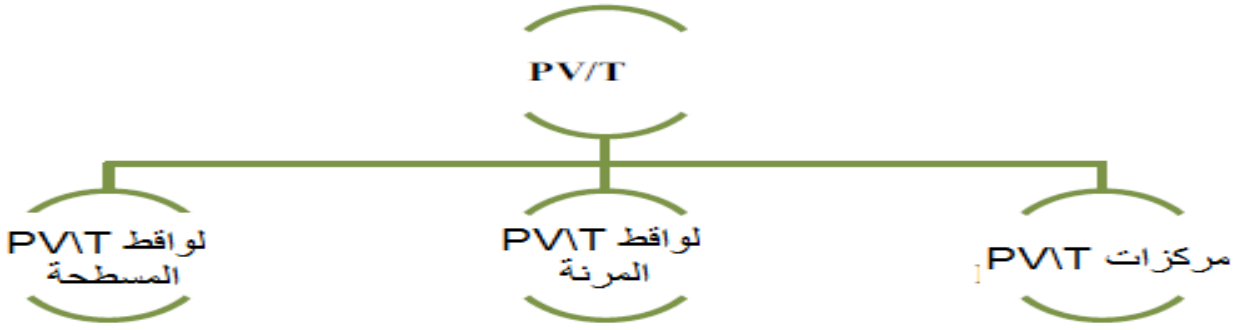
آلية العمل : يأخذ السائل في قسم المبخر الحرارة من الوسط المحيط ويتحول إلى بخار ثم يمر نحو المكثف بسبب فرق الضغط من خلال قسم ثابت الحرارة وهنا يطلق البخار حرارته ، ويتحول إلى سائل ويعود مرة أخرى إلى قسم المبخر بفعل الخاصية الشعرية.و في هذه الأنظمة يستخدم الأنبوب لاستخراج الحرارة من السطح الخلفي للوح PV.

الخلاصة:لا يوجد أي نهج دقيق في الاختيار الصحيح للاقط PVT لأنها تعتمد على الموقع الجغرافي والتطبيق العملي .

و في المواقع ذات الإشعاع المنخفض ودرجات حرارة وسط محيط منخفضة هنا يتطلب التسخين طوال العام وفي هذه الحالة يكون PVT\a مفيداً وفعالاً من حيث التكلفة أما في المواقع ذات درجة حرارة الوسط المحيط المرتفعة يمكن استخدام PVT\w حيث يؤمن تسخين الماء المسبق خلال العام وتدفئة في الشتاء[4].

4-4 التصنيف حسب طرائق تصنيع اللاقط:

بغض النظر عن وسيط التبريد يمكن أن تنقسم تقنيات PVT حسب نوع لاقط ال PV إلى (اللواقط المسطحة –اللواقط المرنة – المركزات) كما هو موضح بالشكل (4-4) .



الشكل (4-4) تصنيف لاقط الPVTحسب نوع اللاقط PV

1-4-4 لواقط PVT المسطحة:

غالبا ما تحتوي هذه اللواقط على لاقط PVمن الأمام يقوم على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية إضافة إلى ماص حراري للشمس في الأسفل الذي يقوم على التقاط الطاقة الشمسية المتبقية التي لم يتم امتصاصها فيPV وتحويلها إلى حرارة بالإضافة إلى إزالة أثر التسخين عن لاقط PV.

وتعطى المكونات الأساسية للواقط PVT المسطحة في الشكل (4-5) وهي بالترتيب ابتداءً من الأعلى

1-الغطاء الزجاجي.

2- غلاف من EVA.

3-لاقط PV المسطح.

4- غلاف من EVA.

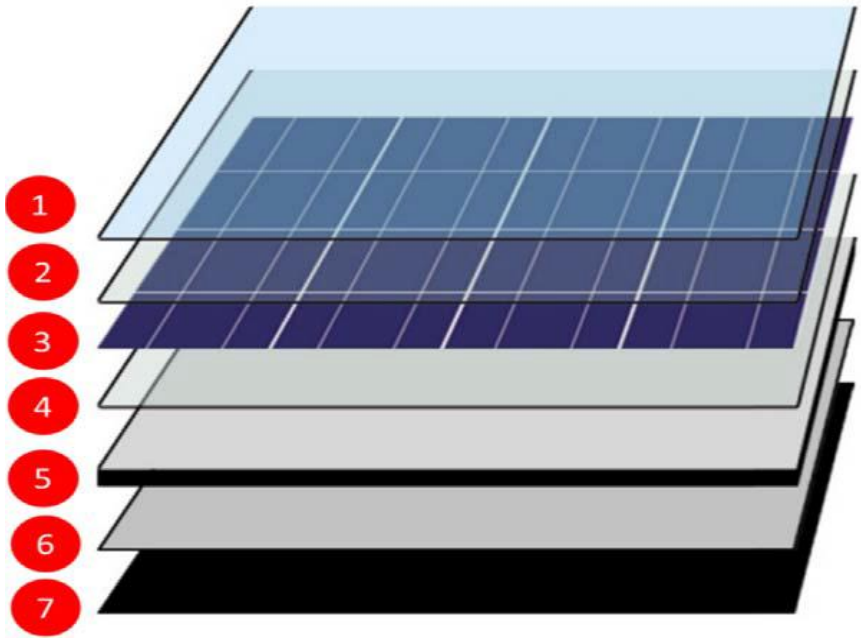
5-صفيحة TPTخلفية.

6- الماص الحراري.

7- العازل.

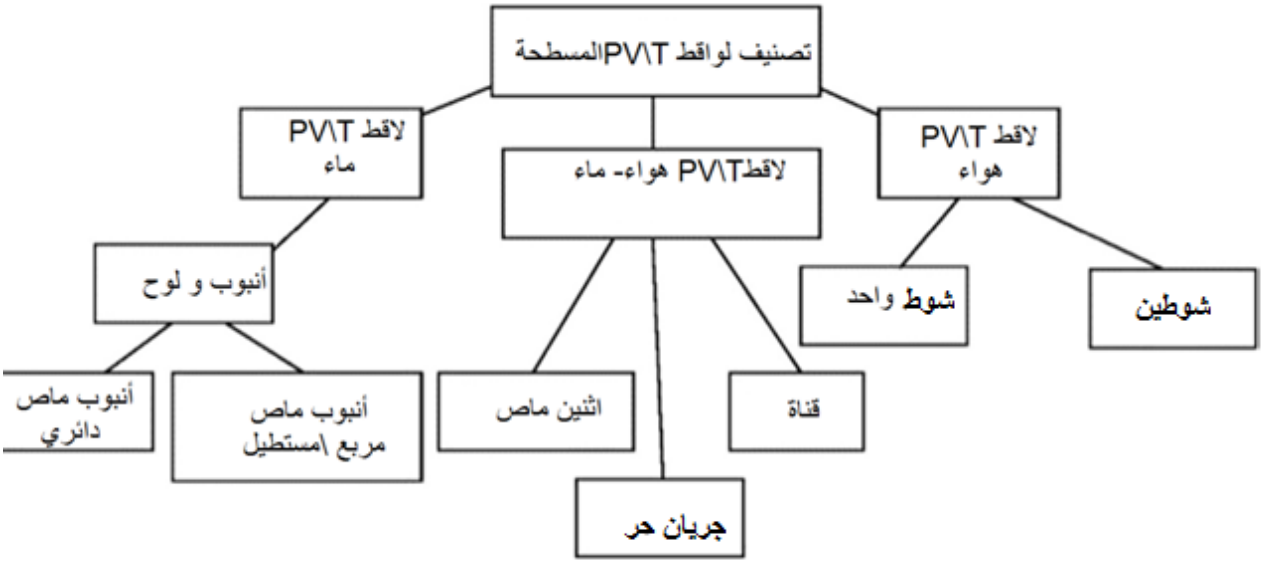
حيث غالبا ما تتكون المادة اللاصقة من اسيتات فينيل اتيلينEVA وطبقة من

tedlar-polyestsr-tedlar(TPT).وظيفة الطبقة العازلة هي منع تسرب الحرارة إلى الوسط المحيط .



الشكل(4-5) البنية الأساسية للواقط PVT المسطحة

ويوضح الشكل (4-6) التصنيف النموذجي ل PVTالمسطحة عند اختلاف النواقل الحرارية والتي تتميز بكفاءات كهربائية وحرارية وكلية في حدود 6.7-15% و 22-79% و 40-87% على التوالي [8] [4].



الشكل (4-6) التصنيف النموذجي للواقطPVT

2-4-4 لواقط PVTالمرنة flexible PVT modules:

يمتلك لاقط PVT المرن بنية مماثلة تقريباً لبنية PVTالمسطحة بغض النظر عن طبقة ال PV المكونة من السيليكون غير المتبلور ، حيث التقنية الأكثر شيوعاً هي تقنية الأفلام الرقيقة التي تستخدم عند درجات حرارة منخفضة ومتوسطة بكفاءة 5-7% ،وعند تصميم الوصلات الثنائية والثلاثية يرتفع المردود إلى 8-10% ،أما المردود الحراري فإنه يقارب مردود اللواقط المسطحة 22-79%

يبين الشكل (4-7) بنية لاقط PVT المرن حيث يتألف من

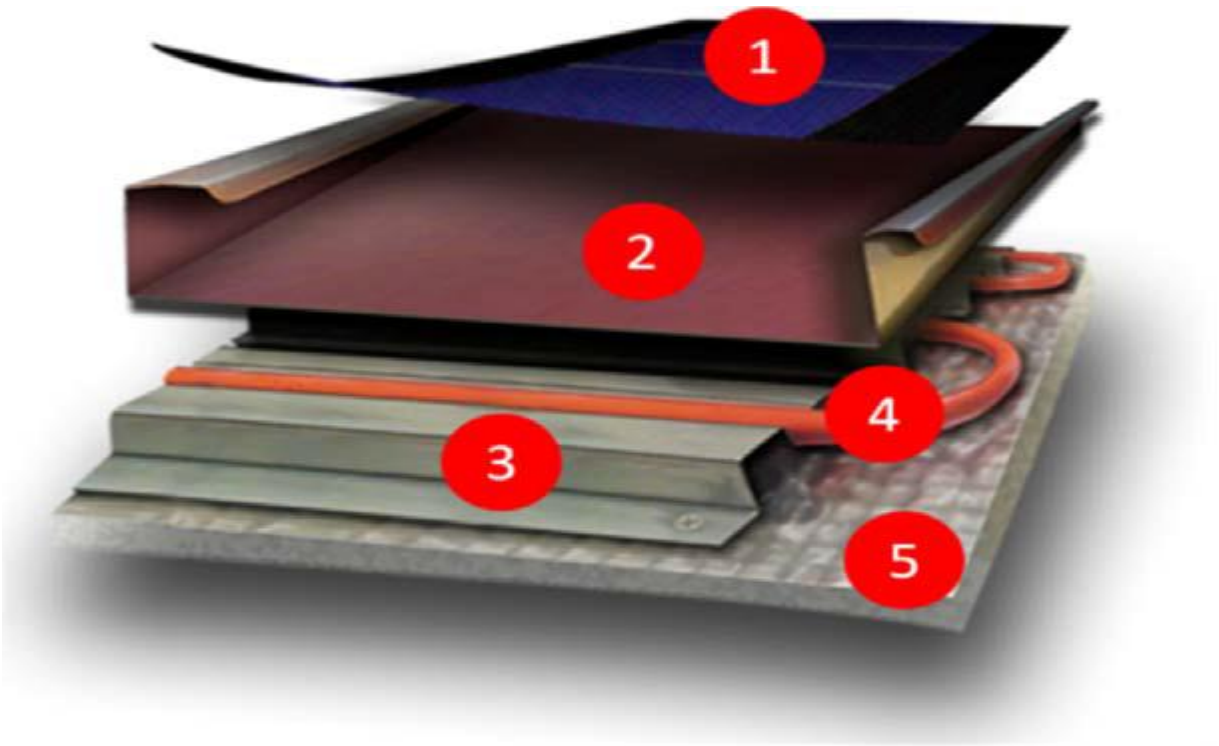
1-لاقط PVمن الأفلام الرقيقة.

2-سطح معدني.

3-صفيحة ذات زعانف.

4-أنابيب حرارية.

5-عازل[4].



الشكل (4-7) بنية لاقط PVT المرن

3-4-4 لواقط - مركزات :PVT concentrated PVT modules:

تتكون مركزات PVT من (زجاج في الأعلى – مرايا مركبة بشكل قطع مكافئ – طبقة PV ذات درجة حرارة عالية – أنابيب حرارية – عازل حراري).تختلف نفاذية الشمس تبعاً لتغير زوايا استقبال الإشعاع ، و تتراوح الكفاءة الكهربائية بين 7-16% والكفاءة الكلية بين 46-86% عند معدلات تركيز مختلفة .

يبين الشكل (4-8)البنية التفصيلية له ويتكون من:

1&2- الماص وهو مؤلف من TPT&EVA

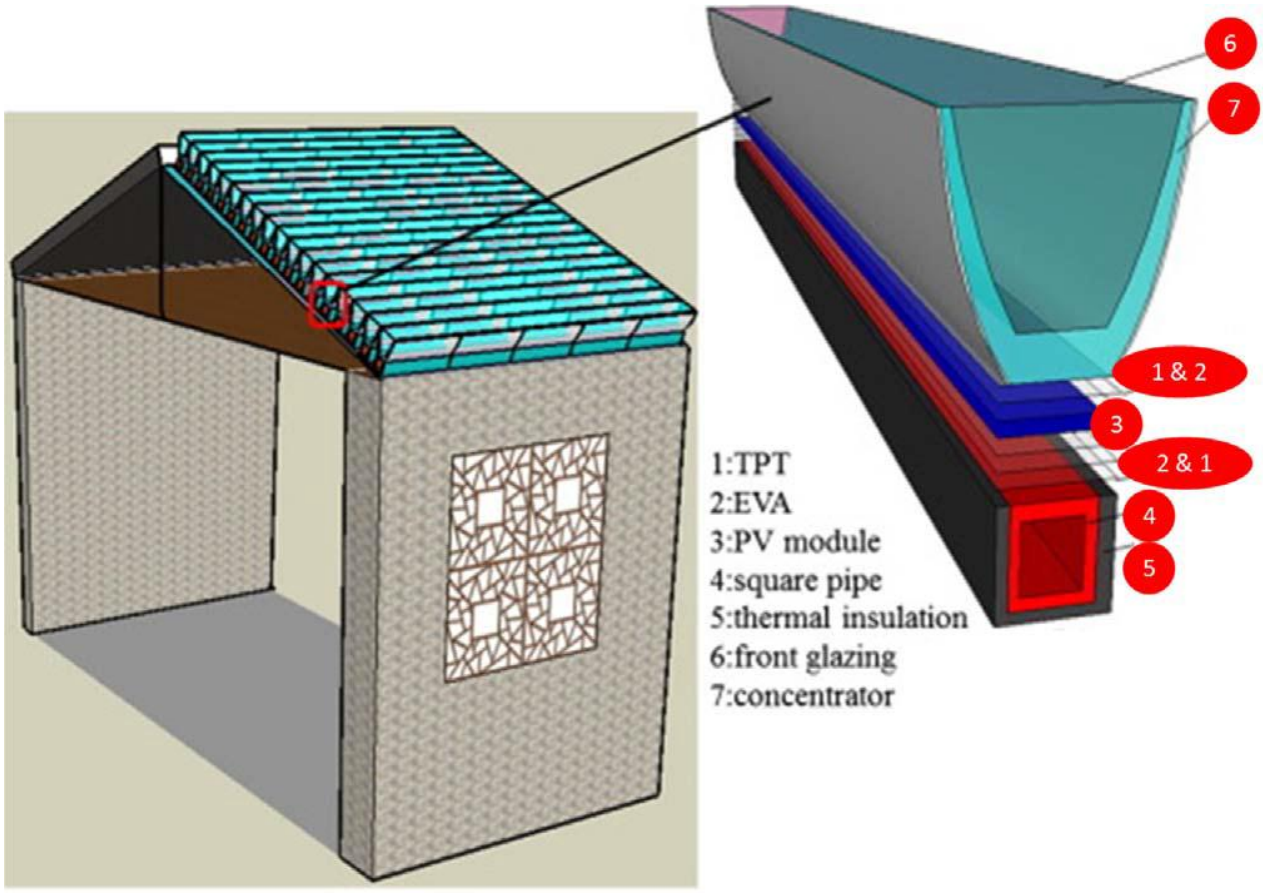
3-لاقط الPV

4- أنابيب مربعة الشكل

5-عازل حراري

6-زجاج أمامي

7-مركز [4]



الشكل (4-8) بنية مركزات الPVT

4-5 الماص الحراري للواقط:PVTthermal absorbers for PVT modules:

إن الماص الحراري للواقط PVT هوجزء مكمل للواقط PV حيث إنه يؤثر عليها عن طريق التبريد المباشر لها ، وبالتالي يؤثر على الكفاءة الكلية (حرارية–كهربائية) للاقط ال PVT.

تظهر الأبحاث الحديثة أنواع مختلفة للماص الحراري تتناسب مع لواقط ال PVT المختلفة،ولهذا يمكننا تصنيف اللواقط حسب بنية الماص كما يلي:

4-5-1تصنيف اللواقط حسب بنية الصفيحة والأنبوب :sheet and tube structure:

إن هذا التصنيف هو الأكثر انتشاراً حيث يتم لف أو ربط الصفيحة المعدنية المسطحة (نحاس –ألمنيوم – فولاذ مقاوم للصدأ)بأنبوب معدني أو أنبوب من البولي إيتلين .

يختلف ترتيب الأنابيب حسب مبدأ عمل الماص ،أمثلة على ذلك (أنابيب متوازية – أنبوب حراري – أنبوب ذو زعانف تبريد – أنبوب حلزوني).

هذه الأنابيب تتميز بتحملها للضغط العالي ، وكفاءة نقل حرارة جيدة ، ومع ذلك ، فإن تطبيقها على المباني في المشاريع الكبيرة لا يزال محدوداً وذلك بسبب الوزن الذي تضيفه إلى وحدات ال [4]PVT.

4-5-2 النفق المستطيل مع أو بدون (زعانف تبريد \ أخاديد):

الأنفاق المستطيلة هي أبسط الهياكل المستخدمة كماص حراري في لواقط ال PVT ،يتم بناء هذه الأنفاق من اللوح المعدني أو مواد بوليميرية أخرى ،حيث يتم تصميم قنوات منفصلة أو مزدوجة متعددة الممرات .

يمكن تطبيق الأنفاق المستطيلة في جميع لواقط ال PVT لأنه من السهل دمج سطح اللوح المسطح مع اللاقط .تتميز هذه الأنواع من الماصات الحرارية ببنيتها البسيطة – وزنها المنخفض – التكلفة المنخفضة – وكفاءة نقل حراري منخفضة نسبياً[4].

4-5-3 مجموعة الأنابيب الحرارية ذات القناة الميكروية(حصيرة حرارية) micro – channel heat pipe array:

يعد هذا النوع مناسبا للواقط PVT المسطحة والمرنة، ويتكون من : لوحة ألمنيوم مسطحة ،وأنابيب حرارية ميكروية متوازية تعمل بشكل مستقل حيث كل أنبوب ميكروي يحتوي على الأخاديد الميكروية (أو الزعانف الميكروية)التي تسمح بنقل الحرارة بكفاءة عالية من السطح العلوي المواجه للإشعاع الشمسي إلى السائل داخل الأنابيب.تحمل هذه الحصيرة الحرارية مزايا أداء جيدة مثل : أداء نقل حراري عالٍ–الوثوقية

العالية – قوة الضغط العالية – التكلفة المنخفضة – مقاومة نقل حرارة صغيرة بسبب تصميمها المسطح.ومع ذلك لا تزال هناك قيود بسبب نقل وتوزيع الحرارة غير المتجانس والمقاومة الحرارية الإضافية بين المكثف والموزع [4].

4-5-4 المبادل الحراري المقذوف extruded heat exchanger:

تعد هذه المبادلات الحرارية حلاً واعداً كماص حراري في لواقط PVT المسطحة والمرنة نظرا لانخفاض كلفة إنتاجها وخاصة عند تصنيعها بكميات كبيرة، وتسمح بإنتاج ترتيبات وتركيبات مختلفة دون أي تكاليف إضافية . ومع ذلك ،فإنها تتطلب كمية كبيرة من تدفق السائل بسبب معامل انتقال الحرارة المنخفض نسبياً[4].

4-5-5 المبادل الحراري ذو الأنابيب المتعرجة roll-bond heat exchanger:

تستخدم تقنية roll-pondعلى نطاق واسع في تصنيع المبادلات الحرارية مثلا في المبخرات للتبريد ولوحات الإشعاع .....وغيرها،كما أنها شائعة حالياً في تبريد لواقط PV المرنة والمسطحة لأنها إحدى التقنيات التي تتميز بأفضل أداء.

يتم تصنيع هذه المبادلات وفقا لعملية إنتاج تقوم على بناء الألواح بقنوات مختلفة باستخدام صفيحتين من الألمنيوم النقي بنسبة 99.5%.

يتم طبع النمط المرغوب لقنوات التدفق على لوح الألمنيوم ثم يتم ضخ الهواء المضغوط حتى يتم الحصول على القنوات .تمكن الماص الحراري ذو الأنابيب المتعرجة من تخصيص وتحسين قنوات السوائل وبالتالي تحقيق كفاءة أعلى بطريقة فعالة من حيث التكلفة .

تسمح هذه الميزات الرئيسة بتوزيع درجات الحرارة بشكل متساوٍ عبر الماص مع الأخذ بعين الاعتبار بنية الأنبوب واللوح الأساسي .بالرغم من ذلك، لا يزال هذا البحث مقيداً بمعالجة الوثوقية على المدى الطويل، و خطر تآكل تعرجات الأنابيب المصنوعة من الألمنيوم في لواقط PVT[4].

4-6 طرائق التصنيع والدمج integration / manufacturing methods :

يتم تصنيع لاقط PVT عن طريق دمج لاقط PV مع ماص حراري باستخدام أساليب دمج مختلفة مثل الربط الميكانيكي أو اللصق الكيميائي .

يوفر هذا المزيج حشوة الفجوة التي تنقل الحرارة خلال طبقة PV إضافة لذلك ، يجب أن يمتلك الماص الحراري خاصية تمدد جيدة لتعويض التوسعات المختلفة لجميع مكونات PV .

يؤدي التبادل الحراري المنخفض بين طبقة PV والماص الحراري أسفلها إلى اختلاف في درجة الحرارة يبلغ حوالي 15°C في لاقط PVT بدون زجاج ، ويرجع ذلك إلى انخفاض امتصاص الطاقة الشمسية وزيادة مقاومة نقل الحرارة من الخلية إلى الوجه الماص ، ما أدى إلى سوء عامل إزالة حرارة اللاقط .

إضافة لذلك ، قد تصبح المقاومة الحرارية بين طبقة PV والماص الحراري كبيرة جداً في حال وجود فجوة أو فقاعات هوائية داخل طبقة الدمج .

لذلك يكتسب كل من الماص الحراري وطريقة الدمج المستخدمة أهمية خاصة في لواقطPVT لأنها تؤثر مباشرة على تبريد طبقة PV والمردودين الحراري والكهربائي[4] .

فيما يلي سيتم مناقشة أنواع الدمج.

4-6-1دمج لاقط PV مع ماص حراري بوساطة الوصل المباشر:

تعد هذه الطريقة الأبسط للدمج ، حيث لا يلحظ أي مقاومة حرارية إضافية . بالرغم من ذلك ، إلا أن هذه التقنية تعاني من سعة تحمل الضغط المنخفضة ، كفاءة إزالة حرارة منخفضة ، مخاطر التجميد وغيرها .....

4-6-2دمج لاقط PV مع ماص حراري بوساطة اللاصق الحراري thermal adhesive :

تعد هذه الطريقة الأكثر استخداماً في دمج طبقة ال PV مع الماص الحراري لجميع أنواع لواقط ال PVT ، وتستخدم بشكل رئيسي هلام السيليكون أو الصمغ (الغراء) .

تشمل الخصائص الحرارية للمادة اللاصقة الناقلية الحرارية العالية ، التوصيل الكهربائي المنخفض ، مجال درجة حرارة التشغيل القصوى ، خصائص تمدد جيدة والتي تؤثر على الكفاءة الكلية للاقط PVT بشكل كبير .

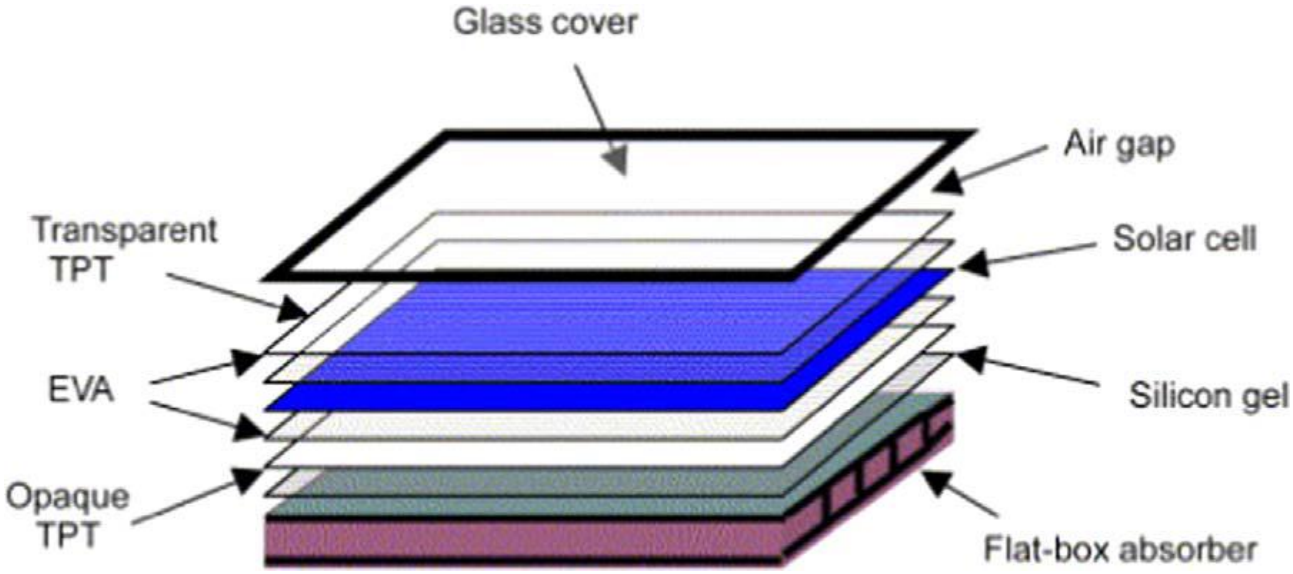
تعد هذه الطريقة بسيطة وقليلة التكلفة . مع ذلك هناك عدم توصيف لأدائها على المدى الطويل في حالات الكثافة الشمسية العالية لأنها قد تتسبب في عدم تماثل الطبقة اللاصقة وتشكيل فقاعات هواء

صغيرة، ما يزيد المقاومة الحرارية ويؤدي إلى فقدان حرارة أعلى ودرجة حرارة أعلى من درجة حرارة ال[4]PV.

4-6-3دمج لاقط PV مع ماص حراري بوساطة التثبيت الميكانيكي mechanical fixing :

يعد دمج لاقطPV مع الماص الحراري بالتثبيت الميكانيكي أمرا شائعا في معظم لواقط PVT المسطحة ومركزات PVT .

يؤمن التثبيت الميكانيكي الجمع القوي (المتين)بين PV والماص الحراري . لكنه يضيف عناصر إضافية مثل المسامير والزنبرك والشرائط ،وغيرها.... ، والتي تزيد التكلفة والوزن الإجماليين للاقط PVT ،ويبين الشكل(4-9) مثالا على دمج اللواقط باستخدام الجل السيليكوني



الشكل(4-9)لاقط PVT يستخدم الدمج بالجل السيليكوني

والأهم من ذلك ،التثبيت الميكانيكي لا يمكنه أن يزيل فجوة الهواء الصغيرة بين طبقة PV والماص [4].

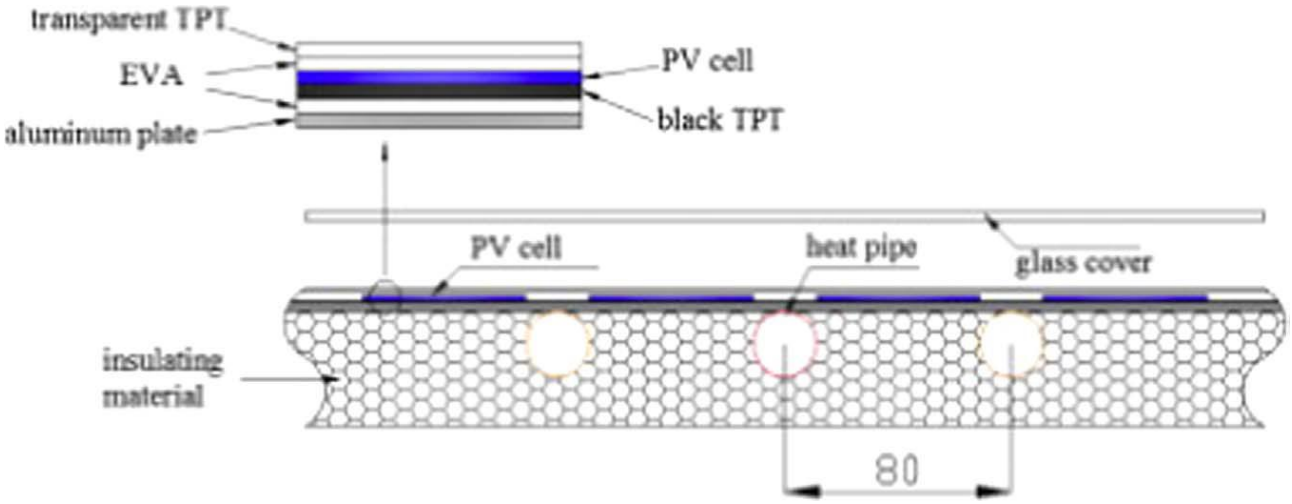
4-6-4 دمج لاقط PV مع ماص حراري بوساطة التصفيح المباشر:direct lamination

الوسيلة الأكثر تطوراً هي تصفيح جميع المكونات (الزجاج ، المكونات الكهربائية والماص).بخطوة واحدة بدلا من استخدام ثلاث طبقات مختلفة مثل (الأغلفة ، رقاقة فلوريد البولي فينيل واللاصق) المستخدمة عادة في طريقة الالتصاق .

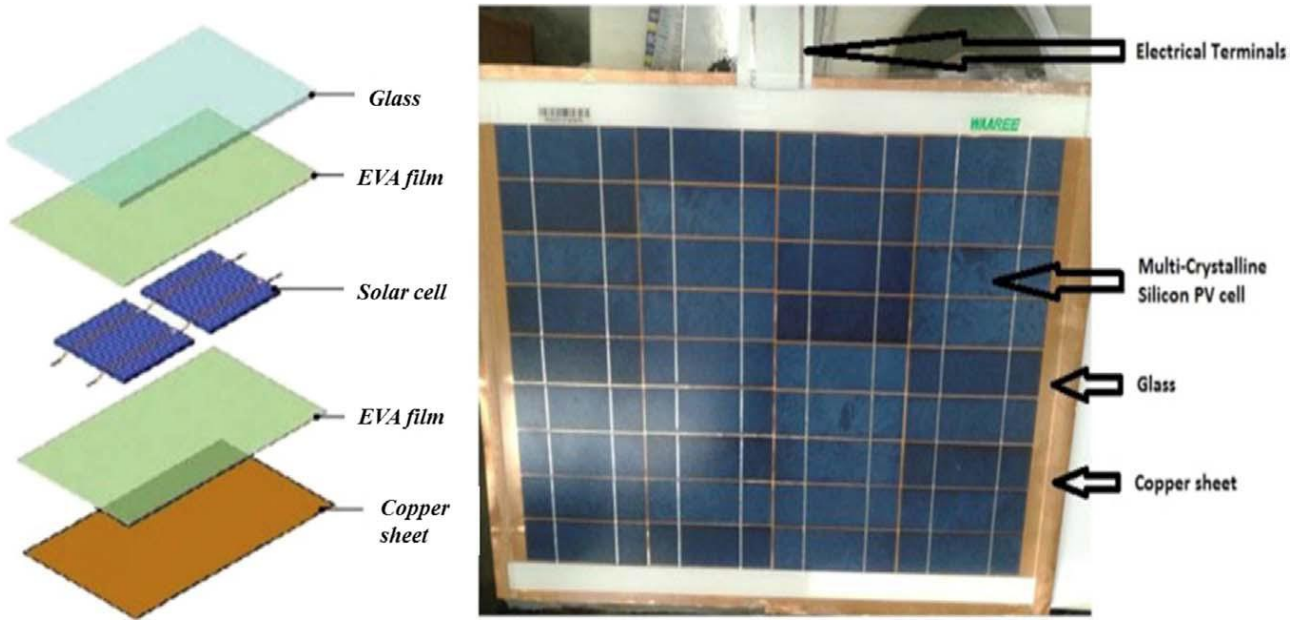
التصفيح كطبقة واحدة أمر ضروري و الهدف هو تقليل المقاومة الحرارية بين خلايا PV والصفيحة الماصة ، زيادة النقل الحراري،تحسين الأداء تبعاً للاقط الملصق .

يضمن لنا التصفيح كفاءة حرارية أعلى بسبب معامل انتقال الحرارة العالي ، وتحسين العائد الكهربائي بسبب تخفيض درجة حرارة اللاقط .هذه الطريقة هي أيضا فعالة اقتصادياً ومثالية لدمج طبقة الPVمع الماص .

ويبين الشكل(4-10)بنية لاقط هجين بطريقتي دمج الأولى مع صفيحة TPTوالثانية بدونها.



-a-



-b-

الشكل (4-10) بنية لاقط هجين -a– دمج اللواقط مع الماص باستخدام صفيحة EVA مع صفيحة خلفية من ال TPT.

-b-دمج اللاقط مع الماص باستخدام صفيحة EVA بدون ال TPT

يجب الانتباه أيضاً إلى المسافة بين خلايا PV والماص الحراري إذا تم استخدام ماص معدني،ومن الضروري جداً تجنب الاتصال الكهربائي بينهما .لذلك، يجب استخدام طلاء عازل للكهرباء مثل فلوريد البولي فينيل الذي يمكن تطبيقه مباشرة على سطح الماص المعدني كما هو موضح بالشكل (10-4-a)الذي يمثل دمج اللواقط مع الماص باستخدام صفيحة EVA مع صفيحة خلفية من ال TPT.

عوضا عنه (عند الموصلية الحرارية المنخفضة) من الممكن استخدام صفائح PVالمغلفة بالعازل مثل اسيتات –فينيل –الايتلين (EVA)أو بولي فينيل بوتيرال (PVB)ما يؤمن زيادة كبيرة في نقل الحرارة وهذا يسمح له بأن يحل محل اللوحة الخلفية TPT (عند الموصلية الحرارية المنخفضة)، والبنية مبينة في الشكل (10-4-b) الذي يمثل دمج اللاقط مع الماص باستخدام صفيحة EVA بدون ال TPT.

هناك حل آخر هو تطبيق الطلاء العازل على سطح الماص المصنوع من الألمنيوم .يمكن أن يخدم هذا الطلاء كسطح ماص للإشعاع لتلك المناطق التي لاتغطيها خلايا الPV .ومع ذلك،يمكن أن يؤدي تراص خلايا الPV مع الماص المعدني إلى تشويهالألواح بسبب معاملات التمدد الحراري المختلفة المكونات الكهربائية .

علاوة على ذلك ، في صفائح الأنبوب والألواح يمكن أن يتم لحام الأنابيب إلى الصفيحة عند تصفيح خلايا الPV إلى الماص .ومن الممكن أن تؤدي هذه العملية إلى تلف خلايا الPV بسبب درجات الحرارة المرتفعة لعملية اللحام . لاتوجد هذه المشاكل عند اعتماد الماص ذي الأنابيب المتعرجة[4].

7-4 اللاقط الشمسي مع زجاج وبدون زجاج glazed and unglazed solar collector:

يمكن تقسيم اللواقط المسطحة \ماء\ إلى فئتين رئيسيتين وفقا لوجود الزجاج أو عدمه .

4-7-1لاقط PVT مع زجاج :

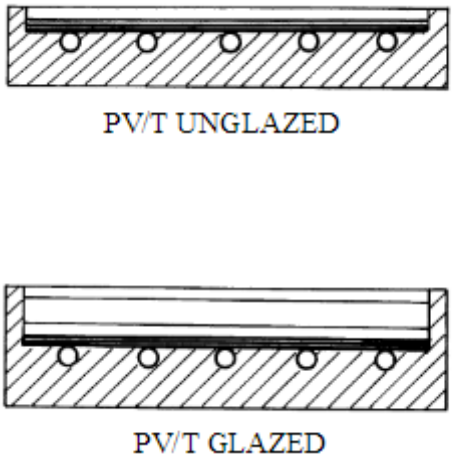
تتميز هذه اللواقط بوجود فجوة هوائية بين الغطاء الأمامي الشفاف والماص ما يسمح بتقليل الفقد الحراري .على أي حال يقلل الغطاء الزجاجي الكفاءة الكهربائية عند ارتفاع درجة حرارة الخلية ، لكن هذا الغطاء

يحسن المردود الحراري للاقطPVT ونتيجة لذلك نحصل على تحويل طاقة كلي أفضل لواحدة السطح [11].

2-7-4 لاقط PVT بدون زجاج :

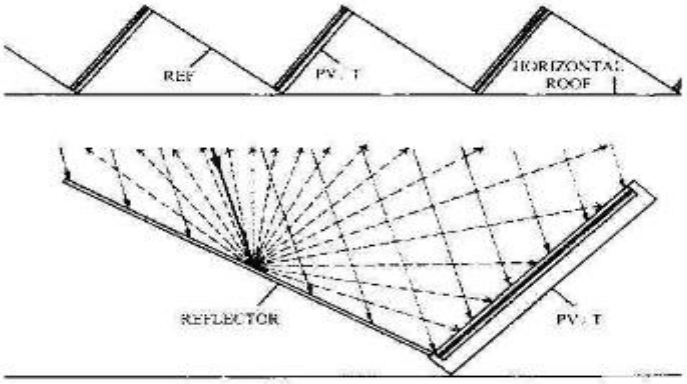
هنا لا وجود للفجوة الهوائية فوق الماص بل هو على اتصال مباشر مع الوسط المحيط لذلك سيكون الفقد الحراري كبيراً وستتأثر درجة حرارة الناقل الحراري بشدة بالعوامل الخارجية مثل درجة حرارة الوسط المحيط (ambient) ، سرعة الهواء وغيرها، .حيث تنتج هذه اللواقط الماء عند درجات حرارة أقل ،و بالتالي تقل الحرارة الكلية ل لاقط ال PV ما يؤدي للحصول على كفاءة كهربائية أعلى . ويمكن أن تكون هذه اللواقط مخصصة فقط لأنظمة التسخين المسبق للمياه مع كفاءة منخفضة إلى حد ما في نظام المياه الساخنة ، و تسخين الأرضيات المباشر ..

تمت في جامعة باتريس دراسة حول استخدام PVTبدون زجاج ومع زجاج ويمثلالشكل (4-11) مقطع عرضي في كليهماحيث تم تصميم نماذج تجريبية لتحديد الكفاءة الحرارية والكهربائية لنموذج مؤلف من لاقط pv مع تسخين الماء باستخدام أنابيب نحاسية قطرها 10mm



الشكل (4–11) بنية اللاقط الهجين –بدون زجاج – مع زجاج

تم حساب طاقة الخرج الشهرية والسنوية مع مراعاة الشروط الجوية في جامعة باتريس وتم التمييز ين حالتي استخدام العاكس وعدم استخدامه ويوضحالشكل (4-12) نظام PVTمع استخدام العاكس



الشكل (4-12)اللاقط الهجين مع عاكس

وكنتيجة لتجارب هذه الجامعة تم الحصول على النتائج السنوية التالية التي تقارن بين حالات (PVمع عاكس وبدونه –PVT بدون زجاج وبدون عاكس–PVT بدون زجاج مع عاكس –PVTمع زجاج وبدون عاكس – PVTمع زجاج ومع عاكس)عند درجات حرارة مختلفة (25°C-35°C-45°C)

الجدول (4-1)خرج الطاقة السنوي للاقط الشمسي التقليدي والهجين

SYSTEM	Annual electrical energy kWh/m^{2}y	% of input energy	Annual Thermal energy kWh/m^{2}y	% of input energy
PV MODULES	182.84	11.12		
PV+REF MODULES	217.53	13.23		
PVT/UNGL 25 °C	178.43	10.85	537.87	32.70
PVT/UNGL 35 °C	166.17	10.10	217.13	13.20
PVT/UNGL 45 °C	161.19	9.80	35.79	2.18
PVT/UNGL +REF 25 °C	198.62	12.08	619.77	37.68
PVT/UNGL +REF 35 °C	186.02	11.31	275.53	16.75
PVT/UNGL +REF 45 °C	143.57	8.73	263.96	16.05
PVT/GL 25 °C	149.33	9.08	776.30	47.20
PVT/GL 35 °C	137.55	8.36	467.98	28.45
PVT/GL 45 °C	125.25	7.62	220.39	13.40
PVT/GL+REF25 °C	167.98	10.21	831.75	50.57
PVT/GL+REF35 °C	155.77	9.47	519.15	31.56
PVT/GL+REF45 °C	143.57	8.73	263.96	16.05

تمت أيضا الدراسة على محددين هما EPBTو co2PBT

حيث PBT:Pay Back Time: فترة استرداد رأس المال :هو الزمن المطلوب من خرج النظام لتجنب الكمية نفسها من طلب الطاقة المتراكم وانبعاثco2وفقط بعد هذه الفترة تبدأالفوائد الحقيقية البيئية ويبين الجدول(4-2) قيم co2PBT, EPBT لجميع الحالات المذكورة سابقاً[11].

الجدول (4-2) فترة استرداد رأس المال وانبعاث غاز co_2للاقط تقليدي ولاقط هجين

SYSTEM	EPBT (years)	CO_2 PBT (years)
PV MODULES	4.43	4.35
PV+REF MODULES	3.97	3.87
PVT/UNGL 25 °C	1.61	1.99
PVT/UNGL 35 °C	2.82	3.25
PVT/UNGL 45 °C	4.93	4.97
PVT/UNGL+REF 25 °C	1.49	1.84
PVT/UNGL+REF 35 °C	2.51	2.90
PVT/UNGL+REF 45 °C	4.31	4.49
PVT/GL 25 °C	1.34	1.73
PVT/GL 35 °C	2.00	2.50
PVT/GL 45 °C	3.36	3.94
PVT/GL+REF 25 °C	1.31	1.67
PVT/GL+REF 35 °C	1.89	2.36
PVT/GL+REF 45 °C	3.02	3.55

4-8خاتمة:

تم استعراض تصنيفات اللواقط الشمسية الهجينة في هذا الفصل مع شرح بسيط لأهم مزايا وسلبيات كل نوع لوحده ما يسهل معرفة النوع المفيد والمناسب حسب مكان تركيب اللواقط والمحددات الأساسية لموقع التركيب،كما تم التنويه على مزايا إضافة طبقات زجاجية.

الفصل الخامس: نمذجة ومحاكاة اللواقط الشمسية (PV&PVT)

Modelling and Simulation of solar cells(PV&PVT)

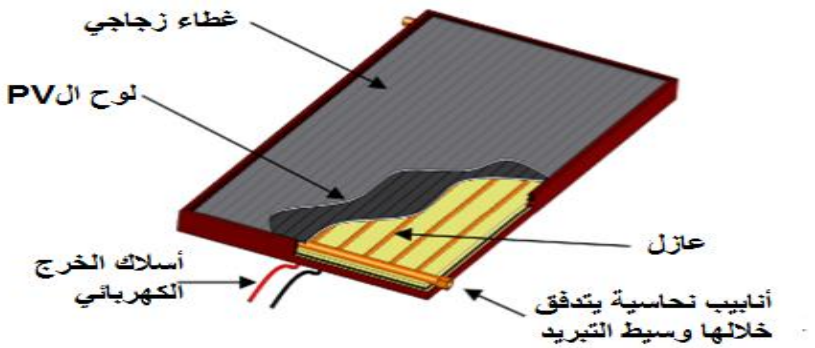
5-1مقدمة:

بعد أن تم التعريف بأنواع اللواقط الشمسية تم اختيار لاقط كهرضوئيPVولاقط PVTوسيتم نمذجتهما في هذا الفصل لتبيين الفروقات بينهما،سيتم استخدام بيئة ماتلاب وكذلك برنامج Pvsysفي عملية النمذجة وتوضيح لنتائج القياس الحاسوبية.

5-2البنية الداخلية للواقط الشمسية الحرارية الهجينة PVT:

تتألف اللواقط الشمسية الهجينة من عدة طبقات كما هو موضح في الشكل(5-1):

- شبكة من الأنابيب تؤمن التبريد للاقط الشمسي التقليدي ونستفيد منها في الحصول على الطاقة الحرارية في الوقت نفسه.
- اللاقط الشمسي التقليدي الذي يؤمن الطاقة الكهربائية.
- الغطاء الزجاجي.
- العازل الحراري.



الشكل(5-1) بنية اللاقط الشمسي الهجين PVT[7]

يعتمد مبدأ عمل اللاقط الهجين على شقين أساسيين: الأول هو توليد الطاقة الكهربائية كما هو في اللواقط التقليدية تماماً والشق الثاني هو توليد الطاقة الحرارية من دارة التبريد حيث يدخل الناقل الحراري في المجاري المخصصة له، ويمتص الأشعة الشمسية التي كانت بلا فائدة في اللواقط التقليدية ويقوم بتوليد الطاقة الحرارية، يؤدي ذلك إلى تخفيض درجة حرارة اللاقط وبالتالي تساعد في رفع المردود الكهربائي إضافة إلى المردود الحراري الذي لم يكن موجوداً في اللواقط التقليدية[8].

ويمكن أن تكون هذه اللواقط بمبادلات حرارية مختلفة وأكثر الأمثلة المدروسة هي:

1-لواقط بمبادل حراري مائي:

تتميز هذه اللواقط بالخواص الفيزيوحرارية الجيدة للماء ويوضح الشكل(5-2) بنيتها.

الشكل(5-2)اللاقط الشمسي الهجين بمبادل حراري مائي.

2-لواقط شمسية بمبادل حراري-هوائي:

تتميز هذه اللواقط برخص سعرها (الشكل(5-3)).

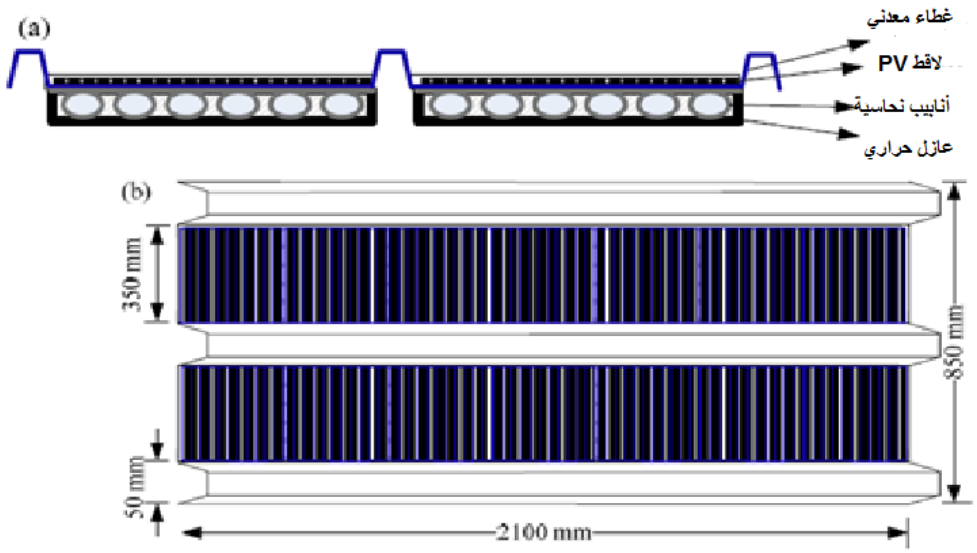
الشكل(5-3)اللاقط الشمسي الهجين بمبادل حراري–هوائي [6]

5-3وصف النظام الكهروضوئي الهجين المقترح:

5-3-1خصائص اللاقط:

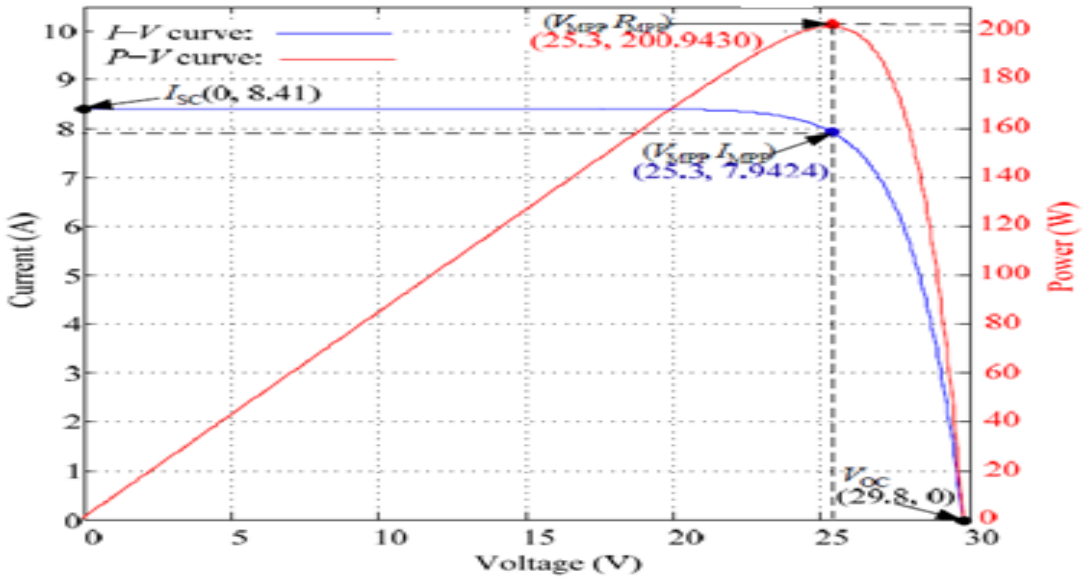
يوضح الشكل(5-4) مقطع عرضي ومسقط أفقي للاقط المستخدم في هذه الدراسة.

يوضح المقطع العرضي تركيب الخلايا الشمسية الحرارية حيث تتألف من (حامل معدني وخلايا شمسية وأنابيب نحاسية وعازل حراري).أما المسقط الأفقي فيبين أبعاد هذه الخلايا.



الشكل(5-4)لاقط PVT–a- مقطع عرضي -b- مقطع أفقي

يبين الشكل(5-5) خصائص اللواقط الشمسية الحرارية المدروسة، ويحتوي الجدول(5-1) على المحددات الأساسية للاقط[5].



الشكل (5-5) منحني الخصائص الكهربائية للالقط المستخدم

الجدول (5-1):مواصفات الألواح المستخدمة

المحدد	Pmpp	Vmpp	Impp	Isc	Voc	Kv	Ki	NOCT
القيمةالاسيمة	**200.9w**	25.3v	7.94A	8.41A	29.8V	-95mV/C	6.7mA/C	46 C

حيث:

Ki:معامل الحرارة لتيار الدارة المقصورة [A/C].

Kv:معامل الحرارة لتوتر الدارة المفتوحة [V/C].

Voc:توتر الدارة المفتوحة[V].

Isc:تيسار الدارة المقصورة[A].

Impp:التيار الأعظمي للالقط عند الشروط النظامية stc[A].

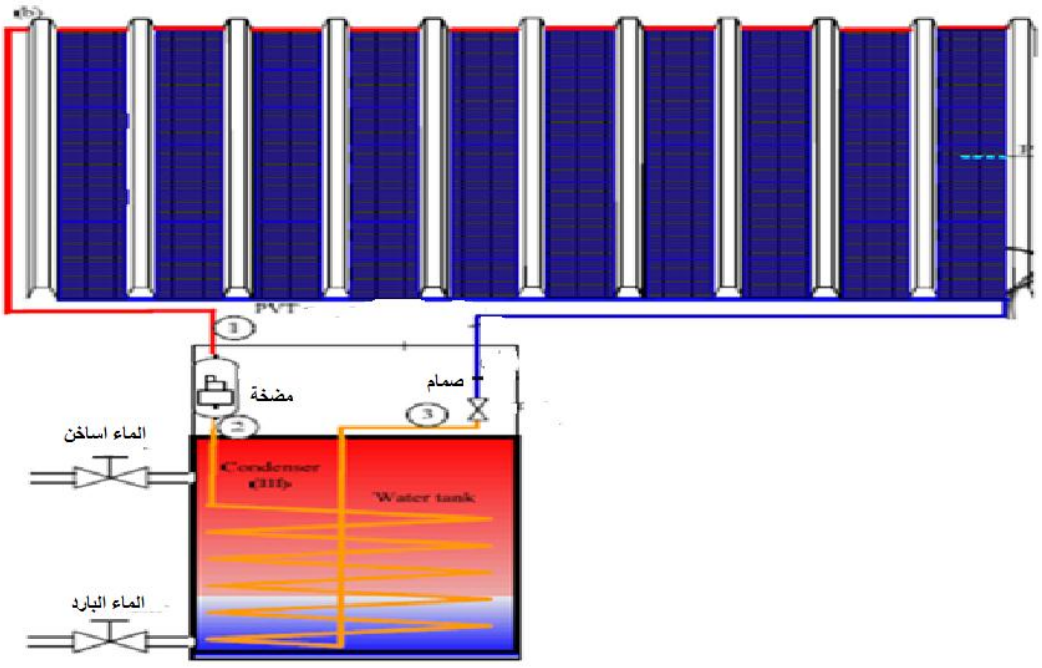
Vmpp:التوتر الأعظمي للالقط عند الشروط النظامية stc[V].

Pmpp:الستطاعة العظمى للالقط عند الشروط النظامية stc[w].

5-3-2وصف النظام المتكامل:

يتكون النظام المدروس من مجموعة من اللواقط موصلة بشكل تسلسلي كما هو موضح في الشكل(5-6).

يتم توصيل اللواقط PVT للحصول على نظام استطاعته 1kw (ربطت 5 لواقط على التسلسل للحصول على 1 كيلو واط كهربائي)، والأنابيب المستخدمة في تسخين الماء بالإضافة الى مضخة ماء كما هو موضح في الشكل(5-6)



الشكل(5-6) النظام الكهروضوئي الهجين المقترح

5-3-3المعادلات الواصفة للنظام:

يوضح الشكل السابق النظام المدروس الذي يقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقتين حرارية وكهربائية حيث تعطى المعادلة الديناميكية للنظام ككل بالعلاقة التالية:[5]

$$m_{pvt}\, C_{pvtT_{pvt}} = Q_{Solar} - Q_{Rad} - Q_{Con} - P_{pvt} - Q_{Rf} \qquad (5-1)$$

حيث:

m_{pvt}: كتلة اللاقط [kg].

C_{pvt}: سعة تسخين اللاقط[j/kg*k].

T_{pvt} :درجة حرارة اللاقط[k].

Q_{solar} :صافي الإشعاع الشمسي الواصل للوجه الأمامي للاقط[w].

Q_{rad} :الطاقة الناتجة عن تبادل حرارة إشعاع الموجات الطويلة[w].

Q_{conv} :الطاقة الناتجة عن التبادل الحراري بين السطح الأمامي للاقط والهواء المحيط[w].

P_{pvt} :طاقة خرج اللاقط وهي الطاقة الكهربائية المستخلصة منه[w].

Q_{Rf} : الطاقة الناتجة عن الحرارة المزالة من خلال التبريد[w].

وسيتم شرح جميع المسميات السابقة وفق المعادلات الناظمة لها.

حيث Q_{solar} صافي الإشعاع الشمسي الواصل للوجه الأمامي للاقط و تعطى بالعلاقة:

$$Q_{solar} = \alpha G A \quad (5\text{-}2)$$

حيث:

α :امتصاصية اللاقط.

G :الإشعاع الشمسي الوارد[w/m^2].

A :مساحة سطح اللاقط[m^2].

أما Q_{rad} الطاقة الناتجة عن تبادل حرارة إشعاع الموجات الطويلة فتعطى بالعلاقة:

$$Q_{rad} = \sigma \varepsilon_{pvt} (T_{pvt}^4 - T_{amb}^4) A \quad (5\text{-}3)$$

حيث σ : ثابت ستيفان بولتزمان

ε_{pvt} :انبعاثية اللاقط.

T_{pvt} :درجة حرارة اللاقط[k].

T_{amb} :درجة حرارةالوسط المحيط المطلقة[k].

المعادلة الناظمة ل Q_{conv} الطاقة الناتجة عن التبادل الحراري بين السطح الأمامي للاقط والهواء المحيط هي:

$$Q_{conv} = h_{conv} (T_{pvt} - T_{amb}) A \quad (5\text{-}4)$$

$$h_{conv} = 2.8 + 3 v_{wind} \quad (5\text{-}5)$$

حيث:

h_{conv} : معامل انتقال الحرارة بالنسبة لتأثير الاشعاع الحراري[w/m^2*k].

v_{wind} : سرعة الرياح[m/s].

أما المعادلات الناظمة لتيار اللاقط وهي المستخدمة في نمذجة كلا النظامين التقليدي PV والهجين PVT

أولا معادلة التيار الكلي للاقط:

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_S \{\exp[\frac{q}{kT_{pvt}a}(\frac{V}{N_S} + \frac{IR_S}{N_p})] - 1\} - \frac{1}{R_{SH}}(\frac{N_p V}{N_S} + IR_S) \qquad (5-6)$$

حيث I : تيار خرج اللاقط[A].

N_p : عدد الخلايا التفرعية.

I_{PH} : تيار الخلية[A].

I_S : تيار إشباع الخلية[A].

$q = 1.6*10^{-19}$: شحنة الالكترون[C].

$k = 1.38*10^{-23}$: ثابت بولتزمان[j/k].

a:العامل الحقيقي المعتمد على تقنية PV.

V : توتر خرج اللاقط[V].

N_S : عدد الخلايا التسلسلية.

R_s : المقاومة التسلسلية].

R_{SH} : المقاومة التفرعية.

المعادلة الناظمة ل I_{PH} تيار الخلية تؤخذ بالعلاقة:

$$I_{PH} = [I_{sc}^{stc} + K_I(T_{pvt} - T_{pvt}^{stc})]\frac{G}{G^{stc}} \qquad (5\text{-}7)$$

حيث:

I_{sc}^{stc} :تيار قصر اللاقط عند الشروط النظامية.

K_I : معامل درجة الحرارة لتيار القصر.

$T_{pvt}^{stc} = 25^o$: درجة حرارة اللاقط في الشروط النظامية.

$G^{stc} = 1000W$: الاشعاع الشمسي في الشروط النظامية.

I_S :تيار إشباع الخلية يؤخذ بالعلاقة :

$$I_S = I_{RS}(\frac{T_{pvt}}{T_{pvt}^{stc}})^3 \exp[\frac{qE_{BG}}{ka}(\frac{1}{T_{pvt}^{stc}} - \frac{1}{T_{pvt}})] \qquad (5\text{-}8)$$

حيث:

I_{RS} : تيار الإشباع العكسي للاقط.

E_{BG} : طاقة الفجوة لنصف الناقل المستخدم في بناء الخلية.

P_{pvt} : طاقة خرج اللاقط وهي الطاقة الكهربائية المستخلصة منهوتعطى بالعلاقة:

$$p_{pvt} = IV \qquad (5\text{-}9)$$

Q_{Rf} : الطاقة الناتجة عن الحرارة المزالة من خلال التبريد تعطى بالعلاقتين:

$$Q_{Rf} = m_{Rf}^{\cdot}(H_1 - H_4) \quad (5\text{-}10)$$

حيث:

H_1 : قيمة الانتالبي عند النقطة 1[j/kg].

H_4 :قيمة الانتالبي عند النقطة 4.

يوضح الجدول(5-2) تغير قيمة التدفق مع تغير درجة الحرارة والإشعاع[5].

الجدول(5-2) تغير قيمة التدفق مع تغير درجة الحرارة والإشعاع

درجة الحرارة (C)					**الاشعاع**
40	35	30	25	20	**W/m²**
0	0	0	0	0	**0**
11.79	11.34	10.97	10.65	10.38	**200**
22.41	21.96	21.58	21.26	20.98	**400**
33.04	32.58	32.30	31.87	31.59	**600**
43.66	43.20	42.81	42.48	42.20	**800**
54.28	53.82	53.43	53.09	52.80	**1000**

5-4نمذجة النظام الكهروضوئي المقترح:

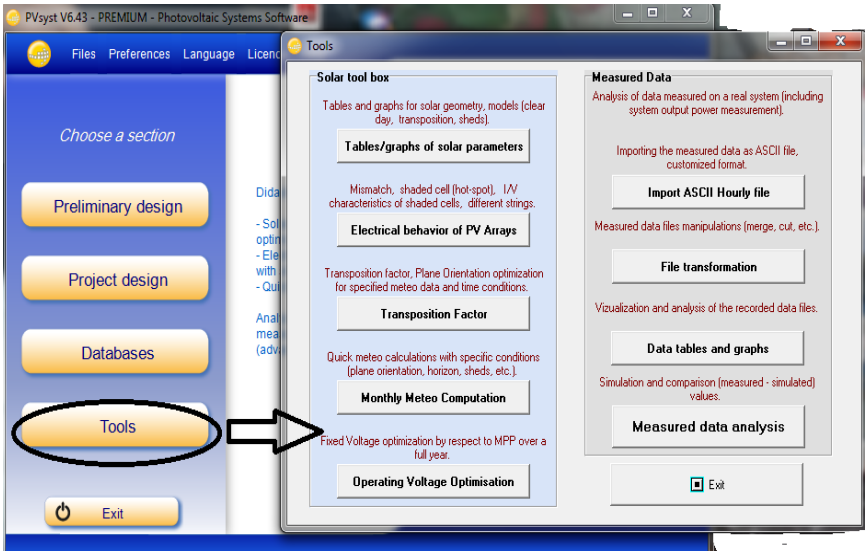
بعد نمذجة النظام المدروس في البيئة البرمجية المذكورة، أجريت دراسة عدة حالاتمختلفةمن العام لعدة أيام شتوية و صيفية لمعرفة مدى فعالية النظام المقترح في تحسين مردود الخلية الكهرضوئية.

5-4-1تحديد قيمة الإشعاع الشمسي :

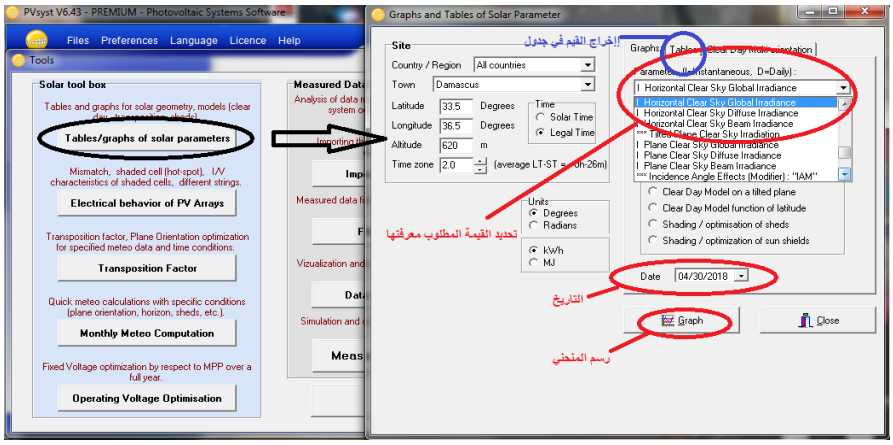
أخذت بيانات الإشعاع الشمسي في الأيام التي أجريت فيها الدراسة بالاستعانة ببرنامج PVSyst لأيام مختارة عشوائياً من السنة، أيام شتوية بتاريخ 10/12/2017، وأخرى صيفية بتاريخ 20-25/7/2018، حيث تؤخذ القيم كل ساعة في برنامج المحاكاة PVsyst. وفي حال عدم توفر بيانات قياس كل ساعة، يجب أن نبني مجموعة من بيانات الأرصاد الجوية لكل ساعة من القيم الشهرية.وبالنسبة للإشعاع الشمسي، يتم توليد الجيل الاصطناعي من القيم الساعية من المتوسطات الشهرية باستخدام النماذج العشوائية التي تم تطويرها من قبل فريق كولارز–بيريرا في الثمانينيات. هذا النموذج يولد أولاً سلسلة من القيم اليومية، ثم تسلسل من 24 ساعة للقيم يومياً، وذلك باستخدام مصفوفات الانتقال لماركوف.

وتوضح الأشكال (5-7) a-b-c تسلسل عملية الحصول على قيم الإشعاع:

-a-



-b-



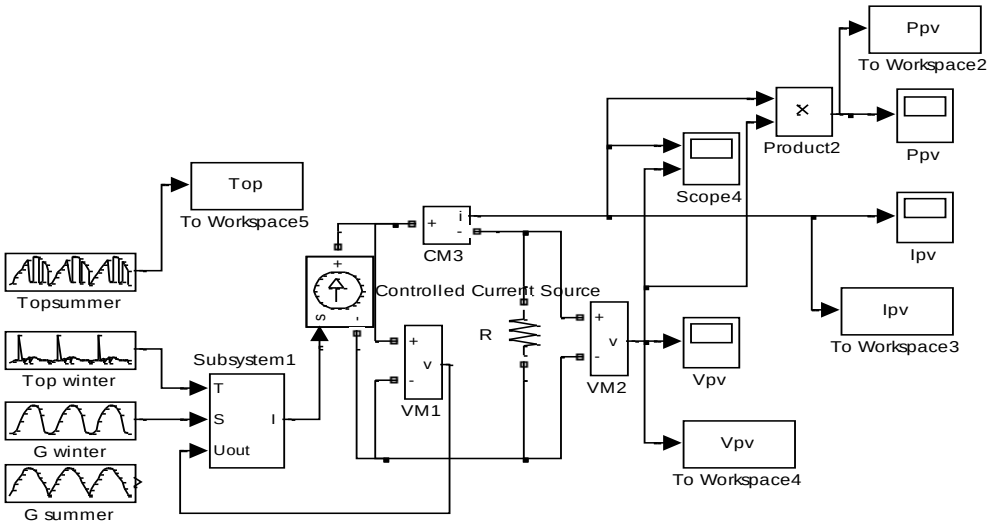
-c-

الشكل (5-7) تسلسل عملية الحصول على قيم الإشعاع

5-4-2نمذجة اللاقط الكهربائي التقليدي:

بعد أن عرضت كافة المعادلات المستخدمة في نمذجة النظام المدروس، سيتم عرض البرنامج الحاسوبي المستخدم لإجراء الحسابات الرياضية وذلك في البيئة البرمجية MATLAB، كما هو موضح في الأشكال التالية:

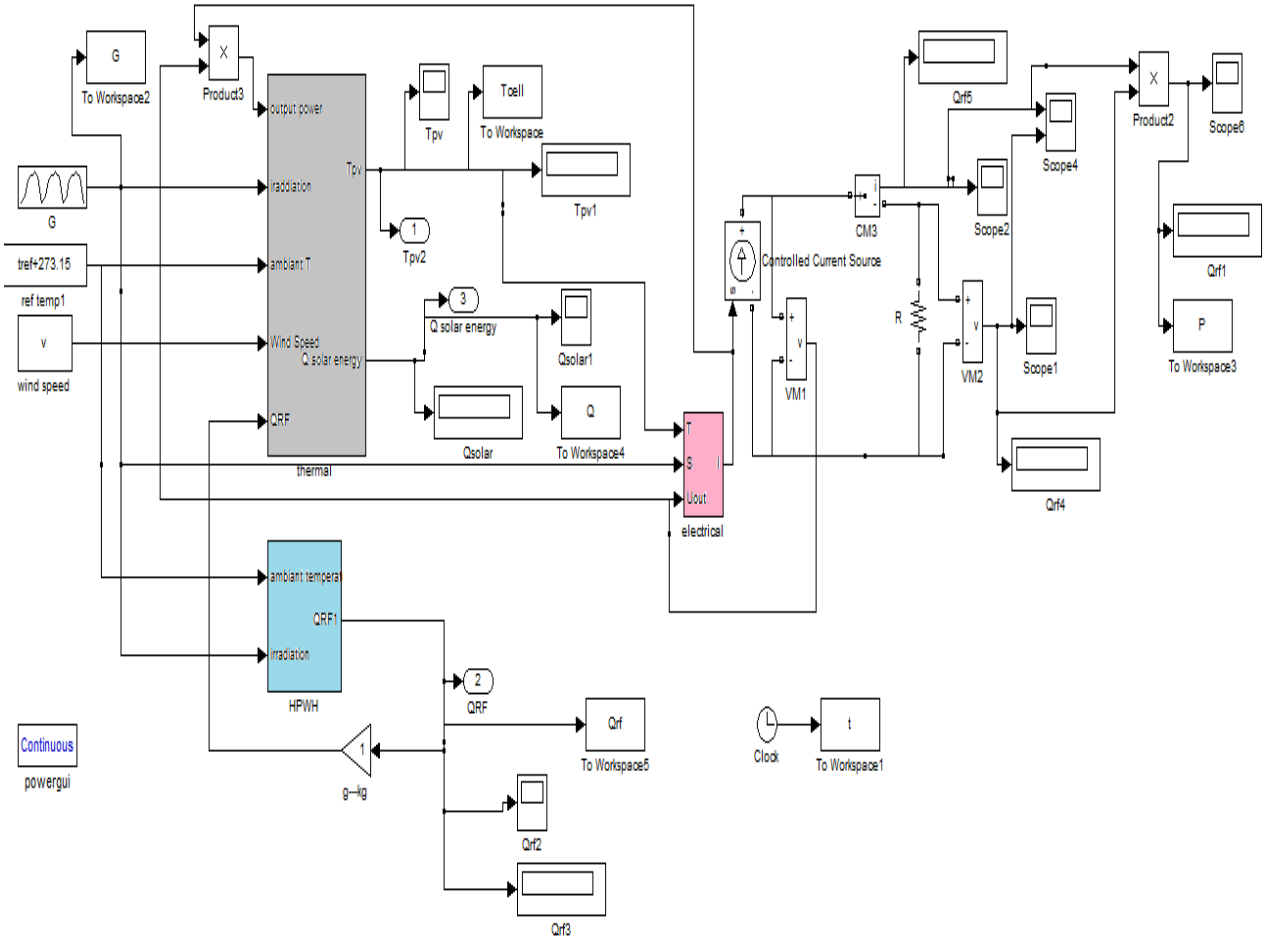
استخدمت معادلات التيار من (5-6)إلى(5-8) وكذلك معادلة الطاقة الكهربائية الناتجة (5-9)لبناء نموذج اللاقط الموضح في الشكل(5-8).

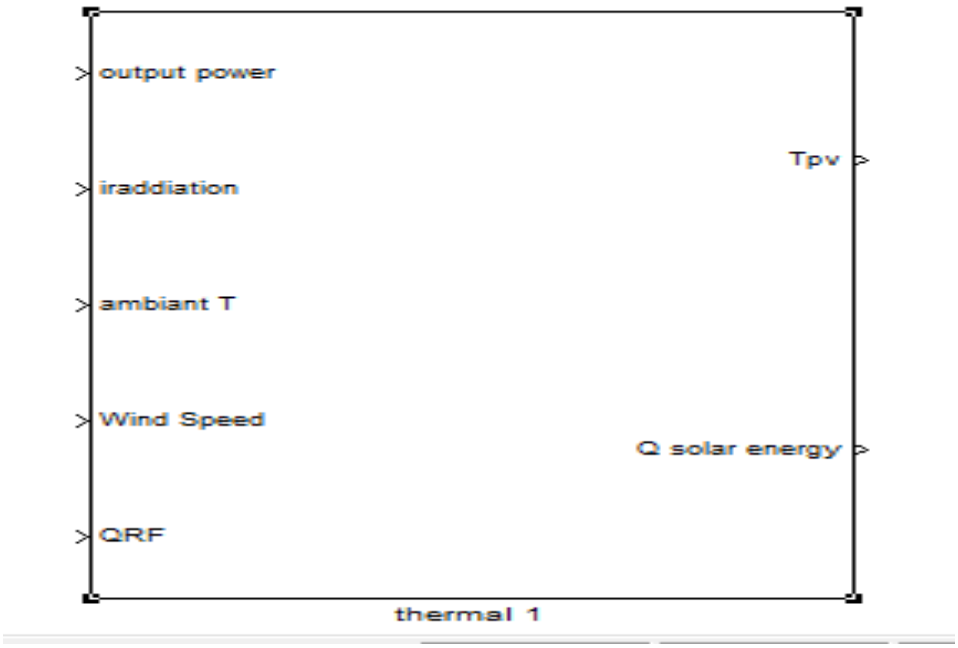


الشكل (5-8) نمذجة اللاقط PV في بيئة MATLAB

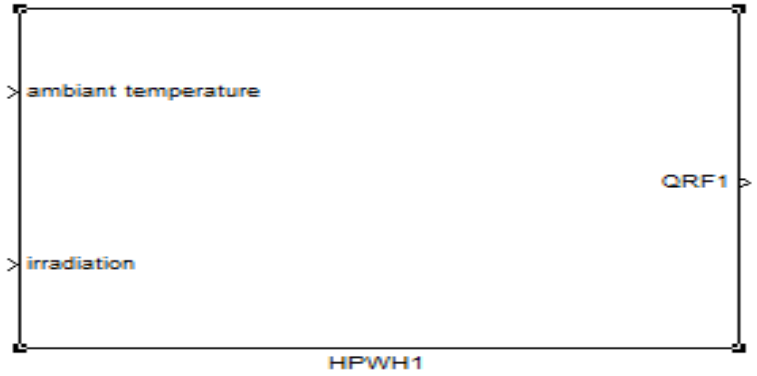
3-4-5نمذجة النظام المتكامل للاقط الشمسي الحراري الهجين:

يوضح الشكل(5-9) نمذجة النظام المتكامل للاقط الشمسي الهجين PVT باستخدام المعادلات من (5-1 5)إلى (5-10) وبيانات أيام مختارة عشوائياً ،حيث إن المستطيل الاول(subsystem) باسم thermal يعبر عن المعادلة الديناميكية للنظام و الثاني باسم electrical يعبر عن معادلة التيار الكلي للنظام والأخير باسم hpwh يعبر عن المعادلة المتعلقة بالأنابيب المستخدمة في تبريد اللاقط.

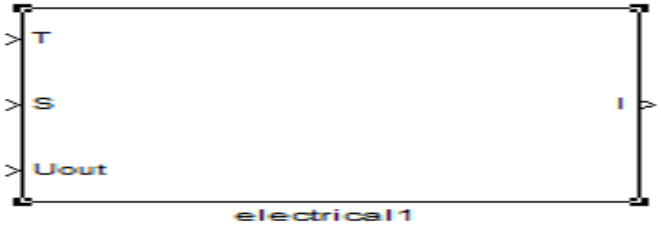




-a-



-b-



-c-

الشكل(5-9) نمذجة النظام الكهروضوئي الهجين المقترح

يوضح الشكل السابق بيئة الماتلاب للنموذج الحاسوبي المقترح بهدف الحصول على 1kwكهرباء، حيث

-a–يمكننا من حساب درجة حرارة اللاقط المتغيرة بتغير كل من الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، درجة حرارة الوسط المحيط، وطاقة الخرج الكهربائية والحرارية.

يمثل -b– المعادلة الواصفة للطاقة الحرارية الناتجة من اللاقط الهجين اعتمادا على محددين أساسيين هما درجة حرارة الوسط المحيط، والإشعاع الشمسي.

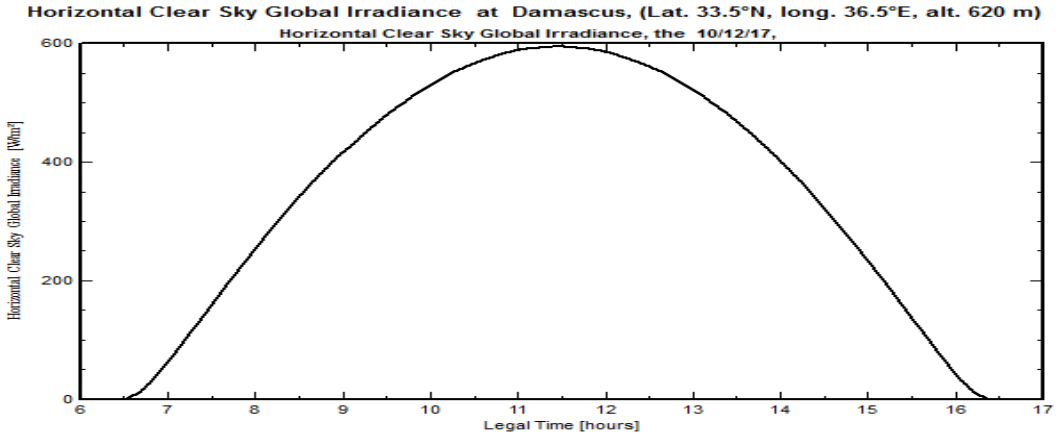
أما -c– يمثل معادلة حساب التيار للاقط المتغير بتغير كل من درجة الحرارة والإشعاع والتوتر .

5-5 نتائج النمذجة في بيئةMATLAB/Simulink :

5-5-1حالة يوم شتوي بتاريخ10/12/2017:

a. تغير الإشعاع الشمسي:

تم الاعتماد على برنامج PVSYST لتحديد قيم الإشعاع في اليوم المدروس وتم تحديد تغير الإشعاع الشمسي ساعياً في هذا اليوم الشتوي وتم إدخاله الى برنامج MATLAB/Simulink حيث تم توضيح النتائج في الشكل(5-10) .

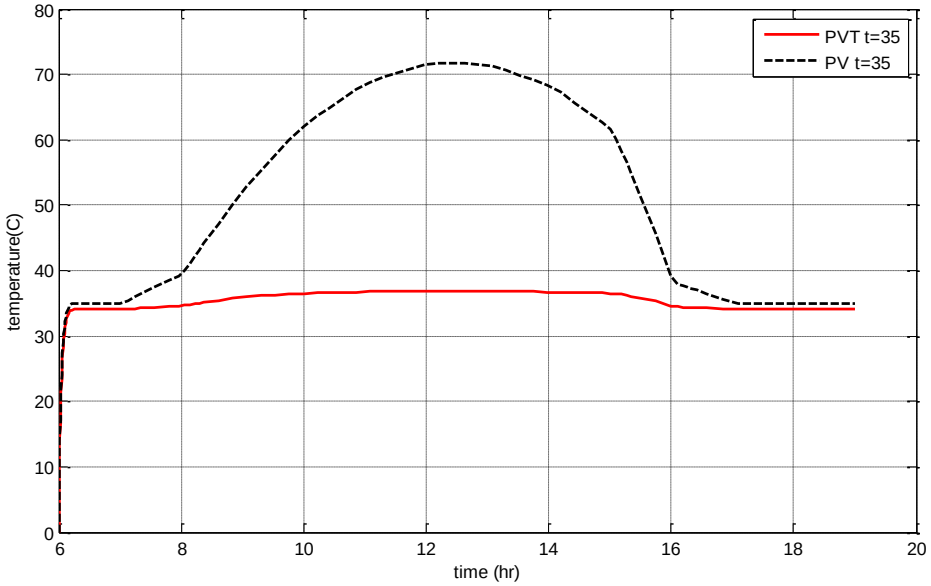


الشكل (5-10)الاشعاع الشمسي في يوم شتوي 10/12/2017

b. تغير درجة حرارة اللاقط

يلاحظ عند نمذجة لاقط شمسي تقليدي PV تغير درجة حرارة اللاقط بشكل طردي مع تغير الإشعاع الشمسي كما هو موضح في الشكل(5-11) حيث يمثل pv-t=35 تغير درجة الحرارة للاقط التقليدي

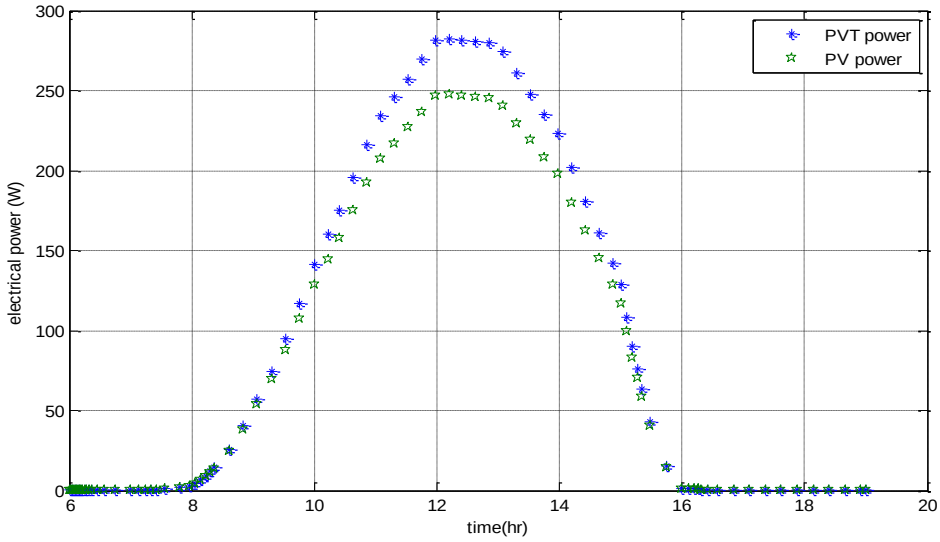
(بدون مبادل حراري) ونلاحظ ارتفاع درجة حرارة الخلايا بشكل كبير أما pvt-t=35، فيعبر عن نتائج النموذج الهجينالمقترح PVT عند اعتماد درجة حرارة لاقط مطلوب الحفاظ عليها تساوي 35 درجة مئوية. يلاحظ أن هذا النموذج حافظ على هذه القيمة و هي 35درجة مئوية تقريباً طوال فترة عمل اللاقط حتى لحظة غروب الشمس الشكل(5-11).



الشكل(5-11) تغير درجة حرارة اللاقط بتغير الاشعاع في يوم شتوي

c. تغير الاستطاعة الكهربائية لخرج اللاقط:

تتغير الاستطاعة الكهربائية مع تغير درجة حرارة اللاقط، حيث إنه بارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض الاستطاعة الكهربائية، ففي اللاقط التقليدي تزداد درجة حرارة اللاقط بشكل طردي مع زيادة الإشعاع كما هو واضح في الشكل (5-12) من pv-power الذي يمثل الطاقة الكهربائية لخرج اللاقط التقليدي، أما pvt-power يمثل الطاقة الكهربائية لخرج اللاقط الهجين.

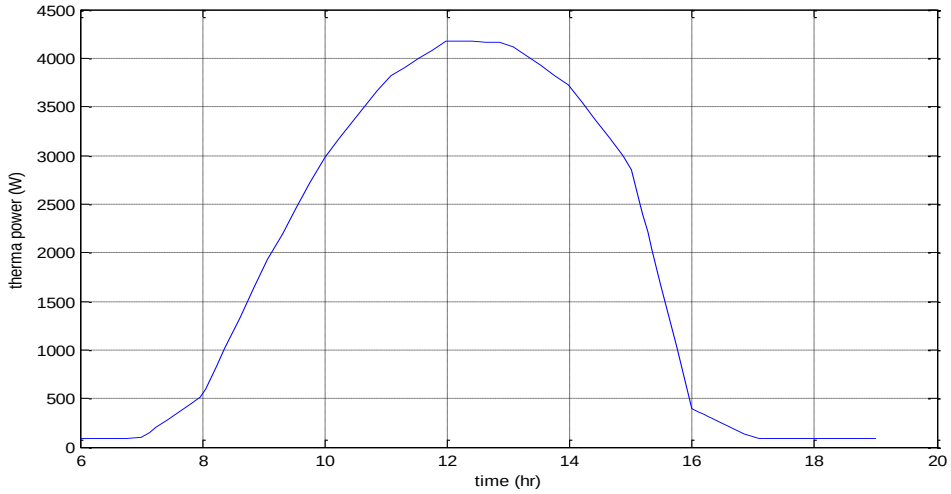


الشكل(5-12) تغير طاقة الخرج الكهربائية بتغير الاشعاع في يوم شتوي

وبالنتيجة فقد كانت الاستطاعة الكهربائية للاقط الهجين أكبر منها للاقط التقليدي حيث كانت الاستطاعة العظمى تقريباً للاقط الهجين [w]280، بينما كانت فقط [w]250 للاقط التقليدي عند الساعة 12ظهرا.

d. تغير الطاقة الحرارية لخرج اللاقط الهجين:

يمكن الحصول على الطاقة الحرارية من المبادل الحراري في اللاقط الهجين، وتعد بمثابة ربح صافٍ مضاف إلى خرج اللاقط و ممكن أن تصل الطاقة الحرارية في لاقطنا الهجين إلى 4200 واط عند الساعة 12 كما هو موضح في الشكل(5-13).

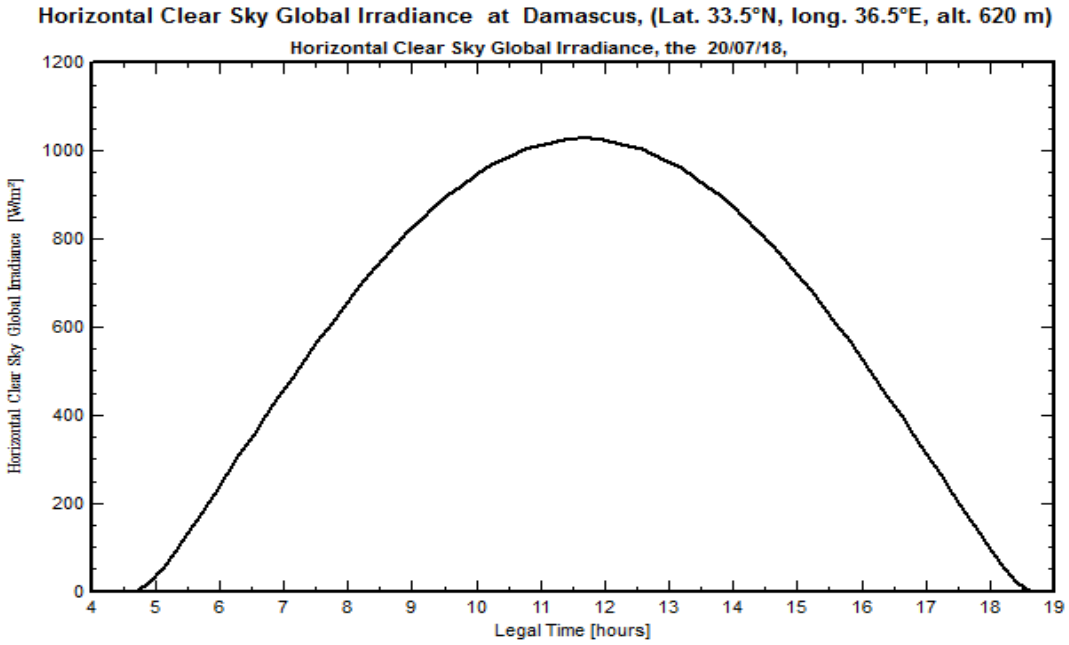


الشكل (5-13) تغير طاقة الخرج الحرارية بتغير الاشعاع في يوم شتوي

5-5-2حالة يوم صيفي بتاريخ 20/7/2018:

i. تغير الإشعاع الشمسي:

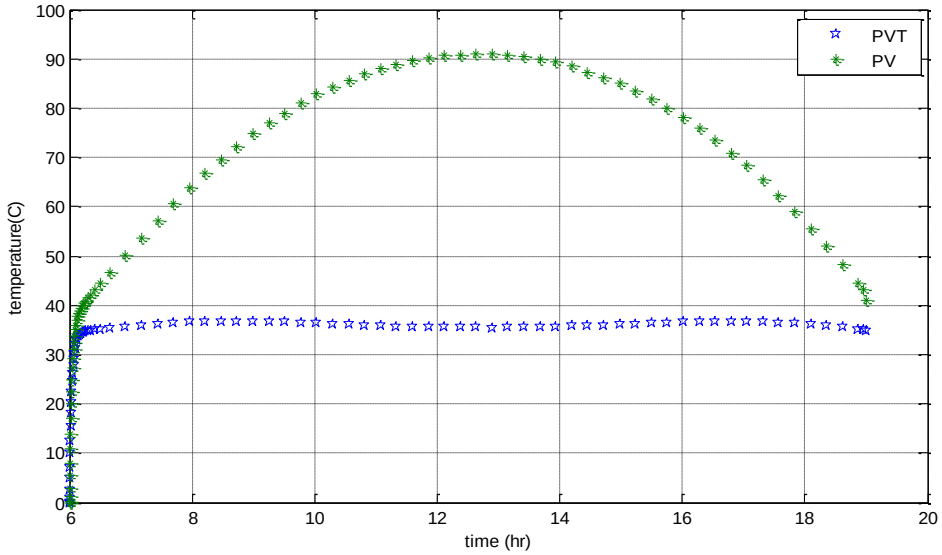
يمثل هذا المنحني تغير الاشعاع الشمسي خلال يوم صيفي مختار عشوائياً بتاريخ 20/7/2018 وهو ممثل بالشكل(5-14).



الشكل (5-14): تغير الاشعاع الشمسي في يوم صيفي

ii. تغير درجة حرارة اللاقط:

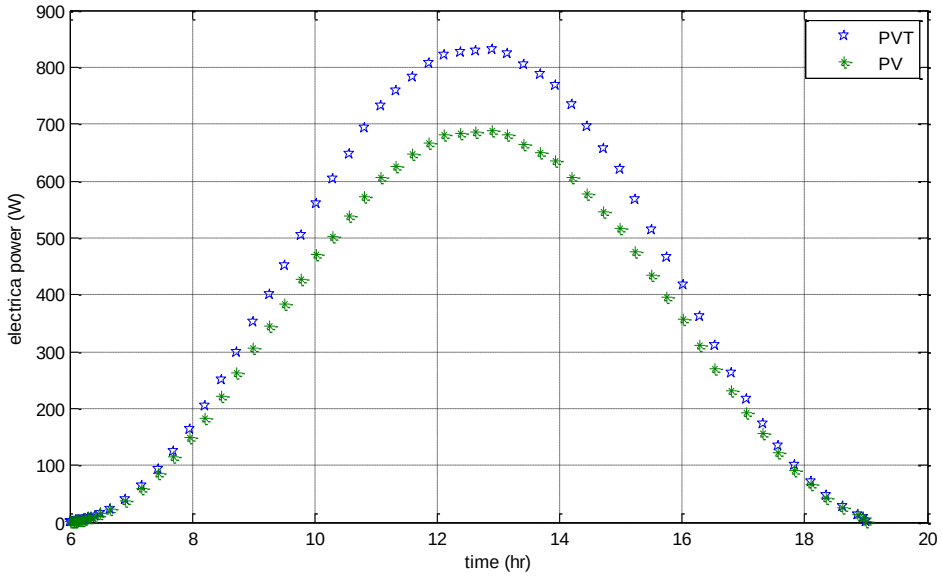
مع تغير الإشعاع تتغير درجة حرارة اللاقط التقليدي بشكل طردي لتصل تقريباً إلى 90 درجة مئوية عند الذروة ابتداء مكن الساعة 12إلى 14 كما هو موضح في الشكل(5-15) pv ، أما النظام الهجين فيتمتع بدرجة حرارة مستقرة قريبة من الدرجة المختارة 35 درجة مئوية كما في الشكل (5-15)pvt.



الشكل(5-15) تغير درجة حرارة اللاقط بتغير الاشعاع في يوم صيفي

iii. تغير الطاقة الكهربائية لخرج اللاقط:

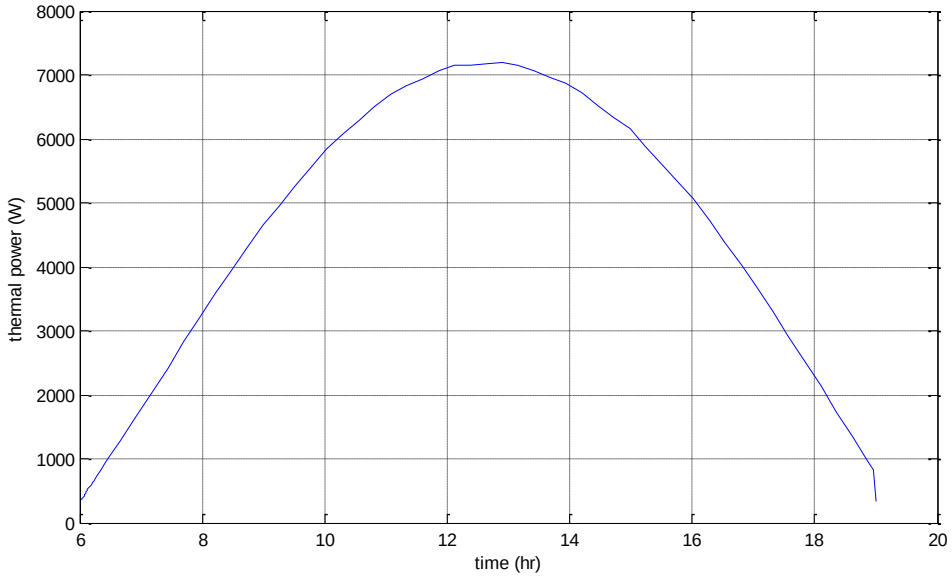
عند استخدام اللاقط التقليدي وبسبب ارتفاع درجة الحرارة الكبير لوحظ انخفاضكبير للطاقة pv-power عند هذه الفترة كما يبين الشكل(5-16) ولكن عند استخدام اللاقط الهجين كانت الطاقة المستخلصة أكبر حيث وصلت تقريبا الى 840[w] بينما كانت 690[w] فقط في النظام التقليدي عند الساعة 13.



الشكل (5-16) تغير طاقة الخرج الكهربائية بتغير الاشعاع في يوم صيفي

iv. تغير الطاقة الحرارية لخرج اللاقط الهجين:

يمثل الشكل(5-17) الطاقة الحرارية المستخلصة من اللاقط الهجين وهي الطاقة الناتجة عن المبادل الحراري حيث كانت قيمتها العظمى 7200[w] عند الساعة 13.



الشكل (5-17)تغير الطاقة الحرارية بتغير الإشعاعفي يوم صيفي

3-5-5 خمسة أيام صيفية متتالية من تاريخ 20/7/2018إلى 25/7/2018:

A. تغير الإشعاع :

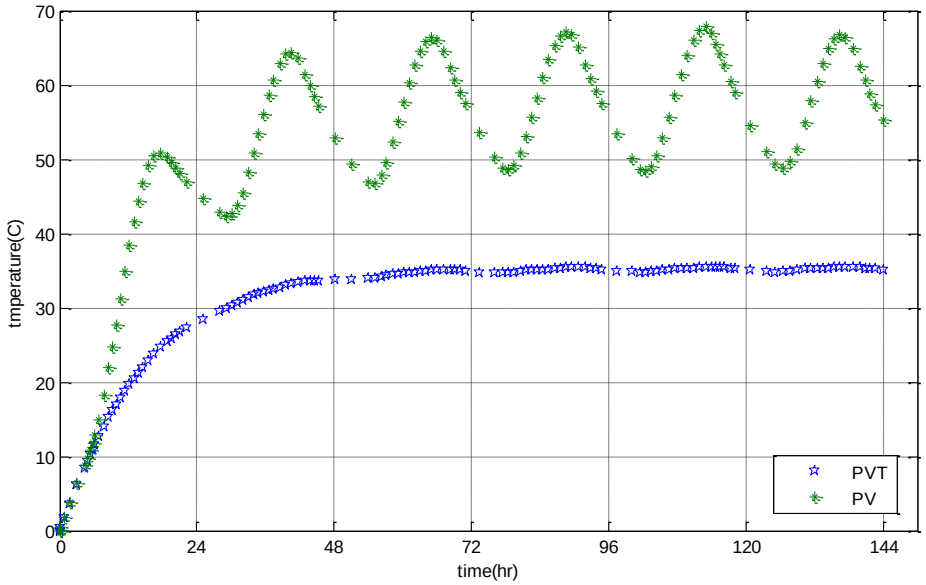
تم الحصول على تغير الإشعاع ل 5أيام متتالية من تاريخ 20/7/2018إلى تاريخ25/7/2018بالاعتماد على برنامج PV syst ويبين الجدول (5-3) نتائج خرج هذا البرنامج للفترة المدروسة .

الجدول (5-3) تغير الاشعاع ل 5أيام متتالية

Legal Time	HGloCS W/m²	Legal Time	HGloCS W/m²	Legal Time	HGloCS W/m²	Legal Time	HGloCS W/m²	Legal Time	HGloCS W/m²	Legal Time	HGloCS W/m²
20/07/18 00h00	0	21/07/18 00h00	0	22/07/18 00h00	0	23/07/18 00h00	0	24/07/18 00h00	0	25/07/18 00h00	0
20/07/18 01h00	0	21/07/18 01h00	0	22/07/18 01h00	0	23/07/18 01h00	0	24/07/18 01h00	0	25/07/18 01h00	0
20/07/18 02h00	0	21/07/18 02h00	0	22/07/18 02h00	0	23/07/18 02h00	0	24/07/18 02h00	0	25/07/18 02h00	0
20/07/18 03h00	0	21/07/18 03h00	0	22/07/18 03h00	0	23/07/18 03h00	0	24/07/18 03h00	0	25/07/18 03h00	0
20/07/18 04h00	0	21/07/18 04h00	0	22/07/18 04h00	0	23/07/18 04h00	0	24/07/18 04h00	0	25/07/18 04h00	0
20/07/18 05h00	33	21/07/18 05h00	31	22/07/18 05h00	30	23/07/18 05h00	28	24/07/18 05h00	26	25/07/18 05h00	25
20/07/18 06h00	241	21/07/18 06h00	239	22/07/18 06h00	237	23/07/18 06h00	235	24/07/18 06h00	233	25/07/18 06h00	231
20/07/18 07h00	459	21/07/18 07h00	458	22/07/18 07h00	456	23/07/18 07h00	454	24/07/18 07h00	453	25/07/18 07h00	451
20/07/18 08h00	659	21/07/18 08h00	658	22/07/18 08h00	656	23/07/18 08h00	655	24/07/18 08h00	654	25/07/18 08h00	652
20/07/18 09h00	825	21/07/18 09h00	824	22/07/18 09h00	823	23/07/18 09h00	822	24/07/18 09h00	821	25/07/18 09h00	820
20/07/18 10h00	947	21/07/18 10h00	946	22/07/18 10h00	945	23/07/18 10h00	944	24/07/18 10h00	943	25/07/18 10h00	942
20/07/18 11h00	1015	21/07/18 11h00	1014	22/07/18 11h00	1013	23/07/18 11h00	1012	24/07/18 11h00	1012	25/07/18 11h00	1011
20/07/18 12h00	1024	21/07/18 12h00	1024	22/07/18 12h00	1023	23/07/18 12h00	1022	24/07/18 12h00	1022	25/07/18 12h00	1021
20/07/18 13h00	975	21/07/18 13h00	975	22/07/18 13h00	974	23/07/18 13h00	974	24/07/18 13h00	973	25/07/18 13h00	972
20/07/18 14h00	871	21/07/18 14h00	871	22/07/18 14h00	870	23/07/18 14h00	869	24/07/18 14h00	868	25/07/18 14h00	867
20/07/18 15h00	719	21/07/18 15h00	718	22/07/18 15h00	717	23/07/18 15h00	716	24/07/18 15h00	715	25/07/18 15h00	714
20/07/18 16h00	529	21/07/18 16h00	528	22/07/18 16h00	526	23/07/18 16h00	525	24/07/18 16h00	524	25/07/18 16h00	522
20/07/18 17h00	315	21/07/18 17h00	313	22/07/18 17h00	312	23/07/18 17h00	310	24/07/18 17h00	309	25/07/18 17h00	307
20/07/18 18h00	97	21/07/18 18h00	95	22/07/18 18h00	94	23/07/18 18h00	92	24/07/18 18h00	90	25/07/18 18h00	88
20/07/18 19h00	0	21/07/18 19h00	0	22/07/18 19h00	0	23/07/18 19h00	0	24/07/18 19h00	0	25/07/18 19h00	0
20/07/18 20h00	0	21/07/18 20h00	0	22/07/18 20h00	0	23/07/18 20h00	0	24/07/18 20h00	0	25/07/18 20h00	0
20/07/18 21h00	0	21/07/18 21h00	0	22/07/18 21h00	0	23/07/18 21h00	0	24/07/18 21h00	0	25/07/18 21h00	0
20/07/18 22h00	0	21/07/18 22h00	0	22/07/18 22h00	0	23/07/18 22h00	0	24/07/18 22h00	0	25/07/18 22h00	0
20/07/18 23h00	0	21/07/18 23h00	0	22/07/18 23h00	0	23/07/18 23h00	0	24/07/18 23h00	0	25/07/18 23h00	0

B. **تغير درجة الحرارة :**

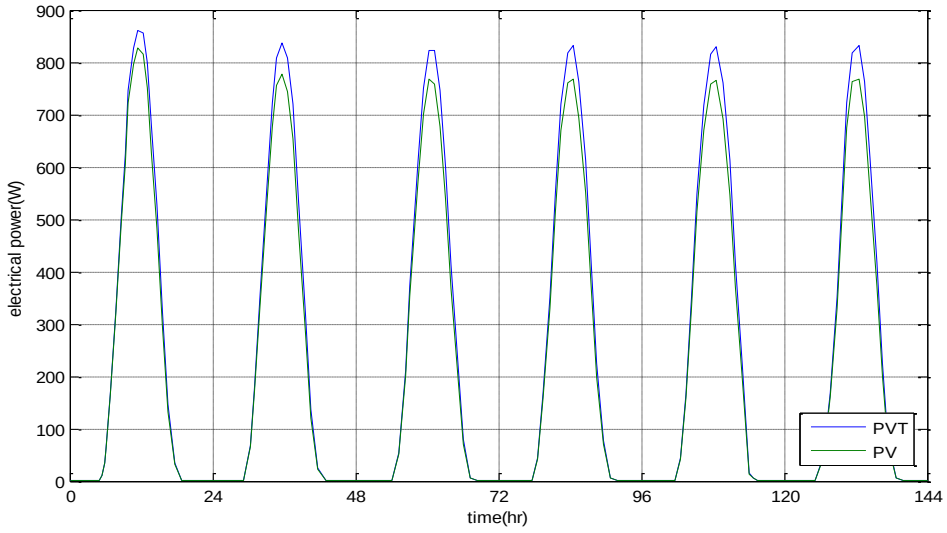
تتغير درجة حرارة اللاقط بتغير الإشعاع كما هو موضح في الشكل **(5-18)**حيث نلاحظ أن اللاقط التقليدي كان متناسباً بشكل طردي مع تغير الإشعاع في هذه الأيام الخمسة **(PV)** لتصل إلى قيمة عظمى تساوي **68**درجة سيليزيوس بينما حافظ اللاقط الهجين على درجة الحرارة المطلوبة **35** درجة سيليزيوس كما هو موضح في الشكل **(5-18/PVT)**.



الشكل(5-18) تغير درجة الحرارة في 5أيام صيفية متتالية

C. **تغير الطاقة الكهربائية :**

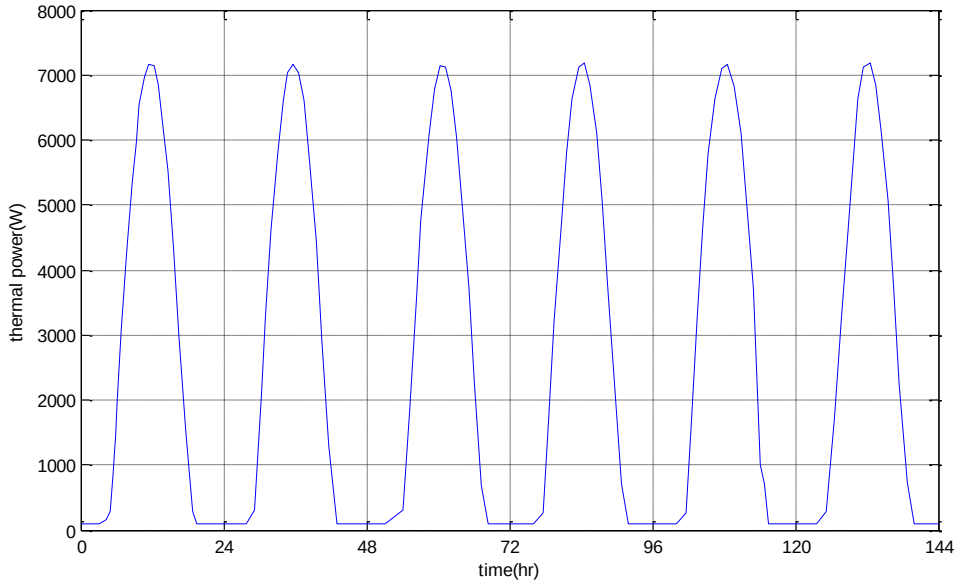
تتناسب الطاقة الكهربائية المستخلصة طردا مع تغير الإشعاع وعكسا مع ارتفاع درجة الحرارة وبالتالي ينتج لدينا الشكل(**5-19**)حيث نلاحظ منه الوصول إلى طاقة كهربائية عظمى للـ**PVT**تساوي **850[W]** بينما كانت في اللاقط التقليدي مساوية **810[W]** عند الساعة **12**،علما أن هذه الأرقام تمثل أعلى قيمة خلال الأيام الخمسة وهي تختلف من يوم لآخر.



الشكل(5-19) تغير طاقة الخرج الكهربائية

D. تغير الطاقة الحرارية:

كما ذكرنا سابقا فإن الطاقة الحرارية هي ربح صاف للواقط ال**PVT** حيث تمكنا من الحصول على طاقة عظمى تساوي **7200[W]**خلال هذه الأيام الخمسة عند الساعة**12**كما هو موضح في الشكل**(5-20)**

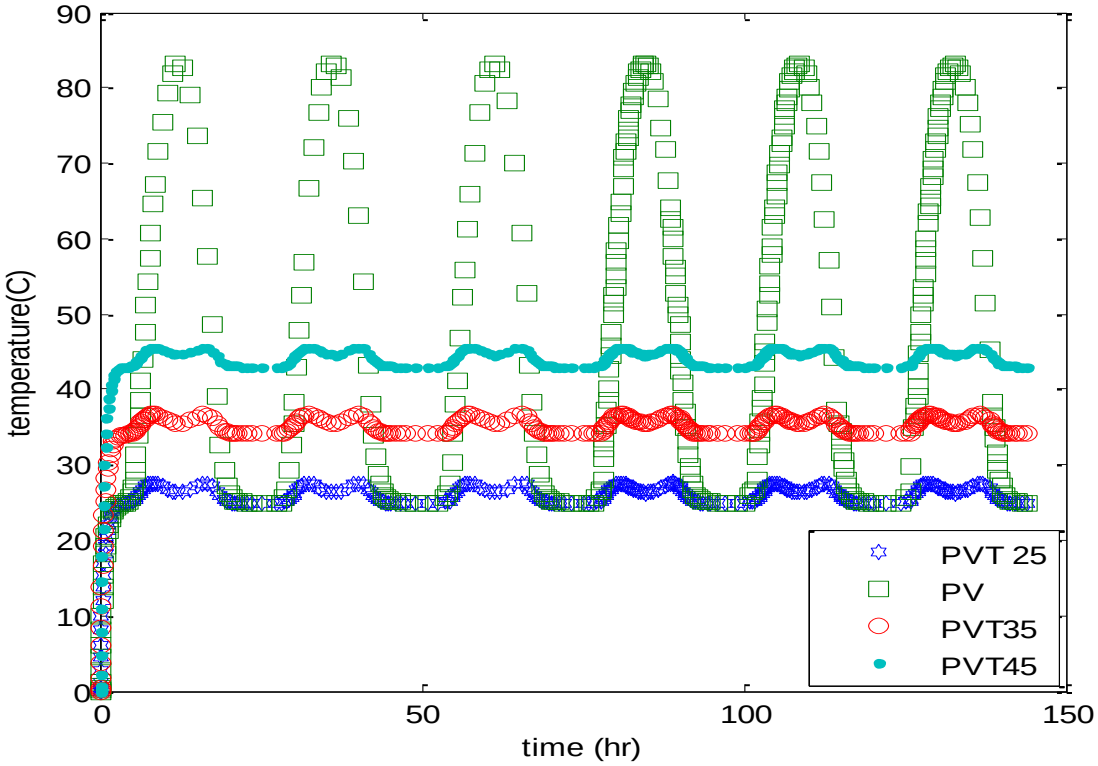


الشكل(5-20)تغير الطاقة الحرارية لخرج اللاقط الهجين

5-5-4خمسة أيام صيفية متتالية عند ثلاث درجات حرارة مختلفة:

a. تغير درجة الحرارة:

تم اختيار الأيام الخمسة بتاريخ من **20/7/2018** إلى **25/7/2018** ،حيث تتغير درجة حرارة اللاقط مع تغير الإشعاع ومع تغير درجة حرارة الهواء المحيط بين **(45-35-25)** كما هو موضح في الشكل**(5-21)** حيث لاحظنا تغير الحرارة بشكل جيبي في اللاقط التقليدي ،أما اللاقط الهجين **PVT** فحافظ على الدرجة المطلوبة **(45-35-25)** على التوالي.

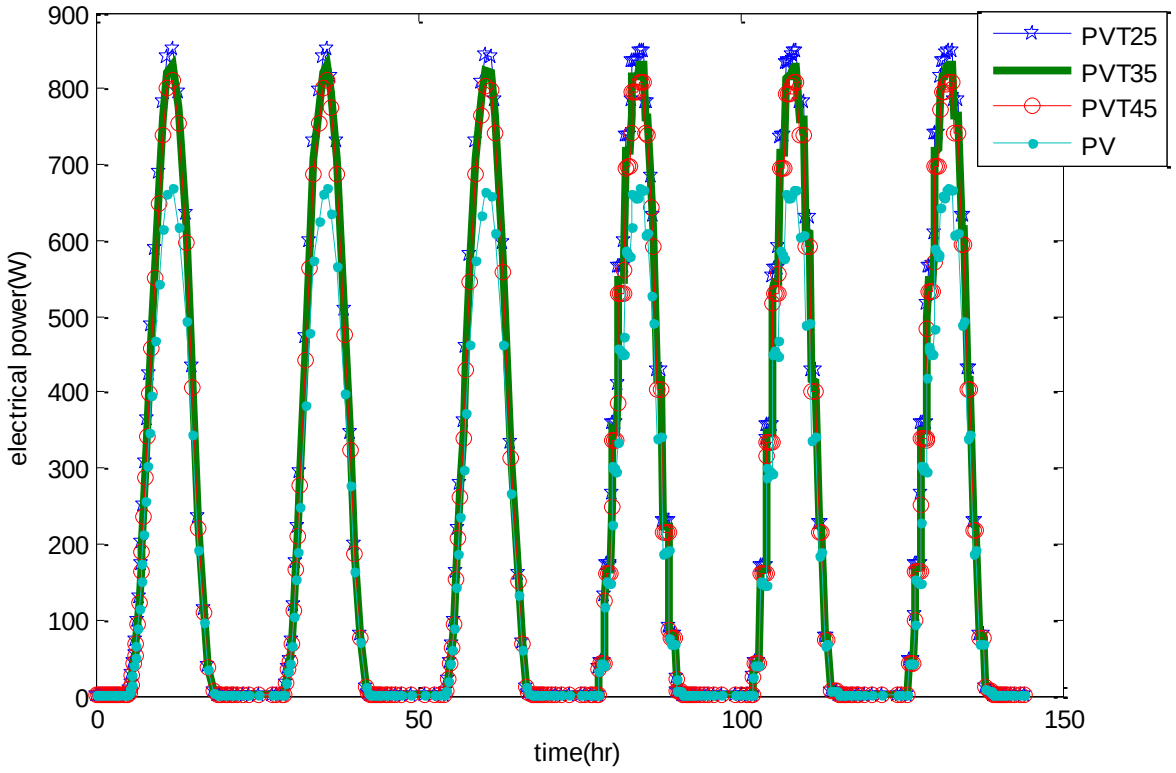


الشكل(5-21) تغير درجة الحرارة

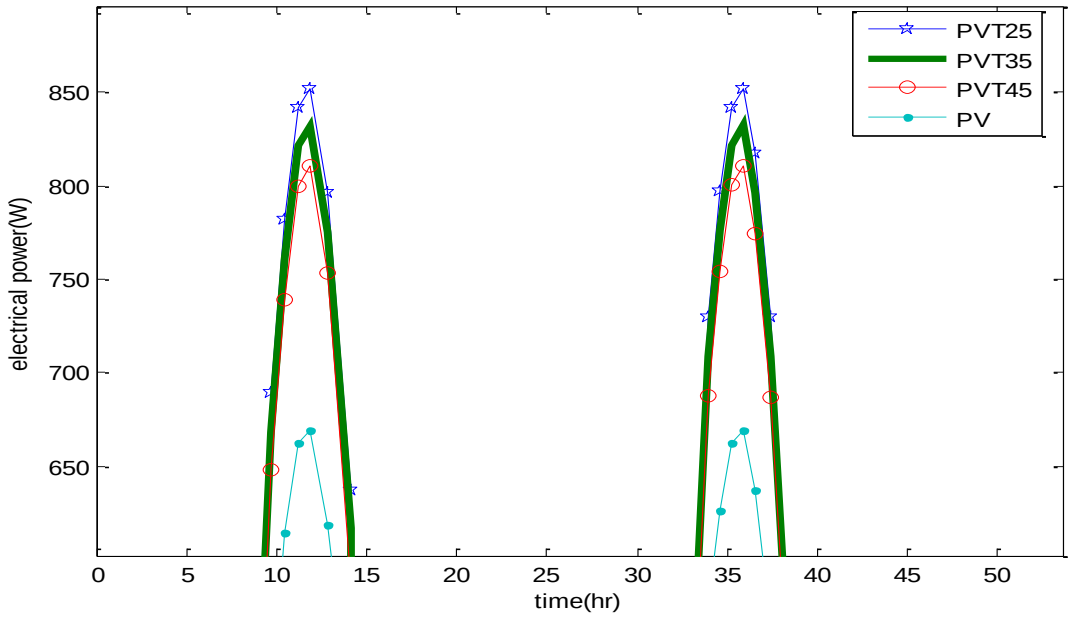
b. **تغير الطاقة الكهربائية:**

تزداد طاقة الخرج الكهربائية مع انخفاض درجة حرارة والشكل **(5-22)**يبين هذه النتائج بالأرقام حيث الشكل **-b**–عبارة عن تكبير لقمة أول يومين من الشكل**-a**- ومنه نجد أنه تم الحصول على القيم التالية: **870-860-850[w]** في لاقط **PVT** عند درجات حرارة**[c] 25-35-45** على التوالي.

بينما تم الحصول على قيم**670[w]** في لاقط تقليدي **PV**



-a-



-b-

الشكل (5-22)تغير استطاعة الخرج الكهربائي-a-تغير الاستطاعة لخمسة أيام متتالية.-b-تكبير لقمة اليومين الأول والثاني.

6-5 الخاتمة

أجريت في هذه الدراسة نمذجة للاقط شمسي تقليديPV ولاقط شمسي هجينPVT مستقلين عن الشبكة في أيام مختارة عشوائياً صيفية بتاريخ 20-25/7/2018والأخر شتوي بتاريخ 10/12/2017 وذلك باستخدام البيئة البرمجية Matlab/Simulink. بينت النتائج التي تم التوصل إليها مدى قدرة اللاقط الهجين المقترح على تحسين مردود النظام وله الميزات التالية:

- اللاقط الهجين حافظ على درجة الحرارة المطلوبة بينما اللاقط التقليدي كانت حرارته متناسبة طردا مع الإشعاع الشمسي المتغير .
- إن الطاقة الكلية والمقارنة الاقتصادية أفضل من الأنظمة المنفصلة حيث أن اللاقط الهجين قدم لنا طاقة كهربائية أعلى من الطاقة المقدمة من اللاقط التقليدي.
- اللاقط الهجين أعطانا طاقة حرارية كانت بمثابة ربحا صافيا له عند مقارنته مع اللاقط التقليدي.

الفصل السادس:اختبارالنموذج الفيزيائي

Testing of the physical model

6-1مقدمة:

تم في هذا الفصل اختبار اللاقط الهجين واللاقط التقليدي عند ظروف تشغيل موحدة ومن ثم مقارنة هذه النتائج العملية مع النتائج الحاسوبية لنظام يحاكي اللواقط المدروسة .

كماتم شرح كيفية بناء اللاقط الهجين وعرض لبعض أجهزة القياس المستخدمة في إجراء التجارب السابقة الذكر.

6-2 بناء النموذج الفيزبائي :

لقد تم اختبار لاقط تقليدي بالمواصفات المبينة في الجدول (6-1) وكذلك تم بناء النموذج الهجين باستخدام لاقط بنفس المواصفات .

جدول (6-1) مواصفات اللاقط الكهرشمسي PV

توتر الدارة المفتوحة Voc	**19.5v**
تيار القصر Isc	**2.9A**
توتر نقطة الاستطاعة العظمى Vmpp	**15.5v**
تيار نقطة الاستطاعة العظمى Impp	**2.6A**
نقطة الاستطاعة العظمى Pmpp	**40w**

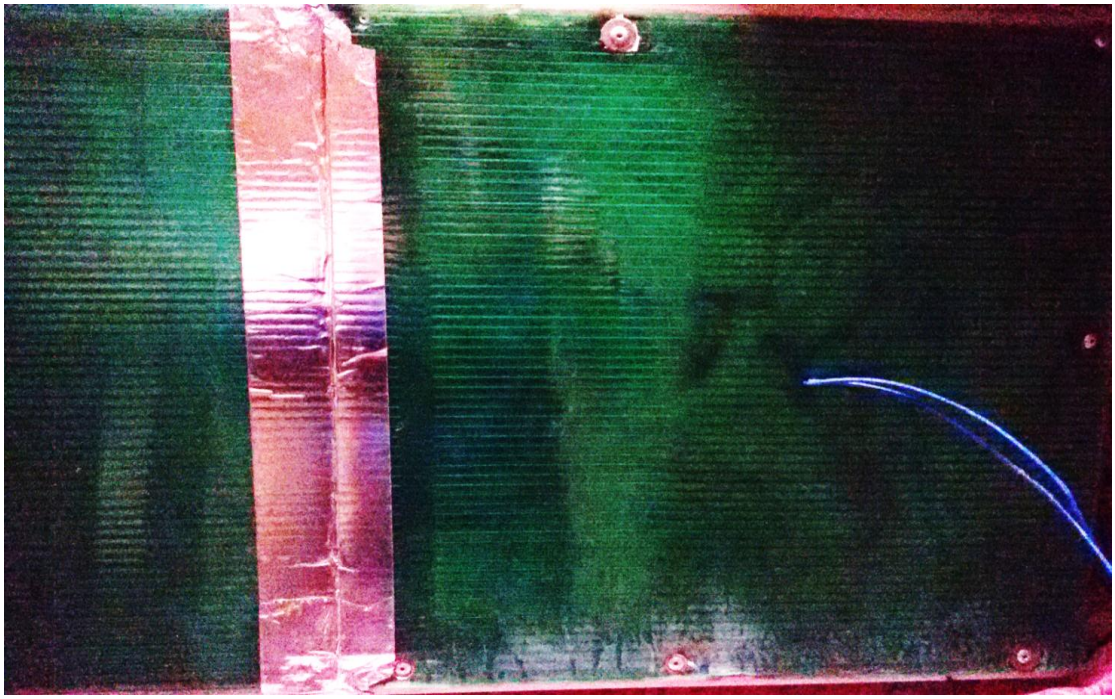
تم اختيار شكل الأنابيب المتعرجة لأنها تحقق أفضل أداء مقارنة بالتكلفة وبكون توزع الحرارة متساوٍ عبر الماص، واستخدام انابيب نحاسية بقطر 6mm والمسافة بين الأنابيب 5cm وهي موضحة بالشكل (6-1).

الشكل (6-1) شبكة الأنابيب النحاسية.

استخدمنا الصوف الزجاجي خلف الأنابيب كعازل يتميز بأنه غير قابل للاحتراق ولا ينتج عنه غازات ضارة وهو مادة عازلة حراريا تصنع من ألياف الزجاج الملبدة على وجه مشابه لألياف الصوف،كما هو موضح بالشكل(6-2).

الشكل (6-2) الياف الصوف الزجاجي

تم تغطية السطح الخلفي للاقط بغطاء بلاستيكي الموضح بالشكل (6-3).



الشكل (6-3) الغطاء البلاستيكي الخلفي.

6-3 النتائج التجريبية :

6-3-1 أجهزة القياس:

لقد تم استخدام أربع أجهزة قياس مبينة في الشكل (6-4) .

الشكل (6-4) أجهزة القياس المستخدمة في الاجراء التجريبي

حيث المقياس -a– يقوم بقياس كل من توتر الدارة المفتوحة–تيار القصر – توتر نقطة الاستطاعة العظمى –تيار نقطة الاستطاعة العظمى – الاستطاعة العظمى .

أما المقياس -b– يقوم بقياس شدة الإشعاع الشمسي وكذلك درجة حرارة الوسط المحيط ،كما يحتوي على مجس التصاقي يمكننا من خلاله قياس درجة حرارة الخلايا.

يقوم المقياس -c– بقياس درجة حرارة الخلايا كل منها على حدا عن بعد .

ولقد تمكنا من قياس درجة حرارة الماء الداخل والخارج من اللاقط باستخدام المقياس -d– وذلك بوضع نهايته في الماء المراد قياس درجة حرارتها حيث يتمتع بمجال قياس من 50-إلى [c]150+.

6-3-2نتائج اختبار النموذج الفيزيائي :

تم اختبار لاقطين شمسيين الأول تقليدي والثاني هجين يمتلكان بنية الPVنفسها بتاريخ 24-22/ 4 /2019 لمعرفة مدى فاعلية هذا اللاقط مقارنة مع اللاقط التقليدي حيث قمنا بالتجارب التالية:

1-أثر تغير الإشعاع الشمسي على درجة حرارة الماء:

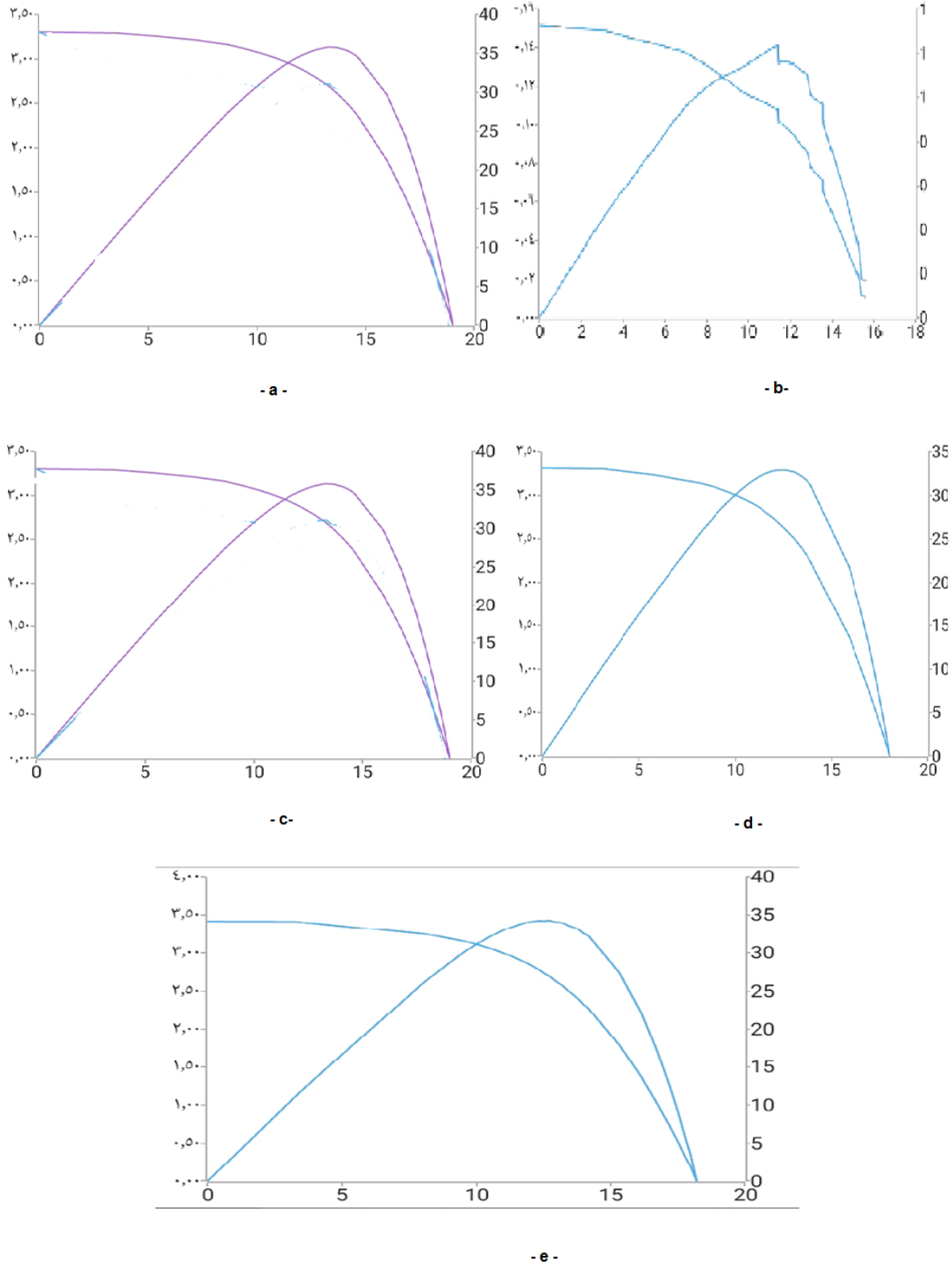
تم اعتماد الجريان الطبيعي للماءفي هذه التجربةومن ثم قياس درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط الهجين مع اختلاف قيم الاشعاع علما أن درجة حرارة الماء الداخلة للاقط كانت 18.8درجة مئويةوزاوية ميل اللاقط 22 درجة ويوضح الجدول(6-2)نتائج القياس :

الجدول (6-2)نتائج اختبار اللاقط الهجين.

الإشعاع الشمسيw/m^2	1112	216	1112	1116	1119
درجة حرارة الماءC°	49.9	48.1	48.2	55.1	55
توتر الدارة المفتوحة V	19	15.6	19	18	18.2
تيار القصر A	3.3	0.15	3.3	3.31	3.41
توتر نقطة الاستطاعة العظمى V	13.26	11.4	13.26	12.5	12.73
تيار نقطة الاستطاعة العظمى A	2.7	0.11	2.7	2.63	2.69
استطاعة النقطة العظمى W	35.8	1.2	35.8	32.9	34.2

نلاحظ من الجدول السابق التناسب الطردي بين الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الماء الخارج من اللاقط الهجين PVT وانخفاض التوتر (توتر الدارة المفتوحة وتوتر نقطة الاستطاعة العظمى) بازدياد الإشعاع الشمسي ،كذلك نلاحظ زيادة تيار القصر بازدياد الإشعاع ،أما الاستطاعة فقد تم انخفاضها عند الإشعاع 1116w/m2 بسبب ارتفاع درجة حرارة اللاقط ، ولأن الماء يحتاج إلى فترة زمنية أكبر حتى يتمكن من تبريد اللاقط ، كما نلاحظ انخفاض الإشعاع في العمود الثاني من الجدول إلى $[w/m^2]$216وهي تمثل حالة مرور سحابة في السماء وكان لمرورها أثرا سلبيا على اللاقط حيث انخفضت استطاعته الكهربائية إلى [w]1.2.

وكانت منحنيات خصائص اللواقط عند النقاط المدروسة سابقا موضحة بالشكل(6-5) وهي مرتبة حسب تسلسل الجدول(6-2)



الشكل(6-5)منحنيات خصائص اللواقط عند النقاط المدروسة

2-اختبارات الدارة المفتوحة و المقصورة:

لقد أخذنا قياس لدرجة حرارة كل خلية ومن ثم ميزنا أقل وأعلى قيمة لكل من حالة الدارة المفتوحة والدارة المقصورة وتم وضعها في الجداول (3-6)(4-6)على التوالي وكذلك تم حساب درجة الحرارة الوسطية لكل لاقط وذلك عند ظروف تشغيل واحدة

الجدول (3-6)نتائج اختبار الدارة المفتوحة

نوع اللاقط	الإشعاع $[w/m^2]$	درجة حرارة الوسط المحيط[c]	درجة حرارة اللاقط الدنيا[c]	درجة حرارة اللاقط العظمى[c]	درجة الحرارة الوسطية للاقط[c]	درجة حرارة الماء [c]
هجين	730	27	35.3	44.5	41.14	36.9
تقليدي	730	27	35.5	53.6	47.025	----------

الجدول (4-6)نتائج اختبار الدارة المقصورة

نوع اللاقط	الإشعاع $[w/m^2]$	درجة حرارة الوسط المحيط[c]	درجة حرارة اللاقط الدنيا[c]	درجة حرارة اللاقط العظمى[c]	درجة الحرارة الوسطية للاقط[c]	درجة حرارة الماء [c]
هجين	677	27	35	48.4	40.23	41.5
تقليدي	677	27	41	54	47.0472	----------

3-اختبارات التدفق القسري:

تم إضافة مضخة لتضخ الماء إلى داخل الأنابيب وقمنا بضخ كمية واحدة من الماء في كلتا التجربتين حيث غذينا المضخة بمنبع توتر مستمر 10vلمدة 6دقائق ، ثم غذيناها بتوتر20vلمدة3دقائق عند شدة إشعاع $[w/m^2]$880 فكانت النتائج موضحة في الجدول (5-6):

الجدول (5-6)نتائج اختبار التدفق القسري

توتر المطبق على دخل المضخة[v]	10		20	
نوع اللاقط	تقليدي	هجين	تقليدي	هجين
درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط عند بداية الزمن[c]	------	40.2	-------	40
درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط عند	------	32	-------	38

نهاية الزمن[c]				
درجة الحرارة الوسطية للخلايا[c]	47.88	38.1	48.547	42.26
توتر الدارة المفتوحة[v]Voc	19.4	19.1	18.9	18.2
تيار القسر Isc[A]	2.6	2.7	2.67	2.77
توتر نقطة الاستطاعة العظمى Vmpp[v]	14.01	13.79	13.61	13.2
تيار نقطة الاستطاعة العظمى Impp[A]	2.02	2.23	2.19	2.31
الاستطاعة العظمى Pmpp[w]	30.1	30.8	29.8	30.5

3-3-6 مقارنة النتائج الفيزيائية مع النتائج الحاسوبية :

في البداية تم استخدام المقاييس الموضحة في الشكل (6-4)لقياس شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة اللاقطين الهجين PVTوالتقليدي PV الفيزيائيين ومن ثم قمنا بإدخالها على البيئة الحاسوبية التي تم تصميمها ووردت في الفصل الخامس الشكلين (5-8) و(5-9)على التوالي كما تم تغيير بعض البارامترات الأخرى مثل (نوع اللاقط الفيزيائي وبارامتراته الموضحة في بداية هذا الفصل–أبعاد اللاقط الفيزيائي– تم ربط لاقط واحد فقط تماشيا مع نمذجنا الفيزيائي المنفذ)علما أنه في الفصل الخامس تم نمذجة خمسة لواقط مربوطة على التسلسل للحصول على استطاعة كهربائية 1kw.

ومن ثم استخلصنا النتائج الحاسوبية للاقط الهجين PVT.

كما قمنا بقياس بارامترات النموذج الفيزيائي(التقليدي والهجين) وجمعها في جدول ثم قمنا بإدخالها إلى بيئة الماتلاب لمقارنتها مع النتائج الحاسوبية.

يوضح الشكل(6-6)نتائج هذه المقارنة حيث :

- المنحني باسم Tpvtيمثل النتائج الحاسوبية المستخلصة من محاكاة نموذجنا الفيزيائي في بيئة ماتلاب ونلاحظ أنه استطاع الحفاظ تقريباعلى درجة الحرارة المطلوبة منه وهي 35 درجة مئوية طيلة الفترة المدروسة.
- المنحني باسم Tpvt ph يمثل نتائج القياس المأخوذة من أجهزة القياس المربوطة على اللاقط الهجين PVTحيث في الفترة الأولى(من الساعة 10إلى11) كانت بجريان طبيعي للناقل الحراري ضمن الأنابيب وكانت درجة حرارة اللاقط 41درجة مئوية، وفي الفترة الثانية (من الساعة

11إلى12)استخدمنا الضخ القسري للناقل الحراري بهدف تخفيض درجة حرارة اللاقط حيث انخفض إلى 40درجة مئوية ، وفي الفترة الثالثة قمنا بتسريع الناقل داخل الأنابيب لنخفض درجة حرارة اللاقط إلى قيمة أقل فتوصلنا إلى القيمة 37درجة مئوية ، ومن ثم في الفترة الأخيرة عدنا للجريان الطبيعي للناقل الحراري فارتفعت درجت حرارة اللاقط حتى وصلت إلى 42درجة مئوية تقريبا وذلك من الساعة 13إلى 14.

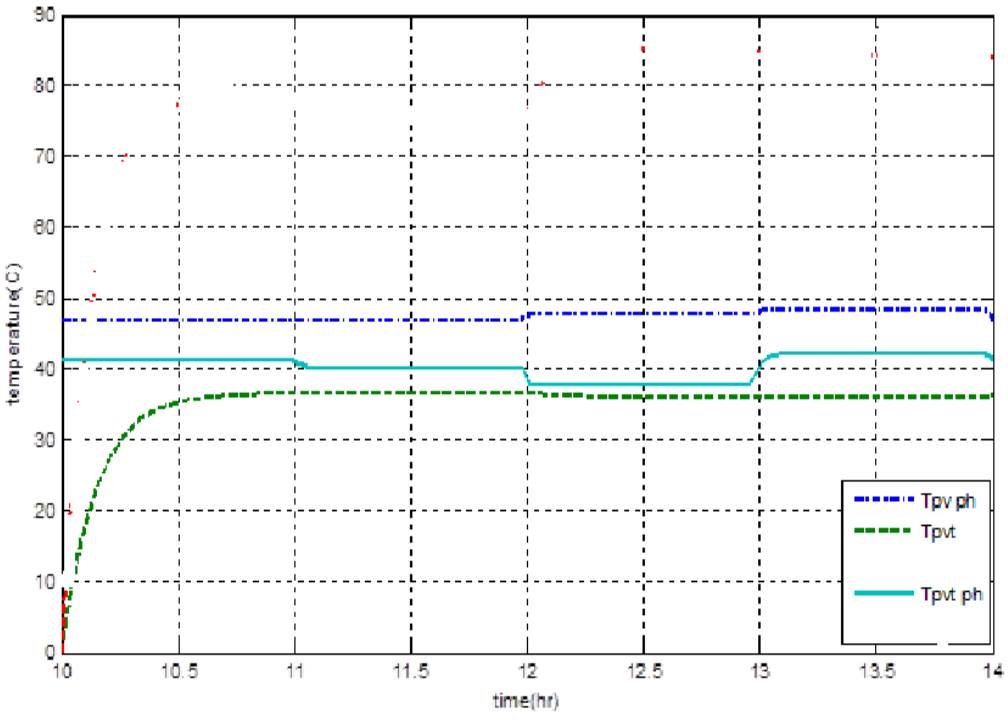
- المنحني باسم Tpv ph يمثل نتائج القياس المأخوذة من أجهزة القياس المربوطة على خرج اللاقط التقليدي الفيزيائي حيث نميز منه المراحل التالية :

المرحلة الأولى :من الساعة 10إلى 12 حيث كانت درجة حرارة هذا اللاقط الوسطية 47درجة مئوية.

المرحلة الثانية :من الساعة 12إلى13 حيث كانت درجة حرارة اللاقط الوسطية 48درجة مئوية .

المرحلة الثالثة : من الساعة 13إلى14وهنا وصلت درجة حرارة اللاقط إلى 49درجة مئوية

وفي النهاية نلاحظ من المنحنيات السابقة أن اللاقط الهجين حافظ على درجة حرارة أقل من اللاقط التقليدي أثناء فترة العمل على اختلاف ظروف التشغيل سواء كانت النتائج حاسوبية أم مخبرية .



الشكل (6-6) مقارنة النتائج الحاسوبية مع الفيزيائية

4-6 الخاتمة:

لاحظنا من النتائج الفيزيائية للقياسات السابقة انخفاض درجة حرارة اللاقط الهجين مقارنة مع لاقط تقليدي في ظروف تشغيل واحدة ،وانخفاض توتر الدراة المفتوحة مع ارتفاع درجة حرارة اللاقط إضافة إلى زيادة تيار القصر .

استطعنا أيضا الحصول على استطاعة كهربائية من اللاقط الهجين أعلى من الستخلصة من اللاقط التقليدي باختلاف ظروف التشغيل وتراوح فرق الاستطاعة بينهم بحدود 0.8wعلما أن استطاعة اللاقط العظمى في الشروط النظامية 40w أي بنسبة مئوية تساوي 2%.

كما تبين مماسبق أن نتائج القياس على الخلية الهجينة قريبة من نتائج النمذجة في بيئة ماتلاب

النتائج والتوصيات

تم تحقيق الأهداف الأساسية للبحث،المتمثلة في تحسين أداء اللواقط الشمسية باستخدام النموذج الهجين، كتقليل المساحة، تحسين المردود الكلي ، التعريف باللواقط الشمسية الحرارية الهجينة(PVT)وأنواعها ،بالإضافة إلى نمذجة اللواقط التقليدية والهجينة ، وتم استخلاص النتائج التالية:

- ❖ يختلف مردود اللواقط الهجينة تبعا لنوعها و تم الشرح المفصل لجميع أنواع اللواقط PVTفي الفصل الرابع
- ❖ تم اختيار نموذج سهل التطبيق عمليا في مخابرنا وقمنا بنمذجته في بيئة Matlab/Simulinkحيث تم أخذ قيم بارامترات تغير الإشعاع ساعيا من برنامج PVsyst
- ❖ تم اجراء اختبارات على لاقط تقليدي ولاقط هجين (بنية اللاقط PVكانت واحدة في كليهما)تتمثل بتغير الإشعاع لمعرفة جدوى هذا التهجين ، و تبين فائدة اللاقط الهجين الذي حافظ على درجة الحرارة المطلوبة خلال الفترة المدروسة على عكس اللاقط التقليدي الذي تأثروبشدة بتغير الإشعاع.
- ❖ تم إجراء اختبار لحساب الطاقة المستخلصة من اللاقطين كليهما في ظروف التشغيل نفسها وتبين أن اللاقط الهجين يعطينا طاقة أكبر وكان المنحني لايعاني تغيرات كبيرة كتلك التي حصلت في اللاقط التقليدي.
- ❖ تم إجراء اختبار لحساب الطاقة الحرارية لخرج اللاقط الهجين والذي يعد ربحاً صافياً لهذه اللواقط على حساب اللواقط التقليدية.

التوصيات:

بعد استعراض النتائج المشار إليها أعلاه ،ننصح بتوجيه العمل المستقبلي إلى:

- تطبيق هذه اللواقط كبديل للواقط التقليدية لما تقدمه من مزايا.
- إجراء اختبارات على أنواع أخرى من هذه اللواقط.
- امكانية استخدام النموذج المقترح في المركزات الشمسية لتبريد الخلايا.

المراجع العلمية العربية والأجنبية

[1] حمزة، ع.(2009)، "هندسة النظم الشمسية الكهروضوئية–تحليل وتصميم"،منشورات جامعة دمشق. 520.

[2]حمزة،ناجي ،والجابي،ع.(2011)"مدخل إلى الطاقات المتجددة"،منشورات جامعة دمشق .

[3] Anil Kumar، Prashant Baredar، «Historical and recent development of photovoltic thermal (PVT) technologie>>,ARTICLE in RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS · FEBRUARY 2015. Impact Factor: 5.9 · DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.044.، 2015.

[4]Claudio Del Pero, Luca Molinaroli, Alessandro Miglioli:<< Design, modelling and optimization of a hybridphotovoltaic-thermal collector>>,2017,milano

[5] Huan-Liang Tsai: «Design and Evaluation of a Photovoltaic/Thermal-Assisted Heat Pump Water Heating System» articleEnergies 2014, 7, 3319-3338; doi:10.3390/en7053319.,*20 May 2014*

[6]Miroslav Bosanac, Bent Sørensen*, Ivan Katic,Henrik Sørensen**, Bruno Nielsen**, Jamal Badran,D(Copenhagen, 21 May 2003),<< Photovoltaic/Thermal Solar Collectors andTheir Potential in Denmark>>Final Report, EFP project 1713/00-0014, Copenhagen, 21 May 2003.

[7] M.boubekri<A.chaker,andA.cheknane: «Numerical approach for performance study of hybrid PV/Thermal collector» articleRevue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3 (2009) 355 – 368.,*21 september2009*

[8] Thipjak nuallboonrueng,and others: «Field experiments of PFV-Thermal Collector for Residential Application in Bankok» article،Energies 2012, 5, 1229-1244; doi:10.3390/en5041229. Bankok ,*23 April 2012*

[9]- Wim G. J. van Helden1*،y، Ronald J. Ch. van Zolingen2 and Herbert A. Zondag: «PV Thermal Systems: PV Panels Supplying Renewable Electricityand Heat» article,PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2004; 12:415–426 (DOI: 10.1002/pip.559).، 2004.

[10]Tian, Yuan and Zhao, Chang-Ying ,<<A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications>>. Applied Energy, Vol.104 .pp. 538-553., .2013

[11] Y. Tripanagnostopoulos، M. Souliotis، R. Battisti، A. Corrado: «APPLICATION ASPECTS OF HYBRID PV/T SOLAR SYSTEMS», Physics Department, University of Patras, Patras 26500, Greece. University of Patras ،Greece، University of Rome "La Sapienza"، Italy.