



جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

الرقم الترتيبي:
الرقم التسلسلي:

رسالة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في العلوم

التخصص: فيزياء طاقوية

من طرف : سوداني محمد البار

تحت عنوان:

تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي

نوقشت وأجيزت علنا بتاريخ: 01 مارس 2018

أمام اللجنة المتكونة من:

| | | | |
|--------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| رئيساً | جامعة قاصدي مرباح – ورقلة | أستاذ تعليم عالٍ | بوقطاية حمزة |
| ممتحناً | جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي | أستاذ تعليم عالٍ | رحومة فرحات |
| ممتحناً | جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي | أستاذ تعليم عالٍ | قده الحبيب |
| ممتحناً | جامعة محمد خيضر - بسكرة | أستاذ تعليم عالٍ | وهاب عبد الوهاب |
| مقرراً | جامعة قاصدي مرباح – ورقلة | أستاذ تعليم عالٍ | عيادي كمال الدين |
| مقرراً مساعد | جامعة قاصدي مرباح – ورقلة | أستاذ تعليم عالٍ | شيحي اسماعيل |

السنة الجامعية: 2018/2017

الإهداء

إلى روح الوالد الطاهرة، تغمده الله بواسع رحمته وأسكنه الفردوس الأعلى مع النبيين والصديقين والشهداء والصالحين وحسن أولئك رفيقا. أحسن تربيتنا وتأديبنا وتعليمنا فلا تكاد تتفصل صورته في مخيلتي إلا وهو ماسك بكتاب يتصفحه، تلاوة وقراءة وتعلما وتدريسا. ولم يفتر عن ذلك إلى آخر أيام حياته وهو في الثمانينيات من عمره. اللهم جازه عني خير ما جازيت والدًا عن ولده.

إلى الوالدة الكريمة والأم الغالية، إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها، إلى من تلذذت بالتعب والنصب من أجل راحتنا، وأحاطتنا ببركات دعواتها. اللهم ارزقها سعادة الدنيا والآخرة وموفور الصحة والعافية وارزقني برّها.

إلى روح الأم الثانية - زوجة الوالد - الطاهرة، تغمدها الله بواسع رحمته وأسكنها الفردوس الأعلى، كانت نعم الأم والمربية غمرتنا بفيض حنانها ونفائس توجيهاتها. اللهم جازها عنا خيرا وتقبلها عندك في

التشكرات

تم بحمد الله تعالى إتمام هذا العمل الذي يندرج في إطار الحصول على شهادة الدكتوراه علوم، تخصص فيزياء طاوقية بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة قاصدي مرباح بورقلة، وبالتعاون مع مخبر تطوير الطاقات الجديدة والمتجددة بالمناطق الجافة والصحراوية **L.E.N.R.E.Z.A** بها.

بداية ومن باب من لم يشكر الناس لم يشكر الله، أود أن أتوجه بالشكر الجزيل إلى الأستاذ المشرف على هذه الأطروحة، الأستاذ الدكتور كمال الدين عيادي الذي كان نعم الداعم والموجه في مختلف جوانب هذا العمل، وخلال مختلف مراحل. و بالإضافة إلى ذلك، فإن النصائح التي قدمها لي كانت دائما واضحة ودقيقة، مما كان يسهل لي إيجاد الحلول المناسبة لكثير من العقبات التي اعترضت مسار البحث، وبالتالي إتمام هذا المشروع في أحسن الظروف. كما أود أيضا، أن أشكر الأستاذ الدكتور شيحي اسماعيل على مساعدته في الإشراف على هذا العمل، فله مني أسمى عبارات الشكر والتقدير.

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور عبد الرحمان عبان مدير المعهد الأورومتوسطي للطاقات المتجددة بجامعة فالونسيان بفرنسا على حفاوة الاستقبال و تعاونه خلال مراحل البحث.

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور حمزة بوقطاية لقبوله رئاسة لجنة مناقشة هذه الأطروحة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل أعضاء لجنة المناقشة و هم على التوالي: الأستاذ الدكتور فرحات رحومة من جامعة الوادي، الأستاذ الدكتور الحبيب قدة من جامعة الوادي، الأستاذ الدكتور وهاب عبد الوهاب من جامعة بسكرة، أشكرهم على قبولهم المشاركة بأوقاتهم الثمينة في تقييم هذا العمل، فلهم مني أسمى عبارات الامتنان.

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ جمال بشكي على تعاونه خلال مختلف مراحل البحث، وكذا تشجيعه وحرصه على اتمام هذا العمل.

كما أود أيضا أن أشكر الدكتور جمال منوش أستاذ محاضر بقسم هندسة الطرائق بجامعة ورقلة على الدعم والتعاون العلمي الذي قدمه لي، خاصة فيما يتعلق بالجانب التجريبي و إعداد المقال العلمي. وأتقدم بالشكر الجزيل للدكتور محمد الحافظ بربح أستاذ محاضر بكلية المحروقات والطاقات المتجددة بجامعة ورقلة على تعاونه وتشجيعه وحرصه على إتمام هذه الأطروحة.

الشكر موصول لكل الزملاء الأساتذة بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة ورقلة على كل تعاون ولو بالدعاء، فلهم مني جزيل الشكر والثناء.

كما لا يفوتني أن أشكر أيضا إطارات وموظفي المديرية الجهوية للأرصاد الجوية بورقلة على المعلومات التي زودونا بها، وأخص بالذكر المهندسين مختار خنفر وبشير حيزي فلهما مني جزيل الشكر.

كما أقدم خالص التشكرات لكل أفراد عائلتي على تعاونهم أثناء العمل التجريبي في كل مراحله (التصميم و الإنجاز وتسجيل النتائج) وأخص بالذكر أبنائي " عمران، زينب، إلياس، رباب، مريم، أحمد، اسماعيل، يونس، عدنان" .

الملخص

يعتبر المجمع الشمسي الأسطواناني القطع مكافئ PTC من أهم أنظمة التركيز الشمسي والأكثر فعالية في إنتاج البخار في محطات توليد الطاقة الكهربائية الحرارية. ومن أجل زيادة فعالية ومردود PTC قمنا بدراسة تجريبية اعتماداً على تصميم وإنجاز مجمع شمسي PTC ذي أبعاد (1.8m x 1.6m)، مع إضافة غطاء زجاجي مسطح من أجل المحافظة على الخواص الضوئية للعاكس والظرف الزجاجي من الأتربة والغبار والرطوبة بسبب الرياح والأمطار من جهة، ومن أجل زيادة العزل الحراري ومنه زيادة المردود الحراري من جهة ثانية. وفقاً للإشعاع الشمسي والظروف الجوية والمناخية لورقلة قمنا بتسجيل درجة حرارة خروج الماء، ومن ثم حساب المردود الحراري خلال اليوم، وذلك من أجل تدفقات كتلية مختلفة للماء ولمختلف أنماط التتبع الشمسي، حيث بينت النتائج التجريبية فعالية وجود الغطاء الزجاجي بزيادة المردود الحراري بـ 9% خلال فترة ذروة الإشعاع الشمسي .

ولأجل توسيع النتائج لأبعاد مختلفة لطول PTC ولتدفقات كتلية أكبر قمنا بإعداد محاكاة عددية لنموذج PTC، وبعد التأكد من صدقية هذا النموذج من خلال مقارنة نتائج المحاكاة العددية بالنتائج التجريبية سجلنا تأثير كل من طول PTC والتدفق الكتلي للماء ونمط التتبع الشمسي على درجة حرارة خروج الماء، وبذلك نستطيع تحديد أبعاد PTC المناسبة للحصول على درجة حرارة الماء المطلوبة، وبالتدفق الكتلي المطلوب لمختلف الأغراض الصناعية والمنزلية.

الكلمات المفتاحية : المجمع الشمسي الأسطواناني القطع مكافئ، الغطاء الزجاجي المسطح، الطاقة الشمسية، المردود الحراري، تسخين المياه.

| الصفحة | الموضوع |
|------------------------------------|---|
| | الإهداء |
| | التشكرات |
| | الملخص |
| | قائمة المحتويات |
| | قائمة الجداول |
| | قائمة الأشكال |
| | قائمة الرموز والاختصارات |
| 1 | مقدمة عامة |
| الفصل الأول: الإشعاع الشمسي | |
| 5 | مقدمة |
| 5 | 1- الإشعاع الشمسي |
| 6 | 2 التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي |
| 7 | 3 الثابت الشمسي |
| 7 | 4 الزوايا الشمسية |
| 8 | 1-4 زاوية الميل الشمسي |
| 9 | 2-4 زاوية الارتفاع الشمسي h |
| 9 | 3-4 زاوية الذروة θ_z |
| 10 | 4-4 زاوية سمت الرأس a |
| 10 | 5-4 زاوية الساعة الشمسية w |
| 11 | 6-4 زاوية دائرة العرض للمنطقة φ |
| 12 | 5 معادلة التصحيح الزمني E_t |
| 12 | 6 الكتلة الهوائية الضوئية AM |
| 13 | 7 الإشعاع الشمسي على سطح الأرض |

| | |
|---|---|
| 13 | 1-7 الإشعاع المباشر |
| 14 | 2-7 الإشعاع الشمسي المنتشر |
| 14 | 3-7 الإشعاع الكلي |
| 15 | 8 مركبات الشعاع الشمسي في المعلم المركزي الأرضي والسطح أرضي |
| 18 | الخاتمة |
| الفصل الثاني : المُرَكِّز الشمسي الأسطواناني القطع مكافئ PTC | |
| 19 | مقدمة |
| 19 | 1 تركيز الإشعاع الشمسي |
| 19 | 1-1 التركيز الخطي |
| 20 | 2-1 التركيز النقطي |
| 20 | 2 تاريخ استخدام الطاقة الشمسية |
| 22 | 3 تكنولوجيا التركيز الشمسي |
| 23 | 1-3 نظام المجمع الأسطواناني القطع المكافئ (PTC) |
| 23 | 2-3 نظام عاكس فرينل الخطي (LFR) |
| 24 | 3-3 نظام الأسطواناني القطع مكافئ ذي العاكس المزدوج (CPC) |
| 24 | 4-3 نظام المستقبل المركزي (CRS) |
| 25 | 5-3 نظام الصحن القطع المكافئ (DP) |
| 25 | 4 مبدأ عمل المُرَكِّزات الشمسية |
| 25 | 5 المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي |
| 27 | 6 هندسة PTC |
| 27 | 1-6 زاوية الحافة θ_R |
| 28 | 2-6 زاوية القبول |
| 30 | 3-6 مساحة الفتحة A_{ap} |
| 30 | 4-6 التركيز الهندسي |
| 31 | 5-6 مساحة سطح العاكس A_{ref} |
| 31 | 6-6 معامل الإعتراض γ |

| | |
|----|--|
| 32 | 7-6 الضياعات الضوئية |
| 32 | 1-7-6 المساحة الضائعة بفعل التظليل A_b |
| 33 | 2-7-6 المساحة الضائعة بفعل النهايات A_e |
| 34 | 3-7-6 معامل التراجع الهندسي A_f |
| 35 | 7 المردود الضوئي |
| 35 | 8 التتبع الشمسي |
| 35 | 1-8 التتبع الشمسي بمحوري دوران |
| 36 | 2-8 التتبع الشمسي بمحور دوران واحد |
| 40 | 3-8 حالة عدم التتبع (تثبيت المجمع الشمسي) |
| 40 | 4-8 آليات التتبع للمجمعات الشمسية |
| 41 | 9 مكونات PTC |
| 41 | 1-9 العاكس |
| 41 | 2-9 العنصر الجامع للحرارة (HCE) |
| 42 | 3-9 المانع الناقل للحرارة HTF |
| 43 | 10 التخزين الحراري |
| 43 | 1-10 تخزين على شكل حرارة محسوسة (Sensitive Heat) |
| 43 | 2-10 تخزين على شكل حرارة كامنة (Latent Heat) |
| 44 | 3-10 التخزين الكيميائي للحرارة (Chemical Heat) |
| 44 | الخاتمة |

الفصل الثالث: الدراسة التجريبية

| | |
|----|---|
| 45 | مقدمة |
| 45 | 1 دراسة مرجعية و توثيقية لتصميم و إنجاز PTC |
| 49 | 2 تصميم المجمع الشمسي الأسطواني القطع المكافئ (PTC) |
| 49 | 1-2 وصف نموذج PTC المنجز |
| 50 | 1-1-2 الوحدة الميكانيكية (إطار الدعم المعدني) |

| | |
|----|--|
| 51 | 2-1-2 قاعدة التثبيت الارضية وآلية توجيه المجمع |
| 51 | 3-1-2 HCE العنصر الجامع للحرارة |
| 52 | 2-2 التصميم والإنجاز |
| 53 | 3-2 العمل التجريبي وأخذ القياسات |
| 54 | الخاتمة |

الفصل الرابع : المحاكاة العددية لنموذج PTC

| | |
|----|--|
| 55 | مقدمة |
| 55 | 1 دراسة مرجعية توثيقية لتطور النمذجة الرياضية لـ PTC |
| 58 | 2 النموذج الرياضي لـ PTC المقترح في هذه الدراسة |
| 59 | 3 الموازنة الحرارية لنموذج الـ PTC |
| 60 | 1-3 معادلة موازنة الطاقة للمائع HTF |
| 62 | 2-3 معادلة موازنة الطاقة للانبوب الماص |
| 64 | 3-3 معادلة موازنة الطاقة للظرف الزجاجي |
| 65 | 4-3 معادلة موازنة الطاقة للغطاء الزجاجي المسطح |
| 66 | 4 المماثلة الكهربائية للنظام الحراري |
| 67 | 5 المردود الحراري للمجمع الشمسي |
| 68 | 6 المعالجة الرقمية للمعادلات التفاضلية |
| 71 | 7 الحل العددي لجملة المعادلات |
| 73 | 8 تأكيد صدقية البرنامج الحسابي |
| 74 | الخاتمة |

الفصل الخامس: تحليل ومناقشة النتائج

| | |
|----|-------------------------------------|
| 75 | مقدمة |
| 75 | 1 النتائج التجريبية |
| 75 | 1-1 شدة تدفق الإشعاع الشمسي في ورقة |
| 76 | 2-1 تأثير وجود الغطاء الزجاجي |

| | |
|-----|--|
| 76 | 1-2-1 المردود الحراري |
| 76 | 1-1-2-1 في حالة التتبع بمحور دوران واحد |
| 77 | 2-1-2-1 في حالة التتبع بمحوري دوران |
| 78 | 3-1-2-1 في حالة تثبيت المجمع الشمسي نحو الجنوب بزاوية خط العرض للمنطقة |
| 80 | 2-2-1 درجة حرارة خروج المائع |
| 81 | 3-1 تأثير المحاور |
| 84 | 4-1 تأثير التدفق |
| 86 | 2- النتائج النظرية |
| 86 | 1-2 تأثير الأبعاد |
| 87 | 2-2 تأثير التدفق الكتلي |
| 90 | 3-2 تأثير المحاور |
| 91 | 4-2 تسخين المياه للأغراض المنزلية والصناعية |
| 93 | الخاتمة |
| 94 | الخاتمة العامة والتوصيات |
| 97 | المراجع والمصادر |
| 107 | الملحق 01 |
| 111 | الملحق 02 |

قائمة الجداول

| الصفحة | عنوان الجدول | رقم الجدول |
|--------|---|------------|
| 6 | الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض | 1-1 |
| 14 | قيم معامل الاضطراب وارتفاع الماء المكثف | 2-1 |
| 42 | قيم معامل الامتصاص والانبعث لبعض الطلاءات الانتقائية | 1-2 |
| 50 | المقادير العددية لـ PTC المنجز | 1-3 |
| 53 | الخواص الضوئية والحرارية لمكونات PTC | 2.3 |
| 91 | مقارنة نتائج الدراسات السابقة في استخدام PTC لتسخين المياه | 1-5 |
| 92 | إنتاج الماء الساخن لأغراض منزلية في شهر ديسمبر | 2-5 |
| 92 | إنتاج الماء الساخن لأغراض صناعية في شهر ديسمبر | 3-5 |
| 93 | إنتاج الماء الساخن لأغراض صناعية في شهر جويلية | 4-5 |
| 108 | الطاقة الشمسية ومدة التشميس لمختلف أنحاء الجزائر | 1-1م |
| 111 | المقادير الجغرافية والجوية لمدينة ورقلة | 1-2م |
| 111 | متوسط درجات الحرارة الدنيا والقصى وسرعة الرياح خلال سنة 2014 بورقلة | 2-2م |
| 112 | عدد ساعات التشميس الشهري والمتوسط اليومي لكل شهر خلال سنة 2014 بورقلة | 3-2م |

قائمة الأشكال

| الصفحة | عنوان الشكل | رقم الشكل |
|--------|--|-----------|
| 5 | أبعاد ومواضع الشمس والأرض | 1.1 |
| 7 | التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي | 2.1 |
| 8 | حركة الأرض بالنسبة للشمس | 3.1 |
| 9 | بيان تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال أيام السنة | 4.1 |
| 10 | زاوية الإرتفاع الشمسي والذروة والسمت الرأسي | 5.1 |
| 11 | زاوية الساعة الشمسية ودائرة للعرض المنطقية | 6.1 |
| 12 | بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة | 7.1 |
| 13 | الكتلة الهوائية الضوئية | 8.1 |
| 15 | مخطط يوضح وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض | 9.1 |
| 16 | مسقط الشعاع الشمسي بالنسبة للمعلم المركزي الأرضي | 10.1 |
| 17 | التحويل معلم سطح أرضي _ مركزي أرضي | 11.1 |
| 23 | المجمع الشمسي الأسطواناني القطع المكافئ (PTC) | 1.2 |
| 23 | عاكس فرينل الخطي LFR | 2-2 |
| 24 | المجمع الأسطواناني القطع مكافئ ذي العاكس المزدوج CPC | 3-2 |
| 24 | البرج المركزي الشمسي CRS | 4.2 |
| 25 | الصحن القطع المكافئ DP | 5.2 |
| 26 | التركيز الهندسي ودرجة حرارة إشتغال مختلف المركبات الشمسية | 6.2 |
| 26 | بيان تغيرات المردود الحراري لأنظمة التركيز الخطي | 7.2 |
| 27 | بؤرة السطح القطع المكافئ | 8.2 |
| 28 | زاوية الحافة وزاوية القبول ل PTC | 9.2 |
| 29 | العلاقة بين زاوية الحافة ونسبة البعد البؤري إلى عرض الفتحة (f/w) | 10.2 |
| 29 | بيان تغيرات النسبة (f/w) بدلالة زاوية الحافة | 11.2 |
| 30 | بيان تغيرات المردود الحراري بدلالة زاوية الحافة | 12.2 |
| 31 | بيان تغيرات معامل الإعتراض بدلالة قطر الأنبوب الماص | 13.2 |
| 32 | بيان تغيرات معامل الإعتراض بدلالة زاوية الحافة | 14-2 |
| 33 | مساحة الفتحة الضائعة بفعل التظليل | 15.2 |

| | | |
|----|--|------|
| 34 | مساحة الفتحة الضائعة بفعل النهايات | 16.2 |
| 35 | المساحات الضائعة من فتحة (PTC) | 17.2 |
| 36 | التشيع الشمسي بمحور (شرق _ غرب) | 18.2 |
| 37 | التشيع الشمسي تمحور (شمال _ جنوب) | 19.2 |
| 37 | زاوية الورود الشمسي على سطح الفتحة | 20.2 |
| 38 | إسقاطات الشعاع الشمسي الوارد على سطح الفتحة في حالة التتبع بمحور دوران واحد | 21.2 |
| 39 | التحويل من محور التتبع إلى المعلم السطح الأرضي | 22.2 |
| 41 | مخطط للشكل العام ل (PTC) | 23.2 |
| 42 | العنصر الجامع للحرارة (HCE) | 24.2 |
| 51 | قاعدة التثبيت الأرضية ل (PTC) | 1.3 |
| 51 | زاوية التتبع الشمسي (زاوية إرتفاع المجمع) | 2.3 |
| 52 | المجمع (PTC) بدون غطاء زجاجي مسطح | 3.3 |
| 53 | المجمع (PTC) بوجود غطاء زجاجي مسطح | 4.3` |
| 60 | مخطط التبادلات الحرارية للمجمع (PTC) | 1.4 |
| 66 | مخطط المماثلة الكهربائية للظام الحراري للمجمع (PTC) | 2.4 |
| 72 | مخطط الخوارزمية للبرنامج الحسابي | 3.4 |
| 73 | بيان تغيرات المردود الحراري النظري و التجريبي خلال اليوم | 4.4 |
| 73 | بيان تغيرات المردود الحراري النظري و التجريبي بدلالة التدفق الكتلي | 5.4 |
| 75 | تغيرات شدة تدفق الأشعاع الشمسي خلال اليوم (22 جويلية) بمنطقة ورقلة | 1.5 |
| 76 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محور دوران واحد) | 2.5 |
| 77 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (محور دوران واحد) | 3.5 |
| 77 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محوري دوران) | 4.5 |
| 78 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (محوري دوران) | 5.5 |

| | | |
|----|---|------|
| 79 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (مثبت نحو الجنوب) | 6.5 |
| 79 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (مثبت نحو الجنوب) | 7.5 |
| 80 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محور دوران واحد) | 8.5 |
| 80 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محور دوران) | 9.5 |
| 81 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s (مثبت نحو الجنوب) | 10.5 |
| 82 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s (بوجود الغطاء الزجاجي) | 11.5 |
| 82 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023 Kg/s (بوجود الغطاء الزجاجي) | 12.5 |
| 83 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (بعدم وجود الغطاء الزجاجي) | 13.5 |
| 83 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023 Kg/s (بعدم وجود الغطاء الزجاجي) | 14.5 |
| 84 | تغيرات المردود الحراري بدلالة التدفق الكتلي للماء (بعدم وجود الغطاء الزجاجي) | 15.5 |
| 84 | تغيرات المردود الحراري بدلالة التدفق الكتلي للماء (بوجود الغطاء الزجاجي) | 16.5 |
| 85 | تغيرات المردود الحراري خلال اليوم مع تتبع بمحوري دوران (بوجود الغطاء الزجاجي) | 17.5 |
| 85 | تغيرات المردود الحراري عند الذروة بدلالة التدفق الكتلي للماء (محوري دوران) | 18.5 |
| 86 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء عند الذروة بدلالة التدفق الكتلي | 19.5 |
| 87 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء عند الذروة بدلالة طول المجمع الشمسي | 20.5 |

| | | |
|-----|---|------|
| 87 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم (من أجل التدفق الكتلي 0.1kg/s) | 21.5 |
| 88 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل ($L=3m$) | 22.5 |
| 88 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل ($L=10m$) | 23.5 |
| 89 | تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل ($L=20m$) | 24.5 |
| 89 | تغيرات الفرق في درجة حرارة الماء خلال اليوم من أجل ($L=20m$) | 25.5 |
| 90 | تغيرات الفرق في درجة حرارة الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي ($L=20m$) و 0.1Kg/s | 26.5 |
| 90 | تغيرات الفرق في درجة حرارة الماء عند الذروة بدلالة التدفق الكتلي من أجل ($L=20m$) | 27.5 |
| 108 | م1-1 شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح أفقي خلال شهر جويلية | |
| 109 | م2-1 شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح أفقي خلال شهر ديسمبر | |
| 109 | م3-1 شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح مائل خلال شهر ديسمبر | |
| 110 | م4-1 شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح مائل خلال شهر جويلية | |

قائمة الرموز

| الوحدة في النظام الدولي | المقدار الفيزيائي | الرمز |
|-------------------------|-------------------------------|-------|
| m^2 | المساحة | A |
| $^{\circ}$ | زاوية السميت الرأسي | A |
| / | معامل التراجع الهندسي | A_f |
| / | الكتلة الهوائية الضوئية | AM |
| / | معامل الاحتكاك | C_f |
| / | التركيز الهندسي للمركز الشمسي | C_g |
| $\frac{J}{K \cdot kg}$ | السعة الحرارية | C_p |
| m | القطر | D |
| min | معادلة التصحيح الزمني | E_t |
| m | السماك | E |
| / | معامل الشكل | F |
| m | البعد البؤري | F |
| W/m^2 | شدة الإشعاع الشمسي الكلي | G |
| درجة | زاوية الإرتفاع الشمسي | H |
| $W/(m^2 \cdot K)$ | معامل إنتقال الحرارة | h_c |
| W/m^2 | شدة الإشعاع الشمسي المباشر | I |

| | | |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| ° | زاوية ورود الإشعاع الشمسي | i |
| ° | زاوية خط الطول للمنطقة | L |
| Kg/s | التدفق الكتلي | m |
| / | رقم اليوم من السنة | Nj |
| / | رقم نوسلت اللابعدى | Nu |
| / | رقم برانتل اللابعدى | Pr |
| W | التدفق الحراري | Q |
| / | رقم رايلي اللابعدى | Ra |
| / | رقم رينولدز اللابعدى | Re |
| m².K/W | المقاومة الحرارية | R |
| °C | درجة الحرارة | T |
| h | التوقيت الشمسي الحقيقي | TVS |
| h | التوقيت العالمي | TU |
| W/(m².K) | معامل الضياع الحراري | U_L |
| m/s | سرعة الرياح | v |
| m | عرض فتحة المجمع الشمسي | W |
| ° | زاوية الساعة الشمسية | w |
| / | معامل الامتصاص | α |
| ° | زاوية ميلان المجمع عن الأفق | β |
| / | معامل الاعتراض | γ |
| ° | زاوية الميل الشمسي | δ |

| | | |
|----------------------------------|---------------------------|---------------|
| / | معامل الانبعاث | ε |
| ° | زاوية الذروة | θ_Z |
| ° | زاوية الحافة | θ_R |
| m ² /s | اللزوجة الحركية للمائع | ν |
| Kg/m.s | اللزوجة التحريكية للمائع | μ |
| Kg/m ³ | الكتلة الحجمية | ρ |
| / | معامل الانعكاس | ρ° |
| W/m ² .K ⁴ | ثابت بولتزمان | σ |
| / | معامل النفاذية | τ |
| ° | زاوية دائرة العرض للمنطقة | φ |
| / | المردود | η |
| W/m.K | معامل التوصيل الحراري | λ |
| J | كمية الحرارة | ϕ |

الإختصارات

| المعنى بالانجليزية | المعنى بالعربية | الاختصار |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------|
| computational fluid dynamics | تحليل حسابي لديناميك الموائع | CFD |
| Central Receiver Systems | نظام المستقبل المركزي | CRS |
| Concentrating Solar Power | مركزات الطاقة الشمسية | CSP |
| Parabolic Dish | الصحن القطع مكافئ | DP |
| Direct Steam Generation | توليد البخار المباشر | DSG |
| Heat Collection Element | العنصر الجامع للحرارة | HCE |
| Heat Transfer Fluid | المائع الناقل للحرارة | HTF |
| Infrared | تحت الحمراء | IR |
| Linear Fresnel Reflector | عاكس فريزل الخطي | LFR |
| Monte Carlo Rays Tracking | طريقة مونت كارلو لتتبع الأشعة | MCRT |
| Parabolic Trough Collector | المجمع الأسطواني القطع مكافئ | PTC |
| Photovoltaic | الكهروضوئية | PV |
| Solar Electric Generating System | نظام توليد الكهرباء الشمسية | SEGS |
| Solar Water Heating | تسخين المياه بالطاقة الشمسية | SWH |
| Ultraviolet | الفوق بنفسجي | UV |

الدليل (الأحرف السفلية)

| المعنى | الرمز |
|-----------------------|-------|
| الهواء | a |
| الهواء الجوي المحيط | amb |
| فتحة المجمع الشمسي | ap |
| الغطاء الزجاجي المسطح | c |
| الحمل الحراري | conv |
| التوصيل الحراري | cond |
| الظرف الزجاجي | e |
| الفعال | eff |
| الخارجي | ext |
| المائع | f |
| الغاز | g |
| الداخل | i |
| الداخلي | int |
| الضياع الحراري | loss |
| الخارج | o |
| الضوئي | op |
| الأنبوب الماص | r |
| الإشعاع الحراري | rad |
| العاكس | ref |

| | |
|--------------------|---------|
| السماء | sky |
| هيكل الدعم المعدني | support |
| الحراري | th |
| المفيدة | u |

المقدمة العامة

المقدمة العامة

مع التضاعف المفرط في الطلب العالمي على الطاقة منذ ما بعد الثورة الصناعية، حيث يستهلك العالم اليوم 76 مليون برميل من النفط يوميا ومن المتوقع أن يرتفع هذا الرقم إلى 123 مليون برميل يوميا بحلول 2025 [1]، وما يترتب عن احتراق هذا الوقود الأحفوري (بترول ، غاز ، فحم) من تلويث للبيئة وتغيرات في المناخ بسبب انبعاث الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري، خاصة غاز ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يؤدي إلى تهديد التوازن الايكولوجي للبيئة من جهة ومن نضوب ونفاد احتياطات العالم من هذا الوقود الأحفوري من جهة ثانية، فإنه يتوجب علينا - ومن أجل الحفاظ على ثروات الأجيال القادمة، في إطار مفهوم التنمية المستدامة، الذي يجب أن تحقق التنمية في إطارها، بطريقة تضمن الحاجيات الخاصة بالتنمية، و تلك الخاصة ببيئة الأجيال الحاضرة والمستقبلية [نقطة من تصريح قمة الأرض ريودي جانيرو 1992] - استغلال وتطوير عملية تحويل الظواهر الطبيعية (الإشعاع الشمسي و الرياح و الكتلة الحيوية و الجاذبية الأرضية والمد والجزر و حرارة الأرض الباطنية) إلى أشكال طاقة مفيدة، وقد حصل الآن تقدم ملموس في تحسين مردود وكفاءة تحويل هذه المصادر مع خفض تكاليف الانجاز و الصيانة، وهذا إضافة إلى كونها طاقة متجددة غير نافذة، وطاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة، ومتاحة في جميع أنحاء المعمورة، كما أنها تحقق التنمية المستدامة (التنمية التي تلبى احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها).

تعتبر الشمس من أهم مصادر الطاقة، حيث تبلغ كثافة تدفق الطاقة المنبعثة منها 63 Mw/m^2 في جميع الاتجاهات، بينما تستقبل الأرض منها $1.7 * 10^{14} \text{ Kw}$ ، وتكون كثافة تدفق الطاقة على سطح الأرض في حدود 1 Kw/m^2 [2،3]، وهذه الطاقة التي تصل سطح الأرض تقدر بحوالي 10 آلاف مرة من الطلب العالمي على الطاقة.

الشمس آية من آيات الله في الكون، ولعظمتها تكرر ذكرها في 33 موضعاً من القرآن. سخرها المولى لتنحى الحياة لكل الكائنات على وجه الأرض، فمنها يستمدون الطاقة اللازمة لحياتهم، و يحدث تعاقب الليل والنهار، ولذلك امتن الله بها على عباده في قوله تعالى:

(وَسَخَّرَ لَكُمْ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ وَسَخَّرَ لَكُمْ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ * وَأَتَاكُمْ مِنْ كُلِّ مَا سَأَلْتُمُوهُ وَإِنْ تَعَدُّوا نِعْمَةَ اللَّهِ لَا تُحْصُوهَا إِنَّ الْإِنْسَانَ لَظَلُومٌ كَفَّارٌ) [إبراهيم: 33 - 34]

كما قال تعالى:

(تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا) [الفرقان: 61]

إستغل الإنسان طاقة الشمس بشكل مباشر منذ القدم في حياته البسيطة في التدفئة والحصول على النار ولتجفيف الأغذية النباتية والحيوانية، ثم تطور هذا الاستغلال إلى استحداث آليات لتجميع الطاقة الشمسية والاستفادة منها في تسخين المياه والتدفئة وتجفيف المحاصيل الزراعية والطبخ، واستمر التطوير من خلال رفع كفاءة هذه المجمعات الشمسية بزيادة فعالية امتصاص الإشعاع الشمسي على شكل حرارة من جهة وزيادة العزل الحراري من جهة ثانية، ثم تطور استغلال الطاقة الشمسية إلى إنتاج الكهرباء، حيث تم تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء إما بالتحويل الكهروضوئي (PV) بواسطة الخلايا الشمسية، أو بالتحويل الحراري بواسطة محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP)، ويعتبر التحويل الحراري هو الأقل كلفة والأكثر مردوداً والأطول عمراً [4].

تعتبر تكنولوجيا المحطات الشمسية المركزة (CSP) ذات تكلفة منخفضة وفعالية مقبولة، و يمكن استخدامها في تطبيقات صغيرة (عدد من الكيلوواط) "الصحن القطع مكافئ (DP) – نظام سترلينغ"، كما يمكن أن تكون مركزية (عدد من الميغا واط) "الأسطوانية القطع المكافئ (PTC) والأبراج الشمسية (CRS) وعاكس فريزل الخطي (LFR)".

تساهم محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP) في الإنتاج العالمي (في الوقت الحاضر) بقدرة 400 MW، وستصل بحلول 2020 إلى ما يقارب 20 GW، ثم إلى ما يقارب 800 GW بحلول 2050، وسيمنع ذلك انبعاث 32 مليون طن من CO₂ سنوياً في عام 2020، ويرتفع إلى 1.2 مليار طن في 2050، وهذا حسب تقرير منظمة السلام الأخضر الدولي « Solar Thermal Electricity 2016 » [5].

من بين جميع تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة (CSP) المتاحة حتى الآن، فإن المجمعات الأسطوانية القطع المكافئ (PTC) هي الحل الواعد والأكثر ملاءمة من حيث التكلفة والفعالية لتوليد الطاقة الكهربائية [6]، حيث تساهم محطات (PTC) من حيث القدرة الإنتاجية العالمية بـ 73،58% من قدرة محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP) عموماً [7].

يعتمد مبدأ عمل PTC على تركيز الإشعاع الشمسي المباشر بواسطة حوض العاكس القطع مكافئ نحو المحور البؤري، حيث يتم امتصاص الإشعاع على شكل حرارة عبر سطح الأنبوب الماص (نحاس أو فولاذ مقاوم للصدأ مطلي بسطح انتقائي)، ومن ثم تنتقل الحرارة بشكل مفيد إلى المائع الناقل للحرارة (HTF)، الذي يسري داخل الأنبوب الماص، ويوفر الطاقة الحرارية للدورة الطاقوية، إما بشكل مباشر بإنتاج البخار

أو بشكل غير مباشر عن طريق نقل الحرارة إلى وسيط التخزين بواسطة المبادلات الحرارية، ثم تحويل هذه الحرارة إلى كهرباء بواسطة محرك حراري وفق دورة ترموديناميكية.

في دراسة أجراها Greenpeace [8]. يمكن للطاقة الشمسية الواردة على بلدان جنوب البحر الأبيض المتوسط فقط، أن تفي باحتياجات الطاقة لهذه البلدان وجميع البلدان الصناعية في أوروبا.

يمثل الموقع الجغرافي للجزائر أفضل الظروف الجوية والمناخية من حيث توفر الإشعاع الشمسي، فمتوسط تدفق الطاقة الشمسية على سطح أفقي في الجنوب (الصحراء) يبلغ 2650 KWh/an/m^2 ، مع حوالي 3500 ساعة من التشميس في السنة [9]، مع قلة عدد الأيام التي تغيب فيها الشمس كلياً أو جزئياً [الملحق 02]، وكذا انخفاض الرطوبة وهطول الأمطار، مع وجود مساحات شاسعة من الأراضي المستوية غير المستخدمة بالقرب من شبكة النقل والطرق.

البيئة الصحراوية لورقلة لها ظروف جوية خاصة، مثل تطاير الغبار و الأتربة خلال فترة طويلة من السنة (بسبب الرياح و التي تعتبر منطقة ورقلة ذات نشاط رياح معتبر) [الملحق 02]، وبذلك فإن استخدام تطبيقات الطاقة الشمسية الحرارية هي الأقل تأثيراً لهذا النوع من البيئة، مقارنة بالطاقة الشمسية الكهروضوئية، حيث تمتص الخلايا الشمسية الطيف الشمسي المرئي وجزءاً قليلاً بالقرب من الأشعة تحت الحمراء (IR)، وهو الذي يتأثر بالغبار في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى تراجع مردودها بنسبة تصل إلى 50% [10]، بينما تعتمد الطاقة الشمسية الحرارية على الأمواج الطويلة (تحت الحمراء)، و هي الأقل تأثيراً بالغبار في الغلاف الجوي، لكن من جهة ثانية الأتربة و الغبار تؤدي إلى تراجع الخواص الضوئية للعاكس وللعنصر الجامع للحرارة (HCE).

من أجل المحافظة على الخواص الضوئية للعاكس وللعنصر الجامع للحرارة (HCE) من الأتربة والغبار، وكذا وقاية العاكس من الصدأ بسبب الرطوبة والأمطار من جهة، وكذلك لزيادة العزل الحراري للأنبوب الماص، خاصة في وجود الرياح (حيث يتحول الضياع بالحمل الحراري من طبيعي إلى قسري) من جهة ثانية، فإننا قمنا في هذه الدراسة بإضافة غطاء زجاجي مسطح لفتحة العاكس.

قمنا بتصميم و إنجاز مجمع شمسي (PTC)، حيث الأنبوب الماص محاط بظرف زجاجي غير مفرغ من الهواء، مع إضافة غطاء زجاجي مسطح لفتحة (PTC)، ونقوم من أجل تدفقات مختلفة للماء الذي يسري داخل الأنبوب الماص بتسجيل درجة حرارة دخول الماء وخروجه ، ومن ثم حساب المردود الحراري لل PTC، كما قمنا بإعداد نموذج محاكاة عددية للـ (PTC)، وتم تأكيد صحة النموذج بمقارنة النتائج النظرية بالنتائج التجريبية، ثم من خلال النموذج الرياضي قمنا بتسجيل درجة حرارة خروج الماء لتدفقات كتلية مختلفة، لاستغلالها في مختلف التطبيقات الصناعية و المنزلية، وذلك من أجل أبعاد PTC مناسبة.

وقد قسمنا هذه الدراسة إلى خمسة فصول، خصصنا الفصل الأول للإشعاع الشمسي، حيث تطرقنا إلى مختلف الزوايا الشمسية وطرق التتبع الشمسي، وكذا معادلات تقدير شدة الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض، ثم خصصنا الفصل الثاني للمركز الأسطوانى القطع مكافئ PTC حيث تعرضنا لسرد تاريخي حول إستغلال الطاقة الشمسية، ثم التعرف على مختلف المركبات الشمسية عموما والمقارنة بينها من حيث التركيز الهندسي ومجال درجة حرارة الاشتغال والمردود الحراري، ثم تعرضنا بالتفصيل للأسطوانى القطع مكافئ PTC مكوناته وآلية عمله وهندسة بناءه والمردود الضوئي وآلية التتبع الشمسي. ثم خصصنا الفصل الثالث للدراسة التجريبية، حيث بدأنا بدراسة مرجعية توثيقية تستعرض أهم النتائج التي توصلت لها مختلف الدراسات في إطار تحسين أداء PTC، ثم تناولنا التصميم والإنجاز التجريبي لنموذج PTC، وتم فيه التعريف بالتصميم وكيفية الإنجاز والمواد المستعملة وآلية العمل التجريبي وأخذ القياسات، ثم تناولنا في الفصل الرابع المحاكاة العددية لنموذج PTC، حيث تطرقنا إلى دراسة مرجعية توثيقية لنمذجة PTC، ومن ثم الفرضيات التبسيطية للنموذج المدروس، ثم تشكيل معادلات الموازنة الحرارية لمختلف مكونات ال-PTC، ومنه الحل العددي لجملة المعادلات، والحصول على درجة حرارة خروج المائع و المردود الحراري خلال اليوم من شروق الشمس إلى غروبها، انطلاقا من تحديد التدفق الكتلي للمائع وأبعاد المجمع الشمسي، ثم تمت مقارنة هذه النتائج النظرية بالتجريبية للتأكد من صدقية وصلاحيه عمل برنامج المحاكاة العددية. ثم خصصنا الفصل الخامس لتحليل ومناقشة النتائج التجريبية والنظرية ثم الخروج بخلاصة وآفاق وتوصيات.

الفصل الأول الإشعاع الشمسي

الفصل الأول : الإشعاع الشمسي

مقدمة

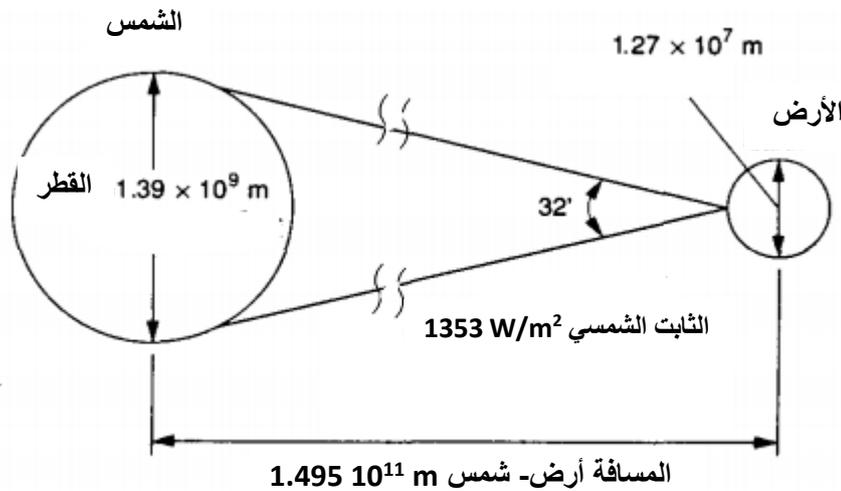
يستقبل كل موضع من سطح الأرض الإشعاع الشمسي من شروق الشمس إلى غروبها بزواوية ورود تتأثر بمختلف الزوايا الشمسية الناتجة عن حركة الشمس والأرض، كما تتغير شدة الإشعاع الشمسي المباشر مكانا حسب الموضع من سطح الأرض، وزمانا على مدار اليوم (من الشروق إلى الغروب) وعلى مدار السنة ، ولتقدير شدة الإشعاع الشمسي التي تصل سطح الأرض فإننا بحاجة في هذا الفصل إلى التعرف على مختلف الزوايا الشمسية، وكذا عبارات تقدير شدة الإشعاع الشمسي للإستفادة منها خلال التحويل الحراري أو الكهروضوئي لمختلف تطبيقات الطاقة الشمسية.

1 الإشعاع الشمسي :

تنتج الطاقة الشمسية عن التفاعل النووي للاندماج الحراري لأنوية الهيدروجين لتتحول الى أنوية هيليوم بنقص كتلي قدره 4 مليون طن في الثانية، وبذلك تشع استطاعة $3.8 \times 10^{26} \text{ W}$ ، والتي توافق طاقة كثافتها 63 MW/m^2 ، ويصل منها إلى سطح الأرض حوالي 1 KW/m^2 ، مستغرقا مدة قدرها 8 دقائق و20 ثانية [2]. حيث تبلغ درجة حرارة سطحها حوالي 5000 K و تتراوح درجة حرارة مركزها بين $(8 \times 10^6 - 40 \times 10^6)$ [2] ، و تشع الشمس (باعتبارها جسما اسودا) (نصف قطرها R_S و درجة حرارتها T_S) هذه الطاقة بتدفق يعطى بقانون stephen:

$$\phi = \sigma T_S^4 4\pi R_S^2$$

ويقدر القطر الظاهري للشمس من سطح الأرض 32 دقيقة (0.53°) كما يوضح الشكل (1-1)



الشكل 1-1: أبعاد وموضع الشمس والأرض [11]

وتصل الطاقة الشمسية إلى الأرض على شكل إشعاع كهرومغناطيسي ذي أطوال موجية تتراوح بين $(0.3 - 3) \mu\text{m}$:

الأشعة فوق البنفسجية (أقل من $0.38 \mu\text{m}$) و الأشعة المرئية $(0.38 - 0.78) \mu\text{m}$ و الأشعة تحت الحمراء (أكثر من $0.78 \mu\text{m}$). و تتركز معظم هذه الطاقة في الإشعاع المرئي و الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي القريب من المرئي كما يوضح الجدول (1-1):

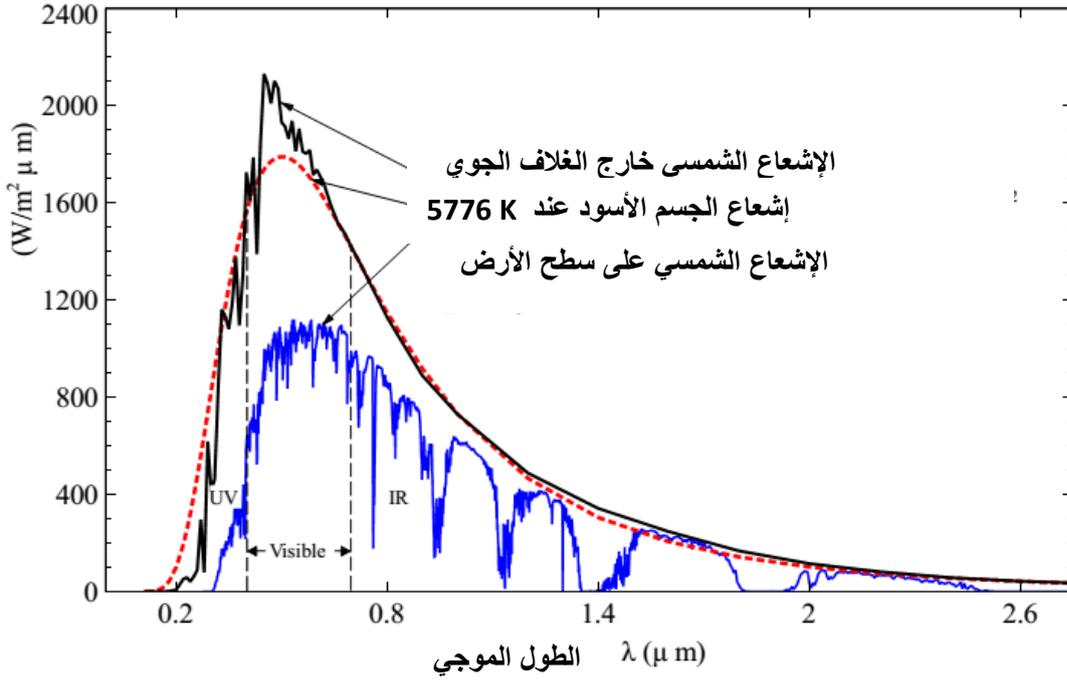
| المجال | الطول الموجي (μm) | النسبة % | شدة الإشعاع الشمسي W/m^2 |
|-------------------------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|
| الأشعة فوق البنفسجية UV | $0.38 >$ | 7 | 95 |
| الأشعة المرئية Visible | $0.78 - 0.38$ | 47.29 | 640 |
| الأشعة تحت الحمراء IR | $3.0 - 0.78$ | 45.71 | 618 |

الجدول 1-1: الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض [12]

2 التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي

التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي في نطاق $(0.2 - 50) \mu\text{m}$ ، بينما يتراوح هذا النطاق على سطح الأرض بين $(0.3 - 3) \mu\text{m}$ ، بسبب تشتت وانتشار الإشعاع أثناء اختراقه لمكونات الغلاف الجوي من جزيئات الهواء وبخار الماء و الغبار، حيث درجة الانتشار الحادث حسب نظرية رايلي تتعلق بعدد الجسيمات التي يمر بها الإشعاع و حجم الجسيمات بالنسبة للطول الموجي للإشعاع الشمسي، و بذلك يكون تشتت رايلي كبيرا في الأطوال الموجية القصيرة أقل من $(0.6 \mu\text{m})$. و يتم في الغلاف الجوي امتصاص الأشعة فوق البنفسجية القصيرة أقل من $(0.29 \mu\text{m})$ من طرف الأوزون، أما الأشعة تحت الحمراء فتمتص من طرف بخار الماء و CO_2 [12]، وهذا ما يوضحه الشكل (1-2)

الإشعاع الطيفي



الشكل 1-2: التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي [13]

3 الثابت الشمسي

هو شدة تدفق الإشعاع الشمسي التي تتلقاها وحدة مساحة ($1m^2$) خارج الغلاف الجوي للأرض، بحيث تكون عمودية على أشعة الشمس و المسافة بين الأرض و الشمس عند قيمتها المتوسطة خلال السنة و المقدرة بـ $1,5 \times 10^8$ Km، وتعطى قيمة الثابت الشمسي المقيسة من طرف Gueymard في 2004 $I_0 = 1366.1 \text{ W/m}^2$ [13].

و خلال أيام السنة تعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي [14]:

$$I = I_0 \left[1 + 0.034 \cos \left[(N_j - 2) \frac{360}{365} \right] \right] \quad (1 - 1)$$

حيث N_j يمثل رقم اليوم من السنة الشمسية ($N_j = 1, 2, \dots, 365$).

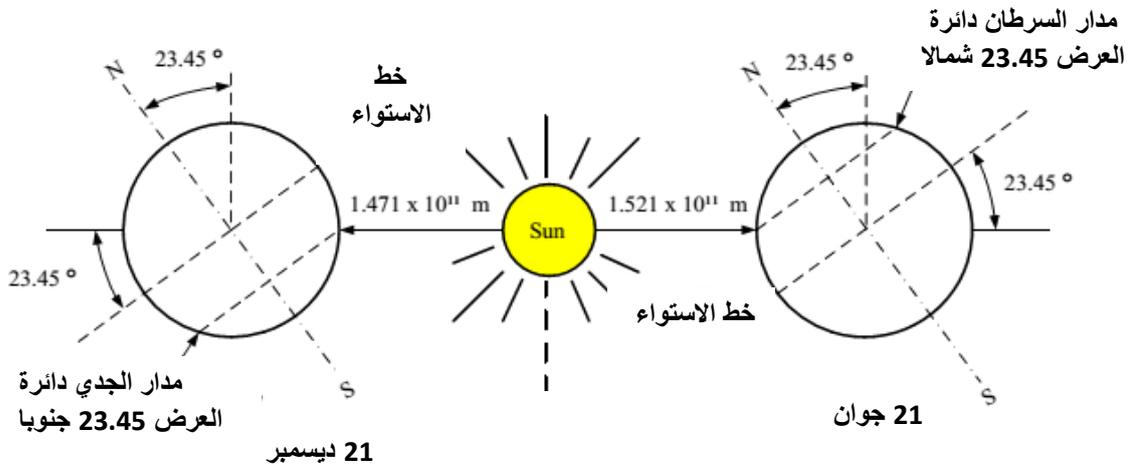
4 الزوايا الشمسية

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي في نقطة ما من سطح الأرض بالحركة النسبية للأرض حول الشمس و التي تحدد من خلال الزوايا الشمسية:

1-4 زاوية الميل الشمسي

تدور الأرض حول الشمس في مسار اهليلجي حيث تكمل دورة كاملة خلال 365.25 يوم، بحيث تصل المسافة أرض – شمس أقل قيمة في 21 ديسمبر و التي تبلغ $(1.47 \times 10^{11} \text{m})$ ، كما تبلغ المسافة قيمتها العظمى $(1.52 \times 10^{11} \text{m})$ في 21 جوان [15]. الشكل (1-3)

يصنع محور دوران الأرض حول نفسها مع الناظم على المستوى الاهليلجي (مستوى دوران الأرض حول الشمس) زاوية ميل δ تتغير قيمتها بين 23.45° و -23.45° على مدار السنة. الشكل (1-3):



الشكل 1-3: حركة الأرض بالنسبة للشمس [16]

وتعطى عبارة زاوية الميل الشمسي في كل يوم من السنة بالعلاقة:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \frac{360}{365} (284 + N_j) \quad (1 - 2)$$

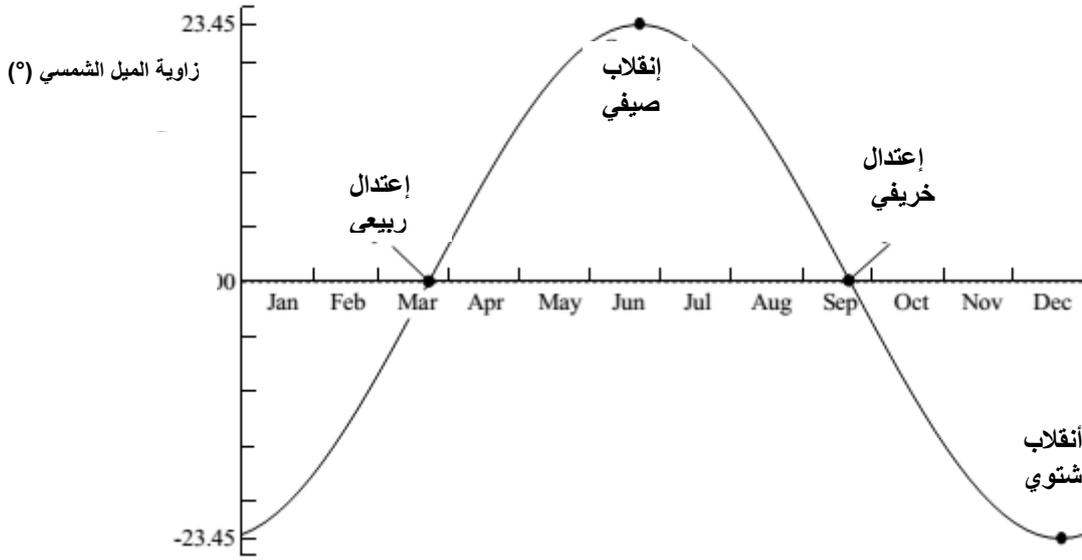
حيث نأخذ القيمة العظمى

$(+23.45)$ في 21 جوان انقلاب صيفي

(-23.45) في 21 ديسمبر انقلاب شتوي

بينما تكون معدومة ($\delta=0$) في الاعتدالين الخريفي في 21 سبتمبر و الربيعي في 21 مارس كما يبين الشكل

$$(4-1)$$



الشكل 1-4: بيان تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال أيام السنة

يمكن تتبع حركة الشمس من الشروق للغروب في نقطة ما من سطح الارض من خلال زاويتي الارتفاع h و السمات a .

2-4 زاوية الارتفاع h :

هي الزاوية التي يصنعها الشعاع الشمسي الوارد إلى النقطة من سطح الأرض مع المستوى الأفقي المار بالنقطة حيث تكون $h=0$ عند الشروق و الغروب كما يبين الشكل (1-5) وتعطى بالعلاقة:

$$\sin h = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos w \quad (1 - 3)$$

حيث φ زاوية خط العرض للمنطقة و w زاوية الساعة الشمسية

3-4 زاوية الذروة θ_z

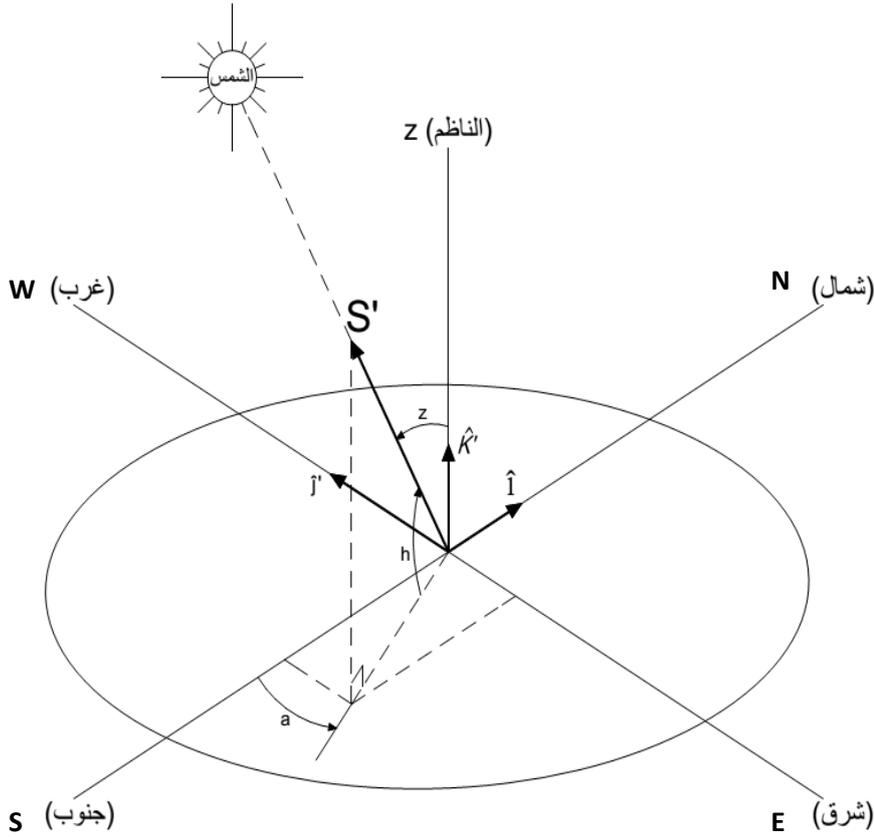
هي الزاوية بين الشعاع الشمسي الوارد للنقطة من سطح الأرض والناظم على المستوى الأفقي في تلك النقطة كما يبين الشكل (1-5) حيث

$$\theta_z + h = 90^\circ \quad (1 - 4)$$

4-4 زاوية السميت الرأسية a :

هي الزاوية التي يصنعها مسقط الشعاع الوارد للنقطة من سطح الأرض على المستوى الأفقي مع المحور المتجه للجنوب عند هذه النقطة، و تكون هذه الزاوية موجبة إذا كانت نحو الغرب و تكون سالبة إذا كانت نحو الشرق كما يبين الشكل (1-5)، وتعطى بالعلاقة [17] :

$$\cos a = \frac{\sin h * \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h * \cos \varphi} \quad (1 - 5)$$



الشكل 1-5: زاوية الارتفاع الشمسي و الذروة و السميت الرأسية (معلم سطح أرضي)

4-5 زاوية الساعة الشمسية w :

نتيجة دوران الأرض حول نفسها فإن الشعاع الشمسي يمسح دورة كاملة حول الأرض 360° خلال $24h$ وفق دائرة العرض، أي 15° لكل ساعة، مع اعتبار الزوال هو المبدأ ($w=0$)، وتعطى عبارة زاوية الساعة الشمسية بالعلاقة:

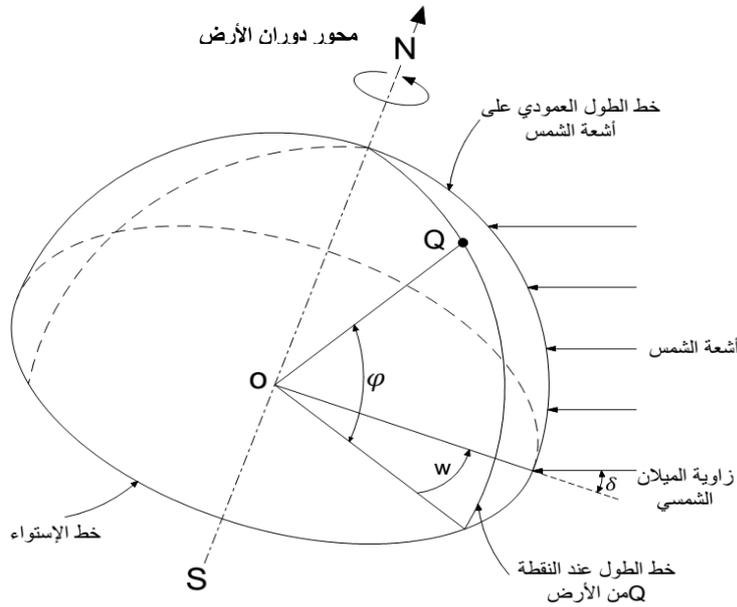
$$w = 15(TVs - 12) \quad (1 - 6)$$

حيث TV_S يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتمد الزوال الشمسي في المنطقة ($w=0$) عند الساعة 12:00 زوالاً.

و تكون $W > 0$ مساءً بينما تكون $W < 0$ صباحاً ، الشكل (1-6).

6-4 زاوية دائرة العرض للمنطقة φ

وهي الزاوية التي يصنعها الناظم على سطح الأرض في المنطقة مع الناظم على سطح الأرض في خط الاستواء الواقع في نفس خط الطول مع المنطقة. وتكون الزاوية موجبة إذا كانت المنطقة شمال خط الاستواء بينما تكون سالبة إذا كانت المنطقة جنوب خط الاستواء الشكل (1-6).



الشكل 1-6: زاوية الساعة الشمسية و دائرة العرض للمنطقة [18]

و يتعلق التوقيت الشمسي الحقيقي (TV_S) بالتوقيت المحلي للمنطقة بالعلاقة

$$TV_S = TU + E_t + \frac{L}{15} \quad (1 - 7)$$

حيث TU التوقيت العالمي (خط الزوال المار عبر غرينيتش greenwich)

E_t : معادلة التصحيح الزمني

L : خط الطول للمنطقة حيث $L > 0$ شرقاً و $L < 0$ غرباً

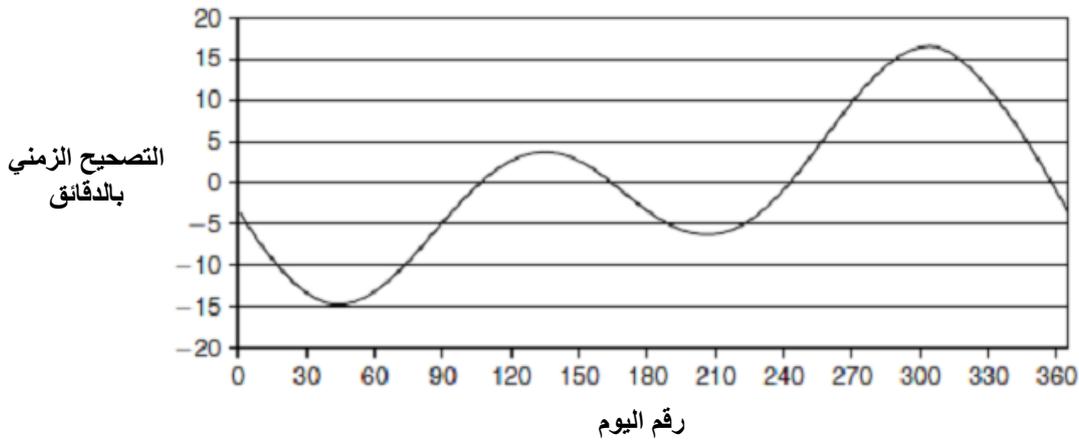
5 معادلة التصحيح الزمني E_t :

تعطى معادلة التصحيح الزمني وبدقة إلى 30 ثانية خلال ساعات النهار من طرف Woolf بالدقائق [19]:

$$E_t = 0.258 \cos x - 7.416 \sin x - 3.648 \cos 2x - 9.228 \sin 2x \quad (1 - 8)$$

$$x = \frac{360(Nj-1)}{365.242} \quad (1 - 9) \quad \text{حيث } X \text{ مقدره بالدرجات :}$$

ويعطي البيان الشكل (1-7) تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة



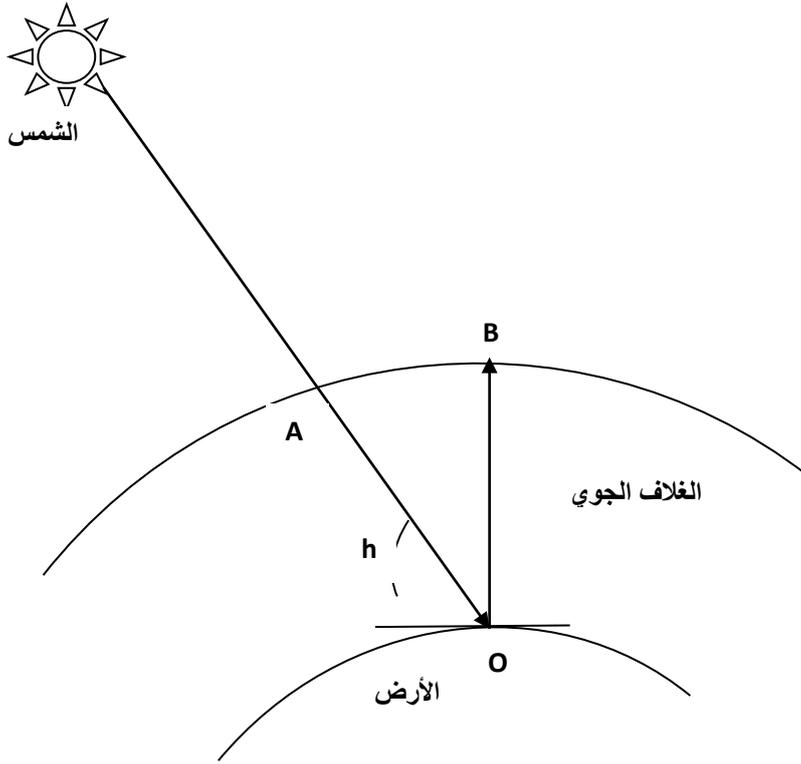
الشكل 1-7: بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة [20]

6 الكتلة الهوائية الضوئية AM

هي نسبة المسافة التي يخترقها الشعاع الشمسي في الغلاف الجوي حتى يصل سطح الأرض إلى المسافة التي يخترقها الشعاع الشمسي عندما تكون الشمس عمودية فوق الموقع، مع اعتبار الموقع في مستوى سطح البحر كما يبين الشكل (1-8). وتكون الكتلة الهوائية الضوئية مساوية للواحد عندما تكون الشمس عمودية على الموقع، وتعطى بالعلاقة :

$$AM = \frac{OA}{OB} = \frac{1}{\sin h} \quad (1 - 10)$$

من أجل أشعة الشمس ناظمية ($h=90^\circ$) فإن ($AM=1$) .



الشكل 1-8: الكتلة الهوائية الضوئية

7 الإشعاع الشمسي على سطح الأرض

الإشعاع الشمسي الذي يستقبله سطح الأرض من بين الإشعاع المنبعث من الشمس، يخترق الغلاف الجوي للأرض و ينعكس جزء منه إلى الفضاء الخارجي و ينفذ الباقي إلى الغلاف الجوي، حيث يتم امتصاص جزء منه من طرف مكونات الغلاف الجوي و يتشتت جزء بفعل الانعكاسات على السحب و العوالق الصلبة (الغبار)، بينما يصل الباقي إلى سطح الأرض بشكل مباشر كما يوضح الشكل (1-9).

1-7 الإشعاع المباشر

تعطى عبارة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد من الشمس إلى سطح الأرض ناظميا بعد اختراقه للغلاف الجوي بالعلاقة [21] :

$$I_b = I[a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM}] \quad (1 - 11)$$

حيث a_0 و a_1 و K ثوابت تجريبية تعطى من طرف Duffie و Beckman بالعلاقات التالية [11]:

$$a_0 = 0.94[0.4237 - 0.00821(6 - Z)^2] \quad (1 - 12)$$

$$a_1 = 0.98[0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2] \quad (1 - 13)$$

$$K = 1.02[0.2711 - 0.01858(2.5 - Z)^2] \quad (1 - 14)$$

حيث: Z ارتفاع المنطقة فوق سطح البحر معبرا عنها بالكيلومتر (Km)، و AM الكتلة الهوائية الضوئية و I الثابت الشمسي، أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية i على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة:

$$I_{bt} = I_b \cos i \quad (1 - 15)$$

2-7 الإشعاع الشمسي المنتشر

وهو الناتج عن تشتت الإشعاع الشمسي بفعل مكونات الغلاف الجوي وتعطى عبارته في حالة سطح أفقي بالعلاقة [22]:

$$I_d = I \sin h [0.2710 - 0.2939(a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM})] \quad (1 - 16)$$

حيث أن الإشعاع المنتشر لا يتأثر بتصميم وتركيز PTC بخلاف الإشعاع المباشر

3-7 الإشعاع الكلي

هو مجموع الإشعاع المباشر و المنتشر ويحسب في حالة الإشعاع ناظمي $i = 0$ بالعلاقة:

$$G = (1270 - 56T_L)(\sin h)^{\frac{T_L+36}{33}} \quad (1 - 17)$$

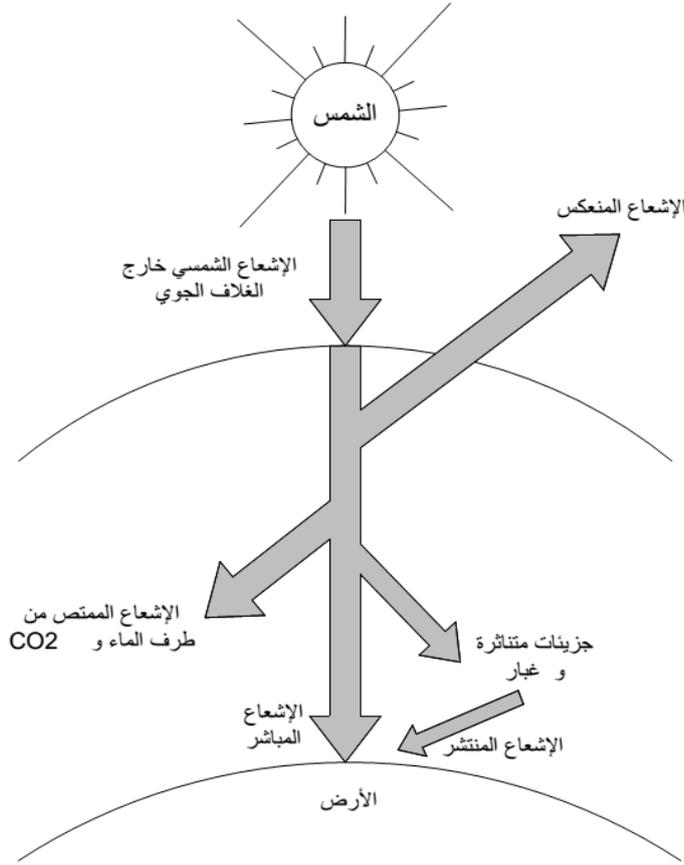
حيث T_L معامل الاضطراب للغلاف الجوي وتعطى صيغته

$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (1 - 18)$$

حيث β_A معامل أنغيشتروم و w ارتفاع الماء المكثف و قيمهما تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح بالجدول (1-2)

| سواء صافية | سواء متوسطة | سواء مضطربة | |
|------------|-------------|-------------|-----------|
| 0.05 | 0.1 | 0.2 | β_A |
| 1cm | 2cm | 5cm | w |

الجدول (1-2): قيم معامل الاضطراب وارتفاع الماء المكثف [23]



الشكل 1-9: مخطط يوضح وصول الإشعاع الشمسي الى سطح الارض

8 مركبات الشعاع الشمسي في المعلم السطح أرضي والمركزي الأرضي

شعاع الوحدة للشعاع الشمسي S' الساقط على النقطة (Q) من سطح الارض يمكن كتابته في المعلم

السطح أرضي $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ من خلال الشكل (1-5):

$$\vec{S}' = S'_i \vec{i} + S'_j \vec{j} + S'_k \vec{k} \quad (1 - 19)$$

حيث :

$$S'_i = -\cos h \cos a \quad (1 - 20)$$

$$S'_j = \cos h \sin a \quad (1 - 21)$$

$$S'_k = \sin h \quad (1 - 22)$$

كما يمكن كتابة الشعاع الشمسي (S) الساقط بالنسبة للمعلم المركزي الأرضي من خلال الشكل (1-10):

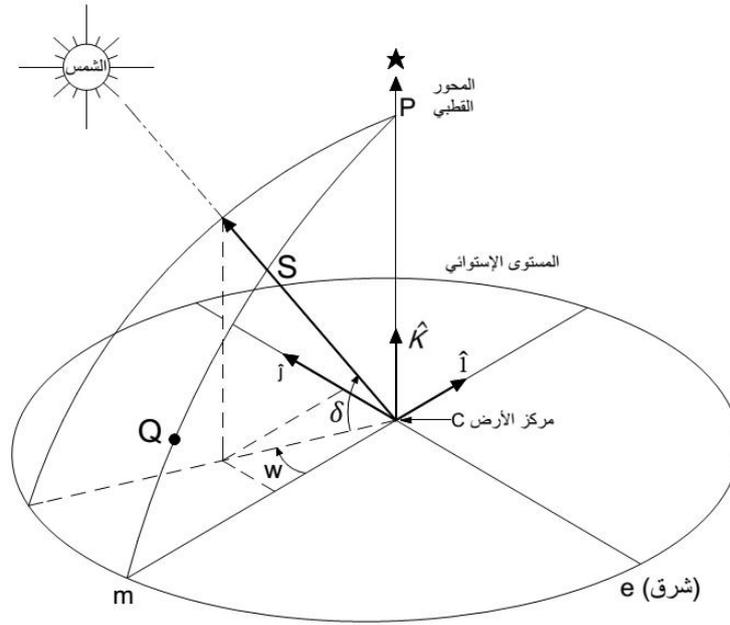
$$\vec{S} = S_i \vec{i} + S_j \vec{j} + S_k \vec{k} \quad (1 - 23)$$

حيث :

$$S_i = -\cos \delta \cos w \quad (1 - 24)$$

$$S_j = \cos \delta \sin w \quad (1 - 25)$$

$$S_k = \sin \delta \quad (1 - 26)$$



الشكل 10-1: مسقط الشعاع الشمسي بالنسبة للمعلم المركزي الأرضي

و بالانتقال من إحداثيات المعلم المركزي الأرضي إلى السطح أرضي وباستغلال الشكل (1-11) نحصل

على :

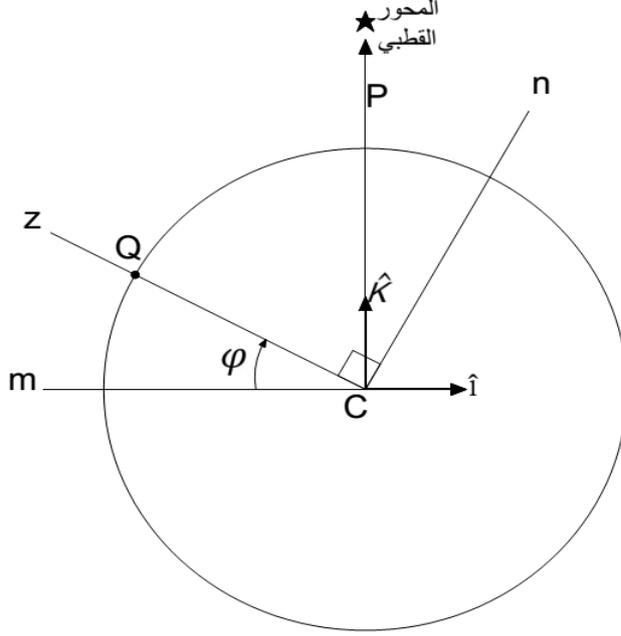
$$S'_i = S_i \sin \varphi + S_k \cos \varphi \quad (1 - 27)$$

$$S'_j = S_j \quad (1 - 28)$$

$$S'_k = -S_i \cos \varphi + S_k \sin \varphi \quad (1 - 29)$$

ويمكن التعبير عن تحويل المعلم بالشكل المصنوفي التالي :

$$\begin{vmatrix} S'_i \\ S'_j \\ S'_k \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} S_i \\ S_j \\ S_k \end{vmatrix} \quad (1 - 30)$$



الشكل 11-1: التحويل معلم سطح ارضي - مركزي ارضي

و بالتعويض نجد :

$$-\cos h * \cos a = -\cos \delta * \sin \varphi * \cos w + \sin \delta * \cos \varphi \quad (1 - 31)$$

$$\cos h * \sin a = \cos \delta * \sin w \quad (1 - 32)$$

$$\sin h = \cos \delta * \cos \varphi * \cos w + \sin \delta * \sin \varphi \quad (1 - 33)$$

حيث عند الشروق والغروب تنعدم زاوية الإرتفاع الشمسي ($h=0$) وبذلك تكون زاوية الساعة الشمسية عند الشروق و الغروب

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi * \tan \delta) \quad (1 - 34)$$

حيث $sunrise < 0$ و $w_{sunset} > 0$ ومنه يحسب التوقيت الشمسي الحقيقي للشروق والغروب بالعلاقة:

$$TVS_{Sunrise, sunset} = \frac{w_s}{15} + 12 \quad (1 - 35)$$

$$\Delta T = 2 \frac{|w_s|}{15} \quad (1 - 36) \quad \text{ونحسب مدة التشميس خلال النهار بالعلاقة :}$$

الخاتمة

الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض من شروق الشمس إلى غروبها يمكن مضاعفة شدته من عشرات إلى آلاف المرات بواسطة المركبات الشمسية ذات البؤرة الخطية أو نقطية، ثم التحويل الحراري للإشعاع بواسطة المجمعات الشمسية من خلال امتصاص الحرارة وتحويلها إلى المائع الناقل للحرارة لإستغلالها في مختلف الأغراض المنزلية والصناعية، وهو ما سنتعرف عليه في الفصل القادم.

الفصل الثاني

المركز الأسطواني القطع

مكافئ PTC

الفصل الثاني: المركز الأسطواني القطع مكافئ PTC

مقدمة

للتحويل الحراري للأغراض المنزلية يكتفى بالمجمعات المستوية التي تعطي درجات حرارة متوسطة، إلا أنه للأغراض الصناعية يعتمد على المركزات الشمسية التي تعطي درجات حرارة عالية. وسنتعرف في هذا الفصل على المركزات الشمسية التي تشتغل من خلال تركيز الإشعاع الشمسي نحو سطح استقبال يمتص الحرارة، وبذلك ترتفع درجة حرارة المائع الناقل للحرارة (HTF)، ليتم إنتاج البخار الحار والمضغوط، ومنه تدوير عنفات مولدات الكهرباء. ومن أهم المركزات الشمسية يوجد الأسطواني القطع مكافئ (PTC) والذي هو موضوع دراستنا حيث سنتعرف كذلك في هذا الفصل على مختلف أنواع المركزات الشمسية والمقارنة بينها من حيث درجات حرارة التشغيل والتركيز الهندسي والمردود، كما سنتعرف بالتفصيل على المركز الأسطواني القطع مكافئ مكوناته وطريقة عمله وهندسة بنائه، ثم التعرف على تأثير طرق التتبع الشمسي على زاوية الورود قصد اختيار طريقة التتبع المناسبة، مع مراعاة التكلفة الناجمة عن التتبع.

1- نسبة تركيز الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض يمكن تحويله إلى كهرباء مباشرة من خلال امتصاص الفوتونات الضوئية بواسطة الألواح الشمسية الكهروضوئية (P V) ، أو من خلال الطاقة الشمسية المركزة (CSP)، في هذه الحالة يتم امتصاص الحرارة الناتجة من الإشعاع الشمسي المركز على سطح الامتصاص، ومن ثم تنتقل إلى المائع المستعمل، حيث نحصل على درجات حرارة عالية، و توجد طريقتان لتركيز الإشعاع الشمسي المباشر :

1-1 نسبة التركيز الخطي

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر خطياً بواسطة عاكس على سطح أنبوب ماص مثبت في المحور البؤري، و يتم التتبع الشمسي وفق محور دوران واحد للرفع من المردود، و من أهمها الأسطواني القطع مكافئ (PTC)، و عاكس فريزل الخطي (LFR). حيث تبلغ نسبة تركيز هذه الانظمة (30-80) و تصل درجة حرارة المائع إلى 400° C.

1- 2 نسبة التركيز النقطي

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح عاكس في نقطة البؤرة من خلال نظام الصحن القطع مكافئ (DP)، حيث تصل نسبة تركيز الإشعاع الشمسي (4000-1000)، و يتم التتبع الشمسي وفق محوري دوران للمحافظة على تركيز الإشعاع في نقطة البؤرة. يستخدم الصحن القطع المكافئ (DP) في توليد الكهرباء مباشرة من خلال محرك ستيرلينغ، أو بواسطة توربينات الغاز الموضوع في البؤرة، وكذلك من خلال نظام المستقبل المركزي (CRS) الذي يضم حقلا كبيرا من المرايا العاكسة (heliostats) التي تركز الإشعاع الشمسي على جهاز الاستقبال المثبت في أعلى البرج، حيث تبلغ نسبة التركيز (1500-2000) ويمر المائع عبر المستقبل ليمتص الحرارة ومن ثم إنتاج و تخزين الطاقة، حيث يستخدم المائع في نظام (CRS) الهواء، البخار، الملح المنصهر، الصوديوم السائل.

2 تاريخ استخدام الطاقة الشمسية

إستفاد الإنسان من طاقة الإشعاع الشمسي منذ القدم، حيث استغلها في التدفئة وتجفيف الأغذية النباتية و الحيوانية و الحصول على النار، وتطور هذا الاستغلال مع تطور الإنسان.

ويعود - كما تروي لنا كتب تاريخ العلوم - استخدام تركيز الإشعاع الشمسي إلى (212 ق- م)، حيث قام أرخميدس بحرق سفن الرومان عن طريق مئات الدروع المصقولة (مرآة مقعرة) و الموجهة إلى أسطولهم البحري [24].

ويعتبر الكيميائيون العرب في القرن 15 أول من استغل تركيز الطاقة الشمسية بواسطة المعادن المصقولة، بدمشق بغرض عملية التقطير كما ذكر ذلك (A Mouchot) في 1869 [25].

في القرن 18 استخدمت الأفران الشمسية لصهر المعادن عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي بواسطة الحديد و الزجاج المصقول و العدسات و المرايا، و قد صمم احد هذه الأفران الفرنسي (Lavoisier) سنة 1774 م حيث بلغت درجة حرارة الفرن 1750°C [26].

خلال القرن 19 (1864 - 1878) كانت هناك محاولات لاستغلال الطاقة الشمسية لتوليد البخار المضغوط لتشغيل المحركات، حيث قام (August Monchot) بإنشاء و تشغيل عدة محركات بخارية تعمل بالطاقة الشمسية، أهمها تشغيل مطبعة [27].

(Abel Pifre) الذي كان معاصرا لـ (A Monchot) قام كذلك بتصميم محركات شمسية بواسطة مجمع شمسي يتكون من عاكس على شكل صحن قطع مكافئ مركب من قطع مرايا صغيرة جدا [27]، [28].

في 1880 (John Ericsson) صممت أول مجمع اسطواني قطع مكافئ (PTC) يستخدم لتشغيل محرك الهواء الساخن [29].

في 1901 قام (A.G. Eneas) ببنثبيت مجمع شمسي قطع مكافئ بقطر 10 m لتركيز أشعة الشمس في البؤرة التي تحوي مرجلا لإنتاج البخار، والذي يغذي جهاز ضخ المياه في مزرعة كاليفورنيا [27] ، [2].

في 1904 قام (Himalaya) بإنشاء فرن شمسي كبير على شكل قطع مكافئ، تم عرضه في المعرض العالمي St Louis [27].

في 1907 الألماني Wilhelm Meier و Adolf Remshardt حصلوا على أول براءة اختراع في تكنولوجيا المجمع الاسطواني القطع مكافئ المشتغل في توليد البخار [29].

1913 الانجليزي F. Shuman بالتعاون مع الأمريكي (C.V. Boys)، قام ببناء أكبر محطة ضخ في العالم في المعادي (مصر)، بواسطة المجمعات الشمسية الأسطوانية القطع مكافئة بطول 62 مترًا للوحدة و بمساحة استقبال كلية 1200 m^2 و تنتج (45-37) كيلواط خلال 5 ساعات تشغيل في اليوم، حيث يضخ النظام 27000 لتر من الماء في الدقيقة، وعلى الرغم من نجاح المحطة إلا انه تم إغلاقها في 1915 بسبب اندلاع الحرب العالمية الأولى وانخفاض أسعار الوقود [31]، [30].

في أواسط الثلاثينيات ظهرت فكرة تسخين المياه المنزلية باستغلال الطاقة الشمسية، لكنها لم تحظ بالاهتمام إلا في النصف الأخير من القرن 20 [32].

في أوائل الستينيات بدأت صناعة سخانات المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية (SWH) في التوسع في العديد من دول العالم، وكان النموذج المصنع يتكون من سطح امتصاص يتكون من لوحين معدنيين بطلاء أسود ومساحته ($3 - 4 \text{ m}^2$) وخزان سعته (150 – 180 L) [32].

في 1977 بدأت وزارة الطاقة في (USA) والوزارة الاتحادية الألمانية في تمويل الأبحاث والتطوير في أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية [33].

في 1979 أول محطة حديثة للطاقة الشمسية الحرارية في (Coolidge/Arizona) ذات تركيز خطي استطاعتها 150 KWe [33].

في 1981 شاركت 9 دول أعضاء في وكالة الطاقة الدولية في مشروع بناء المحطة الشمسية (Almeria) باستطاعة 500 KW [33].

في 1983 Arizona وضعت محطة (PTC) على مساحة استقبال (5580 m²) لأغراض التدفئة الحرارية لخزانات شركة معالجة النحاس حيث تفوق درجة الحرارة الناتجة 260°C [34].

في 1983 وقعت شركة (Southern California Edison) « SCE » إتفاقاً مع « LUZ » الدولية المحدودة على بناء محطة الطاقة الشمسية الحرارية (SEGS) I ثم II التي بدأت العمل في 1985-1986 [34].

وفي وقت لاحق وقعت « LUZ » عقوداً مع « SCE » أدت إلى تطوير (SEGS) III و (SEGS) IX حيث ارتفعت استطاعة المحطة من 30 MW إلى 80 MW ثم إلى 354 MW [34].

بعد سنة 1990 توسع انتشار تطبيقات الطاقة الشمسية الحرارية كطاقة نظيفة و متجددة، خاصة مع تنامي الوعي العالمي بخطورة التلوث البيئي و ما يسببه من أخطار على البشرية جمعاء و على كوكبنا الأزرق، و مع تسطير البرنامج العالمي للطاقة الشمسية (1996-2005) الذي أقرته الدورة 55 للأمم المتحدة من خلال القرار 7/53 و الهادف الى بناء القدرات و تطوير المؤسسات لتحقيق ما تتوخاه التنمية المستدامة من اهداف اقتصادية و اجتماعية و بيئية .

في ديسمبر 2008 أول محطة لتوليد الكهرباء بنظام (PTC) في أوربا (-Andasol-1) بالقرب من جبال (Sierra nevada) بغرناطة اسبانيا، ثم في منتصف 2009 (-Andasol-2) بنفس القدرة و تقع مباشرة إلى جانب (Anda Sol 1)، ثم نفس الشيء مع (-Andasol-3)، وكل من هذه المحطات الثلاثة لها قدرة (50MWe). كما تعتبر محطات الطاقة (Andasol) أول محطات الطاقة الشمسية المركزة التي تملك أنظمة تخزين حراري كبيرة، حيث تستطيع تخزين الحرارة لمدة 7.5 ساعة ليلاً وبذلك الاشتغال مايقارب 24 ساعة يومياً [35].

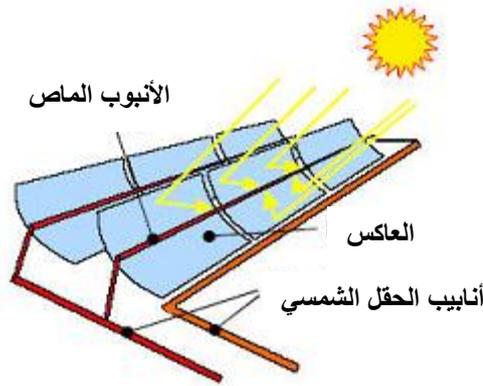
3 تكنولوجيا التركيز الشمسي

نظراً لانخفاض كثافة الطاقة الشمسية على سطح الأرض يتم استخدام مساحة واسعة لتجميع تدفق الطاقة الشمسية، ثم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر عن طريق عملية الانعكاس من قبل مجمعات الطاقة الشمسية على جهاز الاستقبال، الذي يمتص الطاقة الشمسية على شكل حرارة ثم يحولها إلى المائع الناقل للحرارة (HTF)، ليتم إنتاج البخار المضغوط إما بشكل مباشر أو غير مباشر بواسطة المبادلات الحرارية، ومن ثم يتم تدوير العنفات لتوليد الطاقة الكهربائية، وتشمل تكنولوجيات الطاقة الشمسية المركزة (CSP) المتاحة أنظمة كل من الاسطواني القطع مكافئ (PTC) والقطع مكافئ ذو العاكس المزدوج (CPC) والأبراج الشمسية (CRS) و الصحن القطع مكافئ (DP) وعاكس فريزل الخطي (LFR)، وتستخدم موائع

نقل الحرارة (HTF) في هذه الأنظمة، الزيوت الاصطناعية و الأملاح المنصهرة و البخار أو الهواء المضغوط.

1-3 نظام المجمع الأسطواني القطع مكافئ (PTC)

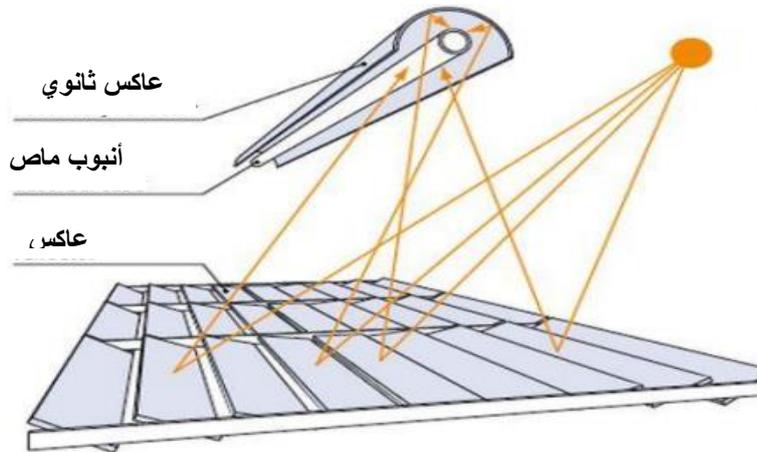
يتكون نظام (PTC) من عواكس طويلة مقطوعها العرضي قطع مكافئ، تركز الإشعاع الشمسي في المحور البؤري الخطي الذي يثبت به أنبوب امتصاص (من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ)، مطلي بطبقة انتقائية و محاط بأنبوب زجاجي يكون أحيانا مفرغ من الهواء للحد من الضياعات الحرارية، ويكون مزود بنظام تتبع شمسي على محور دوران واحد، الشكل (2-1).



الشكل 2-1: المجمع الشمسي الاسطواني القطع مكافئ (PTC) [36]

2-3 نظام عاكس فريزل الخطي (LFR)

يتكون من مرايا مسطحة متوازية، تقوم بتركيز الإشعاع الشمسي نحو جهاز استقبال خطي يقع على بعد أمتار فوق حقل المرآة الأولية، وهذا يتطلب مرآة ثانوية فوق جهاز الاستقبال لإعادة تركيز الأشعة الضائعة، أو البديل عن ذلك زيادة عرض جهاز الاستقبال بجعله يتكون من عدة أنابيب متوازية كما يوضح الشكل (2-2).



الشكل 2-2: عاكس فريزل الخطي (LFR) [37]

3-3 نظام الأسطواني القطع مكافئ ذي العاكس المزدوج (CPC)

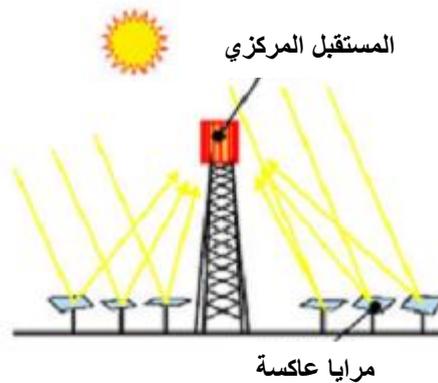
يتكون من عاكسين اسطوانيين مقطعهما قطع مكافئ لهما نفس البؤر الخطية، حيث يتم تثبيت الأنبوب الماص، وتبلغ نسبة التركيز الهندسي (3 - 10)، وتصل درجة حرارة المائع ($80^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$)، ويتم التتبع الشمسي وفق محور دوران واحد كما يوضح الشكل (2-3)



الشكل 2-3: المجمع الشمسي الاسطواني القطع مكافئ ذو العاكس المزدوج (CPC) [38]

4-3 نظام المستقبل المركزي (CRS)

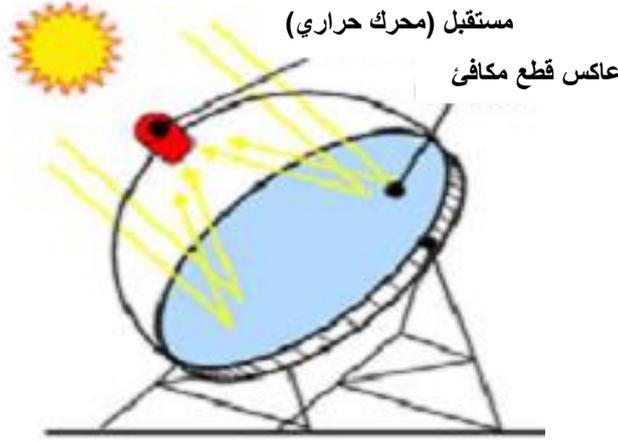
تتكون من مرايا مسطحة تغطي مساحات شاسعة، ويتم توجيهها بحيث تركز الإشعاع الشمسي المباشر على جهاز استقبال مركزي، و تكون هذه المرايا مزودة بنظام تتبع شمسي على محوري دوران. يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة بواسطة المستقبل المركزي ومن ثم تنتقل إلى المائع (HTF) الذي يكون عادة الأملاح المنصهرة، ويتم توليد البخار بواسطة المبادلات الحرارية ومن ثم إنتاج الطاقة الكهربائية عبر دورة ترموديناميكية الشكل (2-4).



الشكل 2-4: البرج المركزي الشمسي CRS [36]

3-5 نظام الصحن القطع المكافئ (DP)

يتكون من صحن عاكس ذو شكل قطع مكافئ وجهاز الاستقبال مثبت في البؤرة النقطية، ويتم التتبع الشمسي على محورين، حيث يتم امتصاص الإشعاع الشمسي على شكل حرارة من طرف جهاز الاستقبال الذي يحوي على غاز لتشغيل توربينات غازية الشكل (5-2).



الشكل 2-5: الصحن القطع مكافئ DP [36]

4 مبدأ عمل المراكز الشمسية

يتم تركيز الإشعاع الشمسي الساقط على الفتحة، بواسطة السطح العاكس نحو سطح الامتصاص (جسم أسود) الذي يمتص هذا الإشعاع على شكل حرارة و بالتالي زيادة درجة حرارته، و من ثم تنتقل هذه الحرارة إلى المائع الناقل للحرارة (HTF) بواسطة الحمل على شكل حرارة مفيدة، بينما يتم فقد جزء من هذه الحرارة إلى الهواء الجوي المحيط بواسطة (التوصيل و الحمل و الإشعاع) على شكل ضياع. و يتكون المركز الشمسي عموماً من :

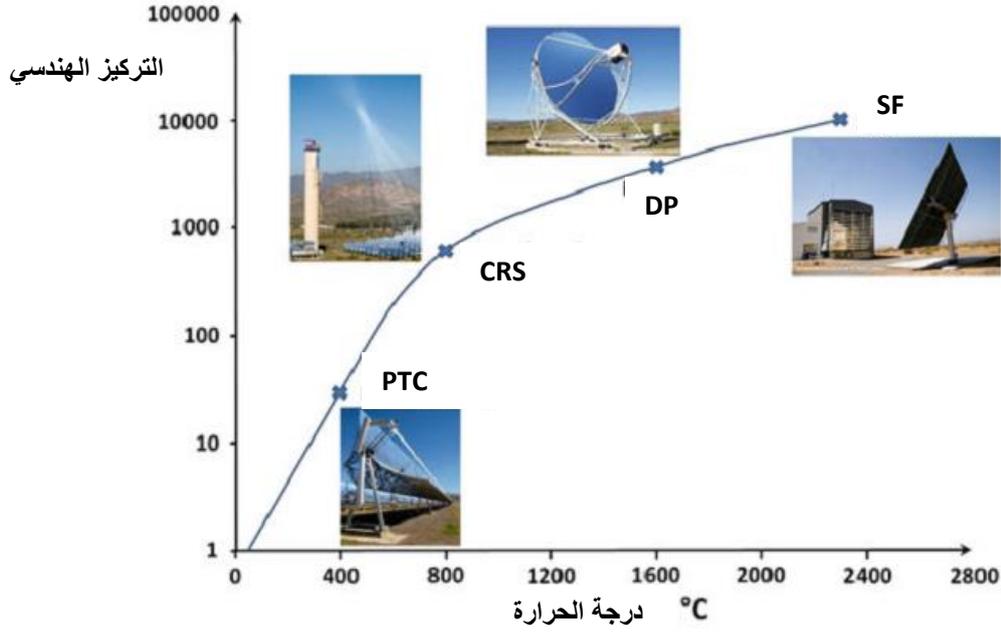
1- أداة تركيز للإشعاع

2- أداة امتصاص للإشعاع

3- أداة تتبع شمسي

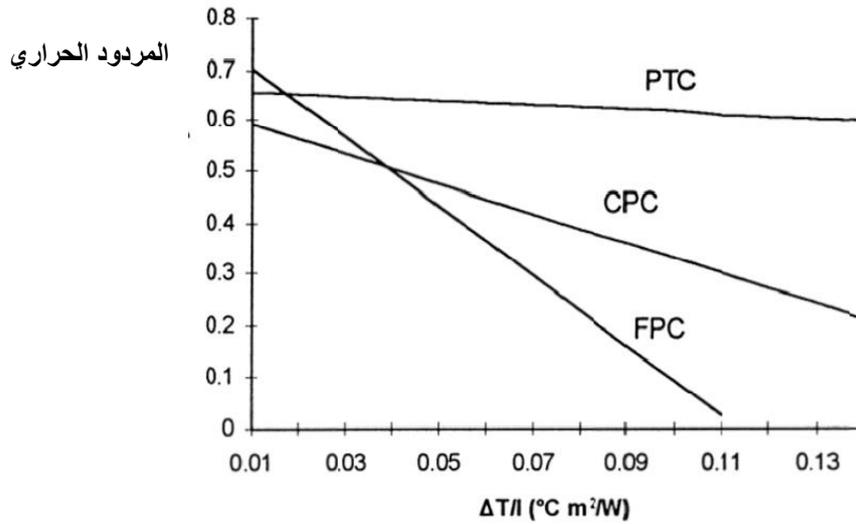
5 المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي

يوضح الشكل (2-6) حدود التركيز الهندسي ودرجات حرارة التشغيل لمختلف أنظمة التركيز الشمسي، ويعتبر مجال درجة حرارة اشتغال PTC هو الأنسب لتوليد البخار، بينما الأنظمة الأخرى تكون مناسبة في صهر المعادن والأملاح والتخزين الحراري.



الشكل 2-6: التركيز الهندسي ودرجة حرارة اشتعال مختلف المركبات الشمسية [39]

يوضح الشكل (2-7) تغيرات المردود الحراري بدلالة نسبة الفرق في درجة حرارة المائع إلى شدة تدفق الإشعاع الشمسي، ونلاحظ من البيان استقرار المردود الحراري لـ PTC مع زيادة النسبة $\frac{\Delta T}{I}$ ، بينما على العكس نلاحظ تراجع المردود الحراري مع زيادة هذه النسبة بالنسبة للمركز الخطي (CPC)، ومن أجل المجمع المسطح (FPC) الغير مركز فنلاحظ تراجع المردود الحراري إلى الانعدام.

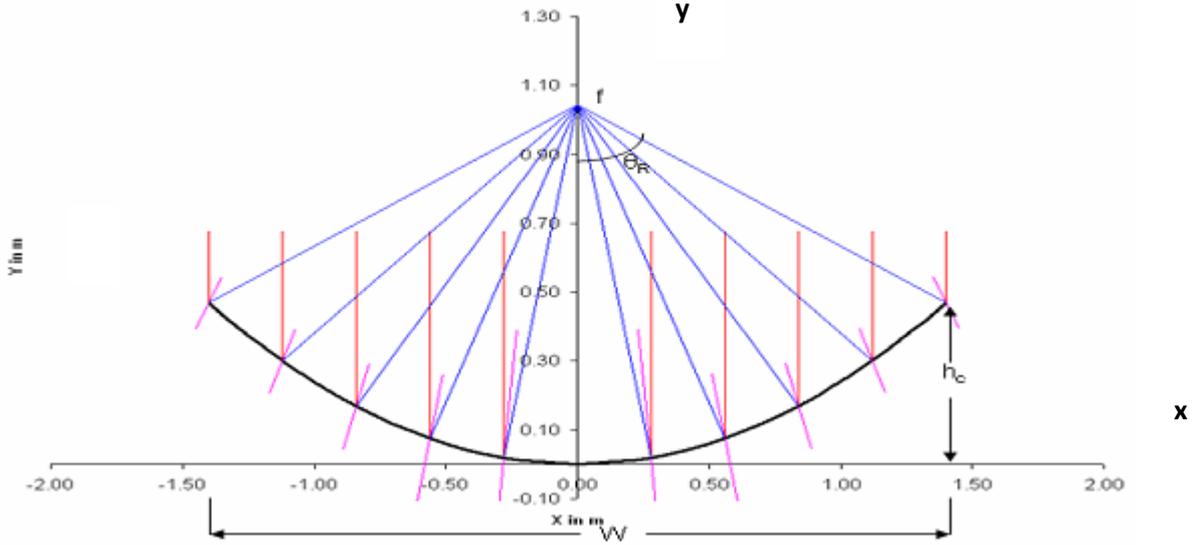


الشكل 2-7: بيان تغيرات المردود الحراري لأنظمة التجميع الشمسي [40]

6 هندسة PTC :

يتكون من عاكس أسطواني ذي مقطع عرضي قطع مكافئ، حيث تنعكس الأشعة الساقطة على المحور الخطي البؤري، وتعطى معادلة الشكل القطع المكافئ بالمعادلة

$$y = \frac{1}{4f} x^2 \quad (2-1)$$



الشكل 2-8: بؤرة السطح القطع مكافئ

حيث f : البعد البؤري، وأبعاد PTC المتمثلة في الطول L والعرض W وارتفاع حافة العاكس h_c ، حيث حافتي العاكس تتميز بالإحداثيات الديكارتية $(x = \pm \frac{W}{2}, y = h_c)$ الشكل (2-8).

وبتعويض إحداثيات الحافة في المعادلة الديكارتية نحصل على عبارة البعد البؤري f بدلالة أبعاد PTC

$$f = \frac{W^2}{16h_c} \quad (2-2)$$

1-6 زاوية الحافة θ_R

هي الزاوية المحصورة بين محور الترتيب - محور تناظر المنحنى القطع مكافئ - (Oy) و الخط الرابط بين نقطة البؤرة وحافة العاكس، كما هو مبين على الشكل (2-9)، وتعطى بالعلاقة:

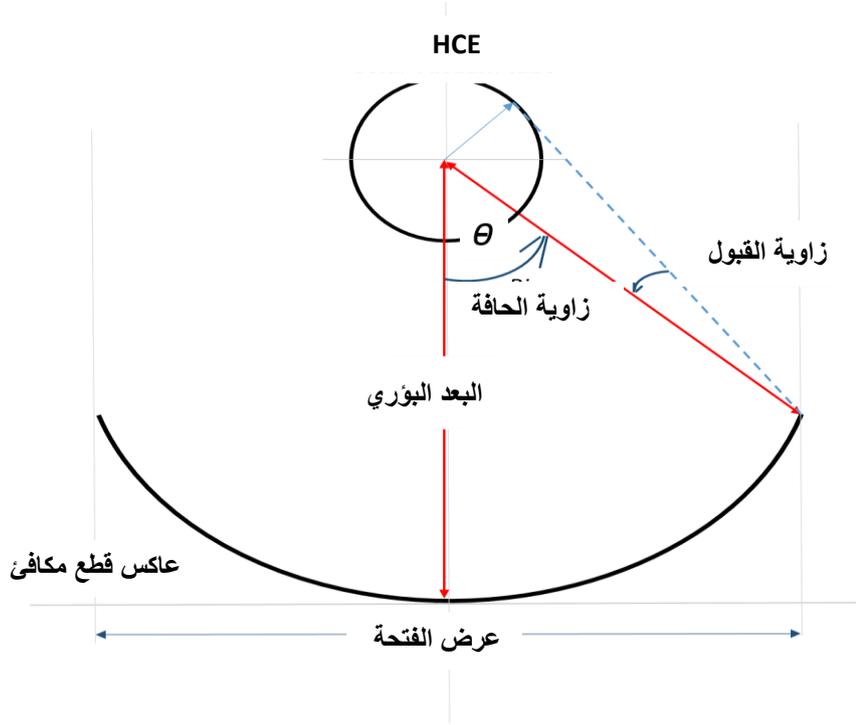
$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{2f}{[(0.5W)^2 + (f-h_c)^2]^{1/2}} - 1 \right] = \cos^{-1} \left[\frac{2f}{R} - 1 \right] \quad (2-3)$$

حيث R نصف قطر حافة العاكس

كما تعطى زاوية الحافة أيضا بالعلاقة :

$$\tan \theta_R = \frac{\frac{W}{f}}{2 - \frac{1}{8} \left(\frac{W}{f}\right)^2} \quad (2 - 4)$$

$$\frac{W}{f} = -\frac{4}{\tan \theta_R} + \sqrt{\frac{16}{\tan^2 \theta_R} + 16} \quad (2 - 5) \quad \text{و منه نجد :}$$

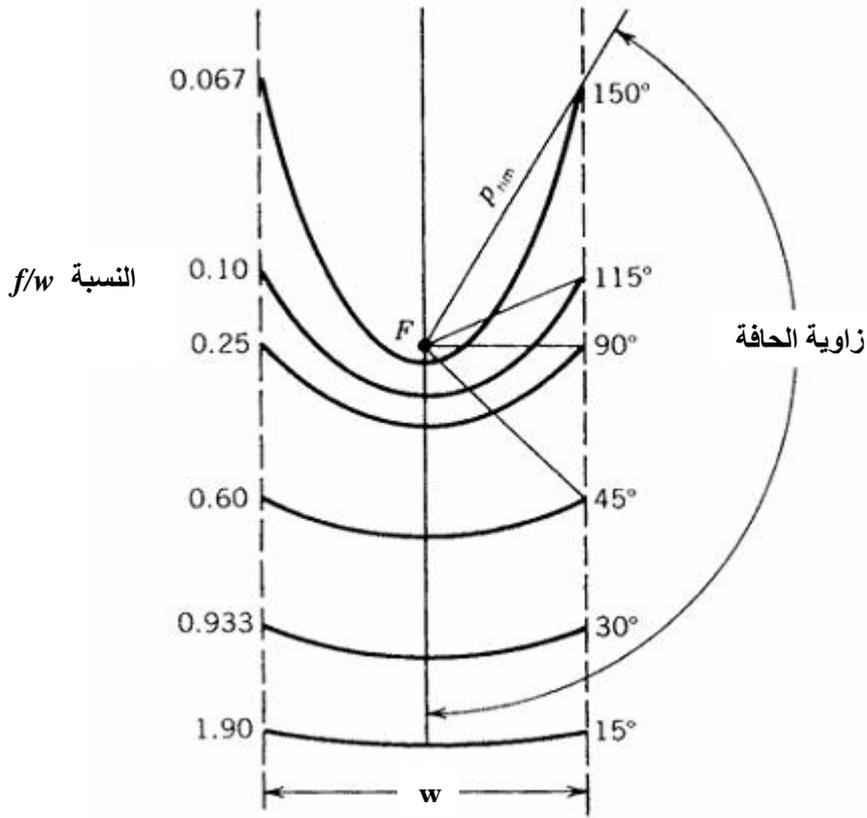


الشكل 2-9: زاوية الحافة و زاوية القبول لـ PTC

ويمكن اختيار زاوية الحافة المناسبة حسب نسبة البعد البؤري f إلى عرض الفتحة w من خلال الشكلين (10-2) و (2-11).

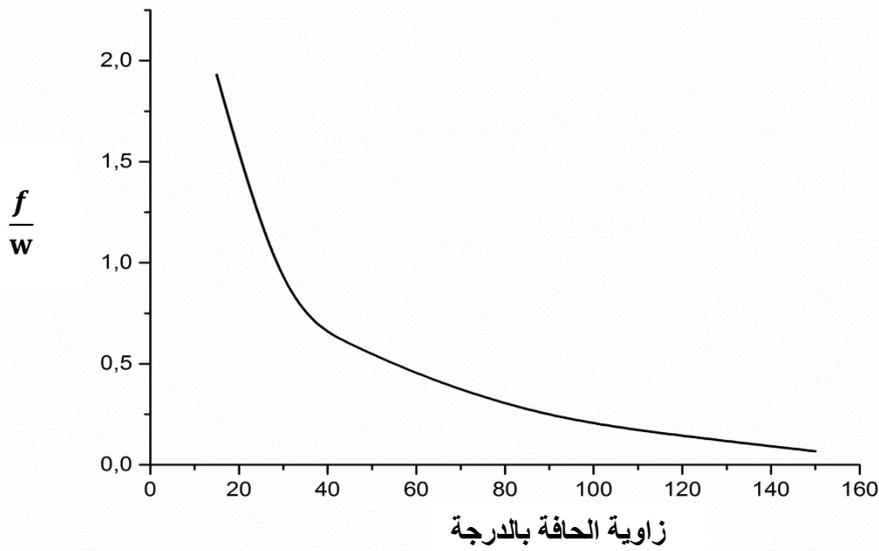
2-6 زاوية القبول

هي الزاوية بين الشعاع المنعكس نحو البؤرة والشعاع المنحرف عنها بحيث يتم استقبال هذا الشعاع على العنصر الجامع للحرارة HCE، وهي أكبر قيمة لإنحراف الشعاع المنعكس تسمح للأنبوب الماص بإعتراضه، كما هو موضح على الشكل (2-9).



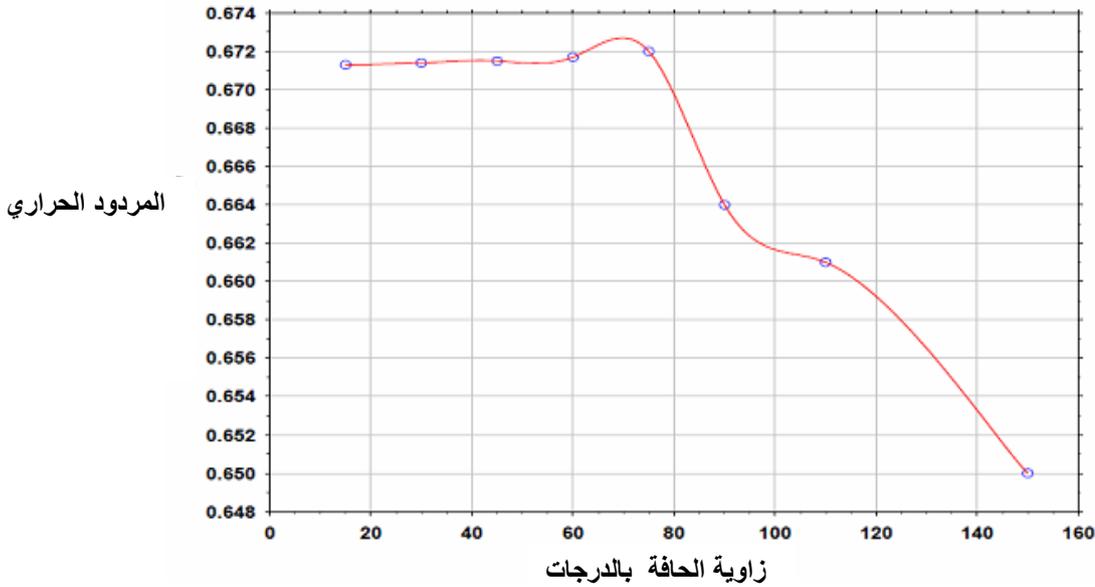
الشكل 2-10: العلاقة بين زاوية الحافة ونسبة البعد البؤري الى عرض الفتحة (f/w)

ويعطى بيان نسبة العرض $\frac{f}{w}$ بدلالة زاوية الحافة :



الشكل 2-11: بيان تغيرات النسبة (f/w) بدلالة زاوية الحافة

يوضح البيان تغيرات (نسبة البعد البؤري إلى عرض الفتحة) بدلالة زاوية الحافة، حيث تزداد زاوية الحافة بتناقص هذه النسبة، ولتحديد شكل وحجم القطع المكافئ بدقة يتطلب تحديد المقادير الثلاث (عرض الفتحة W ، البعد البؤري f ، زاوية الحافة θ_R). في أحواض القطع المكافئ العملية يجب أن تكون زاوية الحافة θ_R ليست كبيرة جدا ولا صغيرة جدا، وهي دلالة مهمة جدا في بناء PTC، حيث لها تأثير على قيمة التركيز الهندسي للإشعاع، كما لزاوية الحافة تأثير على المردود الحراري للمجمع الشمسي، ويوضح الشكل (12-2) أن أعلى قيمة للمردود الحراري توافق زاوية الحافة $\theta_R = 70^\circ$.



الشكل 12-2: بيان تغيرات المردود الحراري بدلالة زاوية الحافة [41]

3-6 مساحة الفتحة A_{ap}

و هي المساحة التي تستقبل الإشعاع الشمسي المباشر و تتعلق بطول المجمع الشمسي L و عرض الفتحة W

$$A_{ap} = W \cdot L \quad (2 - 6)$$

4-6 التركيز الهندسي

التركيز الهندسي هي النسبة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الخط البؤري - بعد التركيز- وشدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على فتحة المجمع، و تمثل نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة السطح المستقبل (الأنبوب الماص) ويعطى بالعلاقة [42].

$$C = \frac{A_{ap}}{A_r} = \frac{(W - Dr_{ex})L}{\pi \cdot Dr_{ex}L} = \frac{(W - Dr_{ex})}{\pi \cdot Dr_{ex}} \quad (2 - 7)$$

5-6 مساحة سطح العاكس A_{ref}

وهي مساحة العاكس الأسطواني القطع مكافئ وتعطى بالعلاقة :

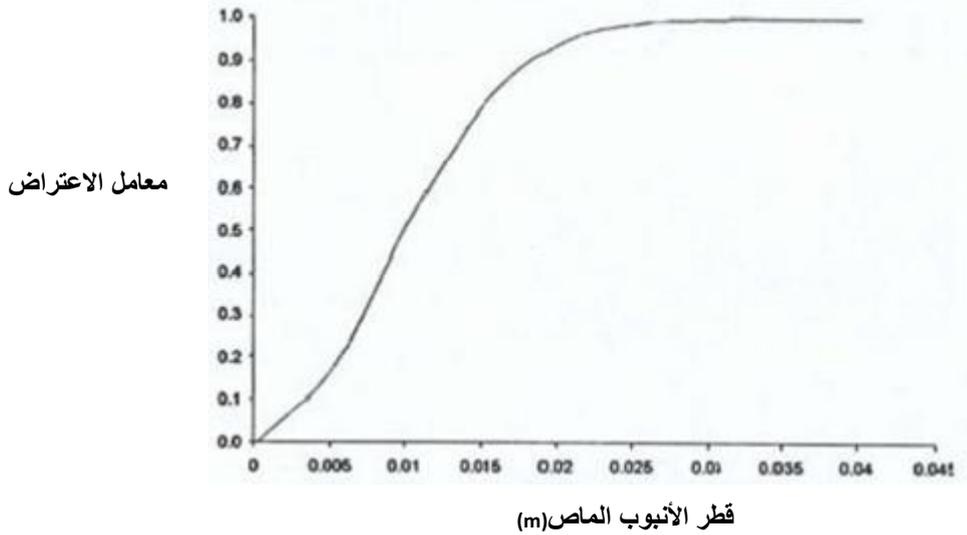
$$A_{ref} = L \cdot S_p \quad (2 - 8)$$

حيث S_p يمثل طول القوس القطع مكافئ من العاكس والذي يعطى بالعلاقة [46] :

$$S_p = \left[\frac{W}{2} \sqrt{\left[\frac{4h_c}{W} \right]^2 + 1} \right] + 2f \ln \left[\frac{4h_c}{W} + \sqrt{\left[\frac{4h_c}{W} \right]^2 + 1} \right] \quad (2 - 9)$$

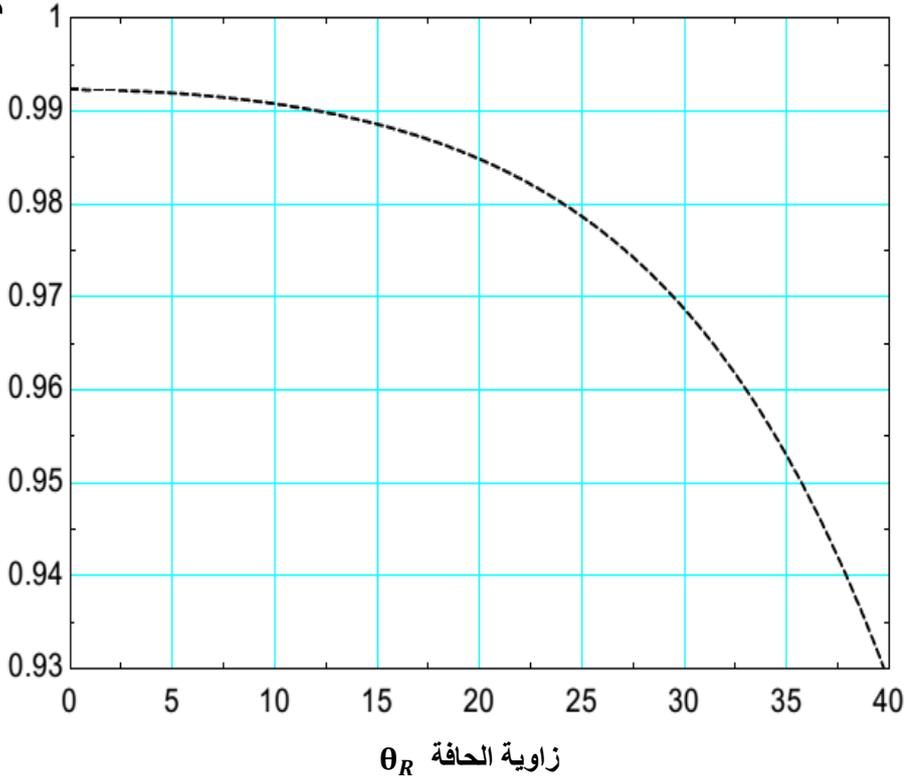
6-6 معامل الاعتراض γ

وهو نسبة شدة الإشعاع الذي يعترضه الأنبوب الماص إلى شدة الإشعاع المنعكس بواسطة جهاز التركيز [43]، ويزداد معامل الاعتراض بازدياد قطر الأنبوب الماص، حيث يبلغ معامل الاعتراض قيمته القصوى من أجل قطر الأنبوب الماص $D_r = 3 \text{ cm}$ (حيث التركيز الهندسي 212) [44]، كما يوضحه الشكل (2-13)، كما يتعلق معامل الاعتراض بزواوية الحافة حيث يتناقص بازدياد زاوية الحافة كما يوضحه الشكل (2-14).



الشكل 2-13: بيان تغيرات معامل الاعتراض بدلالة قطر الأنبوب الماص [44]

معامل الاعتراض γ

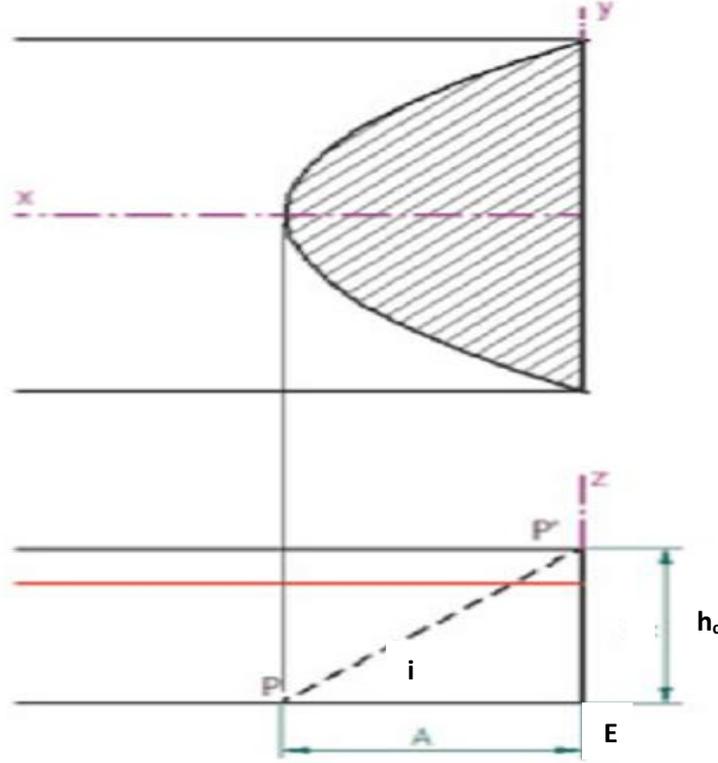


الشكل 2-14: بيان تغيرات معامل الاعتراض بدلالة زاوية الحافة [45]

7-6 الضياعات الضوئية

1-7-6 المساحة الضائعة بفعل التظليل A_b

وهي المساحة الغير فعالة من سطح الفتحة في إحدى نهايتي المجمع الشمسي التي تتعرض إلى التظليل نتيجة زاوية ورود الإشعاع الشمسي كما يبين الشكل (2-15).



الشكل 2-15: مساحة الفتحة الضائعة بفعل التظليل [46]

$$A = h_c \tan i \quad (2 - 10) \quad : \quad \text{من المثلث (P P E)}$$

والتي تمثل مسقط عمق القطع مكافئ على سطح الفتحة نتيجة التظليل

ومنه تكون عبارة المساحة الضائعة بفعل التظليل [47]:

$$A_b = \frac{2}{3} W h_c \tan i \quad (2 - 11)$$

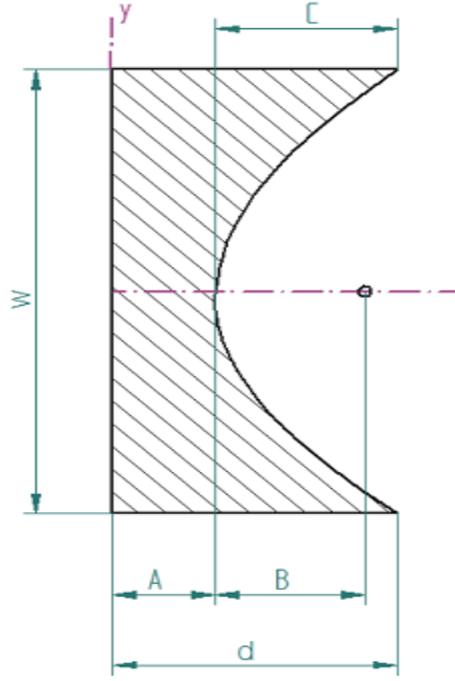
حيث الزاوية i زاوية ورود الإشعاع الشمسي ومن أجل $(i = 0)$ الإشعاع عمودي على السطح الفتحة

$$A_b = 0 \quad \text{فإن (حالة محوري دوران)}$$

2-7-6 المساحة الضائعة بفعل النهايات A_e

وهي المساحة الغير فعالة من الفتحة في إحدى النهايتين التي لا ينعكس الإشعاع الشمسي الساقط منها

على الأنبوب الماص، نتيجة زاوية ورود الإشعاع الشمسي كما يوضح الشكل (2-16).



الشكل 2-16: مساحة الفتحة الضائعة بفعل النهايات [46]

حيث: $A = f * \tan i$ (2 - 12) و $B = \frac{f}{\tan i}$ (2 - 13)

ولدينا مساحة الشكل القطع مكافئ $A_{para} = \frac{2}{3} * (d - f \tan i)$ (2 - 14)

ونحصل على المساحة الضائعة A_e بفعل النهايات بطرح مساحة الشكل القطع مكافئ من مساحة المستطيل وتعطى بالعلاقة [47]:

$$A_e = f \cdot W * \tan i \left(1 + \frac{W^2}{48f^2} \right) \quad (2 - 15)$$

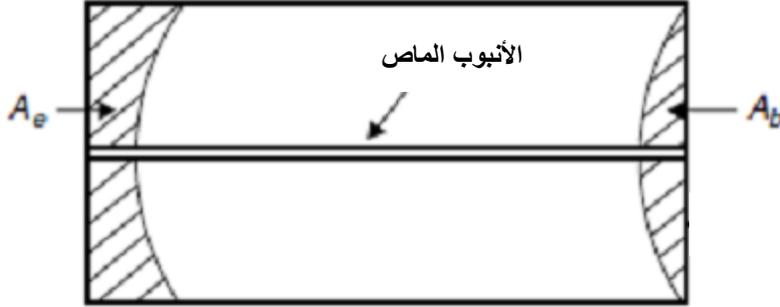
ومن أجل الإشعاع الشمسي عمودي على سطح الفتحة ($i = 0$) فإن $A_e = 0$

3-7-6 معامل التراجع الهندسي f

هو نسبة المساحة الكلية الضائعة بفعل التظليل والنهايات إلى مساحة الفتحة كما يبينه الشكل (2-17)، ويعطى بالعلاقة [47]:

$$A_f = \frac{A_b + A_e}{A_{ap}} \quad (2 - 16)$$

ومن أجل الإشعاع الشمسي عمودي على سطح الفتحة ($i = 0$) فإن $A_f = 0$ مساحة الفتحة



الشكل 2-17: المساحات الضائعة من فتحة (PTC)

7 المردود الضوئي

يتعلق المردود الضوئي للمجمع الشمسي بالخواص الضوئية للمواد (انعكاسية السطح العاكس ρ° ، النفاذية τ لكل من الظرف والسطح الزجاجيين ، الامتصاصية α للأنبوب الماص) كما يتعلق بمعامل الاعتراض γ ومعامل التراجع الهندسي A_f وزاوية ورود للإشعاع الشمسي i وتعطى عبارته [43] ، [48] ، [49]:

$$\eta_{op} = \rho^\circ * \tau_c * \tau_e * \alpha_r * \gamma [1 - A_f * \tan i] \cos i \quad (2 - 17)$$

ومن أجل الإشعاع الشمسي ناظمي على سطح الفتحة ($i=0$) (ويتحقق هذا بصورة مستمرة في حالة التتبع بمحوري دوران) يكون المردود الضوئي

$$\eta_{op(i=0)} = \rho^\circ * \tau_c * \tau_e * \alpha_r * \gamma \quad (2 - 18)$$

8 التتبع الشمسي

نظرا لتغير موقع الشمس بالنسبة لسطح الأرض خلال اليوم (شروق - غروب) و خلال مختلف أيام السنة، لذا فإننا بحاجة إلى التتبع المستمر لتوجيه سطح الفتحة نحو الإشعاع الشمسي للحصول على أقصى تدفق للطاقة الشمسية على فتحة (PTC)، وللتحسين في قيمة المردود الضوئي η_{op} وهناك نوعان رئيسيان للتتبع الشمسي:

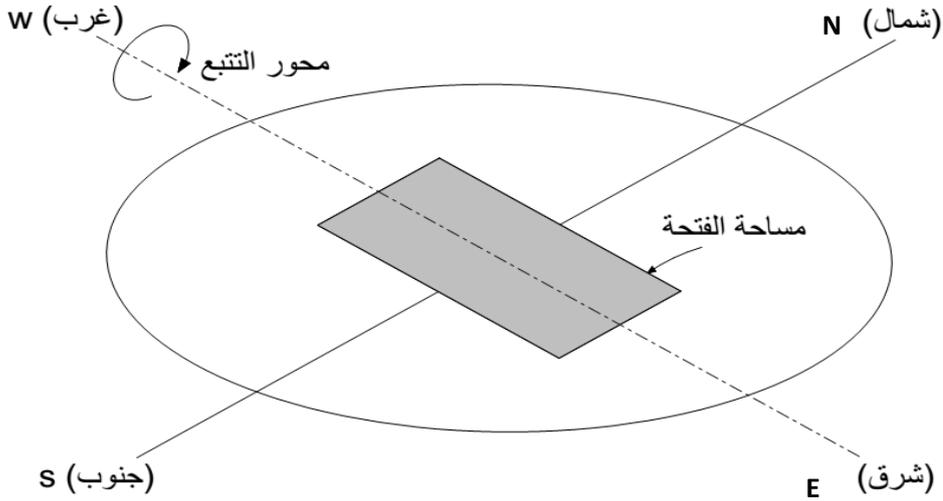
8-1 التتبع الشمسي بمحوري دوران

التتبع بمحوري دوران : في هذه الحالة تتم حركة المجمع أفقيا نحو سمت الشمس ورأسيا نحو ارتفاع الشمس، بحيث تبقى أشعة الشمس دوما ناظمية على سطح الفتحة، ومنه ينعلم معامل التراجع الهندسي A_f

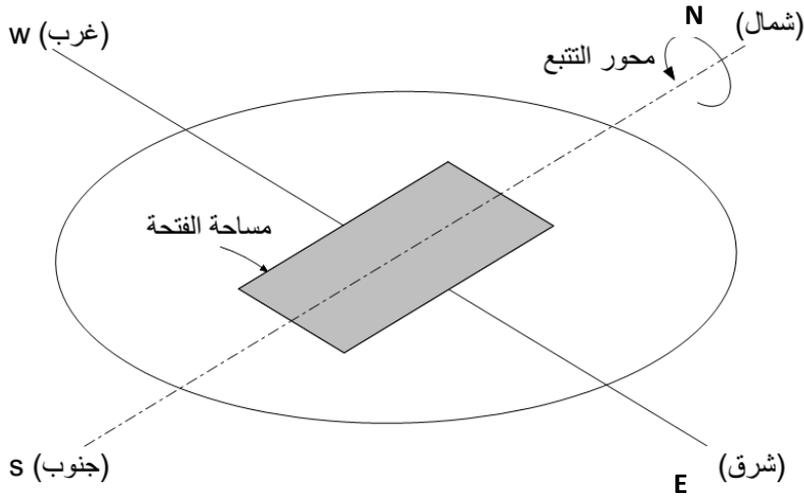
وبالتالي يكون المردود الضوئي η_{op} في قيمته العظمى . لكن هذه الحالة غير مستخدمة في أنظمة (PTC) نظرا لكون تصميم محطات (PTC) يتطلب طول كبير مما يعيق إمكانية الحركة أفقيا، كما أن هذا النوع من التتبع يستهلك طاقة غير مبررة [51]،[50].

2-8- التتبع الشمسي بمحور دوران واحد

في هذه الحالة تتم حركة المجمع رأسيا نحو ارتفاع الشمس بحيث تبقى أشعة الشمس دوما تقع في المستوى الناظمي على سطح الفتحة، وبذلك التحسين في قيمة المردود الضوئي η_{op} وهذه الحالة هي المستعملة في أنظمة (PTC)، لكونها غير مكلفة وهي على نوعين (شمال – جنوب) أو (شرق – غرب) كما يوضحه الشكلين (2-18) و (2-19).

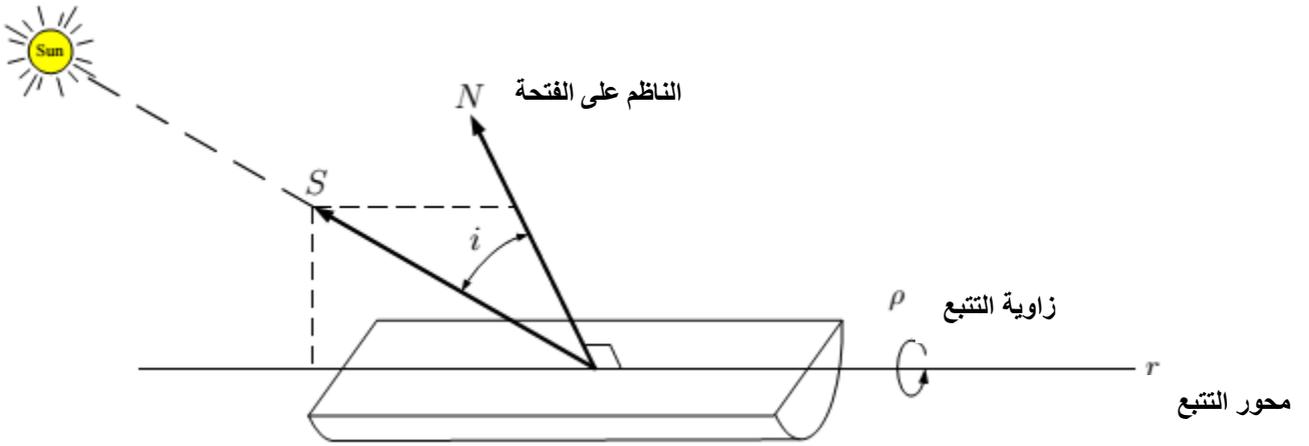


الشكل 2-18: التتبع الشمسي بمحور (شرق – غرب)



الشكل 2-19: التتبع الشمسي بمحور (شمال - جنوب)

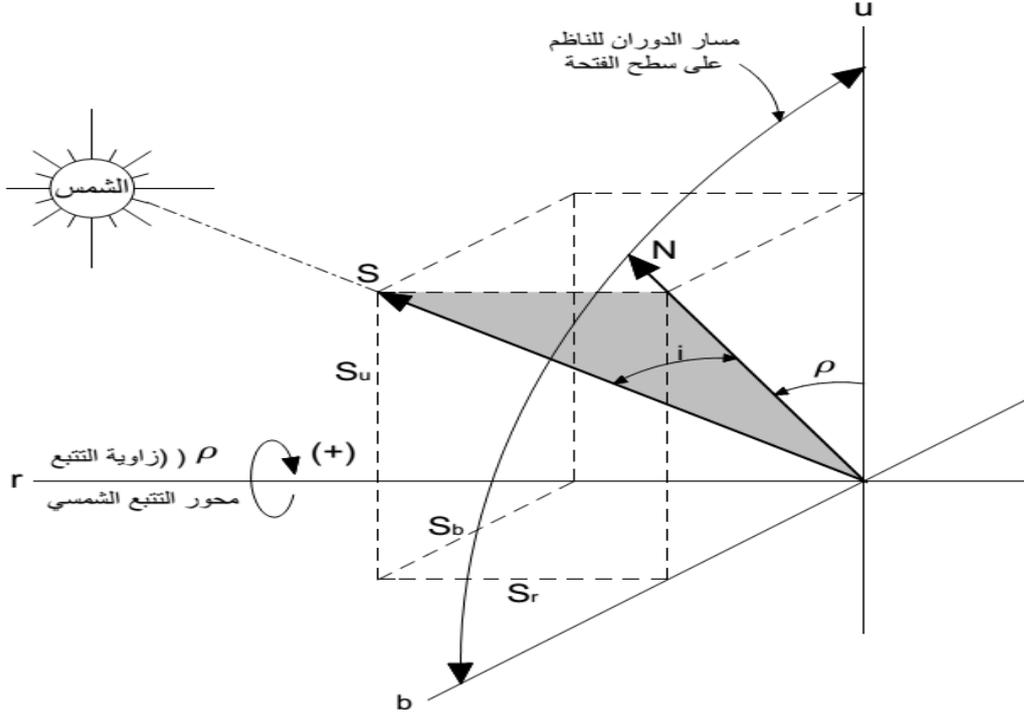
يتم التتبع بحيث تكون أشعة الشمس واقعة في المستوي الناظم على سطح فتحة المجمع والذي يشمل محور التتبع، ومن أجل التعبير عن زاوية التتبع ρ وزاوية الورود i في كل لحظة، من الضروري التحول إلى نظام إحداثيات يكون فيه محور التتبع r أحد المحاور الثلاث كما يبين الشكل (2-20).



الشكل 2-20: زاوية الورود الشمسي على سطح الفتحة

في حالة محور تتبع أفقي (r) ونأخذ (b) المحور الموازي لسطح الأرض والعمودي على (r)، والمحور U هو المحور العمودي على مستواتهما، كما يبينه الشكل (2-21).

نلاحظ أن الناظم على سطح الفتحة N يدور أثناء التتبع في المستوي ($U-b$).



الشكل 2-21: إسقاطات الشعاع الشمسي الوارد على سطح الفتحة في حالة التتبع بمحور دوران واحد

ومن خلال الشكل (2-21) نكتب عبارة كل من زاوية الورد i و زاوية التتبع ρ

$$\tan \rho = -\frac{S_b}{S_u} \quad (2-19)$$

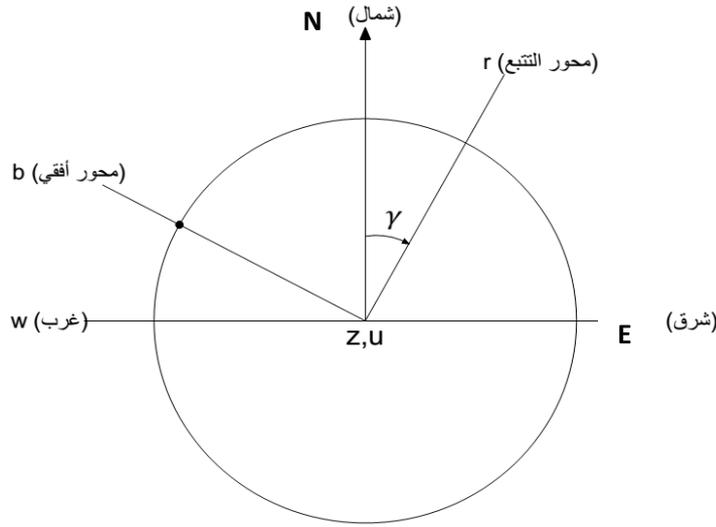
$$\cos i = \sqrt{S_b^2 + S_u^2} \quad (2-20)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - S_r^2} \quad (2-21)$$

في حالة محور التتبع أفقي لكن مائل عن المحور (شمال - جنوب) بزاوية γ

لوصف هذه الحالة نقوم بتدوير المعلم (u) ، (b) ، (r) بزاوية γ بالنسبة للمعلم (z) ، (w) ، (n) بحيث يبقى

المحورين u و z منطبقين كما يبين الشكل (2-22).



الشكل 2-22: التحويل من محور التتبع الى المعلم السطح ارضي

ومن خلال الشكل (2-22) نكتب علاقة التحويل بين المعلمين حيث لايزال محور التتبع أفقي:

$$\begin{vmatrix} S_r \\ S_b \\ S_u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} S'_i \\ S'_j \\ S'_k \end{vmatrix} \quad (2 - 22)$$

ومن ثم نحصل على عبارة زاوية التتبع ρ :

$$\tan \rho = \frac{\sin(\gamma - a)}{\tan h} \quad (2 - 23)$$

وزاوية الورود i بالنسبة للتتبع بمحور دوران واحد أفقي تعطى بالعلاقة :

$$\cos i = \sqrt{1 - \cos^2 h \cos^2(\gamma - a)} \quad (2 - 24)$$

وعندما يكون محور التتبع موجه (شمال - جنوب) أي الزاوية $\gamma = 0$

فإن المعادلات تصبح :

$$\tan \rho = -\frac{\sin a}{\tan h} \quad (2 - 25)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - \cos^2 h \cos^2 a} \quad (2 - 26)$$

وعندما يكون محور التتبع موجه (شرق – غرب) أي $\gamma = 90^\circ$

فإن المعادلات تصبح :

$$\tan \rho = \frac{\cos a}{\tan h} \quad (2 - 27)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - \cos^2 h * \sin^2 a} \quad (2 - 28)$$

3-8 حالة عدم التتبع (تثبيت المجمع الشمسي)

في هذه الحالة تتعلق زاوية الورود i بين الشعاع الشمسي والناظم على سطح فتحة المجمع الشمسي بزوايا (دائرة خط العرض للمنطقة ، زاوية الميلان الشمسي ، زاوية السميت ، زاوية الساعة الشمسية ، زاوية ميلان سطح المجمع عن الأفق β) وتعطى بمعادلة (John et al، 1991) [52]:

$$\begin{aligned} \cos i = & \sin \varphi (\sin \delta * \cos \beta + \cos \delta * \cos a * \cos w * \sin \beta) + \\ & \cos \varphi (\cos \delta * \cos w * \cos \beta - \sin \delta * \sin a * \sin \beta) + \\ & (\cos \delta * \sin a * \sin w * \sin \beta) \end{aligned} \quad (2 - 29)$$

وفي حالة سطح الفتحة أفقية $\beta = 0$ تصبح زاوية الورود

$$\cos i = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos w \quad (2 - 30)$$

ومن أجل توجيه المجمع نحو الجنوب (زاوية سمت المجمع معدومة) $a = 0$ مع ميلان عن الأفق بزاوية β

$$\cos i = \sin(\varphi - \beta) * \sin \delta + \cos(\varphi - \beta) * \cos \delta * \cos \omega \quad (2 - 31)$$

4-8 آليات التتبع للمجمعات الشمسية

يتم التتبع بإحدى الآليات [53]:

1- التحكم اليدوي : دون أي محرك أو أجهزة التحكم اعتمادا على الظل

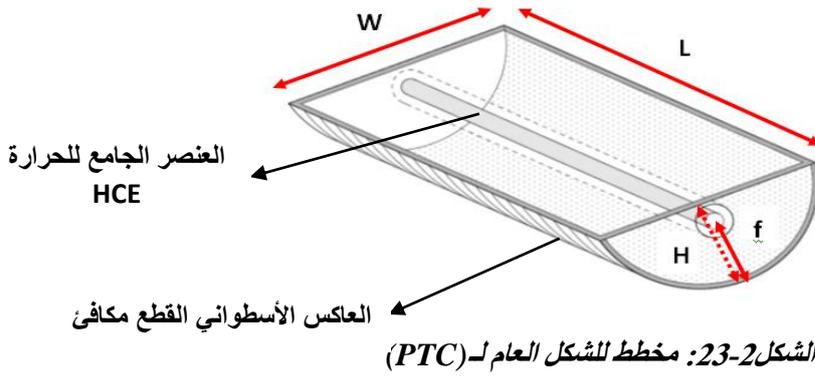
2- المعالجات الدقيقة : باستعمال صيغ رياضية للتنبؤ بحركة الشمس خلال مدة التشميس و اعتمادها من

خلال برنامج لوغارتمي يتم تقييده من خلال دارات إلكترونية

3- وحدات التحكم الكهروضوئي: وذلك من خلال لواقط استشعار لتقدير وضع الشمس

9 مكونات PTC

يتكون نظام PTC من سطح عاكس أسطواني قطع مكافئ يركز الإشعاع الشمسي نحو العنصر الجامع للحرارة (HCE) المثبت بالمحور البؤري، ويسري داخل هذا الأخير مائع ناقل للحرارة (HTF) يكتسب الحرارة المفيدة لينقلها إلى وسيط التخزين. ويملك الأبعاد التالية: الطول L ، عرض الفتحة w ، البعد البؤري f ، الإرتفاع H ، كما هو موضح بالشكل (2-23).



1-9 العاكس

يتكون من عاكس على شكل مرآة زجاجية مفضضة أو الألمنيوم المصقول أو (INOX) حيث يتجاوز معامل الانعكاس (88%) خاصة في مجال الضوء المرئي، و يتم تثبيتها طوليا على شكل اسطواني بحيث يكون مقطعها العرضي قطع مكافئ، ويجب أن تحافظ مادة العاكس على معامل انعكاسها لمدة طويلة تحت مختلف الظروف الجوية والمناخية.

و يتم تثبيتها بدقة من خلال هيكل الدعم الذي يجب أن تتوفر فيه الصلابة و القوة لتحمل الوزن لنظام (PTC)، و للحفاظ على الدقة الهندسية للشكل الأسطواني القطع مكافئ في مختلف الظروف، الرياح والامطار والحرارة. مع خفة الوزن لسهولة حركة التتبع الشمسي.

2-9 العنصر الجامع للحرارة (HCE)

يقع العنصر الجامع للحرارة (HCE) في الخط البؤري للسطح العاكس القطع المكافئ، حيث يتكون من الأنابيب الماص (من النحاس عادة أو الفولاذ المقاوم للصدأ)، ويكون سطحه الخارجي مطلي بطبقة انتقائية لتحسين خواصه الضوئية (امتصاصية عالية للضوء المرئي + معامل انبعاث ضعيف جدا للأشعة تحت الحمراء عند درجات الحرارة العالية للسطح الماص)، وبذلك يتم امتصاص جزء كبير من الإشعاع الشمسي الوارد مع الحد بشكل كبير من الضياع بالإشعاع الحراري المنبعث، وتعطى قيم معامل الامتصاص ومعامل الانبعاث لبعض الطلاءات الانتقائية في الجدول (2-1):

| معامل الانبعاث ϵ | معامل الامتصاص α | نوع الطلاء الانتقائي |
|---------------------------|-------------------------|---|
| 0.10 | 0.93 | الكروم الأسود |
| 0.11 | 0.92 | النيكل الأسود على النيكل المصقول |
| 0.12 | 0.89 | النيكل الأسود على الحديد المجلفن |
| 0.17 | 0.81 | CuO على النيكل |
| 0.27 | 0.90 | C ₃ O ₄ على الفضة |
| 0.11 | 0.93 | CuO على الألمنيوم |
| 0.11 | 0.85 | CuO على أكسيد الألمنيوم |
| 0.12 | 0.96 | Solchrome |
| 0.88 | 0.96 | طلاء أسود |

الجدول (2-1): قيم معامل الامتصاص والانبعاث لبعض الطلاءات الانتقائية [54]

ويحاط الأنبوب الماص بظرف زجاجي - عادة زجاج borosilicate أو Pyrex - (الذي يحافظ على متانته ونفاذيته تحت درجات حرارة عالية) مع طلاء مضاد للانعكاس لزيادة النفاذية و التقليل من خسائر الانعكاس، ويكون الظرف الزجاجي مفرغ من الهواء لحماية السطح الانتقائي للأنبوب الماص من التدهور والتأكسد، كما يقلل من الضياع الحراري (بالحمل والتوصيل)، حيث عندما يكون الضغط داخل الفراغ في حدود 0.01 Pa فإن في هذا المستوى من الضغط يكون انتقال الحرارة الضائعة بين سطح الأنبوب الماص الساخن والظرف الزجاجي البارد عبر الإشعاع فقط الشكل (2-24).



الشكل 2-24: العنصر الجامع للحرارة (HCE)

3-9 المانع الناقل للحرارة HTF

الموائع الأكثر شيوعاً هي الماء، الزيوت الهيدروكربونية، الجليكول، الهواء، الأملاح المنصهرة. وأثناء اختيار المانع الناقل للحرارة (HTF) يجب مراعاة المعايير التالية: معامل التمدد منخفض، معامل اللزوجة منخفض، السعة الحرارية مرتفعة، نقطة التجمد منخفضة و الغليان مرتفعة.

الهواء : غير سام وغير مكلف ولا يتجمد ولا يغلي وليس له تآكل، ومع ذلك فإن له سعة حرارية منخفضة جدا كما أنه يتسرب من المجاري.

الماء : غير سام وغير مكلف لديه سعة حرارية عالية ولزوجة منخفضة جدا مما يجعله سهل الضخ، لكن السيئ أن الماء لديه نقطة غليان منخفضة نسبيا ونقطة تجمد عالية كما يمكن أن يكون له تآكل إن لم يتم الحفاظ على درجة حموضته في المستوى المحايد ($PH \approx 7$).

الزيوت الهيدروكربونية : لها نقطة تجمد منخفضة ونقطة غليان مرتفعة، لكن لديها لزوجة عالية مما يتطلب المزيد من الطاقة لضخها ولها سعة حرارية منخفضة مقارنة بالماء.

تستخدم الزيوت الحرارية كمائع ناقل للحرارة (HTF) لإنتاج البخار بشكل غير مباشرة بواسطة المبادلات الحرارية، حيث تتكون الزيوت الإصطناعية الشائعة الاستعمال من مخاليط من ثنائي الفينيل وأكاسيد ثنائي الفينيل، والتي تتميز بالاستقرار الحراري والمحافظة على حالتها السائلة حتى في درجات حرارة تصل إلى $400^{\circ}C$ ، بينما من أهم عيوبها التكلفة والقابلية للاشتعال والتسمم وملوثة للبيئة.

و يتم اختيار المائع (HTF) حسب درجة الحرارة المطلوبة و خيارات التخزين الحراري، حيث يتم اختيار الزيوت الحرارية عند درجات الحرارة الأعلى من $200^{\circ}C$ لأن استخدام الماء في هذه الدرجة يؤدي إلى ضغوط عالية داخل الأنبوب الماص ينتج عنها زيادة في التكلفة.

10 التخزين الحراري

تحتاج كل أنظمة التركيز الشمسي للتخزين الحراري، بهدف التزود بالطاقة الحرارية عندما يكون الإشعاع الشمسي غير متاح (الليل، الغيوم)

و يمكن تصنيف الطاقة الحرارية المخزنة حسب آلية التخزين إلى :

1-10 تخزين على شكل حرارة محسوسة (Sensitive Heat) : وهي التي تؤدي إلى ارتفاع في درجة الحرارة لوسائط التخزين الصلبة و السائلة المستخدمة في نظام التخزين، والتي تكون عادة الماء أو الحصى في حالة درجات الحرارة المنخفضة، وفي حالة درجات الحرارة العالية تستخدم الزيوت الهيدروكربونية [12] ، [55].

2-10 تخزين على شكل حرارة كامنة (Latent Heat) : وهي التي تؤدي إلى التغير الطوري لوسيط التخزين المستخدم – عادة من الحالة الصلبة للسائلة – بينما التحول (سائل – غاز) و التحول (صلب – غاز) يتطلب أكبر قدر ممكن من الطاقة للتخزين، ومن بين الوسائط الشائعة الاستعمال الملح المنصهر.

10-3 التخزين الكيميائي للحرارة (Chemical Heat) : عن طريق عكس اتجاه التفاعلات الكيميائية الحرارية (من الاتجاه الماص للحرارة أثناء التخزين، إلى الاتجاه الناشر للحرارة أثناء الاسترداد)

و يعتبر التخزين على شكل حرارة محسوسة في السوائل أبسط و أرخص أنظمة التخزين و هو الأكثر استخداما في محطات الطاقة الشمسية الحرارية، و يتم التخزين الحراري للسائل في خزان واحد حيث يكون السائل الساخن في الأعلى و البارد في الأسفل بسبب اختلاف الكثافة، أو في خزائين أحدهما للسوائل الباردة القادمة من مولدات البخار و الآخر للسوائل الساخنة القادمة من الحقل الشمسي.

وتختلف هذه الطرق حسب كمية الحرارة التي يمكن تخزينها لكل وحدة كتلة من وسيط التخزين، وكذا وسائط التخزين المستخدمة، ودرجات حرارة التشغيل.

الخاتمة

تعتبر أنظمة PTC من أهم التكنولوجيات في بناء محطات كهرباء الطاقة الشمسية المركزة CSP، والتي تعتبر البديل عن توليد الكهرباء بالطاقة الأحفورية وما يمثله هذا البديل من تحدى عالمي قصد وقف التدهور البيئي وما انجر عنه من انعكاسات وخيمة على صحة الانسان والتوازن الايكولوجي للبيئة، ولذلك اهتمت الكثير من الدراسات على مر الزمن وإلى الآن بالتحسين من الفعالية والمردود الضوئي والحراري لـ PTC، بالتقليل من الضياعات الضوئية والحرارية، من خلال إختيار التصميم والانجاز المناسب لتفادي العيوب الهندسية، واختيار المواد ذات الخواص الضوئية والحرارية الأجود مع استحداث آليات للعزل الحراري، وكل هذا مترامن مع التقليل من تكلفة الانجاز والصيانة، وهذا ما سنتعرف عليه في الفصل القادم.

الفصل الثالث

الدراسة التجريبية

الفصل الثالث: الدراسة التجريبية

مقدمة

من أجل اختبار أداء وفعالية المجمع الشمسي الأسطواني القطع مكافئ PTC ذي الغطاء الزجاجي، بقياس مردوده الحراري تجريبيا، فإننا بحاجة إلى تصميم وإنجاز نموذج لهذا المجمع بأبعاد محددة، وسنتعرف في هذا الفصل على طريقة التصميم والانجاز، وكذا اختيار المواد وخواصها الفيزيائية، وذلك بناءً على دراسة مرجعية تسرد أهم النتائج والتحسينات على PTC التي توصلت لها مختلف الدراسات السابقة، كما سنتعرف على طريقة العمل المتبعة للحصول على النتائج التجريبية.

1 دراسة مرجعية توثيقية لتصميم وإنجاز PTC

1960 تم تطوير تقنية لتحسين تصميم مراكز التجميع الشمسي، من خلال دراسة مفصلة للطاقة التي يتم تركيزها بواسطة عاكس أسطواني قطع مكافئ مع أنبوب ماص بأقطار مختلفة، من قبل (G.Lof) 1962، وبينت النتائج أن الزيادة في قطر الأنبوب الماص تؤدي إلى زيادة في الخسائر الحرارية من جهة، لكن تؤدي إلى زيادة في معامل الاعتراض (نسبة الإشعاع الذي يعترضه الأنبوب الماص إلى الإشعاع المنعكس على سطح العاكس) من جهة ثانية [56].

1963 قام G.Lof [57] بتحليل للعوامل والأساليب التي ينطوي عليها التصميم الأمثل، و توصل إلى مجموعة من العلاقات البيانية التي يمكن استخدامها في تصميم أنظمة التركيز الشمسي من أجل الحصول على أقصى قدر من الكفاءة و الحد الأدنى من الاعتماد على نسبة العرض، (عرض المستقبل إلى عرض الفتحة) $\frac{Dr}{W}$ وتظهر نتائج الدراسة أن الحد الأقصى للطاقة المستقبلية ولمعامل الاعتراض يوافق نسبة العرض (0,02 – 0,025) والتركيز (40 – 50).

1976 تمت دراسة تأثير هندسة المستقبل على أقصى تركيز نظريا، من قبل Cherng و Edward [58] وأظهرت النتائج أن المستقبل الأمثل هو الأسطواني الإهليلجي المسطح، حيث يحقق أقصى تركيز من أجل نفس فتحة الاستقبال للإشعاع الشمسي.

1976 قام Parmpal و Cheema [59] بإجراء تحليل لأداء الـ PTC فيما يتعلق بكمية الطاقة التي تم جمعها و الاستفادة المثلى من مختلف العوامل، حيث أن استخدام بعد عرض الفتحة لـ PTC أكثر منطقية من استخدام البعد البؤري.

1977 Ramsey و Gupta [60] قام بتقييم أداء نظام PTC باستخدام 3 أنابيب امتصاص مختلفة:

- أنبوب مطلي بالأسود مصمم للأشغال في درجة حرارة المحيط.

- أنبوب حراري يحتوي على طلاء امتصاص شمسي انتقائي على سطحه.
- أنبوب حراري سطحه مطلي بطبقة سوداء غير انتقائية.

تبلغ ذروة المردود عند غياب الخسائر الحرارية لكل حوالي 62% ، و من أجل درجات الحرارة المرتفعة (300°C) أدت الضياعات الحرارية إلى خفض ذروة المردود إلى 50% و 30% على الترتيب، بالنسبة للحالتين المطلي بطبقة انتقائية والمطلي بطبقة سوداء غير انتقائية.

1982 درس Clark [61] العوامل التصميمية الرئيسية التي تؤثر على أداء PTC، مثل عوامل الانعكاسية لنظام العاكس و معامل الاعتراض (بين العاكس والأنبوب الماص)، وزاوية الورود والضياعات بفعل النهايات و فعل أخطاء التتبع الشمسي وانحراف الأنبوب الماص عن المحور البؤري.

1983 درس Jeter [47] التأثيرات الهندسية على أداء PTC، و ركز على فعل النهايات وأظهرت النتائج أن فعل النهايات يزداد بشكل خاص في PTC ذي الطول المحدود (القصير).

الشركة الأمريكية الدولية المحدودة (LUZ) التي تأسست في 1979 قامت بتصميم 3 أجيال من (PTC) LS-1 و LS-2 و LS-3 المثبتة في محطات نظام توليد الكهرباء الشمسية (SEGS) عرض الفتحة في LS-2 ضعف ذلك في LS-1 و عرض الفتحة في LS-3 هو 14% أوسع من LS-2 مع تضاعف لطول المجمع [62]

1994 طور Thomas [63] هيكل PTC لدراسة الانحراف والخصائص الضوئية تحت ظروف الحمل المختلفة، يوفر الاختبار المعلومات الكافية عن تأثير حمولة الرياح على المردود الضوئي لـ PTC.

1998 Odeh و آخرون [64] قاموا بتحليل أداء PTC باستعمال الزيوت الاصطناعية والماء كمانع ناقل للحرارة (HTF)، وقد تم تطوير صيغ مردود الـ PTC مع أي مائع اشتغال على أساس درجة حرارة سطح الأنبوب الماص، وكذا تم وصف الخسائر الحرارية من خلال درجة حرارة الأنبوب الماص وشدة الإشعاع الشمسي و سرعة الرياح و معاملي الامتصاص والانبعث.

2002 قام مجموعة من الباحثين الأوربيين Rafael وآخرين [65] بوضع تصميم جديد من PTC يسمى (Euro Trough)، من خلال تطوير جيل من المركزات الشمسية مع خفض التكلفة، ثم تصميم و تطوير نوعين من المركزات (ET 100 & ET 150) لاستخدامه في توليد البخار المطلوب لتطبيقات توليد الطاقة الكهربائية الحرارية الشمسية، كما في نظام توليد الطاقة الكهربائية في ولاية كاليفورنيا. وتم إعادة تأهيل هذه المحطة خلال (2000- 2002) باستخدام نفس مواد التصنيع حيث يكون النموذج (ET 150) بطول (148.5 m) ومساحة (817.5 m²)، أما النموذج (ET 100) بطول (99.5 m) ومساحة (545 m²).

2003 قام Balbir و Fuaziah [66] بالتحقيق في مردود الـ PTC، باستخدام البيانات المعالجة لنموذج المحاكاة، أظهرت النتائج أن هناك زيادة في الضياعات الحرارية مع زيادة مساحة الفتحة بينما هناك تقليل للضياعات الضوئية مع زيادة مساحة الفتحة.

2005 Thomas و Michael [67] طوروا PTC إلى وحدات تجارية صغيرة الحجم لاستخدامها في برنامج الطاقة الشمسية الحرارية في جنوب إفريقيا، حيث يبلغ طول المجمع (5 m) وعرض الفتحة (1.5 m) وزاوية الحافة (82°). وتم تصنيع أنبوب استقبال للاختبار والمقارنة الأول محاط بظرف زجاجي مفرغ من الهواء والثاني غير محاط فكان مردود الذروة 55,2% و 53,8% في الحالة الأولى والثانية على الترتيب.

2005 Umamaheswaran [68] قدمت دراسة مفصلة لتصميم و اختبار وتحليل PTC لتطبيقات تقطير المياه للغرض المحلي، حيث يتم تسخين المياه بواسطة الإشعاع الشمسي ويتم توليد البخار مباشرة في الأنبوب الماص.

2006 Valan و Samuel [69] طوروا PTC جديد لتوليد المياه الساخنة حيث يتم رفع درجة حرارة خروج المياه من 36° إلى 73° .

2008 Dirk وآخرون [70] قاموا بالتحقق من PTC يسمى (soliten PTC -1800) لتحلية المياه والتبريد وتوليد الكهرباء، وأظهرت النتائج أن الضياعات الحرارية منخفضة نسبياً، بينما هناك ضياعات ضوئية معتبرة ويتم تشغيله بشكل ملائم في درجات الحرارة ($150^\circ\text{C} - 190^\circ\text{C}$).

2012 Daniel H يصل تركيز الإشعاع الشمسي في نظام الـ (PTC) إلى حوالي 80 مرة و تصل درجة حرارة المائع الناقل للحرارة لحدود (400°C).

2014 Mojedul.I [9] تعتبر محطات PTC الأكثر عملية في توليد البخار المباشر ضمن محطات توليد الطاقة الشمسية الحرارية، ولها القدرة على توفير الطاقة الحرارية في مجال واسع من درجات الحرارة دون تدني كبير للمردود الحراري.

2016 Arnold [62] أظهرت الاختبارات التي أجراها علماء في الولايات المتحدة في قسم المخبر الوطني للطاقات المتجددة (NREL)، أن محطات (PTC) لإنتاج الطاقة تلبى مستوى عالي من الكفاءة، حيث يحقق البخار المنتج درجات حرارة أعلى من (350°C) و مردود حراري يبلغ (73%) خلال ساعات التشميس، وتنتج طاقة في حدود 1KWh لكل 1m^2 .

XUCM [9] نسبة الضياع الحراري عند نهايات (PTC) تكون عالية نسبياً، ولكن يمكن تعويض هذا الضياع من خلال وضع مرآة مستوية في النهاية و تمديد الأنبوب الماص للحرارة وكذلك بإمالة فتحة (PTC).

Ming Li [9] حول خط الاستواء التتبع بمحور شمال جنوب يكون الضياع سبب النهايات هو الأصغر على طول العام من لمحور شرق غرب، ومع زيادة خط العرض فإن المحور (ش ج) يصبح الضياع سبب النهايات تدريجياً كبير في فصل الشتاء و صغير في فصل الصيف و مع زيادة زاوية الانحراف يصبح الضياع صغير في الشتاء و كبير في الصيف المحور (ش ج).

Atul Sagade 2013 [71] يحاط الأنبوب الماص بظرف زجاجي للحد من الضياعات الحرارية حيث لاحظ بوجود الظرف الزجاجي فإن درجة حرارة خروج الماء زادت بنسبة 29% وكذلك زيادة الفرق في درجة حرارة خروج الماء ب 68%.

ولزيادة العزل الحراري للأنبوب الماص، يتم تفريغ الظرف الزجاجي من الهواء، لتفادي الضياعات بالحمل الحراري. حيث أفادت الدراسة (M.J. Brooks) [72] 2006 أن التفريغ للظرف الزجاجي من الهواء لنظام (PTC) أعطى مردود 55.2% ، بينما في حالة عدم التفريغ فكان المردود 53.8%.

L. Sargent 2003 [73] عملية تفريغ الظرف من الهواء مكلفة وصعبة المحافظة عليها، حيث ترفع عملية التفريغ من الهواء التكلفة في حدود 20% من التكلفة الكلية لنظام (PTC) .

Singh S.K [74] بتصميم وتصنيع PTC دون ظرف زجاجي بمساحة فتحة 1.44 m^2 فكان المردود 18،23% بإستعمال أنبوب ماص من الألمنيوم، في حين بلغ المردود 20،25% بإستعمال أنبوب ماص من النحاس.

خلال مارس 2001 إلى أوت 2003 Hosoya وآخرون [75] أجرى سلسلة من الإختبارات لحمل الرياح على نظام PTC، وشملت حمل الذروة والضغط الموضعي على وجه PTC، وحقق في تأثير موقع PTC على حمل الرياح .

W. Chakroun 2004 [76] يمكن تخفيض الضياع الحراري بالإشعاع بشكل فعال، من خلال طلاء سطح الأنبوب الماص بطبقة انتقائية.

H. Panchal Ramchandra [77] باستخدام نوعين من العاكس المرآة ورقائق الألمنيوم، ولوحظ أن درجة الحرارة القصوى ومردود PTC باستخدام العاكس (مرآة) هو 14،22% و 18.98% على التوالي أكثر من حالة استخدام رقائق الألمنيوم.

إن الإشعاع الشمسي المباشر يحتاج إلى نظام تتبع شمسي لزيادة المردود [4]، وتعتمد تقنية التتبع على دوران العاكس وفق محور أو محوري دوران بصورة مستمرة، ومن خلال مقارنة مختلف طرق التتبع أظهرت الدراسة Y. Marif 2014، أنه للحد من تكلفة النظام فإن المحور القطبي (شرق - غرب) أو المحور الأفقي (شرق - غرب) مع محور تتبع واحد هو الأكثر ملائمة على طول السنة في منطقة ورقلة، حيث يتراوح المردود الحراري بين 69،73 و 72،24 [78].

من أجل المحافظة على نظافة العاكس من الأتربة والغبار (بسبب الرياح)، والتي تؤدي إلى تراجع كبير في قيمة المردود حسب الدراسة C. Victor 2014 [79]. لذا فإننا اقترحنا إضافة غطاء زجاجي مسطح يثبت على فتحة المجمع PTC

2 تصميم المجمع الشمسي الأسطواني القطع مكافئ (PTC)

إعتمدنا في هذا العمل التجريبي والمتمثل في تصميم وتصنيع نموذج PTC لغرض التحويل الحراري للإشعاع الشمس المباشر، للاستفادة منه في مختلف التطبيقات وفقا للظروف الفلكية والجوية لمدينة ورقلة على المنهجية التالية :

- 1- بحث مرجعي حول التصميم المناسب والإنجاز الأقل تكلفة لـ PTC موضوع الدراسة.
 - 2- التصميم.
 - 3- إختيار المواد المناسبة على أساس الجودة في الخواص الفيزيائية والتكلفة والتوفر في السوق المحلي.
 - 4 - إنجاز وتصنيع PTC بغطاء زجاجي مسطح.
 - 5- تقويم وإعادة إختيار المواد.
 - 6- اختبار التجريب ثم بدأ تسجيل نتائج القياس التجريبية ثم معالجتها بيانيا من خلال برنامج Origin.
- وقد تم تصميم وتنفيذ واختبار نظام PTC بمخبر LENREZA بجامعة قاصدي مرياح ورقلة.

1-2 وصف نموذج PTC المنجز

بعد استكشاف ومعاينة مختلف المواد المطلوبة للتصنيع والمتواجدة في السوق المحلي، تم اختبار مدى صلاحية وفعالية هذه المواد، ومن ثم قمنا بتصنيع نموذج PTC، والذي يتكون من الوحدة الميكانيكية (إطار الدعم المعدني)، و قاعدة التثبيت على سطح الأرض، و السطح العاكس الاسطواني القطع مكافئ، وعنصر تجميع الحرارة HCE، و نظام التتبع الشمسي والتحكم في التوجيه.

وتعطى المقادير العددية لـ PTC المنجز في الجدول (1-3) التالي:

| المقدار | القيمة |
|-------------------------|---------------------|
| الطول L | 1.80 m |
| عرض الفتحة W | 1.60 m |
| البعد البؤري f | 0.20 m |
| الارتفاع h_c | 0.80 m |
| مساحة الفتحة A_{ap} | 2.88 m ² |
| التركيز الهندسي C | 42.1 |
| زاوية الحافة θ_R | 126.8° |
| قطر الأنبوب الماص D_r | 25 mm |
| قطر الظرف الزجاجي D_e | 51 mm |
| سمك الغطاء الزجاجي d | 2.5 mm |

الجدول 3-1: المقادير العددية لـ PTC المنجز

1-1-2 الوحدة الميكانيكية (إطار الدعم المعدني)

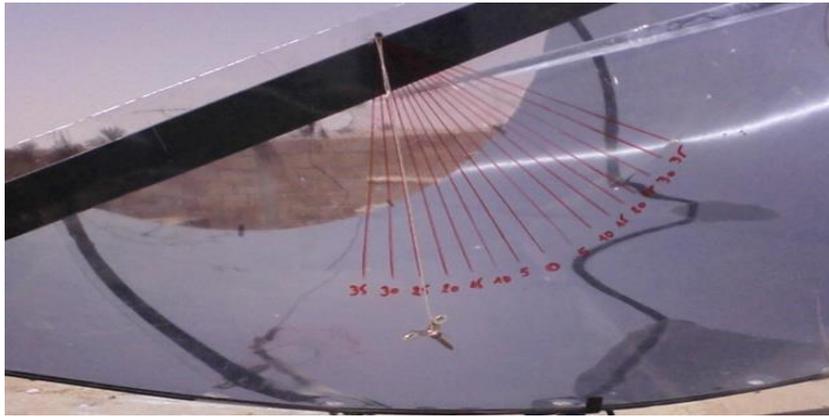
يتكون من قاعدة ثابتة مكونة من أنابيب معدنية ذات قوة ومتانة تسمح بتحمل وزن مكونات المجمع، وكذا مقاومة حمل الرياح، يتم تثبيت على هذه القاعدة صفائح العاكس بشكل اسطواني قطع مكافئ، كما يوضحه الشكل (3-1).



الشكل 3-1: قاعدة التثبيت الأرضية لـ (PTC)

2-1-2 قاعدة التثبيت الأرضية وآلية توجيه المجمع

تتكون من 2 أرجل (أنبوب معدني بقطر 7cm وارتفاع 130cm)، تتصل كل رجل بالأرض من خلال قاعدة مزودة بعجلتين حرة الحركة أفقياً في جميع الاتجاهات، تسمح لنا بتثبيت المجمع (شرق – غرب)، كما يتم وضع إطار الدعم المعدني على قاعدة التثبيت الأرضية بكيفية تسمح له بحرية الدوران شاقولياً، لتتبع ارتفاع الشمس على المحور (شرق – غرب)، مع تثبيت وضعية الميلان نحو الجنوب من خلال سلاسل معدنية خلفية، ويمكننا قراءة زاوية الميلان بواسطة نواس بسيط، كما هو موضح على الشكل (2-3).



الشكل 3-2: زاوية التتبع الشمسي (زاوية ارتفاع المجمع)

3-1-2 العنصر الجامع للحرارة HCE

يتكون من أنبوب نحاسي تم طلاء سطحه بالكروم الأسود غير اللامع، ومحاط بظرف زجاجي اسطواني غير مفرغ من الهواء، يتم تثبيته في المحور البؤري للعاكس الشكل (3-3).



الشكل 3-3: المجمع (PTC) بدون غطاء زجاجي مسطح

2-2 التصميم والإنجاز

تم التصميم من خلال رسم الشكل القطع المكافئ الموافق للمعادلة الديكارتية

$$y = 1.25 x^2 \quad (3 - 2) \quad \text{والتي توافق المعادلة:} \quad y = \frac{1}{4f} x^2 \quad (3 - 1)$$

على صفائح البولسترين، ومن ثم نقل الرسم على لوح خشبي رقيق، بعدها تم إعداد الصفائح الحديدية (هيكل الدعم) من خلال طيها وفقا لهذا المنحنى ثم تلحيمها مع هيكل الدعم.

تم إعداد العاكس من خلال لوحين من الفولاذ المقاوم للصدأ (inox) (1 m x 2 m)، تطوى صفيحتي (inox) عرضيا لتستند على صفائح الدعم الحديدية، مع التأكد من سلامة الشكل القطع المكافئ من خلال المطابقة مع اللوح الخشبي الرقيق المعد لذلك.

ثم قمنا بانجاز غطاء زجاجي لفتحة المجمع (1.8 m x 1.6 m) مزود بإطار ألومنيوم، ويتم تثبيته على الفتحة بواسطة كمانشات تثبيت، بغرض زيادة العزل الحراري للأنبوب الماص من جهة وكذا المحافظة على الخواص الضوئية للعاكس والعنصر الجامع للحرارة من الترددي بسبب الأتربة والغبار والرطوبة من جهة ثانية ، كما يوضح الشكل (3-4).



الشكل 3-4: المجمع (PTC) بوجود غطاء زجاجي مسطح

3-2 العمل التجريبي وأخذ القياسات

يتم تغذية مدخل الأنبوب الماص بالماء بتدفقات كتلية مختلفة، وفي كل مرة نسجل درجات حرارة كل من الجو المحيط ، الماء في مدخل الأنبوب الماص، الماء في مخرج الأنبوب الماص، بواسطة مقياس حراري رقمي (thermocouple). وشدة تدفق الإشعاع الشمسي بواسطة مقياس شدة الإشعاع (pyranometer) ، وذلك في كل نصف ساعة من الشروق إلى الغروب.

وتعطى الخواص الضوئية والحرارية لمكونات الـ PTC في الجدول (3-2) التالي :

| | |
|-------|--|
| 0.935 | معامل الانعكاس |
| 0.94 | معامل الامتصاص للسطح الإنتقائي (الكروم الأسود) |
| 0.14 | معامل الانبعاث للسطح الإنتقائي |
| 0.935 | معامل النفاذية للظرف والغطاء الزجاجيين |
| 0.85 | معامل الانبعاث للظرف والغطاء الزجاجيين |
| 0.05 | معامل الامتصاص للظرف والغطاء الزجاجيين |
| 0.92 | معامل الاعتراض |
| 4182 | السعة الحرارية النوعية للماء (J/Kg.K) |
| 1009 | السعة الحرارية النوعية للهواء (J/Kg.K) |
| 381 | السعة الحرارية النوعية للنحاس (J/Kg.K) |
| 835 | السعة الحرارية النوعية للزجاج (J/Kg.K) |

الجدول 3-2 : الخواص الضوئية والحرارية لـ PTC

الخاتمة

بعد تصميم وإنجاز PTC وتسجيل النتائج التجريبية وفقا لأبعاد التصميم، فإننا بحاجة إلى توسيع النتائج التجريبية إلى أبعاد مختلفة لـ PTC ولتدفقات أكبر للمائع، ولذلك قمنا بإعداد نمذجة رياضية ومن ثم المحاكاة العددية لموازنة الطاقة، ومن خلال الحل العددي لمعادلات موازنة الطاقة نتحصل على النتائج النظرية والمتمثلة في درجة حرارة خروج المائع من أجل تدفقات كتلية مختلفة ومن أجل أبعاد أكبر لـ (PTC) ، وذلك بعد تأكيد صدقيته بمقارنة النتائج النظرية بالتجريبية. وهو ما سنقوم به في الفصل القادم.

الفصل الرابع

المحاكاة العددية لنموذج PTC

الفصل الرابع : المحاكاة العددية لنموذج PTC

مقدمة

من أجل المحاكاة العددية لـ PTC، نقوم ببناء نموذج رياضي يعتمد على فرضيات تبسيطية للدراسة، ثم محاكاة الظواهر الفيزيائية الحادثة (إنتقال الكتلة والضوء والحرارة) بمعادلات رياضية تعتمد على معادلات الموازنة الطاقوية والسلوك الضوئي للمواد (إنعكاس، إمتصاص، نفاذ)، وذلك بناء على دراسة مرجعية لنمذجة PTC المعتمدة في الدراسات السابقة، ثم من خلال الحل العددي لجمل المعادلات نحصل على النتائج النظرية، ومن ثم التأكد من صدقيتها بمقارنتها بالنتائج التجريبية، وهو ما سنتعرض إليه بالتفصيل في هذا الفصل

1 دراسة مرجعية توثيقية لتطور النمذجة الرياضية لـ PTC

Güven و Bannerot [80] أعد نموذجا ضوئيا يستخدم تقنية تعقب الأشعة لتقييم الأداء الضوئي، وتحديد الأخطاء الضوئية بواسطة التحليل الإحصائي.

Jeter [81]، [82] قدم صياغة رياضية تعتمد على دالة غوسية لحساب كثافة تدفق الطاقة الشمسية المركزة في المحور البؤري. والسلوك الضوئي لنظام PTC مع مراعاة الإنعكاسية والنفاذية والإمتصاصية النسبية للمواد.

He et al [83] بواسطة طريقة (Monte carlo) لتتبع الأشعة (MCRT)، وتحليل حسابي لديناميك الموائع (CFD)، قام بتحليل عددي بمحاكاة عمليات إنتقال الحرارة في المائع (HTF) باعتبار تدفق الإشعاع الشمسي على الأنبوب الماص منتظما.

Dudley et al [84] اقترحوا نموذجا أحادي البعد (1D) لتحليل السلوك و الأداء الحراري للمجمع LS2 (SEGS).

Forrinstall [85] قام بتحليل إنتقال الحرارة في PTC، وقدم نمذجة للمستقبل الحراري، وبذلك كتابة موازنة الطاقة أحادية البعد (1D) وثنائية البعد (2D)، بتقسيم الأنبوب الماص إلى عدة قطاعات، واستخدم هذا النموذج لتحديد المردود الحراري لـ PTC في الظروف التشغيلية المختلفة.

Odeh وآخرون إقترح نموذجا لتوليد البخار المباشر (DSG)، بالإعتماد على درجة حرارة جدار الأنبوب الماص بدلا من درجة حرارة المائع (HTF). الموازنة الحرارية على الأنبوب الماص أظهرت أن درجة

الحرارة اللابعدية (نسبة درجة حرارة الأنبوب الماص إلى درجة حرارة الاستقرار) نستطيع من خلالها التنبؤ بفعالية PTC، حيث درجة حرارة الاستقرار هي درجة حرارة المستقبل القصوى من أجل الطاقة الناتجة (0) صفر [64].

García-valladares و Velázquez [86] اقترحا محاكاة عددية للسلوك الضوئي والحراري لـ PTC من أجل مرور المائع في اتجاه واحد، ثم توسيع الدراسة لاستبدال أنبوب امتصاص مع مبادل حراري (مزدوج المرور) أنبوبين أسطوانيين متحدي المركز متعاكس الإتجاه.

Stuetzle [87] اقترح تحليل حالة غير مستقرة (2D) للأنبوب الماص للمجمع الشمسي، لحساب درجة حرارة الخروج للمائع، ثم حل هذا النموذج بواسطة المعادلات التفاضلية الجزئية المحصل عليها بموازنة الطاقة.

Padilla و آخرون [88] قدم نموذج PTC (1D) لانتقال الحرارة مع الأخذ بعين الاعتبار التفاعل الحراري بين الأسطح المتخامة، وإهمال عدم إنتظام شدة التدفق الشمسي.

Roldán و آخرون [89] قدم نموذج حساب ديناميك الموائع (CFD)، من أجل حساب تدرج درجة حرارة جدار الأنبوب الماص لـ (PTC)، لتوليد البخار المباشر اعتمادا على التوزيع المنتظم للإشعاع الشمسي على السطح الماص.

Edenburn [90] وضع نموذج تحليل لنقل الحرارة في PTC في حالة تفريغ الظرف وعدم تفريغه، ومن ثم توصل الى حساب مردود PTC، وأظهرت نتائجه توافق جيد مع البيانات المناسبة التي تم الحصول عليها من مختبرات SNL، تم حساب مردود (PTC) تحليليا من خلال تقدير انتقال الحرارة وسط الهواء الموجود في الفراغ الحلقي بين الأنبوب الماص والظرف الزجاجي، و أظهرت النتائج المتحصل عليها تجريبيا من طرف مخبر (SANDIA) أن الضياع الحراري في الفراغ الحلقي يكون بالتوصيل الجزئي في حالة ($Ra < 1000$)، بينما يكون الضياع بالتوصيل والحمل معا في حالة ($Ra > 1000$) داخل الفراغ الحلقي.

Ratzel [91] وآخرين قام بدراسة تحليلية و عددية للضياعات الحرارية بالتوصيل و الحمل في الفراغ الحلقي للمستقبل، واقترح 3 تقنيات للحد من فقدان الحرارة بالتوصيل، وهي التفريغ من الهواء، أو وجود الهواء مع المحافظة على رقم رايلي $Ra < 1000$ أثناء التشغيل، أو استخدام الغازات ذات الناقلية الحرارية المنخفضة.

Dudley وآخرين [92] وضعوا نموذج تحليلي لنظام PTC، وكان نموذج الضياع الحراري للعنصر الجامع للحرارة HCE نموذج أحادي البعد اعتمادا على تحليل المقاومة الحرارية، و تم التحقيق من صحة هذا النموذج بالمقارنة مع النتائج التجريبية SNL المأخوذة لمختلف الشروط للفراغ الحلقى للظرف الزجاجي (مفرغ ، غير مفرغ ، الظرف منكسر ، الأنبوب من غير ظرف)، وأظهرت النتائج وجود توافق معقول من فقدان الحرارة نظريا و تجريبيا.

تم تطوير نموذج إنتقال الحرارة عبر المستقبل من طرف farristall [85] وإستخدم موازنته الطاقوية وفق تحليل أحادي البعد لمستقبلات قصيرة و طويلة، وتم استخدام هذا النموذج لتحديد المردود الحراري لـ PTC تحت ظروف التشغيل المختلفة.

إقترح stuetzle [93] تحليل حالة غير مستقرة لمستقبل المجمع الشمسي من أجل حساب درجة الأنبوب الماص، ثم حل معادلات التفاضلية الجزئية المحصل عليه من خلال موازنته الطاقة، وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها توافق درجات حرارة الأنبوب الماص المحسوبة و المقاسة.

Garca-valladares و Velásquez [86] وضعوا نموذج لمستقبل الطاقة الشمسية بمرور واحد، والتأكد من صحة ذلك، ثم قام بتمديد النموذج إلى مرورين (مرور مزدوج)، وأظهرت النتائج أن هذا الأخير يزيد من الفعالية الحرارية للمجمع الشمسي.

تم تحليل ثلاثي الأبعاد للإنتقال الحرارة في PTC، من خلال الجمع بين طريقتي التحليل (MCRT) و(CFD)، وبينت النتائج أن أقواس الدعم للمستقبل وما أسفلها في حالة عدم التفريغ للظرف فإنها تؤدي إلى ضياعات حرارية كبيرة بالتوصيل [94]،[95].

في منتصف التسعينيات إقترح Cohen و Kearney، استخدام مجمعات لتوليد المباشر للبخار DSG كمستقبل واعد، قصد تطوير محطات توليد الكهرباء الشمسية SEGS من أجل القضاء على الزيوت الإصطناعية المكلفة، وكذا وسائط نقل الحرارة والمبادلات الحرارية بين حقل الإشعاع الشمسي ووحدة إنتاج الطاقة [96]، [97].

Heidemann [98] وضعت نموذجا ثنائي الأبعاد لإنتقال الحرارة، من أجل حساب درجة حرارة الأنبوب الماص للمجمع DSG تحت شرط الإستقرار و عدم الإستقرار، الحل العددي أظهر أن انخفاض المفاجئ لشدة الإشعاع يؤدي إلى تدرج كبير جدا في درجة حرارة الأنبوب الماص في فترة قصيرة من الزمن.

Odeh [99] نفذت نموذج للضياع الحراري للمجمع DSG من خلال درجة حرارة الأنبوب الماص بدلا من درجة حرارة المائع تمت مقارنة هذه النتائج مع قياسات SNL وأظهرت المقارنة ان النموذج يقلل من

قيمة الضياعات الحرارية المقاسة، ويعود هذا التقليل الى إغفال فقد الحرارة عبر منفوخ الفراغ الحلقي للأنبوب الماص.

Dudley [100] الضياعات الحرارية المحسوبة باعتبار الماء كمائع ناقل للحرارة، كانت أقل من تلك التي تم الحصول عليها في حالة استعمال الزيوت الاصطناعية.

Kassem [101] 2007 توقع انتقال الحرارة بين الأنبوب الماص و الظرف الزجاجي بالحمل الطبيعي فقط.

2 النموذج الرياضي لـ PTC المقترح في هذه الدراسة

في هذا الفصل يتم اعتماد تحليل احادي البعد 1D للانتقال الحراري عبر (PTC)، ومن ثم إعداد موازنة الطاقة من خلال المعادلات التفاضلية الجزئية، ثم الحل العددي بالفروق المنتهية، ومن اجل التحقق من صحة النموذج المقترح تمت مقارنة نتائج المحاكاة العددية مع النتائج التجريبية.

نعتبر لتبسيط الدراسة أن هذا النموذج لـ (PTC) يحقق الفرضيات التالية:

- أن هناك انتظاما في توزيع درجات الحرارة على مستوى العنصر الجامع للحرارة (HCE)، وهذا مقبول باعتبار الظرف الزجاجي غير مفرغ من الهواء [99].
- إهمال سمك الأسطح باعتبارها صغيرة جدا مقارنة بأبعاد (PTC).
- نعتبر انتقال الحرارة أحادي البعد، أي أن التبادلات الحرارية تتم في الاتجاه القطري، وبذلك لا يوجد فرق بين مختلف المقاطع العرضية للعنصر الجامع للحرارة HCE، وقد أشارت دراسة Forristall [85] أن هذا الافتراض يمكن قبوله لأنظمة PTC الأصغر في الطول من 100 m.
- إعتبار النظام في حالة استقرار حراري.
- عدم وجود تغير طوري للماء أثناء السريان داخل الأنبوب الماص.
- إهمال أخطاء التتبع الشمسي.
- إعتبار الخواص الضوئية والحرارية لمختلف المواد (معاملات الانعكاس، الامتصاص، النفاذ، التوصيلية الحرارية) مستقلة عن درجة الحرارة.
- إهمال الانتقال الحراري بين العنصر الجامع للحرارة HCE والدعامات الحاملة له، واعتبار انتقال الحرارة إلى هيكل الدعم من خلال الغطاء الزجاجي المسطح بالتوصيل.

3 الموازنة الحرارية لنموذج الـ PTC

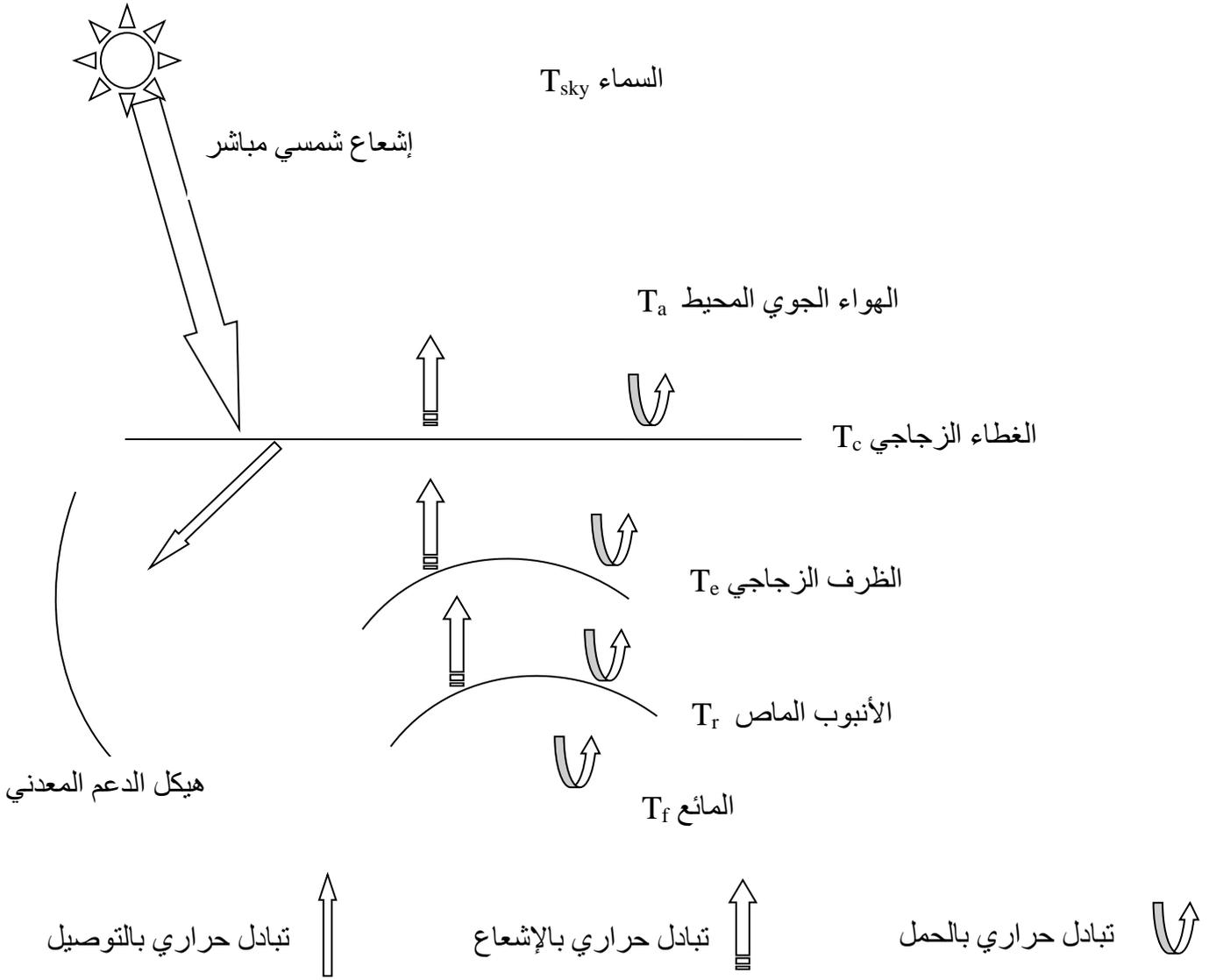
الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح الفتحة ينفذ من خلال الغطاء الزجاجي المسطح إلى العاكس، حيث يمتص جزء منه الغطاء الزجاجي $Q_{abs \rightarrow c}$ ، ويتم تركيز الإشعاع الشمسي النافذ نحو العنصر الجامع للحرارة، حيث يمتص الظرف الزجاجي $Q_{abs \rightarrow e}$ ، وينفذ الباقي إلى الأنبوب الماص، حيث يتم امتصاص الإشعاع على شكل حرارة $Q_{abs \rightarrow r}$ ، ينفذ من هذه الحرارة الممتصة جزء إلى المائع الناقل للحرارة (HTF) بواسطة الحمل على شكل حرارة مفيدة $Q_{net \rightarrow f}$. بينما الباقي ينتقل إلى الظرف الزجاجي بواسطة الحمل الطبيعي والإشعاع، جنباً إلى جنب مع الحرارة التي امتصها الظرف، لتنتقل بالحمل الطبيعي والإشعاع نحو الغطاء المسطح، ومن هذا الأخر نحو الهواء الجوي المحيط بالحمل، ونحو السماء بالإشعاع، ونحو هيكل الدعم بالتوصيل، على شكل ضياعات كما يوضح الشكل (4-1).

وسنقوم بكتابة معادلات الموازنة الحرارية لكل أسطح مكونات الـ PTC، عبر مقطع عرضي للنظام وذلك اعتماداً على القانون الأول للترموديناميك

$$\phi_{st} = \phi_e - \phi_s + \phi_g \quad (4 - 1)$$

حيث ϕ_e : التدفق الحراري الداخل ϕ_s : التدفق الحراري الخارج

ϕ_g : التدفق الحراري المتوالد ϕ_{st} : التدفق الحراري المخزن



الشكل 1-4: مخطط التبادلات الحرارية للمجمع (PTC)

1-3 معادلة موازنة الطاقة للمائع HTF

يستقبل المائع (HTF) الحرارة من الأنبوب الماص عبر سطح التبادل الحراري بواسطة الحمل القسري حسب طبيعة تدفق المائع (رقائقي أو مضطرب)، ليتم تخزينها من طرف المائع على شكل حرارة محسوسة (في غياب التغير الطوري للمائع)، تؤدي إلى رفع درجة حرارته ونكتب معادلة الموازنة:

$$\rho_f * A_f * Cp_{rf} \frac{dT_f}{dt} = h_{conv(r \rightarrow f)} (T_r - T_f) \pi * Dr_{int} \quad (4 - 2)$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} \quad \frac{2}{int} \quad (4 - 3) \quad \text{حيث مساحة مقطع الأنبوب الماص الداخلي}$$

ومنه نكتب

$$\rho_f * \frac{Dr_{int}}{4} * Cp_f * \frac{dT_f}{dt} = h_{conv(r \rightarrow f)} (T_r - T_f) \quad (4 - 4)$$

ويعطى معامل انتقال الحرارة بين الأنبوب الماص والمائع (HTF)

$$h_{conv(r \rightarrow f)} = \frac{Nu_{rf} \lambda_f}{Dr_i} \quad (4 - 5)$$

حيث مساحة سطح التبادل الحراري بينهما :

$$A_{r_{int}} = \pi * Dr_i * L \quad (4 - 6)$$

في حالة السريان الرقائقي للمائع $Re_D \leq 2300$ فإن رقم نوسالت لا يتعلق برقم رينولدز ولا برقم برانتل ويعطى بالعلاقة [102]:

$$Nu_f = 4.36$$

أما في حالة السريان المضطرب والانتقالي من أجل: $5.10^6 \geq Re_D \geq 2300$ و

$$2000 \geq Pr \geq 0.5$$

تعطى عبارة رقم نوسالت بصيغة Gnielinski [103].

$$Nu_f = \frac{(C_f/2)^{0.11} (Re_D - 1000) Pr}{1 + 12.7 (C_f/2)^{0.11} (Pr^{0.4} - 1)} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.11} \quad (4 - 7)$$

$$Re_D = \frac{V_f * \rho_f * Dr_i}{\mu_f} \quad (4 - 8) \quad \text{حيث } Re_D \text{ رقم رينولدز عند قطر الأنبوب الماص}$$

و تحسب الخواص الحرارية عند متوسط درجة حرارة بين المائع (HTF) والأنبوب الماص، ما عدا Pr_w فإنها تحسب عند درجة حرارة الأنبوب الماص.

ويحسب معامل الاحتكاك C_f في حالة أنابيب ملساء بعلاقة [104] Filonenko.

$$C_f = (1.58 \ln * Re_D - 3.28)^{-2} \quad (4 - 9)$$

2-3 معادلة موازنة الطاقة للأنبوب الماص

يستقبل الأنبوب الماص الإشعاع الشمسي بعد النفاذ من الغطاء الزجاجي المسطح ثم الانعكاس ثم النفاذ من الطرف الزجاجي، ليتم تخزينه على شكل حرارة، وتنتقل الحرارة منه إلى المائع بالحمل القسري وإلى الطرف الزجاجي بالحمل والإشعاع، ونكتب معادلة الموازنة:

$$\rho_r A_r C p_r \frac{dT_r}{dt} = IC_g \tau_e \rho^\circ \tau_e \alpha_r \pi D r_{ext} + (h_{conv(r \rightarrow e)} + h_{rad(r \rightarrow e)})(T_e - T_r) \pi D r_{ext} + h_{conv(r \rightarrow f)}(T_f - T_r) \pi D r_{int} \quad (4 - 10)$$

حيث مساحة مقطع جدار الأنبوب الماص

$$A_r = \frac{\pi}{4} (D r_{ext}^2 - D r_{int}^2) \quad (4 - 11)$$

يكون انتقال الحرارة بين الأنبوب الماص والطرف الزجاجي بالحمل الحراري الجزيئي الحر عند تفريغ الطرف الزجاجي، حيث يكون الضغط داخل الطرف (P < 1 mm Hg) [6]، ويعطى معامل إنتقال الحرارة في هذه الحالة بالعلاقة [85]:

$$h_{conv(e \rightarrow r)} = \frac{\lambda_g}{\frac{D_{re}}{2 \ln \frac{D_{r_{int}}}{D_{r_{ext}}}} + b k \left(\frac{D_{r_{int}}}{D_{r_{ext}}} + 1 \right)} \quad (4 - 12)$$

حيث الثوابت **b** و **K** تعطى بالعلاقات [105]:

$$b = \frac{(2-a)(9\gamma-5)}{2a(\gamma+1)} \quad (4 - 13)$$

$$k = \frac{2,331 \cdot 10^{-20} \left[\left(\frac{T_r - T_e}{2} \right) + 273,15 \right]}{p \delta^2} \quad (4 - 14)$$

λ_g : متوسط معامل انتقال الحرارة للغاز داخل الطرف الزجاجي في الظروف القياسية عند متوسط درجة الحرارة بين الأنبوب الماص والطرف الزجاجي ($Wm^{-1}K^{-1}$).

K: متوسط المسار الحر لجزيئات الغاز داخل الطرف (m)

b: معامل التأثير المتبادل لجزيئات الغاز

a : معامل الموضع الحراري للجزيئات الغاز وتتراوح قيمته من 0.01 إلى 1 ، حسب لزوجة الغاز [106]، وفي حالة التفاعل (غاز – صلب) فإنه يمكن اعتبار (a=1) تقريبا [107]، [108].

γ : نسبة الحرارة النوعية للغاز داخل الظرف

P : الضغط داخل الظرف (mm Hg)

δ : القطر الجزيئي للغاز داخل الظرف (cm). بالنسبة للهواء يعطى $\delta = 3.66 \times 10^8$ [109].

بينما يكون الانتقال بالحمل الحراري الحر (الطبيعي) في حالة عدم تفريغ الظرف من الهواء، ويعطى معامل إنتقال الحرارة في هذه الحالة بالعلاقة [110]:

$$h_{\text{conv}(e \rightarrow r)} = \frac{2\pi\lambda_{\text{eff}}L}{\ln \frac{D_{\text{rint}}}{D_{\text{rert}}}} \quad (4 - 15)$$

حيث :

$$\lambda_{\text{eff}} = 0,386 \lambda_a \left(\frac{Pr_a}{8,61 + Pr_a} \right)^{\frac{1}{4}} (F_{\text{cil}} Ra_a)^{\frac{1}{4}} \quad (4 - 16)$$

$$F_{\text{cil}} = \frac{\left(\ln \left(\frac{D_{e\text{int}}}{D_{r\text{ext}}} \right) \right)^4}{\left(\frac{D_{r\text{int}} - D_{r\text{ext}}}{2} \right)^3 (D_{e\text{int}}^{-3/5} + D_{r\text{ext}}^{-3/5})^5} \quad (4 - 17)$$

حيث :

λ_{eff} : معامل انتقال الحرارة الفعال ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$).

L : طول الأنبوب الماص m.

λ_a : معامل الانتقال بالحمل الحراري للهواء عند متوسط درجة الحرارة بين الظرف الزجاجي والأنبوب الماص ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$).

F_{cil} : معامل الشكل الهندسي لأسطوانتين متمحورتين.

Pr_a و Ra_a رقمي برانتل ورايلي من أجل متوسط درجة الحرارة بين الظرف والأنبوب الماص وعند

$$\frac{D_{e\text{int}} + D_{r\text{ext}}}{2} \text{ البعد المتوسط}$$

مع ضرورة أخذ $\lambda_{eff} = \lambda_a$ في حالة ما إذا كانت $\lambda_{eff} < \lambda_a$

أما معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الأنبوب الماص و الظرف الزجاجي يعطى بالعلاقة [102]:

$$h_{rad(e \rightarrow r)} = \frac{\sigma(T_r + T_e)(T_r^2 + T_e^2)}{\frac{1}{\epsilon_r} + \frac{1 - \epsilon_e}{\epsilon_e} \left(\frac{De_{ext}}{De_{int}} \right)} \quad (4 - 18)$$

3-3 معادلة موازنة الطاقة للظرف الزجاجي

يستقبل الظرف الزجاجي الإشعاع الشمسي بعد النفاذ من الغطاء الزجاجي المسطح ثم الانعكاس، ويتبادل الحرارة مع الأنبوب الماص بالحمل والإشعاع، وكذلك مع الغطاء الزجاجي المسطح بالحمل والإشعاع، ونكتب معادلة الموازنة:

$$\rho_e A_e C p_e \frac{dT_e}{dt} = IC_g \rho^\circ \tau_c \alpha_e \pi De_{ext} + [h_{conv(e \rightarrow r)} + h_{rod(e \rightarrow r)}] \pi De_{int} (T_r - T_e) + [h_{conv(e \rightarrow c)} + h_{rod(e \rightarrow c)}] \pi De_{ext} [T_c - T_e] \quad (4 - 19)$$

حيث مساحة مقطع جدار الظرف الزجاجي:

$$A_e = \frac{\pi}{4} (De_{ext}^2 - De_{int}^2) \quad (4 - 20)$$

انتقال الحرارة بالحمل بين الظرف الزجاجي والهواء المحتبس تحت الغطاء المسطح، يكون بالحمل الطبيعي ويعطى معامل انتقال الحرارة بالعلاقة :

$$h_{conv(e \rightarrow c)} = \frac{Nu_{(e \rightarrow c)} \lambda_a}{De_{ext}} \quad (4 - 21)$$

حيث:

λ_a : معامل انتقال الحرارة للهواء تحت الغطاء المسطح، عند المتوسط بين درجة حرارة الظرف الزجاجي والغطاء المسطح.

ويحسب رقم نولست $Nu_{(e \rightarrow c)}$ (الحمل الطبيعي) بصيغة Churchill و Chu [111] :

$$Nu_{e \rightarrow c} = \left[0.6 \frac{0.387 Ra_a^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr_a} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \quad (4 - 22)$$

حيث:

Ra_a ، Pr_a : رقم برانتل و رايلي عند المتوسط بين درجة حرارة الظرف الزجاجي والغطاء المسطح ومن أجل البعد De_{ext} .

ويعطى معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الظرف الزجاجي والهواء المحتبس تحت الغطاء المسطح بالعلاقة :

$$h_{rad(e \rightarrow c)} = \frac{\sigma(T_e + T_c)(T_e^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_e} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (4 - 23)$$

4-3 معادلة موازنة الطاقة للغطاء الزجاجي المسطح

يستقبل الغطاء الزجاجي المسطح الإشعاع الشمسي المباشر، ويتبادل الحرارة مع الظرف الزجاجي بالحمل الطبيعي والإشعاع، كما يتبادل الحرارة مع الهواء الجوي المحيط بالحمل، ومع السماء بالإشعاع، ومع هيكل الدعم المعدني بالتوصيل، ونكتب معادلة الموازنة:

$$\rho_c e_c C p_c \frac{dT_c}{dt} = I \alpha_c + (h_{conv(c \rightarrow e)} + h_{rad(c \rightarrow e)})(T_e - T_c) + (h_{conv(c \rightarrow amb)} + h_{cond(c \rightarrow support)})(T_{amb} - T_c) + h_{rad(e \rightarrow sky)}(T_{sky} - T_c) \quad (4 - 24)$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل مع الهواء الجوي المحيط والذي يتعلق بسرعة الرياح v ، وعرض فتحة المجمع w ، وكذا زاوية ورود الإشعاع الشمسي i ويعطى بالعلاقة [112]:

$$h_{conv(c \rightarrow amb)} = 5.7 + 3.8 v + 1.42 \left(\frac{(T_c - T_{amb}) \sin i}{w} \right)^{0.25} \quad (4 - 25)$$

معامل انتقال الحرارة بالإشعاع مع السماء

$$h_{rad(c \rightarrow sky)} = \epsilon_c \sigma (T_c + T_{sky}) (T_c^2 + T_{sky}^2) \frac{T_c - T_{sky}}{T_c - T_a} \quad (4 - 26)$$

وتعطى درجة حرارة السماء بالعلاقة [113]

$$T_{sky} = 0.0552(T_a)^{1.5} \quad (4 - 27)$$

كما تحسب درجة حرارة الجو المحيط بالعلاقة [46]

$$T_a = \left[\frac{T_{a \text{ Max}} - T_{a \text{ Min}}}{2} \right] \sin \left[\frac{(t-8)\pi}{12} \right] + \left[\frac{T_{a \text{ Max}} + T_{a \text{ Min}}}{2} \right] \quad (4 - 28)$$

حيث $T_{a \text{ Max}}$ و $T_{a \text{ Min}}$ درجتى حرارة الجو المحيط القسوى و الدنيا في الشهر محل الدراسة [الملحق 2]
 t التوقيت المحلي معبرا عنه بالساعات

ومعامل انتقال الحرارة بالتوصيل بين الغطاء الزجاجي المسطح وهيكل الدعم المعدني يعطى بالعلاقة

$$h_{cond(c \rightarrow support)} = \frac{supp}{e_c} \quad \text{نعتبر درجة حرارة الهيكل المعدني هي درجة حرارة الجو المحيط}$$

4 المماثلة الكهربائية للنظام الحراري

يمكن مماثلة شدة التدفق الحراري والذي يعطى بالعلاقة

$$Q_{conv, ray} \left[\frac{W}{m^2} \right] = h_{conv, ray} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \cdot \Delta T [^\circ C] \quad (4 - 29)$$

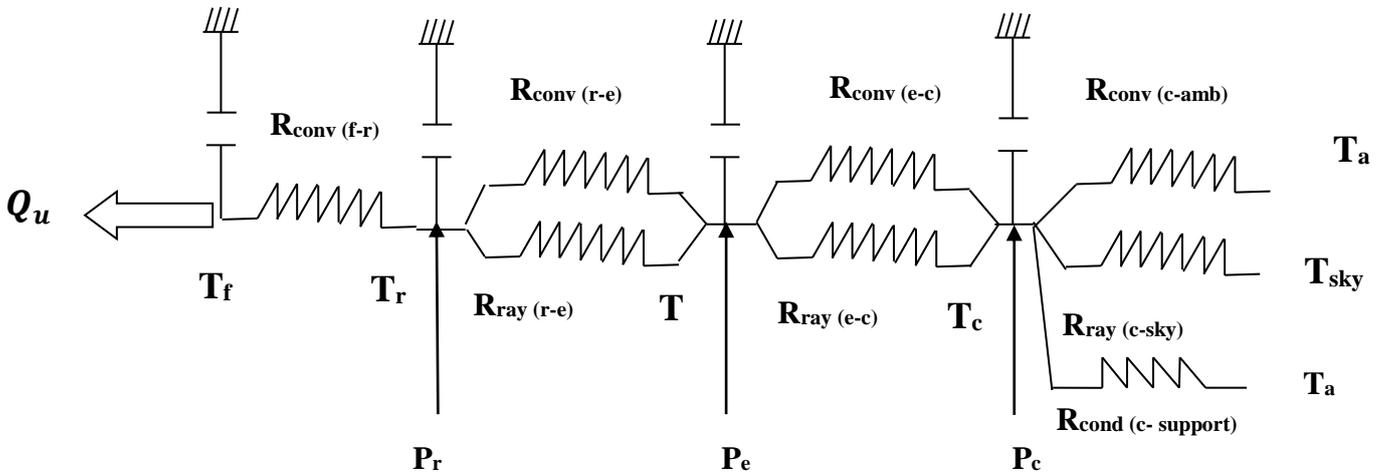
$$I [] = \frac{\Delta V}{R} \left[\frac{V}{\Omega} \right] \quad (4 - 30) \quad \text{بشدة التيار الكهربائي}$$

حيث فرق الجهد الكهربائي الذي يسببه ينتقل التيار الكهربائي من الكمون المرتفع إلى الكمون المنخفض،
 يماثله في النظام الحراري الفرق في درجة الحرارة، والتي بسببها ينتقل التدفق الحراري من المصدر المرتفع
 في درجة الحرارة إلى المصدر المنخفض، ونمثل مخطط الدارة الكهربائية المكافئ الشكل (4-2) .

ومنه فإن المقاومة الحرارية تعطى بالعلاقة

$$R_{conv, ray, cond} = \frac{1}{h_{conv, ray, cond}} \quad (4 - 31)$$

ونرسم مخطط الدارة الكهربائية المماثلة للنظام الحراري لـ PTC الشكل (2-6):



الشكل 4-2: مخطط المماثلة الكهربائية للنظام الحراري للمجمع (PTC)

حيث P شدة تدفق الإشعاع الشمسي الممتص من الطرف (الأنبوب الماص، الظرف الزجاجي، الغطاء الزجاجي المسطح) وتعطى عبارة كل منها

$$P_r = I * C_g * \eta_{op} \quad (4 - 32)$$

$$P_e = I * C_g * \rho^\circ * \tau_c * \alpha_e \quad (4 - 33)$$

$$P_c = I * \alpha_c \quad (4 - 34)$$

5 المردود الحراري للمجمع الشمسي

هو نسبة تدفق الحرارة المفيدة التي اكتسبها المائع إلى شدة الإشعاع الشمسي الذي يعترضه الأنبوب الماص [114]. ويعطى بالعلاقة:

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{G * A_{ap}(1-A_f)} \quad (4 - 35)$$

حيث كمية الحرارة التي يكتسبها المائع خلال الزمن

$$Q_u = \dot{m} * C_{pf}(T_{fo} - T_{fi}) \quad (4 - 36)$$

$$G = I * \rho^\circ * \tau_c * \tau_e * \alpha_r * \gamma \quad (4 - 37)$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} * C_{pf}(T_{fo} - T_{fi})}{G * A_{ap}(1-A_f)} \quad (4 - 38)$$

وفي حالة محوري دوران زاوية الورود (i=0) فإن

$$\eta_{th(i=0)} = \frac{\dot{m} * C_{pf}(T_{fo} - T_{fi})}{G * A_{ap}} \quad (4 - 39)$$

ويمكن التعبير عن التدفق الحراري المفقود على مستوى الأنبوب الماص نحو الهواء الجوي المحيط عن طريق الحمل والإشعاع الحراري مع الظرف الزجاجي، بالعبارة:

$$Q_{loss} = U_L * A_r(T_r - T_a) \quad (4 - 40)$$

حيث U_L : معامل متوسط الضياع الحراري للأنبوب الماص

$$Q_{loss} = Q_{conv}(r \rightarrow e) + Q_r(r \rightarrow e) = U_L * A_{r_{ext}}(T_r - T_a) \quad (4 - 41)$$

$$Ar_{ext} = \pi * Dr_{ext} \quad (4 - 42)$$

ومنه نكتب معادلة الموازنة الكلية للنظام [115]:

$$I * \rho^\circ * \tau_c * \tau_e * \alpha_r * \gamma(1 - A_f)w * L = Q_\mu + U_L * A_r(T_r - T_a) \quad (4 - 43)$$

6 المعالجة الرقمية للمعادلات التفاضلية

جملة المعادلات التفاضلية الجزئية الأربع المتحصل عليها على مختلف مكونات المجمع PTC (المائع، الأنبوب الماص، الظرف الزجاجي، الغطاء الزجاجي المسطح)، بدلالة درجات الحرارة T_c ، T_e ، T_r ، T_f يمكن التعبير عنها بواسطة المعادلات:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{t - T_{t-\Delta t}}{\Delta} \quad (4 - 44) \quad \text{حيث}$$

ومنه نكتب المعادلات:

$$m_f C_{pf} (T_f^t(j) - T_f^t(j-1)) = h_{conv}^{(r \rightarrow f)} \pi D_{r.int} T_r - h_{conv}^{(r \rightarrow f)} \pi D_{r.int} T_f \quad (4 - 45)$$

$$\begin{aligned} \frac{\rho_r A_r C_{Pr}}{\Delta t} (T_r^t(j) - T_r^{t-\Delta t}(j)) = IC_g \eta_{op} \pi D_{r.ext} + (h_{conv(r \rightarrow e)} + h_{rad(r \rightarrow e)}) \pi D_{r.ext} T_e - \\ \pi [(h_{conv(r \rightarrow e)} + h_{rad(r \rightarrow e)}) D_{r.ext} + h_{conv(r \rightarrow f)} D_{r.int}] T_r + \\ h_{conv(r \rightarrow f)} \pi D_{r.int} T_f \quad (4 - 46) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\rho_e A_e C_{Pe}}{\Delta t} (T_e^t(j) - T_e^{t-\Delta t}(j)) = IC_g \rho^\circ \tau_c \alpha_e \pi D_{e.ext} + (h_{conv(e \rightarrow c)} + \\ h_{rad(e \rightarrow c)}) \pi D_{e.ext} T_c - \pi [(h_{conv(r \rightarrow e)} + h_{rad(r \rightarrow e)}) D_{e.int} + (h_{conv(e \rightarrow c)} + \\ h_{rad(e \rightarrow c)}) D_{e.ext}] T_e + (h_{conv(r \rightarrow e)} + h_{rad(r \rightarrow e)}) \pi D_{e.int} T_r \quad (4 - 47) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\rho_c A_c C_{Pc}}{\Delta t} (T_c^t(j) - T_c^{t-\Delta t}(j)) = I\alpha_c - [(h_{\text{conv}(c \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(c \rightarrow e)}) + (h_{\text{conv}(c \rightarrow \text{amb})} + \\ h_{\text{cond}(c \rightarrow \text{support})} + h_{\text{rad}(c \rightarrow \text{sky})})]T_c + (h_{\text{conv}(c \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(c \rightarrow e)})T_e + \\ (h_{\text{conv}(c \rightarrow \text{amb})} + h_{\text{cond}(c \rightarrow \text{support})})T_a + h_{\text{rad}(c \rightarrow \text{sky})}T_{\text{sky}} \end{aligned} \quad (4 - 48)$$

وبعد تبسيط المعادلات نكتب

$$-h_{\text{conv}(r \rightarrow f)}\pi D_{r.\text{int}}T_r^t + [m_f C_{Pf} + h_{\text{conv}(r \rightarrow f)}\pi D_{r.\text{int}}]T_f^t(j) = m_f C_{Pf}T_f^t(j) - \quad (4 - 49)$$

$$\begin{aligned} -(h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(r \rightarrow e)})\pi D_{r.\text{ext}}T_e^t(j) + \left[\frac{\rho_r A_r C_{Pr}}{\Delta t} + (h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + \right. \\ \left. h_{\text{rad}(r \rightarrow e)})\pi D_{r.\text{ext}} + h_{\text{conv}(r \rightarrow f)}\pi D_{r.\text{int}} \right] T_r^t(j) - h_{\text{conv}(r \rightarrow f)}\pi D_{r.\text{int}}T_f^t(j) = \\ \frac{\rho_r A_r C_{Pr}}{\Delta t} T_r^{t-\Delta t}(j) + I C_g \eta_{\text{op}} \pi D_{r.\text{ext}} \end{aligned} \quad (4 - 50)$$

$$\begin{aligned} -(h_{\text{conv}(e \rightarrow c)} + h_{\text{rad}(e \rightarrow c)})\pi D_{e.\text{ext}}T_c^t(j) + \left[\frac{\rho_e A_e C_{Pe}}{\Delta t} + (h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + \right. \\ \left. h_{\text{rad}(r \rightarrow e)})\pi D_{e.\text{int}} + (h_{\text{conv}(e \rightarrow c)} + h_{\text{rad}(e \rightarrow c)})\pi D_{e.\text{ext}} \right] T_e^t(j) - (h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + \\ h_{\text{rad}(r \rightarrow e)})\pi D_{e.\text{int}}T_r^t(j) = \frac{\rho_e A_e C_{Pe}}{\Delta t} T_e^{t-\Delta t}(j) + \\ I C_g \rho^\circ \tau_c \alpha_e \pi D_{e.\text{ext}} \end{aligned} \quad (4 - 51)$$

$$\begin{aligned} \left[\frac{\rho_c A_c C_{Pc}}{\Delta t} + h_{\text{conv}(c \rightarrow \text{amb})} + h_{\text{rad}(c \rightarrow \text{sky})} + h_{\text{conv}(e \rightarrow c)} + h_{\text{rad}(e \rightarrow c)} + \right. \\ \left. h_{\text{cond}(c \rightarrow \text{support})} \right] T_c^t(j) - (h_{\text{conv}(c \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(c \rightarrow e)})T_e^t(j) = \frac{\rho_c A_c C_{Pc}}{\Delta t} T_c^{t-\Delta t}(j) + \\ I\alpha_c + (h_{\text{conv}(c \rightarrow \text{amb})} + h_{\text{cond}(c \rightarrow \text{support})})T_{\text{amb}} + h_{\text{rad}(c \rightarrow \text{sky})}T_{\text{sky}} \end{aligned} \quad (4 - 52)$$

ونعبر عن جملة المعادلات لدرجات الحرارة لمكونات الـ PTC (T_c) ، T_r ، T_e ، T_f) بالمصفوفة التالية

$$A T_i = B$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_c \\ T_e \\ T_r \\ T_f \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{vmatrix}$$

حيث قيم عناصر المصفوفة A

$$a_{11} = \left[\frac{\rho_c A_c C_{pc}}{\Delta t} + h_{\text{conv}(c \rightarrow \text{amb})} + h_{\text{cond}(c \rightarrow \text{support})} + h_{\text{rad}(c \rightarrow \text{sky})} + h_{\text{conv}(e \rightarrow c)} + h_{\text{rad}(e \rightarrow c)} \right]$$

$$a_{12} = -(h_{\text{conv}(c \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(c \rightarrow e)})$$

$$a_{13} = 0$$

$$a_{14} = 0$$

$$a_{21} = -(h_{\text{conv}(e \rightarrow c)} + h_{\text{rad}(e \rightarrow c)}) \pi D_{e.\text{ext}}$$

$$a_{22} = \left[\frac{\rho_e A_e C_{pe}}{\Delta t} + (h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(r \rightarrow e)}) \pi D_{e.\text{int}} + (h_{\text{conv}(e \rightarrow c)} + h_{\text{rad}(e \rightarrow c)}) \pi D_{e.\text{ext}} \right]$$

$$a_{23} = -(h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(r \rightarrow e)}) \pi D_{e.\text{int}}$$

$$a_{24} = 0$$

$$a_{31} = 0$$

$$a_{32} = -(h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(r \rightarrow e)}) \pi D_{r.\text{ext}}$$

$$a_{33} = \left[\frac{\rho_r A_r C_{pr}}{\Delta t} + (h_{\text{conv}(r \rightarrow e)} + h_{\text{rad}(r \rightarrow e)}) \pi D_{r.\text{ext}} + h_{\text{conv}(r \rightarrow f)} \pi D_{r.\text{int}} \right]$$

$$a_{34} = -h_{\text{conv}(r \rightarrow f)} \pi D_{r.\text{int}}$$

$$a_{41} = 0$$

$$a_{42} = 0$$

$$a_{43} = -h_{\text{conv}(r \rightarrow f)} \pi D_{r.\text{int}}$$

$$a_{44} = [m_f C_{Pf} + h_{\text{conv}(r \rightarrow f)} \pi D_{r.\text{int}}]$$

وعناصر المصفوفة B كالتالي

$$b_1 = \frac{\rho_c A_c C_{Pc}}{\Delta t} T_c^{t-\Delta t}(j) + I \alpha_c + (h_{\text{conv}(c \rightarrow \text{amb})} + h_{\text{cond}(c \rightarrow \text{support})}) T_{\text{amb}} +$$

$$h_{\text{rad}(c \rightarrow \text{sky})} T_{\text{sky}}$$

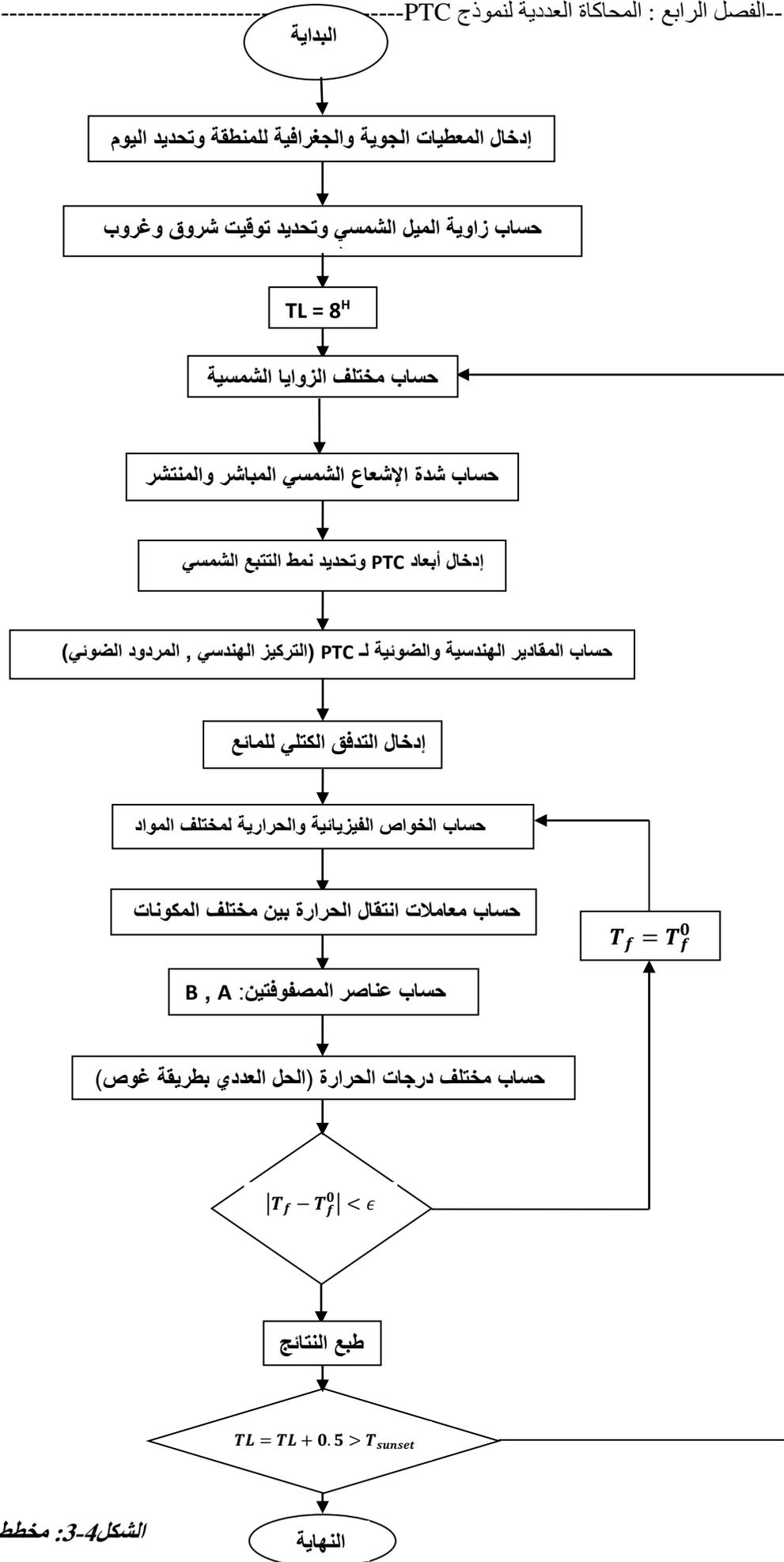
$$b_2 = \frac{\rho_e A_e C_{Pe}}{\Delta t} T_e^{t-\Delta t}(j) + I C_g \rho^\circ \tau_c \alpha_e \pi D_{e.\text{ext}}$$

$$b_3 = \frac{\rho_r A_r C_{Pr}}{\Delta t} T_r^{t-\Delta t}(j) + I C_g \eta_{\text{op}} \pi D_{r.\text{ext}}$$

$$b_4 = m_f C_{Pf} T_f^t(j-1)$$

7 الحل العددي لجملة المعادلات

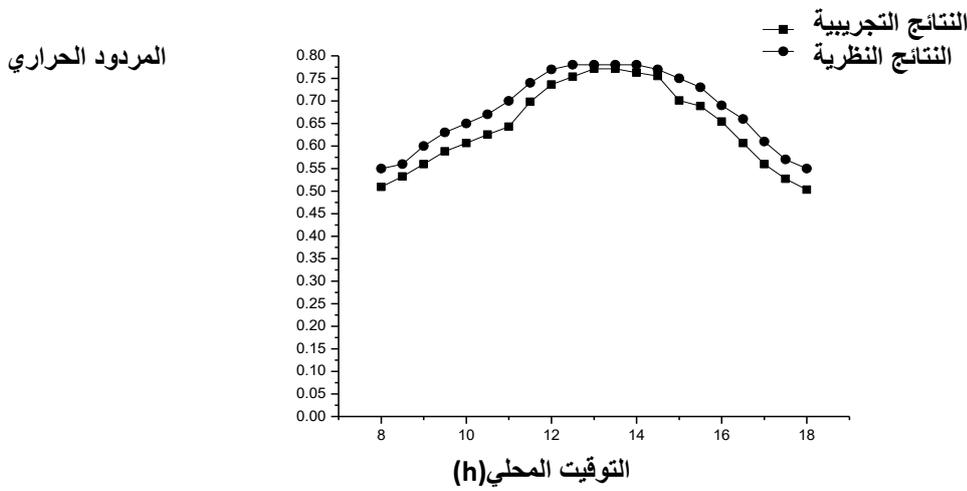
من خلال إعداد برنامج بلغة الفورترن يتم إدخال اليوم المحدد من السنة Nj ، والمنطقة قيد الدراسة (زاويتي دائرة العرض وخط الطول)، وكذا درجة حرارة الجو وسرعة الرياح، حيث يقوم البرنامج بتقدير شدة الإشعاع الشمسي كل 30 دقيقة من شروق الشمس إلى غروبها وفقا لمعادلات الإشعاع الشمسي، ثم يطلب البرنامج تحديد نمط التتبع الشمسي وكذا أبعاد PTC والخواص الضوئية والحرارية للمواد والتدفق الكتلي للمائع ودرجة حرارة الدخول للمائع، حيث ينطلق البرنامج من درجات حرارة ابتدائية لمكونات الـ PTC (T_c, T_e, T_r, T_f) تكون في حدود درجة الجو المحيط، ثم يقوم البرنامج بحساب عناصر المصفوفتين **A** و**B** ومن ثم الحل العددي باستعمال طريقة (Gauss)، ومنه تسجيل درجات الحرارة عند اللحظة t اعتمادا على درجات الحرارة المحسوبة في اللحظة $t-\Delta t$ وتعاد العملية بصورة تكرارية إلى غاية الغروب وفيما يلي مخطط انسياب البرنامج العددي الذي يقوم بهذا الحساب الشكل (3-4).



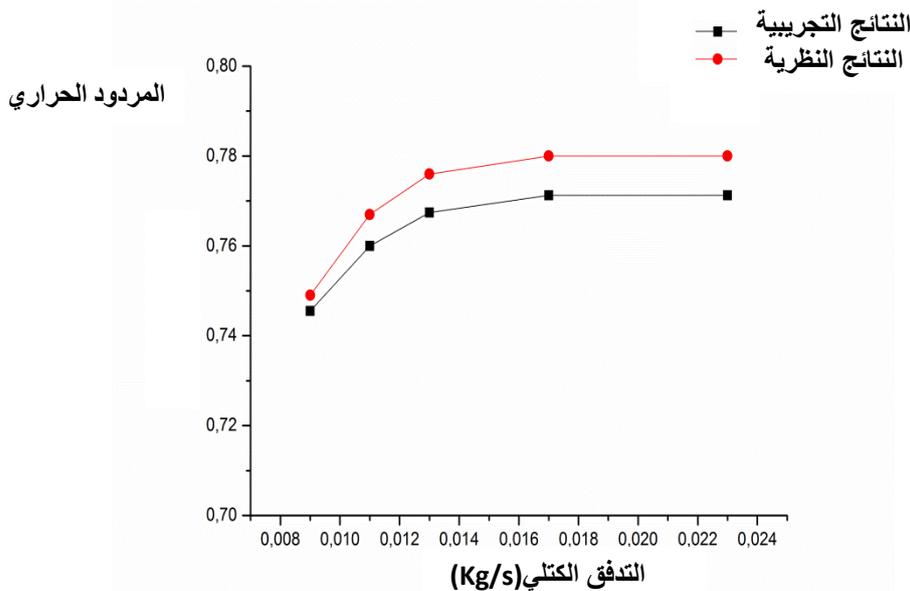
الشكل 4-3: مخطط الخوارزمية للبرنامج

8 تأكيد صدقية البرنامج الحسابي

من أجل التأكد من صدقية النتائج المحصل عليها بناءً على النموذج الرياضي المعتمد، ومن خلال الحل العددي للمعادلات التفاضلية الجزئية بواسطة البرنامج، قمنا بمقارنة قيمة المردود الحراري خلال يوم نمذجي 21 جويلية 2014 (من شروق الشمس إلى غروبها) المحصل عليها تجريبيا بالنتائج النظرية، وذلك من أجل نفس الشروط (التدفق الكتلي للمائع ، أبعاد المجمع ، اليوم المدروس)، وهذا من أجل التتبع بمحور دوران واحد وبوجود الغطاء الزجاجي ونسجل البيانات في الشكلين (4-4) و (4-5) :



الشكل 4-4: بيان تغيرات المردود الحراري النظري و التجريبي خلال اليوم (0.009 Kg/s)



الشكل 4-5: بيان تغيرات المردود الحراري عند الذروة النظري و التجريبي بدلالة التدفق الكتلي

نلاحظ تطابق النتائج النظرية مع التجريبية تقريبا خلال ذروة الإشعاع الشمسي زوالا، بينما تكون النتائج النظرية أكبر في حدود 6% خلال الصباح و المساء نتيجة الضياعات الحرارية التي أهملنا جزءا منها في الفرضيات التبسيطية للنموذج الرياضي.

وبذلك وفي حدود الأخطاء المسموحة، فإننا نؤكد صدقية النتائج المتحصل عليها من خلال النموذج المعتبر في الدراسة ومن خلال البرنامج الحسابي المعد لذلك.

الخاتمة

قمنا بتصميم وإنجاز نموذج لمجمع شمسي أسطواني قطع مكافئ (PTC)، ومن ثم القيام بالعمل التجريبي للحصول على المردود الحراري من أجل حالة وجود الغطاء الزجاجي أو عدمه، ومن أجل مختلف حالات التتبع الشمسي، ولتدفقات كتلية مختلفة للمائع. ولتعميم النتائج على أبعاد مختلفة للمجمع ولتدفقات كتلية أوسع، قمنا بإعداد نمذجة رياضية للمجمع تراعي أهم ما توصلت له الدراسات السابقة وتعتمد على فرضيات تبسيطية للظواهر الفيزيائية الحادثة، ثم نسجل نتائج المحاكاة العددية بعد التأكد من صدقيتها بمقارنتها بالنتائج التجريبية وسنقوم في الفصل القادم بمناقشة وتحليل هذه النتائج التجريبية والنظرية.

الفصل الخامس

تحليل و مناقشة النتائج

الفصل الخامس: تحليل ومناقشة النتائج

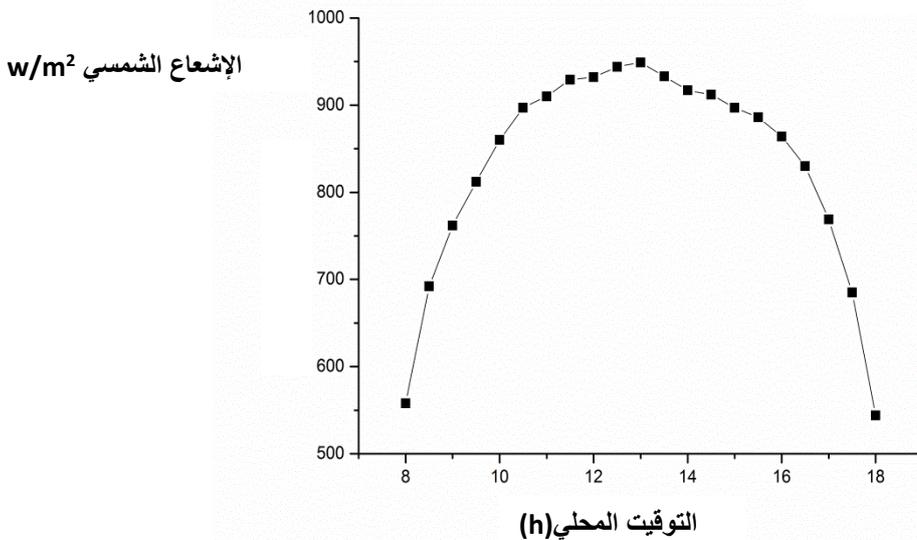
مقدمة:

بعد تسجيل النتائج التجريبية لشدة تدفق الإشعاع الشمسي بورقلة خلال فترة إنجاز التجارب، وكذا درجة حرارة خروج ودخول الماء، من أجل تدفقات كتلية مختلفة للماء ومن أجل وضعيات توجيه مختلفة للمجمع الشمسي المصمم عمليا. ثم قمنا بالمحاكاة العددية لنموذج (PTC) ومن ثم تسجيل النتائج النظرية بناءً على البرنامج الحسابي بعد التأكد من صدقية نتائج المحاكاة العددية بتطابقها مع النتائج التجريبية، فإننا استطعنا توسيع النتائج إلى التحكم في أبعاد (PTC) مختلفة وتدفقات كتلية مختلفة، ومن خلالها الحصول على درجة حرارة خروج الماء والمردود الحراري، وسنقوم في هذا الفصل بتحليل ومناقشة كل هاته النتائج المتحصل عليها تجريبيا ونظريا.

1- النتائج التجريبية

إعتمادا على النتائج التجريبية المسجلة انطلاقا من المجمع الشمسي (PTC) المصمم ووفقا للإشعاع الشمسي بمنطقة ورقلة، نسجل درجة حرارة دخول وخروج الماء ودرجة حرارة الجو المحيط وشدة تدفق الإشعاع الشمسي والتدفق الكتلي للمائع باستخدام أجهزة القياس، وذلك خلال فترة التشميس كل نصف ساعة ثم نقوم برسم المنحنيات البيانية الموافقة.

1-1- شدة تدفق الإشعاع الشمسي في ورقلة



الشكل 5-1: تغيرات شدة تدفق الإشعاع الشمسي خلال اليوم (21 جويلية 2014) بمنطقة ورقلة

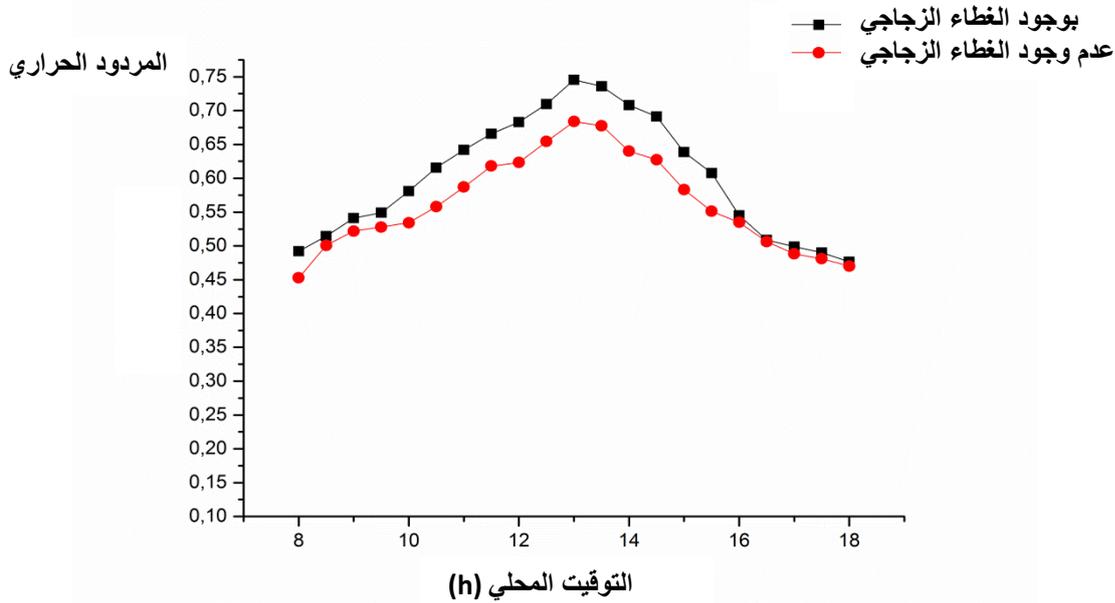
من خلال القياسات التجريبية لشدة تدفق الإشعاع الشمسي بمنطقة ورقلة وذلك في يوم 21 جويلية 2014 في كل نصف ساعة، حيث نلاحظ تزايد شدة تدفق الإشعاع الشمسي إلى غاية بلوغها الذروة عند الزوال في القيمة 953 W/m^2 ثم تراجعها من جديد بعد الزوال كما يوضح الشكل (5-1).

2-1 تأثير وجود الغطاء الزجاجي

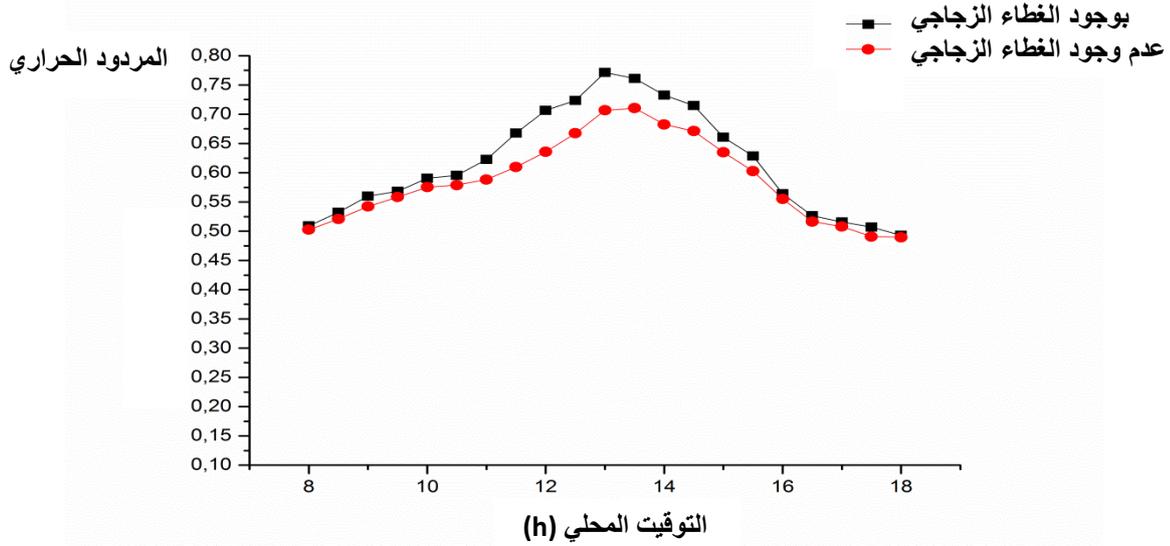
1-2-1 المردود الحراري

1-1-2-1 في حالة التتبع بمحور دوران واحد

نلاحظ من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s من خلال الشكل (5-2)، فإن المردود الحراري يبدأ من 0.5 ويزداد إلى الذروة عند الزوال حيث يبلغ بوجود الغطاء الزجاجي المسطح القيمة 0.75 ثم يتراجع إلى حدود القيمة 0.47، ونلاحظ أن وجود الغطاء الزجاجي المسطح أدى إلى زيادة المردود الحراري بنسبة ضئيلة في بداية النهار ثم تزايد شيئا فشيئا إلى أن تبلغ عند الزوال ذروتها 7%، لتتراجع من جديد بعد الزوال. بينما من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023 Kg/s فإن المردود الحراري يصل إلى الذروة عند الزوال حيث يبلغ بوجود الغطاء الزجاجي القيمة 0.77، ويكون عندها نسبة الزيادة في المردود بسبب وجود الغطاء 6% كما يوضحه الشكل (5-3).



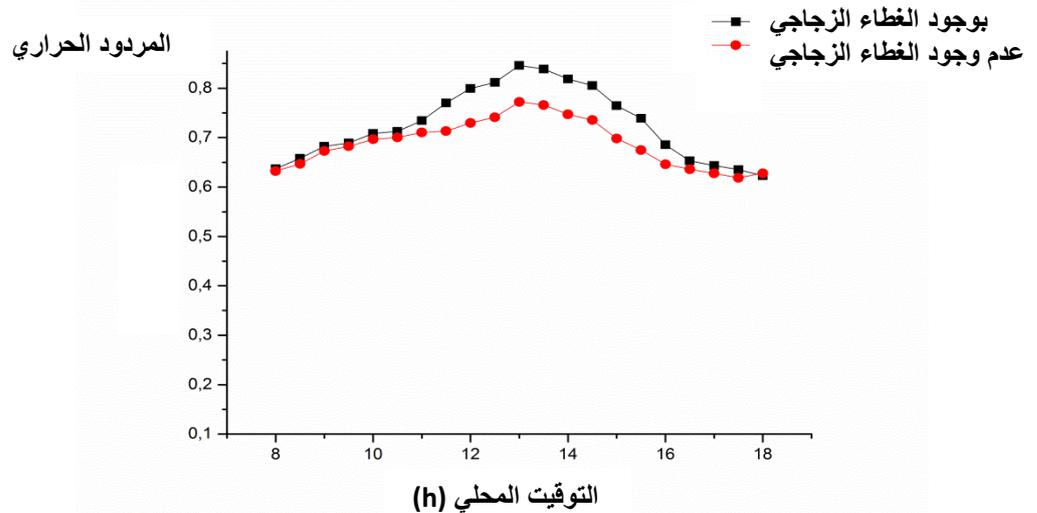
الشكل 5-2: تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s (محور دوران واحد)



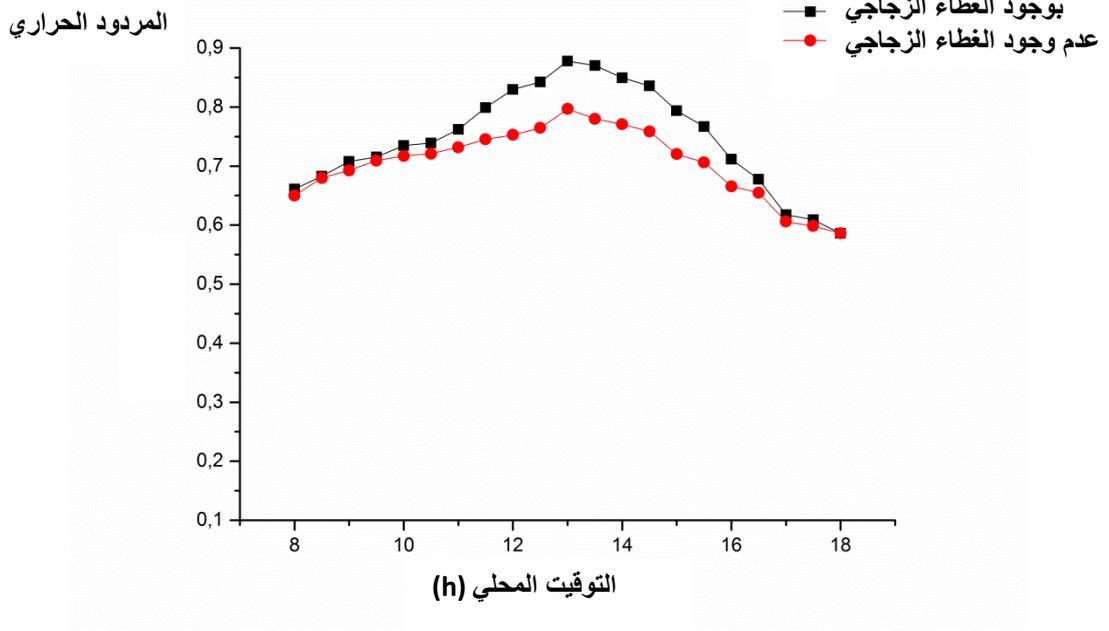
الشكل 5-3: تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (محور دوران واحد)

2-1-2-1 في حالة التتبع بمحوري دوران

نلاحظ من خلال الشكل (4-5) ولأجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s فإن المردود الحراري يبدأ من 0.63 وبتزايد إلى الذروة عند الزوال حيث يبلغ بوجود الغطاء الزجاجي المسطح القيمة 0.84 ثم يتراجع إلى حدود القيمة 0.61، ونلاحظ أن وجود الغطاء الزجاجي المسطح أدى إلى زيادة المردود الحراري بنسبة ضئيلة في بداية النهار ثم تتزايد شيئاً فشيئاً إلى أن تبلغ عند الزوال ذروتها 8% لتتراجع من جديد بعد الزوال. بينما من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s فإن المردود الحراري يصل إلى الذروة عند الزوال حيث يبلغ بوجود الغطاء الزجاجي القيمة 0.88 ويكون عندها نسبة الزيادة في المردود بسبب وجود الغطاء 8% كما يوضحه الشكل (5-5).



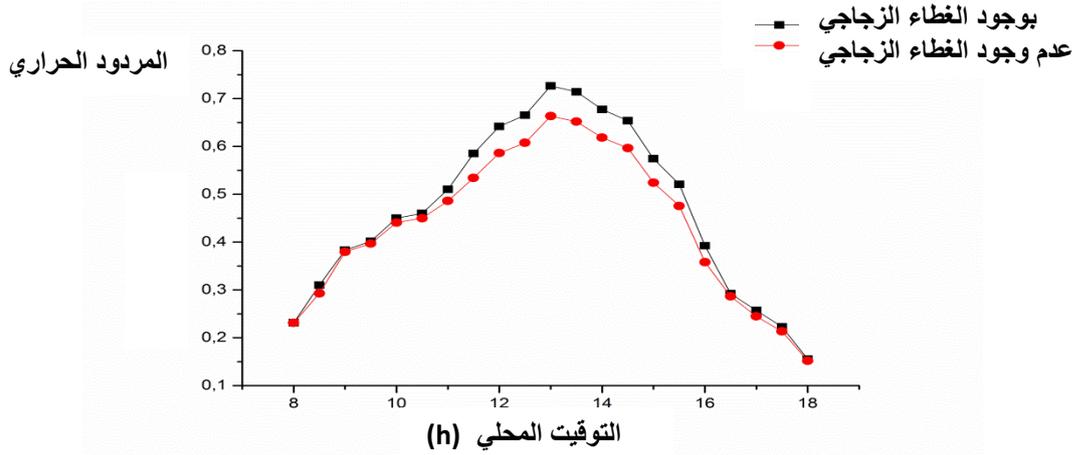
الشكل 5-4 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محوري دوران)



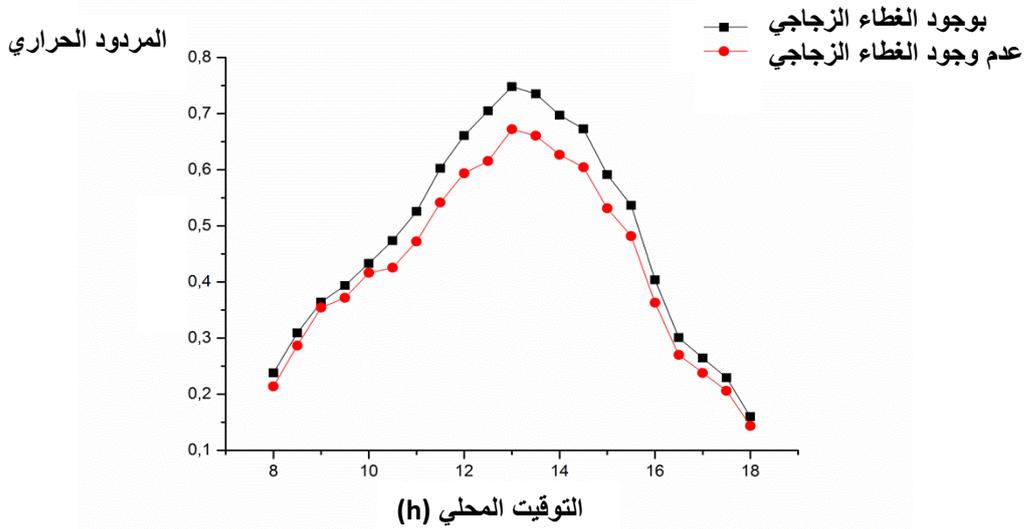
الشكل 5-5 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (محوري دوران)

3-1-2-1 في حالة تثبيت المجمع الشمسي نحو الجنوب بزاوية خط العرض للمنطقة

نلاحظ من خلال الشكل (5-6) ولأجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s فإن المردود الحراري يبدأ من 0.23 ويتزايد إلى الذروة عند الزوال حيث يبلغ بوجود الغطاء الزجاجي المسطح القيمة 0.73 ثم يتراجع إلى حدود القيمة 0.15، ونلاحظ أن وجود الغطاء الزجاجي المسطح أدى إلى زيادة المردود الحراري بنسبة ضئيلة في بداية النهار ثم تتزايد شيئاً فشيئاً إلى أن تبلغ عند الزوال ذروتها 8% لتتراجع من جديد بعد الزوال. بينما من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s فإن المردود الحراري يصل إلى الذروة عند الزوال حيث يبلغ بوجود الغطاء الزجاجي القيمة 0.75، ويكون عندها نسبة الزيادة في المردود بسبب وجود الغطاء 7% كما يوضحه الشكل (5-7)، حيث يتجاوز المردود الحراري القيمة 0.65 فقط في الفترة من $12^{\text{H}}:00^{\text{M}}$ إلى $14^{\text{H}}:30^{\text{M}}$ بينما قيمته متدنية خلال طرفي النهار.



الشكل 5-6 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (مثبت نحو الجنوب)



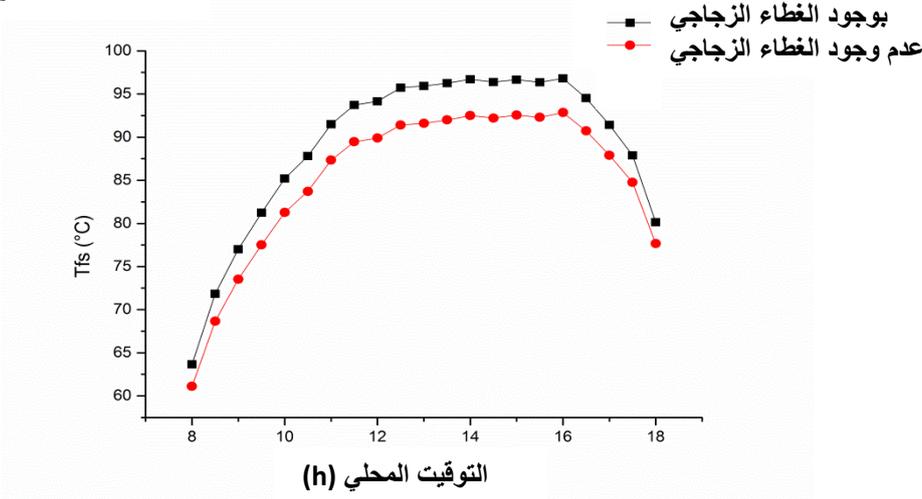
الشكل 5-7 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (مثبت نحو الجنوب)

من النتائج السابقة نسجل أن وجود الغطاء الزجاجي المسطح يؤدي إلى زيادة المردود الحراري خلال فترة الذروة بنسبة تتراوح بين 6% إلى 9%، بينما تكون الزيادة طفيفة خلال طرفي النهار لأن في الزوال يزداد الفرق في درجة الحرارة بين الأنبوب الماص والجو المحيط مما يستدعي آليات عزل للتقليل من الضياعات الحرارية، وهذا ما قام به الغطاء الزجاجي من دور، بينما في طرفي النهار يقل الفرق في درجة حرارة بين الأنبوب الماص والجو المحيط وبذلك تكون الضياعات الحرارية قليلة ومنه تقل فعالية وجود الغطاء. بينما التتبع الشمسي (محوري دوران أو محور واحد) يزيد من فترة الذروة للمردود الحراري، وبذلك فإن فعالية الغطاء والحاجة إليه تكون أكبر بينما في حالة تثبيت المجمع الشمسي (عدم التتبع الشمسي) فإن تقلص فترة ذروة المردود الحراري إلى حدود ساعتين ونصف فقط لا يمكن استدراكها بوجود الغطاء المسطح.

2-2-1 درجة حرارة خروج المانع

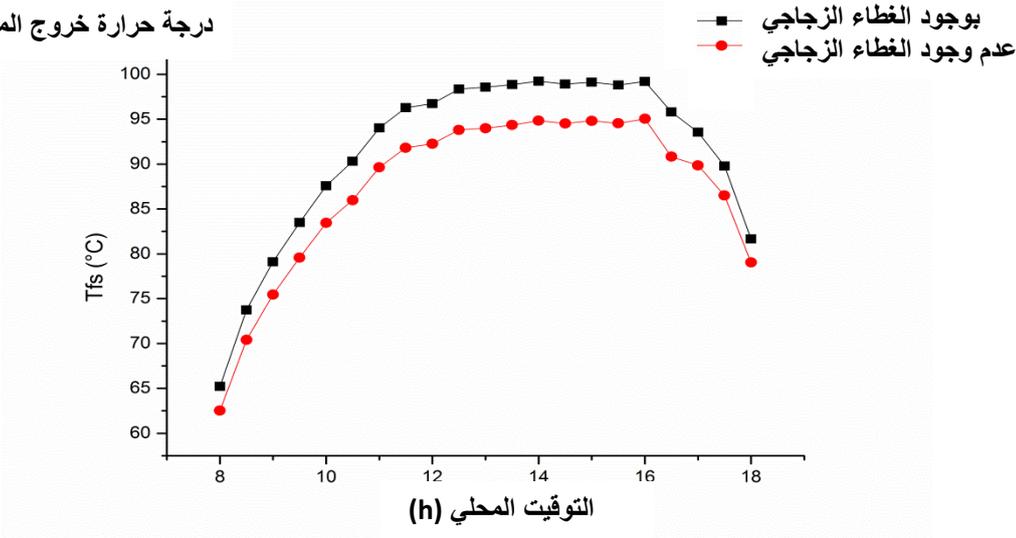
نسجل بيانات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل تدفق كتلي 0.009Kg/s في حالة وجود الغطاء وفي عدم وجوده وذلك لمختلف حالات التتبع :

درجة حرارة خروج الماء

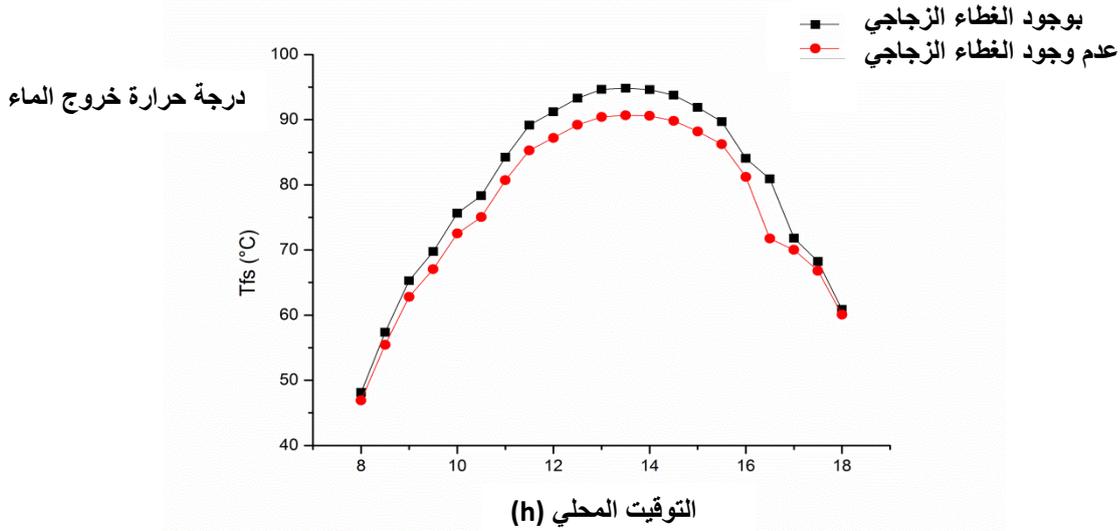


الشكل 5-8 : تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محور دوران واحد)

درجة حرارة خروج الماء



الشكل 5-9 : تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (محوري دوران)

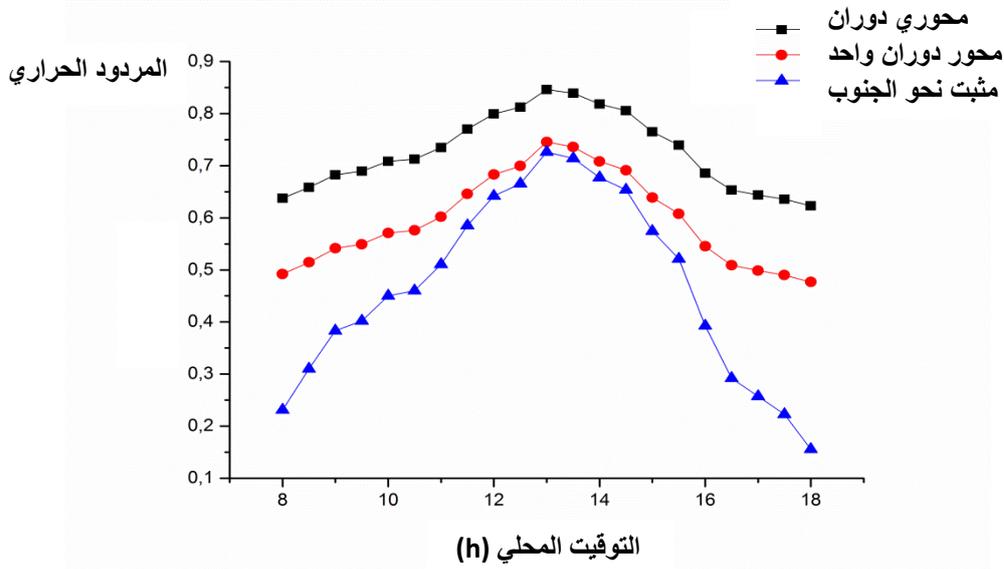


الشكل 5-10 : تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s (مثبت نحو الجنوب)

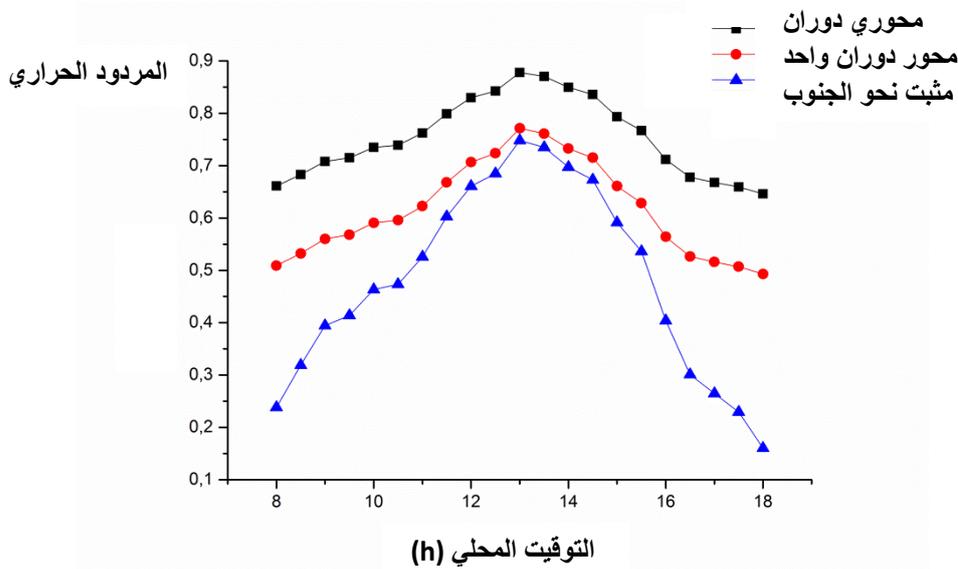
من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009 Kg/s نلاحظ من الأشكال (5-8) و(5-9) و(5-10) أن وجود الغطاء الزجاجي المسطح أدى إلى زيادة درجة حرارة الذروة عند الزوال بقيمة في حدود 5°C إلى 6°C نتيجة العزل الحراري للغطاء وهذا من أجل مختلف حالات التتبع (محور أو محورين) وكذلك في حالة التثبيت.

3-1 تأثير المحاور

نلاحظ من الشكلين (5-11) و(5-12) بوجود الغطاء الزجاجي أن التتبع الشمسي (محور دوران واحد أو محورين) يؤدي إلى إستقرار المردود الحراري نسبيا وعدم تراجعه بشكل كبير حيث يبقى أكبر من 0.5 على طول فترة التشميس، ويكون المردود الحراري في حالة التتبع بمحوري دوران أكبر منه في حالة محور واحد بـ (10% - 14%) من أجل التدفق 0.009 Kg/s ، وبـ (12% - 16%) من أجل التدفق 0.023 ، بينما عدم التتبع (حالة التثبيت) يجعل المردود الحراري يتراجع بشكل كبير في طرفي النهار إلى حدود 0.2 ولم يتجاوز القيمة 0.5 سوى مدة 4.5 ساعة خلال الزوال.

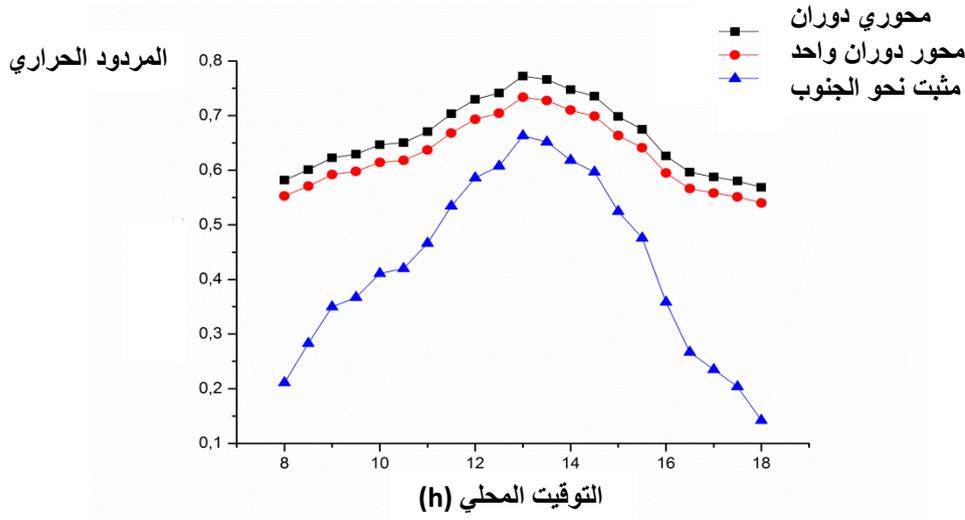


الشكل 5-11 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (بوجود الغطاء الزجاجي)

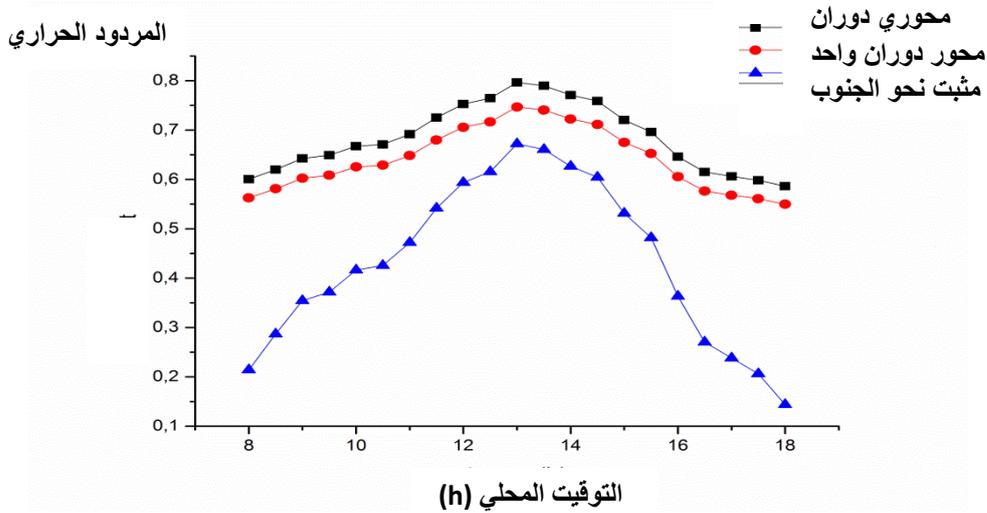


الشكل 5-12 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (بوجود الغطاء الزجاجي)

ونلاحظ من الشكلين (5-13) و(5-14) في حالة عدم وجود الغطاء الزجاجي نفس الملاحظات السابقة حيث يبقى المردود الحراري في استقرار (أكبر من 0,5) طيلة فترة التشميس في حالة التتبع الشمسي، بينما في حالة عدم التتبع (التثبيت) يتراجع سريعا في طرفي النهار ويكون المردود الحراري في حالة التتبع بمحوري دوران أكبر بـ من حالة التتبع بمحور دوران واحد.



الشكل 5-13 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.009Kg/s (بعدم وجود الغطاء الزجاجي)

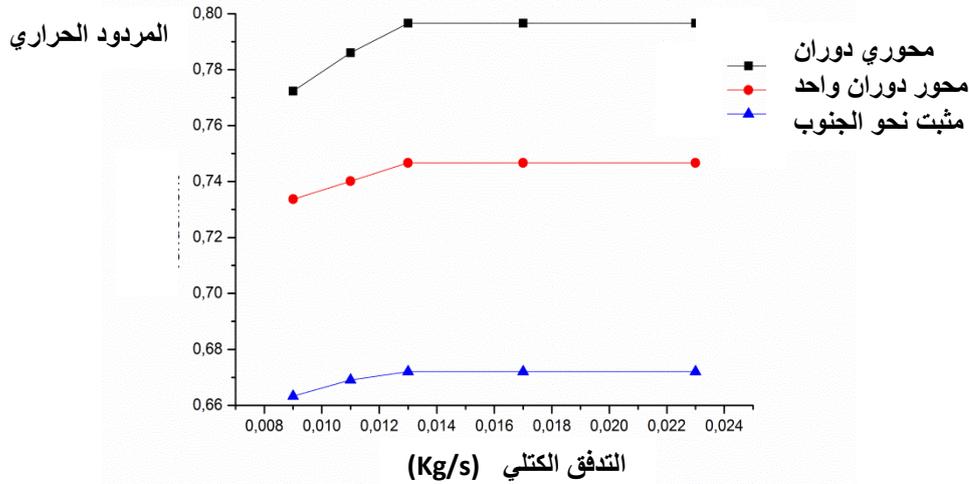


الشكل 5-14 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي للماء 0.023Kg/s (بعدم وجود الغطاء الزجاجي)

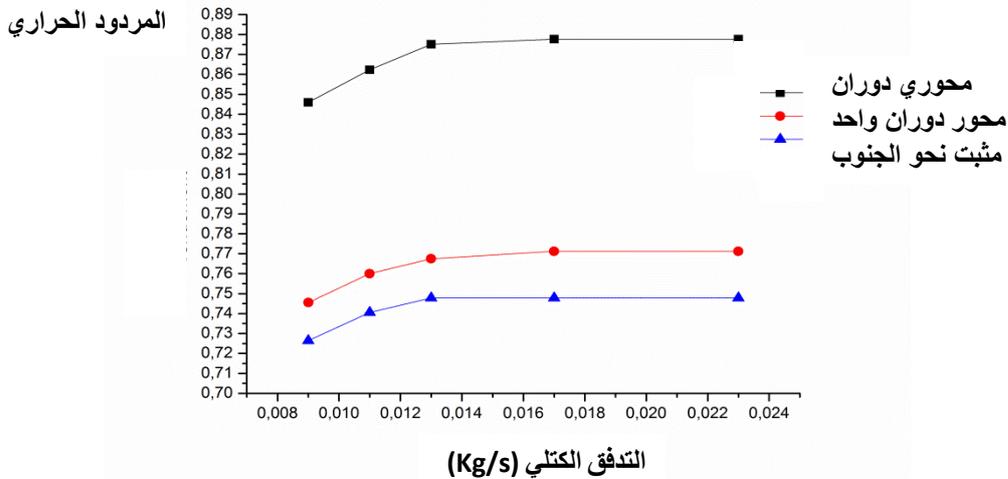
مما سبق نستنتج أن التتبع الشمسي يؤدي إلى استقرار المردود الحراري نسبياً على طول اليوم، بينما في حالة التثبيت يتراجع بشكل كبير في طرفي النهار ويعود ذلك لكون زاوية ورود الإشعاع الشمسي كبيرة في طرفي النهار مما يؤدي إلى قلة الاستفادة من الإشعاع الشمسي حينئذ. بينما وجود الغطاء الزجاجي أدى إلى زيادة المردود بسبب زيادة العزل الحراري، كما أن التتبع بمحورين في حالة عدم وجود الغطاء يقترب من حالة التتبع بمحور واحد لوجود ضياعات حرارية أكبر في حالة التتبع بمحورين.

4-1 تأثير التدفق الكتلي للمائع

كما نلاحظ من الشكلين (5-15) و(5-16) زيادة المردود الحراري مع زيادة التدفق الكتلي للماء إلى غاية بلوغ القيمة الحدية للتدفق 0.017 Kg/s وبعدها يثبت المردود الحراري، وهذا في حالة وجود أو عدم وجود الغطاء الزجاجي. ونسجل في حالة وجود الغطاء الزجاجي تكون نسبة الزيادة في المردود بين حالتين التتبع (محور أو محورين) 11% بينما في حالة عدم وجود الغطاء الزجاجي تكون هذه الأخيرة 5%.



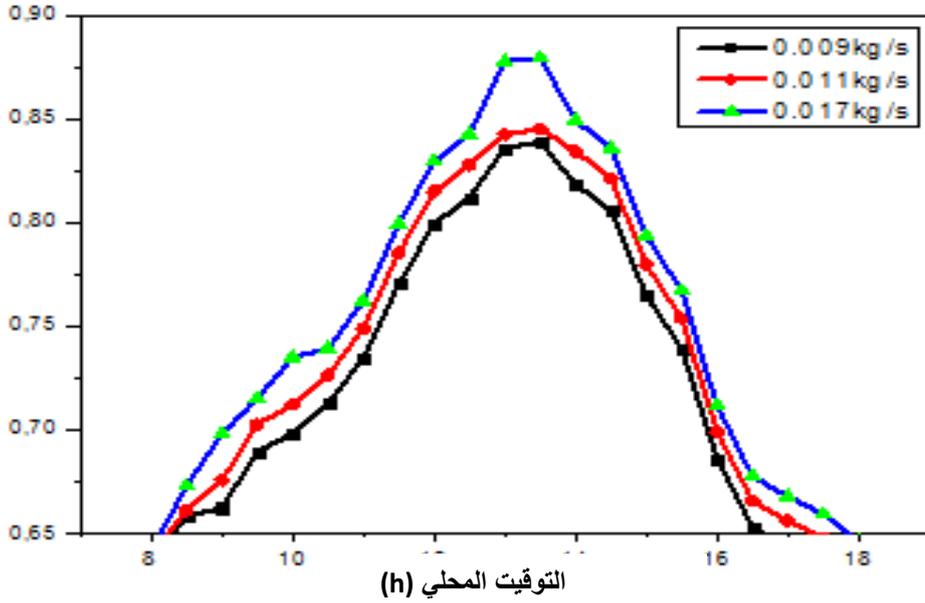
الشكل 5-15: تغيرات المردود الحراري بدلالة التدفق الكتلي للماء (بعدم وجود الغطاء الزجاجي)



الشكل 5-16: تغيرات المردود الحراري بدلالة التدفق الكتلي للماء (بوجود الغطاء الزجاجي)

يوضح الشكل (5-17) زيادة المردود الحراري بزيادة التدفق الكتلي حيث نسبة الزيادة تكون قليلة في طرفي النهار بينما تكون أعظمية في الزوال.

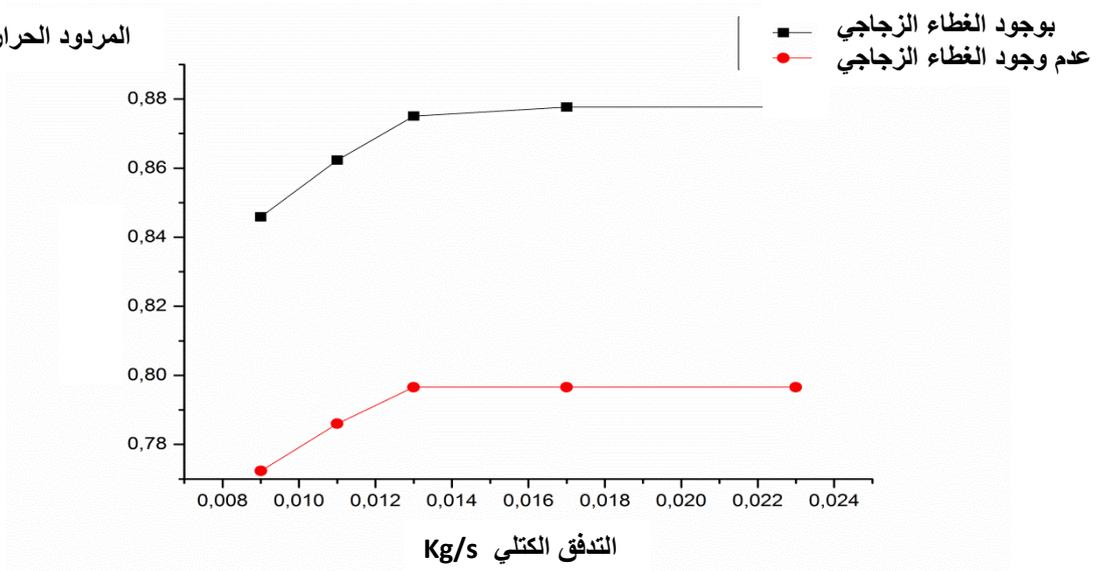
المردود الحراري



الشكل 5-17 : تغيرات المردود الحراري خلال اليوم مع تتبع بمحوري دوران (بوجود الغطاء الزجاجي)

كما نلاحظ من الشكل (5-18) تزايد المردود الحراري بتزايد التدفق الكتلي للمائع إلى غاية قيمة حدية للتدفق الكتلي 0.017 Kg/s ، وبعدها يصبح المردود الحراري مستقل عن قيمة التدفق الكتلي وهي الحالة التي تكون فيها قيمة هذا الأخير مناسبة للانتقال الأعظمي للحرارة الممتصة من طرف الأنبوب إلى المائع.

المردود الحراري



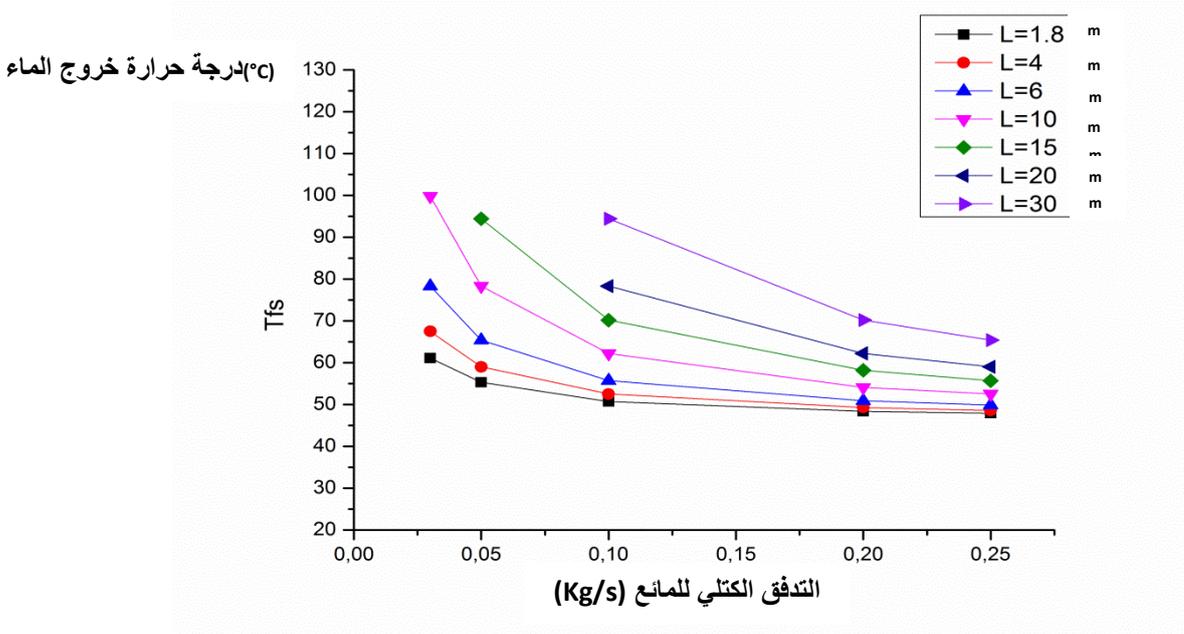
الشكل 5-18 : تغيرات المردود الحراري عند الذروة بدلالة التدفق الكتلي للماء (محوري دوران)

2- النتائج النظرية

من أجل توسيع النتائج إلى أبعاد مختلفة لطول المجمع الشمسي (PTC) ولتدفقات كتلية مختلفة للماء، نستغل نتائج المحاكاة العددية بعد تأكدنا من صدقيتها للتعرف على تأثير أبعاد (PTC) والتدفق الكتلي للماء على المردود الحراري ودرجة حرارة خروج الماء، مع تثبيتنا لحالة وجود الغطاء الزجاجي مع التتبع بمحور دوران واحد (شرق – غرب)

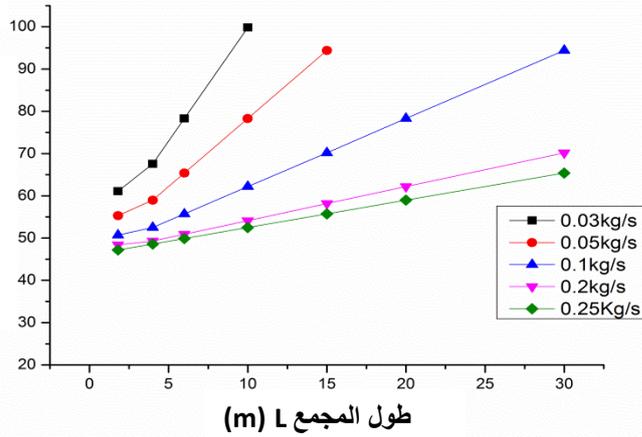
1-2 تأثير الأبعاد

تزداد درجة حرارة خروج المائع بزيادة طول المجمع الشمسي لزيادة مساحة الفتحة ومنه زيادة سطح التبادل الحراري، بينما تتناقص بزيادة التدفق الكتلي، وبذلك يتحدد طول المجمع الشمسي المناسب حسب التدفق الكتلي ودرجة الحرارة للماء المطلوبتين للإستغلال المنزلي أو الصناعي كما يوضح الشكلين (5-19) و (5-20).



الشكل 5-19 : تغيرات درجة حرارة خروج الماء عند الذروة بدلالة التدفق الكتلي

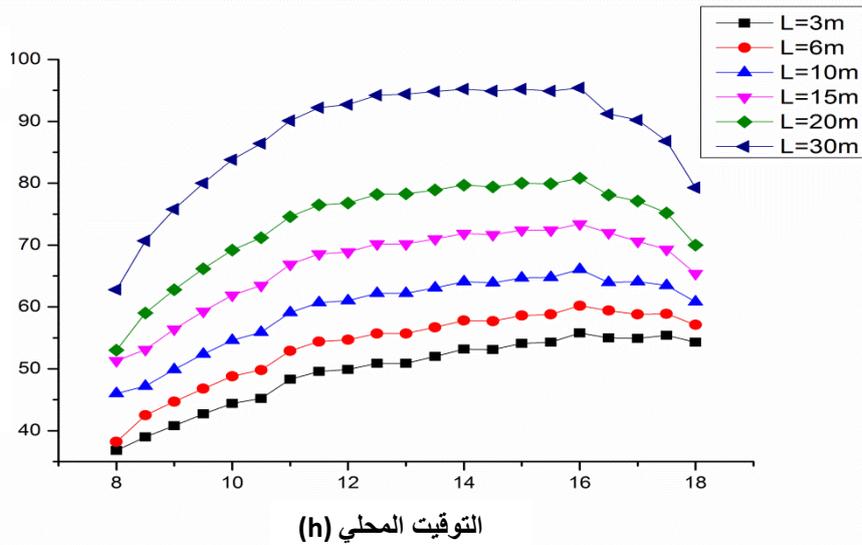
درجة حرارة خروج الماء (°C)



الشكل 5-20: تغيرات درجة حرارة خروج الماء عند الذروة بدلالة طول المجمع الشمسي

يوضح الشكل (5-21) تزايد درجة الحرارة في بداية النهار ثم استقرارها في الزوال من حدود $11^H:00^M$ إلى غاية $16^H:00^M$ ثم تتراجع في المساء، كما نلاحظ تزايد درجة حرارة الاستقرار بتزايد الطول.

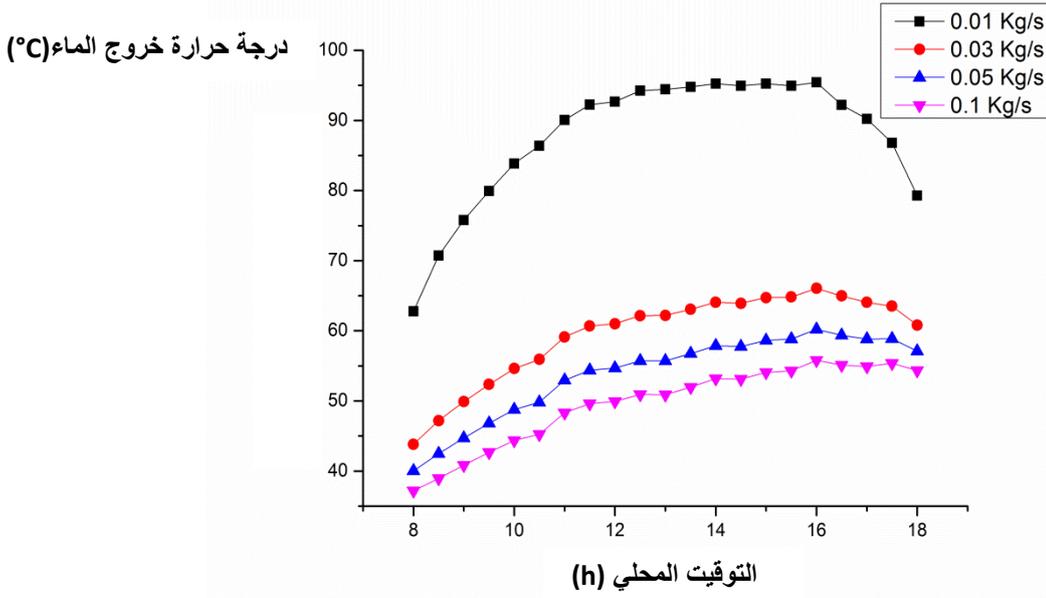
درجة حرارة خروج الماء (°C)



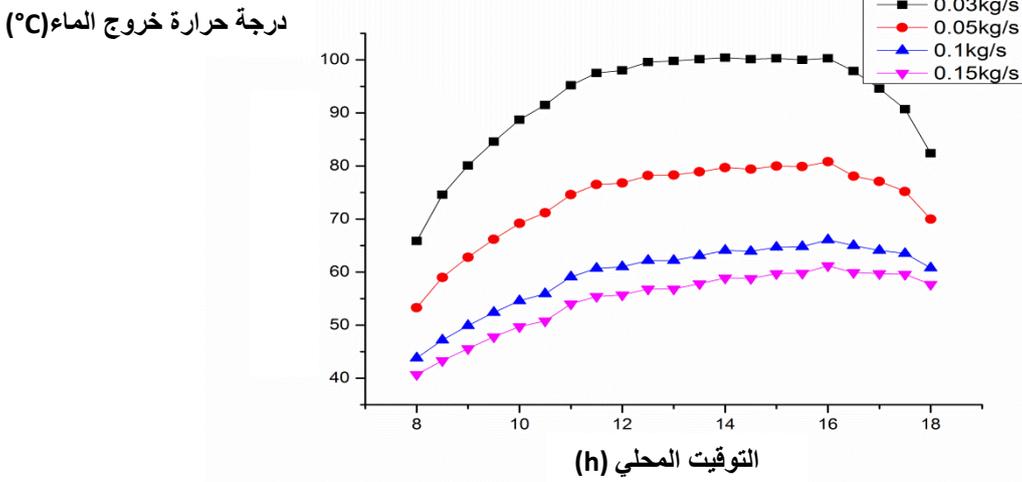
الشكل 5-21: تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم (من أجل التدفق الكتلي $0.1Kg/s$)

2-2 تأثير التدفق الكتلي

تزداد درجة حرارة خروج الماء لتستقر اثناء الزوال ثم تتراجع عند المساء، كما نلاحظ تزايد درجة حرارة الاستقرار بنقصان التدفق الكتلي للمائع من جهة، وبتزايد الطول من جهة ثانية، الاشكال (5-22) و(5-23) و(5-24).

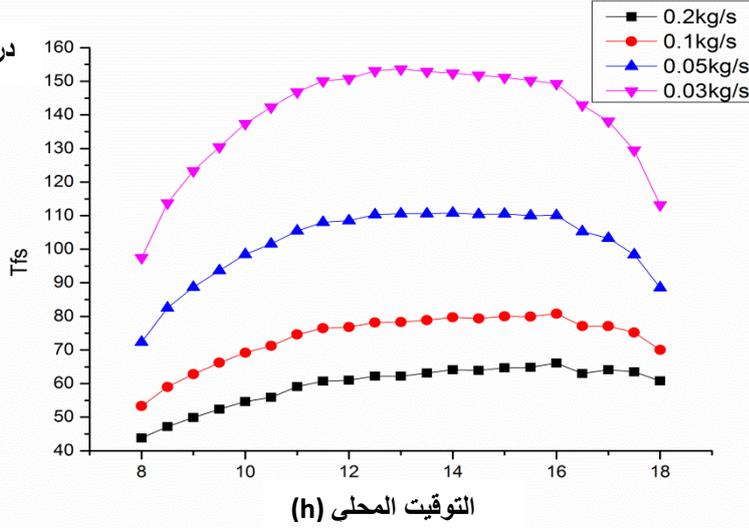


الشكل 5-22 : تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل ($L=3m$)



الشكل 5-23 : تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل ($L=10m$)

درجة حرارة خروج الماء (°C)

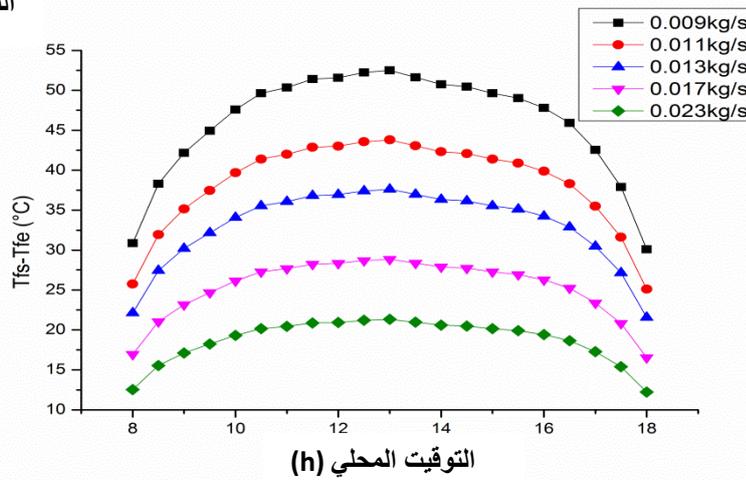


الشكل 24-5: تغيرات درجة حرارة خروج الماء خلال اليوم من أجل (L=20m)

مما سبق نستنتج أن زيادة طول المجمع الشمسي تؤدي إلى زيادة التبادلات الحرارية بين الأنابيب الماص والماء، وبذلك زيادة درجة حرارة خروج الماء، كما أن زيادة التدفق الكتلي للماء تؤدي إلى توزيع الحرارة المتبادلة مع كمية الماء المتدفق، وبذلك إنخفاض درجة حرارة الماء ومنه فإن درجة حرارة الماء المطلوبة والتدفق الكتلي المطلوب هو الذي يحدد أبعاد (PTC) المناسبة لذلك .

كما يوضح الشكل (25-5) تزايد الفرق بين درجة حرارة خروج ودخول الماء إلى غاية استقراره في الزوال، ثم تراجع من جديد مساء، كما نلاحظ تناقص هذا الفرق بزيادة التدفق الكتلي للماء.

الفرق في درجة حرارة الماء (°C)

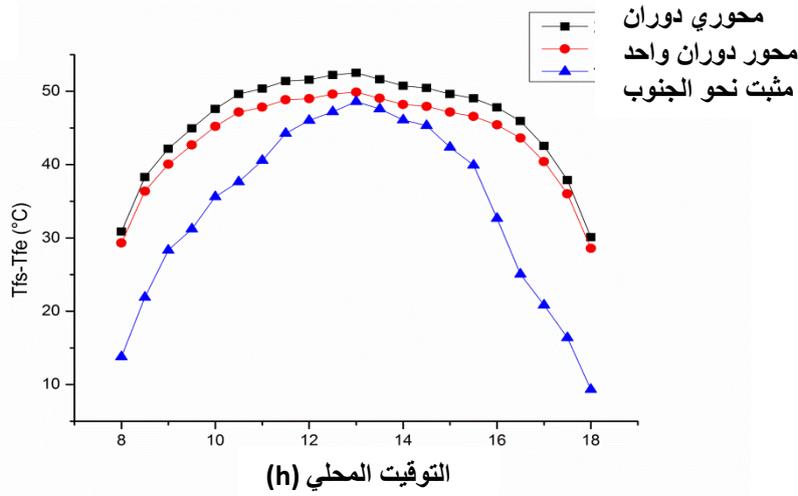


الشكل 25-5: تغيرات الفرق في درجة حرارة الماء خلال اليوم من أجل (L=20m)

3-2 تأثير المحاور

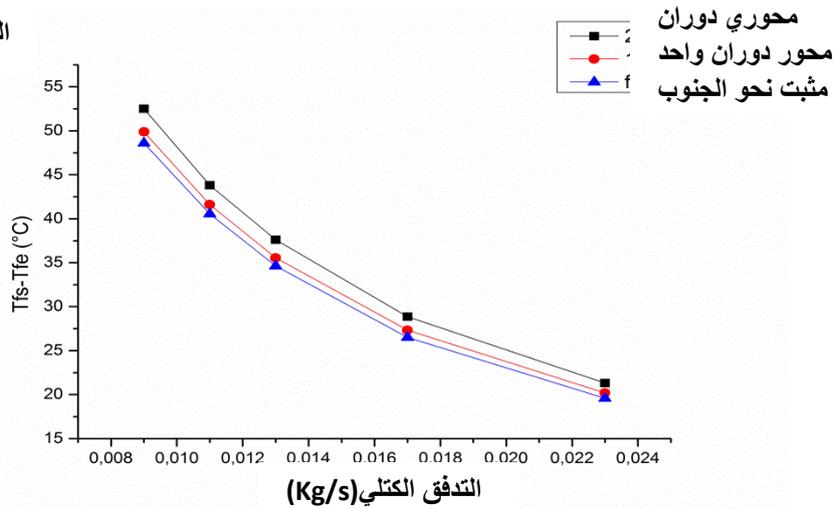
نلاحظ من الشكل (5-26) إستقرار الفرق في درجة الحرارة في حالة التتبع الشمسي بينما تراجعها سريعا في حالة التثبيت، كما نلاحظ من الشكل (5-27) نقصان الفرق في درجة الحرارة بتزايد التدفق الكتلي للماء مع الزيادة الطفيفة للفرق في درجة الحرارة عند الذروة من حالة التثبيت إلى التتبع بمحور دوران واحد إلى التتبع بمحورين، لأن فعالية التتبع تكون في طرفي النهار، أما عند الذروة تكون طرق التتبع متقاربة.

الفرق في درجة حرارة الماء (°C)



الشكل 5-26 : تغيرات الفرق في درجة حرارة الماء خلال اليوم من أجل التدفق الكتلي 0.1Kg/s و $(L=20\text{m})$

الفرق في درجة حرارة الماء (°C)



الشكل 5-27 : تغيرات الفرق في درجة حرارة الماء عند الذروة بدلالة التدفق الكتلي من أجل $(L=20\text{m})$

مما سبق نستنتج أن استقرار المردود الحراري وعدم تراجعه يتطلب التتبع الشمسي (بمحور واحد أو بمحورين)، لكن لعدم الإمكانية العملية للتتبع بمحورين من جهة وللتكلفة من جهة ثانية فإننا نختار التتبع بمحور واحد، ويمكننا تعويض النقص في المردود بإضافة الغطاء الزجاجي المسطح.

2-4 تسخين المياه للأغراض الصناعية والمنزلية

يمكن إنتاج الماء الساخن من خلال المجمعات المستوية الغير مركزة، ويكون مجال درجة حرارة الماء الناتج ($35.5^{\circ}\text{C} - 64.4^{\circ}\text{C}$) وبمردود حراري ($50.86\% - 57.13\%$) [116].

بينما تستطيع المركبات الشمسية منخفضة التركيز انتاج الماء الساخن بتدفقات معتبرة وبدرجات حرارة أعلى. ويبين الجدول (5-1) التالي إنتاج الماء الساخن بواسطة PTC من خلال دراسات مختلفة.

| الدراسة | المردود الحراري | درجة حرارة الماء | التدفق الكتلي (Kg/s) | أبعاد PTC |
|---------|-----------------|------------------|----------------------|---------------------|
| [117] | 66.3 – 68.8% | 36.5 °C | 0.0117 – 0.0167 | 1.25m x 0.8m |
| [118] | 53.4% | 104 °C | 0.00111 | 1.49 m ² |
| [119] | 32% | 65 °C | 0.0017 | 1.2m x 1.5 m |
| [120] | 49% | 50 °C | 0.00111 | 1.82m x 1.03m |
| [121] | 55% | 165 °C | 0.55 | 6 m x 2.3 m |
| [122] | 70.93% | 47.24 °C | 0.345 | 7.8 m x 5 m |

الجدول (5-1) مقارنة نتائج دراسات سابقة في استخدام PTC لتسخين المياه [123]

ومن خلال هذه الدراسة النظرية قمنا بتحديد أبعاد PTC المناسبة حسب التدفق الكتلي وكمية الماء الساخن المطلوب في اليوم:

ففي حالة الأغراض المنزلية حيث مجال درجة حرارة استقرار الماء المطلوبة ($60^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$) وذلك خلال شهر ديسمبر (الشتاء)، حيث تكون الحاجة ماسة لاستعمال الماء الساخن و- من أجل يوم صحو - فإن أبعاد PTC المناسبة وكمية الماء الساخن المطلوبة تعطى بالجدول (5-2):

| أبعاد (PTC) | التدفق الكتلي للماء (Kg/s) | كمية الماء الساخن في اليوم (L/day) |
|-------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1.6m x 1.5m | 0.0047 | 68.5 |
| 1.6m x 2m | 0.0082 | 122.2 |
| 1.6m x 2.5m | 0.0120 | 184.7 |
| 1.6m x 3m | 0.0147 | 238.4 |

الجدول (5-2) إنتاج الماء الساخن للأغراض المنزلية في شهر ديسمبر

ومن أجل الأغراض الصناعية وللحصول على الماء الساخن ضمن مجال درجة حرارة (90°C - 100°C)، ففي شهر ديسمبر - من أجل يوم صحو - يوضح الجدول (5-3) كمية الماء الساخن الناتج في اليوم وفقا لأبعاد : PTC

| أبعاد (PTC) | التدفق الكتلي للماء (Kg/s) | كمية الماء الساخن في اليوم (L/day) |
|-------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1.6m x 1.8m | 0.0051 | 74.3 |
| 1.6m x 3m | 0.0086 | 126.5 |
| 1.6m x 6m | 0.0190 | 286.3 |
| 1.6m x 10m | 0.0320 | 492.5 |
| 1.6m x 15m | 0.0506 | 819.7 |

الجدول (5-3) إنتاج الماء الساخن للأغراض الصناعية في شهر ديسمبر

أما في شهر جويلية - من أجل يوم صحو - فتكون كمية الماء الساخن وفقا لأبعاد PTC كما يوضحه الجدول (5-4) :

| كمية الماء الساخن في اليوم (L/day) | التدفق الكتلي للماء (Kg/s) | أبعاد (PTC) |
|------------------------------------|----------------------------|-------------|
| 133.2 | 0.0074 | 1.6m x 1.8m |
| 221.4 | 0.0123 | 1.6m x 3m |
| 450.0 | 0.0250 | 1.6m x 6m |
| 739.8 | 0.0411 | 1.6m x 10m |
| 1139.4 | 0.0633 | 1.6m x 15m |

الجدول (5-4) إنتاج الماء الساخن للأغراض الصناعية في شهر جويلية

الخاتمة

من خلال تحليل ومناقشة النتائج التجريبية ثم النظرية فإننا نستطيع التحكم في أبعاد المجمع الشمسي (PTC) المراد تصميمه، وفقا لدرجة حرارة الماء المطلوبة والتدفق الكتلي المطلوب، لمختلف الأغراض الصناعية والمنزلية، وكذا وفقا لشدة الإشعاع الشمسي في المنطقة وبناءً على إختيار طريقة التتبع الشمسي المناسبة وكل هذا مع مراعاة زيادة الفعالية الحرارية والضوئية مع خفض التكلفة.

الخاتمة العامة والتوصيات

الخاتمة العامة والتوصيات

يعتبر المجمع الشمسي الأسطواني القطع مكافئ (PTC) من أهم أنظمة التركيز الشمسي الحراري (CSP) من حيث الفعالية في إنتاج البخار، حيث يستغل بشكل مركزي في إنتاج البخار المضغوط لتدوير عنفات مولدات الطاقة الكهربائية من خلال محطات توليد الطاقة الكهربائية الشمسية، أو غير مركزي من خلال مختلف التطبيقات الحرارية (تسخين المياه، إنتاج البخار، التقطير) وذلك لمختلف الأغراض الصناعية والمنزلية. ولقد اهتمت الدراسات السابقة بزيادة فعالية (PTC) بزيادة المردود الضوئي، من خلال اختيار المواد المناسبة واختيار طرق التتبع الشمسي واختيار الأبعاد (عرض الفتحة، البعد البؤري، قطر العنصر الجامع للحرارة) وكذا بزيادة المردود الحراري بزيادة العزل الحراري للأنبوب الماص وكل هذا مع مراعاة التقليل من التكلفة وزيادة عمر الإشتغال.

قمنا في هذا العمل بتصميم وإنجاز نموذج لمجمع شمسي أسطواني قطع مكافئ مع إضافة غطاء زجاجي مسطح للفتحة، من أجل زيادة العزل الحراري للأنبوب الماص من جهة والحفاظ على الخواص الضوئية للعاكس والظرف الزجاجي من الترددي بسبب الرطوبة والأمطار وكذا الأتربة والغبار (الرياح) من جهة ثانية. تم الإنجاز بمواد متوفرة في السوق المحلية وبأسعار معقولة، ثم سجلنا النتائج التجريبية المتعلقة بدرجة حرارة دخول وخروج الماء من أجل تدفقات كتلية مختلفة، ولمختلف أنماط التتبع الشمسي، وفقا للإشعاع الشمسي بمنطقة ورقلة ووفقا لأبعاد المجمع المنجز، وذلك في حالتي وجود الغطاء الزجاجي وعدمه.

ثم لتوسيع النتائج لأبعاد مختلفة من طول المجمع الشمسي ولتدفقات كتلية أكبر، قمنا بمحاكاة عددية لنموذج (PTC) ومن ثم كتابة معادلات الموازنة الحرارية ثم الحل العددي من خلال برنامج بلغة الفورترن، ثم تسجيل النتائج النظرية وبعد التأكد من صدقيتها بمقارنتها بالنتائج التجريبية، توصلنا إلى تأثير مختلف العوامل (طول المجمع الشمسي، التدفق الكتلي، نمط التتبع الشمسي، وجود الغطاء الزجاجي المسطح) على درجة حرارة خروج الماء ومن ثم المردود الحراري، وبعد هذه الدراسة نخلص للنتائج التالية :

1- الغطاء الزجاجي المسطح أدى إلى زيادة المردود الحراري بـ 9% خلال ذروة تدفق الإشعاع الشمسي، وهذا إضافة لما يحققه من محافظة على الخواص الضوئية للعاكس وللظرف الزجاجي من الترددي خاصة مع الأحوال الجوية لمنطقة ورقلة (نشاط الرياح) وما تحمله من غبار وأتربة.

2- إن زيادة المردود الحراري بفعل تفريغ الظرف الزجاجي من الهواء من جهة وما يسببه من زيادة تكلفة تصل إلى 20% [73] من التكلفة الكلية من جهة ثانية، يمكن تعويضها بوجود

- الغطاء الزجاجي المسطح، وبذلك نتفادى الزيادة في التكلفة وسهولة انكسار الظرف الزجاجي مع الزيادة المعتبرة في المردود الحراري.
- 3- وجود الغطاء الزجاجي المسطح لا يعفي عن ضرورة التتبع الشمسي، حيث هذا الأخير يزيد من فترة استقرار المردود الحراري خلال طول اليوم.
- 4- زيادة المردود الحراري بزيادة التدفق الكتلي إلى غاية قيمة حدية 0.016 Kg/s (هذه القيمة تتعلق بقطر الأنبوب الماص) ليصبح بعدها المردود الحراري مستقل عن التدفق الكتلي.
- 5- التأكد من صدقية النموذج الرياضي المعتمد في الدراسة، حيث لاحظنا تطابق النتائج النظرية مع التجريبية في ذروة تدفق الإشعاع الشمسي و ارتفاع النتائج النظرية خلال طرفي النهار بـ 6% ويعود هذا التفاوت إلى الفرضيات التبسيطية للنموذج.
- 6- النتائج النظرية مكنتنا من إمكانية إختيار أبعاد (PTC) المناسبة للحصول على درجة حرارة الماء والتدفق الكتلي المطلوبين لمختلف الأغراض الصناعية والمنزلية.
- 7- التتبع الشمسي بمحور دوران واحد هو الأنسب في أنظمة PTC حيث يستقر المردود الحراري، كما يمكن تعويض الزيادة في المردود الناتجة عن التتبع بمحوري دوران – والذي لا يمكن تحقيقه عمليا في محطات PTC – بإضافة الغطاء الزجاجي.

كما نسجل التوصيات والآفاق التالية لتكون محل دراسة وتحليل وبحث في مشاريع الدراسات المستقبلية :

- 1- إستغلال النتائج النظرية لهاته الدراسة في التحكم في أبعاد PTC المناسبة لمختلف التطبيقات الحرارية (تسخين المياه، التقطير، ترطيب المنتوجات الزراعية...) وفقا للظروف الجوية لمنطقة ورقلة.
- 2- تحويل سطح الامتصاص إلى سطح أفقي يعبره أنبوب مزدوج أو ثلاثي المرور، من أجل زيادة معامل الإعتراض بالشكل الذي يعفينا من التتبع الشمسي من جهة، وكذا زيادة سطح التبادل الحراري من جهة ثانية، كما يمكننا ذلك من التحكم أكثر في قطر الأنبوب الماص.
- 3- دراسة آليات تنضيف الغطاء الزجاجي المسطح من الغبار والأتربة والرطوبة بشكل دوري وبتكلفة بسيطة.
- 4- دراسة إختيار المواد المناسبة (ذات الخواص الضوئية والحراية العالية والمتانة لمقاومة حمل الرياح وكذا التكلفة المنخفضة).
- 5- إيجاد آليات عملية غير مكلفة للرفع من المردود الضوئي من خلال التقليل من الضياعات بفعل التظليل وبفعل النهايات.

6- دراسة الخواص الأنسب للمائع الناقل للحرارة HTF من حيث السلوك الحراري والمحافظة على البيئة وعدم السمية وخطر الاشتعال وكل هذا مع التكلفة المنخفضة.

المراجع والمصادر

المراجع والمصادر

- [1] www.worldwatch.org. (May 2016)
- [2] Kreith F, Kreider JF. Principles of solar engineering. New York: McGraw-Hill; 1978.
- [3] M. Romero, D. Martínez, and E. Zarza, "Terrestrial solar thermal power plants: on the verge of commercialization," in Proceedings of the 4th international conference on solar power from space, 2004.
- [4] abbas ghassemi, SOLAR ENERGY Renewable Energy and the Environment, © 2010 by Taylor and Francis Group, LLC, International Standard Book Number: 978-1-4200-7566-3 (Hardback).
- [5] S. Teske, L. Crespo and C. Richter, Solar thermal electricity, Global Outlook 2016, Greenpeace International, European Solar Thermal Electricity Association ESTELA, Solar PACES (2016).
- [6] O. Behar, A. Khellaf and K. Mohammedi, A novel parabolic trough solar collector model - Validation with experimental data and comparison to Engineering equation solver (EES), Energy Conversion and Management, 106 (2015) 268-281.
- [7] D. A. Baharoon, H. A. Rahman, W. Z. W. Omar and S. O.Fadhl, Historical development of concentrating solar power technologies to generate clean electricity efficiently - a review, Renew Sustain Energy, Rev., 41 (2015) 996-1027.
- [8] L. Stoddard, J. Abiecunas and R. O'Connell, Economic energy and environmental benefits of concentrating solar power in California, National Renewable Energy Laboratory, Subcontract report NREL/SR-550-39291, April (2006)
- [9] Guide des Energies Renouvelables. Ministere de L'énergie et des Mines Algerienne. (Edition 2007).
- [10] Shaharin. A, Haizatul. H, Nik Siti. H, and Mohd. S, Effects of Dust on the Performance of PV Panels, World Academy of Science Engineering and Technology, 58 2011.
- [11] Iqbal, M., "An Introduction to Solar Radiation", Academic, Toronto (1983).
- [12] John R. Howell, R. Bannerot, G. Vliet, "Solar – Thermal Energy Systems", Copyright © by McGraw-Hill, Inc. 1982.
- [13] Gueymard, C., 2004. "The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models". Solar energy, 76(4), pp. 423–453.

- [14] Capdrou. M. 1987. Atlas Solaire de l'Algérie, Modèles Théoriques et Expérimentaux. Volume1, Tome 2 ; Office des Publications Universitaires, Algérie.
- [15] Zekai.Sen, Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, ISBN 978-1-84800-133-6 © 2008 Springer-Verlag London Limited.
- [16] Goswami, D. Y., Kreith, F., Kreider, J. F., and Kreith, F., 2000. Principles of Solar Engineering. second ed., Taylor & Francis, Philadelphia, PA.
- [17] Tomas Markvart, "Solar Electricity", Second edition, University of Southamton, UK, Madrid, Jon Wiley and sons Ltd. ISBN, 2000.
- [18] Stine, W. B., and Harrigan, R. W., 1985. Solar Energy Fundamentals and Design: With Computer Applications. Wiley-Interscience, Apr.
- [19] Woolf, H. M., 1968. "On the Computation of Solar Evaluation Angles and the Determination of Sunrise and Sunset Times". National Aeronautics and Space Administration Report NASA TM-X-164, USA.
- [20] S. a. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Second Edi. 2013, p.840
- [21] Shah A., S. C. Kaushik, S.N. Garg, "Computation of beam Solar Radiation at Normal Incidence Using Artificial Neural Network", Renewable Energy 31(2006) 1483-1491.
- [22] Geyer M., Stine B. William "Power from the Sun" Copyright © 2001 by J. T. Lyle Center.
- [23] Pierre Henir Communay, héliothermique le gisement solaire methods et calculs, ISBN 2-84139-036-5(France),2002.
- [24] Anderson B. Solar energy: fundamentals in building design. New York: McGraw-Hill; 1977.
- [25] Malik MAS, Tiwari GN, Kumar A, Sodha MS. Solar distillation. New York: Pergamon Press; 1985
- [26] Mary Jane Hale, "Survey of Thermal Storage for Parabolic Trough Power Plants", NREL/SR-550-27925, Period of Performance: September 13, 1999.June 12, 2000.
- [27] Meinel AB, Meinel MP. Applied solar energy: an introduction. Reading, MA: Addison-Wesley; 1976.
- [28] Kreider JF, Kreith F. Solar heating and cooling. New York: McGraw-Hill; 1977.

- [29] Sukhatme S.P. (2007) principles of thermal collection and storage. McGraw Hill, New Delhi
- [30] Kryza, Frank, The Power of Light. McGraw-Hill, New York, 2003.
- [31] Leland Johnson, 'A HISTORY OF EXCEPTIONAL SERVICE IN THE NATIONAL INTEREST', Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185 Livermore, California 94551 © 1997 by Sandia National Laboratories All rights reserved. Published 1997
- [32] Soteris A. Kalogirou. Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 231–295.
- [33] Report Prepared for U.S. Department of Energy. Solar Thermal Technology Annual Evaluation Report. July 1983. NASA-CR-173191-19840008573
- [34] Geyer, M., Lüpfert, E., Osuna, R., Esteban, A., Schiel, W., Schweitzer, A., Zarza, E., Nava, P., Langenkamp, J. and E. Mandelberg. 2002. Eurotrough - Parabolic Trough Collector developed for Cost Efficient Solar Power Generation. 11th International Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Technologies. September 4-6
- [35] lang2.html, <http://www.solarmillennium.de/index>
- [36] Philibert C., "The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy", Copyright 2005 by InterAcademy Council All rights Reserved.
- [37] K. Gouthamraj, K. Jamuna Rani, G. Satyanarayana, Design and Analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 2, Issue 11, May 2013.
- [38] Mansi G. Sheth, Dr.P.K.Shah, DESIGN AND DEVELOPMENT OF COMPOUND PARABOLIC CONCENTRATING SOLAR COLLECTOR WITH FLAT PLATE ABSORBER, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 2, Issue 8, August 2013.
- [39] I.Roldán, Concentrating Solar Thermal Technologies Analysis and Optimisation by CFD Modelling, ISSN 1865-3529, Springer International Publishing Switzerland 2017.
- [40] S. a. Kalogirou and S. Lloyd, "Use of solar Parabolic Trough Collectors for hot water production in Cyprus. A feasibility study," Renew. Energy, vol. 2, no. 2, pp. 117–124, Apr. 1992.

- [41] Falah Abd Alhasan Mutlak, Design and Fabrication of Parabolic Trough Solar Collector for Thermal Energy Applications, Thesis Doctor of Philosophy in Physics University of Baghdad, 2011
- [42] Garg. H. P. and Prakash J., "Solar Energy Fundamentals and Applications", Copyright © 2008, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Tenth reprint.
- [43] Sodha MS, Mathur SS, Malik MAS, Reviews of renewable energy resources, vol. 2. New York: Wiley; 1984.
- [44] B. Singh, M. Singh, and F. Sulaiman, "Designing a solar thermal cylindrical parabolic trough concentrator by simulation," in RIO 3 - World Climate & Energy Event, 2003, no. December, pp. 143–149.
- [45]. W. B. Stine and R.W. Harrigan (1985), Solar Energy System and Design, Available : <http://www.powerfromthesun.net.htm/>
- [46] Egbo G., Sintali I. S., and Dandakouta H., "Analysis of Rim Angle Effect On the Geometric Dimensions of Solar Parabolic-Trough Collector", Int. Jor. P. App. Scs., 2 (2008) No.3, 11-20.
- [47] S. M. Jeter and S. A. Jarrar, D. I. and Moustafa, "Geometrical effects on the performance of trough collectors," Solar Energy, vol. 30, no. 2, pp. 109 – 113, 1983.
- [48] A. Thomas and H. M. Guven, "Parabolic trough concentrators—design, construction and evaluation," Energy Conversion and Management, vol. 34, no. 5, pp. 401 – 416, 1993
- [49] Duffie. J. A, Beckman W. A, 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed. Madison: JohnWiley & Sons. New York.
- [50] Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K. and Sharifi, A., A review of principle and suntracking methods for maximizing solar systems output. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1800-1818 (2009).
- [51] Koussa, M., Cheknane, A., Hadji, S., Haddadi, M. and Noureddine, S., Measured and modelled improvement in solar energy yield from flat plate photovoltaic systems utilizing different tracking systems and under a range of environmental conditions. Applied Energy, 88, 5, 1756-1771 (2011).
- [52] John D. A. and William B.A. (1991,) Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons Inc., Canada. Pg. (3-216, 330-379).

- [53] Rubio F., M. Ortega, F. Gordillo and L. Martinez, "Application of New Control Strategy for Sun Tracking", *Energy Conversion and Management* 48 (2007) 2174-2184.
- [54] B. T. Nijaguna, *Thermal Sciences/Engineering data book*, 1st ed. Allied Publishers Limited, New Delhi, 1992, p. O-18.
- [55] Lane, George A., "Solar Heat Storage: Latent Heat Material," Volume 1. CRC Press, Boca Raton, FL, 1983.
- [56] Lof, G.O.G. "Energy Balance of Parabolic Cylindrical Solar Concentrator", *J. of Engineering of Power* (1962), 24-32
- [57] Lof, G.O.G. "Optimization of Focusing Solar Collector Design" of *Engineering for Power*, (1963), 221-228.
- [58] Edward L. and Cherng J., "On Heat Exchanger used with Solar Concentrators", *Jour. of solar energy*, 18(1976)157-158.
- [59] Parnpal, S. and Cheema L.S., "Performance and Optimization of Cylindrical-Parabola Collector" of *Solar Energy*, 18 (1976) 135-141.
- [60] Ramsey J.W. and Gupta B.P., "Experimental Evaluation of a Cylindrical Parabolic Solar Collector" of *heat transfer of ASME*, 99(1977) 163-168.
- [61] Clark JA, "An Analysis of the Technical and Economic Performance of a Parabolic Trough Concentrator for Solar industrial Process Heat Application", *J. Heat Mass Transfer* 25 (1982) 1427-1438.
- [62] Price, H., Lüpfer, E., Kearney, D., Zarza, E., Cohen, G., Gee, G., Mahoney, R. (2002): *Advances in Parabolic Trough Solar Power Technology*, ASME Journal of Solar Energy Engineering Vol 124, 2002.
- [63] Thomas A. "Simple Structure for Parabolic Trough Concentrator", *Energy Convers. Mgmt.* 35(1994), No.7, 569-573.
- [64] Odeh SD, Morrison GL, Behnia M., "Modeling of Parabolic Trough Direct Steam Generation Solar Collector", *Solar Energy* 62 (1998) 395-406.
- [65] Rafael Osuna, Antonio Esteban, (Spain), Michael Geyer and Paul Nava, (Solar International Germany), "EUROTROUGH – Parabolic Trough Collector Developed for Cost Efficient Solar Power Generation", (2002).
- [66] Fauziah Sulaiman and Balbir Singh "Designing A Solar Thermal Cylindrical Parabolic Trough Concentrator by Simulation", *Electrical and Electronics Engineering, Universiti Teknologi*

ETRONAS·Malaysia·(2003).

[67] Thomas Harms and Michael Brooks "Design, Construction and Testing of a Parabolic Trough Solar Collector for A developingCountry Application", Department of Mechanical Engineering,University of Stellenbosch, South Africa, (2005).

[68] Umamaheswaran M." Solar Based Distillation System for Domestic Application", Ninth International Water Technology Conference, IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt.

[69] Valan A. and Samuel T., " Performance characteristics of the Solar Parabolic Trough Collector with Hot Water Generation System",Thermal Science, 10 (2006), No. 2, 167-174.

[70] Dirk K., Yuvaraj P., Klaus H. and Mark S.," Parabolic Trough Collector Testing in the Frame of the REACT Project", Desalination 220 (2008) 612–618.

[71] A. Sagade, S. Aher and N. Shinde, Performance evaluation of low-cost FRP parabolic trough reflector with mild steel receiver, International Journal of Energy and Environmental Engineering, 4 (5) (2013) 1-8.

[72] M. J. Brooks, I. Mills and T. M. Harms, Performance of a parabolic trough solar collector, Journal of Energy in Southern Africa, 17 (3) (2006) 71-80.

[73] L. Sargent, Assessment of parabolic trough and power tower solar technology cost and performance forecasts, Report No. NREL/SR- 550-34440 (2003).

[74] S. K. Singh, A. K. Singh and S. K. Yadav, Design and fabrication of parabolic trough solar water heater for hot water generation, International Journal of Engineering Research & Technology, 1 (10) (2012) 1-9.

[75] N. Hosoya, J.A. Peterka, R.C. Gee, and D Kearney. Wind tunnel tests of parabolic trough solar collectors. Technical Report NREL/SR-550-32282, National Renewable Energy Laboratory, 2008.

[76] W. Chakroun, Effect of boundary wall conditions on heat transfer for fully opened tilted cavity, Journal of Heat Transfer, 126 (2004) 915-923.

[77] H. Panchal Ramchandra and S. K. Bhosale, The CFD analysis of Solar Parabolic Trough system with reflectors, International Journal of Current Engineering and Technology, 5 (2016) 431-435.

[78] Y. Marif, H. Benmoussa, H. Bouguettaia, M. M. Belhadj and M. Zerrouki, Numerical simulation of solar parabolic trough collector performance in the Algeria Saharan region, Energy Conversion and Management, 85 (2014) 521-529.

- [79] V. C. Pigozzo Filho, A. B. de Sá, J. C. Passos and S. Colle, Experimental and numerical analysis of thermal losses of a parabolic trough solar collector, *Energy Procedia*, 57 (2014)381-390.
- [80] H.M. Güven and R.B. Bannerot. Determination of error tolerances for the optical design of parabolic troughs for developing countries. *Solar Energy*, 36(6):535–550, 1986.
- [81] M.S. Jeter. Analytical determination of the optical performance of parabolic trough collectors from design data. *Solar Energy*, 39(1):11–21, 1987.
- [82] M.S. Jeter. Calculation of the concentrated flux density distribution in a parabolic trough collectors by a semifinite formulation. *Solar Energy*, 37(5):335–345, 1986.
- [83] Y-L. He, J. Xiao, Z-D. Cheng, and Y-B. Tao. A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector. *Renewable Energy*, 36:976–985, 2011.
- [84] Kassem T, "Numerical Study of the Natural Convection Process in the Parabolic Cylindrical Solar Collector", *Desalination*, 209(2007); 144- 150.
- [85] R. Forristall, "Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar receiver implemented in engineering equation solver," National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado, 80401-3393, Tech. Rep. NREL/TP-550-34169, October 2003.
- [86] O. García-Valladares and N. Velázquez. Numerical simulation of parabolic trough solar collector: improvement using counter flow concentric circular heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(3):597–609, 2009.
- [87] Stuetzle, T., Blair, N., Mitchell, J., and Beckman, W., 2004. "Automatic control of a 30 MWe SEGS VI parabolic trough plant". *Solar energy*, 76(1-3), pp. 187–193.
- [88] R.V. Padilla, G. Demirkaya, D.Y. Goswami, E. Stefanakos, and M. Rahman. Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Energy*, 88(12):5097–5110, 2011.
- [89] M.I. Roldán, L. Valenzuela, and E. Zarza. Thermal analysis of solar receiver pipes with superheated steam. *Applied Energy*, 103:73–84, 2013.
- [90] Edenburn, M. W., 1976. "Performance analysis of a cylindrical parabolic focusing collector and comparison with experimental results". *Solar Energy*, 18(5), pp. 437 –444.

[91] A. Ratzel, C. Hickox, and D. Gartling, "Techniques for reducing thermal conduction and natural convection heat losses in annular receiver geometries," ASME, Journal of Heat Transfer, vol. 101, pp.108 – 113, 1979.

[92] V. Dudley, G. Kolb, M. Sloan, and D. Kearney. SEGS LS2 solar collector-test results. Technical report, Report of Sandia National Laboratories (SANDIA-94-1884), 1994.

[93] Thorsten A. Stuetzle, Automatic Control of the 30 MWe SEGS VI Parabolic Trough Plant, University of Wisconsin-Madison, Madison, 2002.

[94] Cheng, Z., He, Y., Xiao, J., Tao, Y., and Xu, R., 2010. "Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics in the receiver tube of parabolic trough solar collector". International Communications in Heat and Mass Transfer, 37(7), pp. 782 –787.

[95] Gong, G., Huang, X., Wang, J., and Hao, M., 2010. "An optimized model and test of the China's first high temperature parabolic trough solar receiver". Solar Energy, p. doi: 10.1016/j.

Modelling of parabolic trough direct steam generation , M.Behnia, G.L.Morrison,[96] S.D.Odeh Pages 395-406., June 1998, Issue 6, Vol 62, Solar Energy,solar collectors

[97] Cohen, G., and Kearney, D., 1994. "Improved parabolic trough solar electric systems based on the SEGS experience". In Proceedings of the ASES Annual Conference, SOLAR 94, pp. 147–150.

[98] Heidemann, W., Spindler, K., and Hahne, E., 1992. "Steady-state and transient temperature field in the absorber tube of a direct steam generating solar collector". International Journal of Heat and Mass Transfer, 35(3), pp. 649–657.

[99] Odeh, S., Morrison, G., and Behnia, M., 1996. "Thermal analysis of parabolic trough solar collectors for electric power generation". In Proceedings of ANZSES 34th annual conference, Darwin, Australia, pp. 460–467.

[100] Dudley, V., Kolb, G., Sloan, M., and Kearney, D., 1994. SEGS LS2 Solar Collector-Test Results. Report of Sandia National Laboratories, SAN94-1884.

Schiffauerova A (2016) A value tree for , Komljenovic D, Al-Haddad K,[101] Kassem A identification of evaluation criteria for solar thermal power technologies in developing countries. Sustain Energ Technol Assessment 16:18–32. doi:10.1016/j.seta.2016.02.003.

[102] Y. A. Cengel, Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer, 2nd ed. McGraw-Hill, 2008.

- [103] Gnielinski, V., 1976. "New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow". *International chemical engineering*, 16(2), pp. 359–368.
- [104] Kakaç, S., Shah, R. K., and Aung, W., 1987. *Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*. John Wiley & Sons, New York.
- [105] Dushman, S., 1962. *Scientific Foundations of Vacuum Technique*. second ed., Wiley, New York.
- [106] Saxena, S. C., and Joshi, R. K., 1989. *Thermal Accommodation and Adsorption Coefficients of Gases*. CINDAS data series on material properties. Hemisphere Pub. Corp., New York.
- [107] Trigg, G. L., 2002. *Digital Encyclopedia of Applied Physics*. Wiley, New York.
- [108] Zohar, Y., 2002. *Heat Convection in Micro Ducts*, 1 ed. Springer, Oct.
- [109] Lide, D. R., 2007. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 88th Edition, 88 ed. CRC, Oct.
- [110] G. D. Raithby and K. G. T. Hollands, "A general method of obtaining approximate solutions to laminar and turbulent free convection problems," *Advances in Heat Transfer*, vol. 11, pp. 265 – 315, 1975.
- [111] S. W. Churchill and M. Bernstein, *J. Heat Transfer*, 1977, no. 99.
- [112] B Norton, A Fkothdiwala, P C Eames, effect of inclination on the performance of CPC solar energy collectors *Ireland renewable energy*, vol.5, part I, pp.357-367, 1994.
- [113] Michel Daguene, *les séchoirs solaires : théorie et pratique*, ISBN92-3-202375- x unesco 1985
- [114] A.M Hussain, The performance of a cylindrical solar water heater, *Renew Energy*, 31 (11) (2006) 1751–1763.
- [115] Soteris Kalogirou "Parabolic Trough Collector System for Low Temperature Steam Generation: Design and Performance Characteristics", *Applied Energy*, 55 (1996) No.1, 1- 19.
- [116] M. Esen and H. Esen, Experimental investigation of a twophase closed thermosyphon solar water heater, *Solar Energy*, 79 (5) (2005) 459-468.
- [117] A. Valan Arasu and T. Sornakumar, Performance characteristics of Parabolic Trough Solar Collector system for hot water generation, *International Energy Journal*, 7 (2) (2006) 137-

145.

[118] M. Rizwan, Md. A. R. Junaidi, M. Suleman and M. A. Hussain, Experimental verification and analysis of Solar Parabolic Collector for water distillation, International Journal of Engineering Research, 3 (10) (2014) 588-593.

[119] M. G. Tayade, R. E. Thombre and S. Dutt, Performance evaluation of Solar Parabolic Trough, International Journal of Scientific and Research Publications, 5 (1) (2015) 1-5.

[120] K. H. Bhujangrao, Design and development of prototype cylindrical parabolic solar collector for water heating application, Journal of Renewable Energy Development, 5 (1)(2016) 49-55.

[121] M. Qu, D. H. Archer and S. V. Masson, A linear parabolic trough solar collector performance model, Renewable Energy Resources and a Greener Future, VIII-3-3 (2006).

[122] D. Saucedo, N. Velazquez, O. Garcia-Valladares and R. Beltran, Numerical simulation and design of a parabolic trough solar collector used as a direct generator in a solar GAX cooling cycle, Journal of Mechanical Science and Technology, 25 (6) (2011) 1399-1408.

، Djamel Bechki and Smail Chihi, Kamal Eddine Aiadi, [123] Mohammed Elbar Soudani Experimental and theoretical study of Parabolic trough collector (PTC) with a flat glass cover in Journal of Mechanical Science and Technology 31 (8) ,the region of algerian sahara (Ouargla) (2017) 4003~4009

[124] Lokman Hadji, Global Energy Network Institute (GENI), How is 100% Renewable Energy Possible for Algeria by 2030?, (619) 595-0139, May 2016

[125] IPCC الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ، تغير المناخ 2014 ، التقرير التجميعي

[126] Newsletter presse n°13, Société Algérienne de électricité et du Gaz, N°89 /APCM/2011, Avril 2011.

[127] Guide des Energies Renouvelables, Republique Algerienne Democratique et Populaire, Ministere de L energie et des Mines, Edition 2007.

الملحقات

الملحق 01

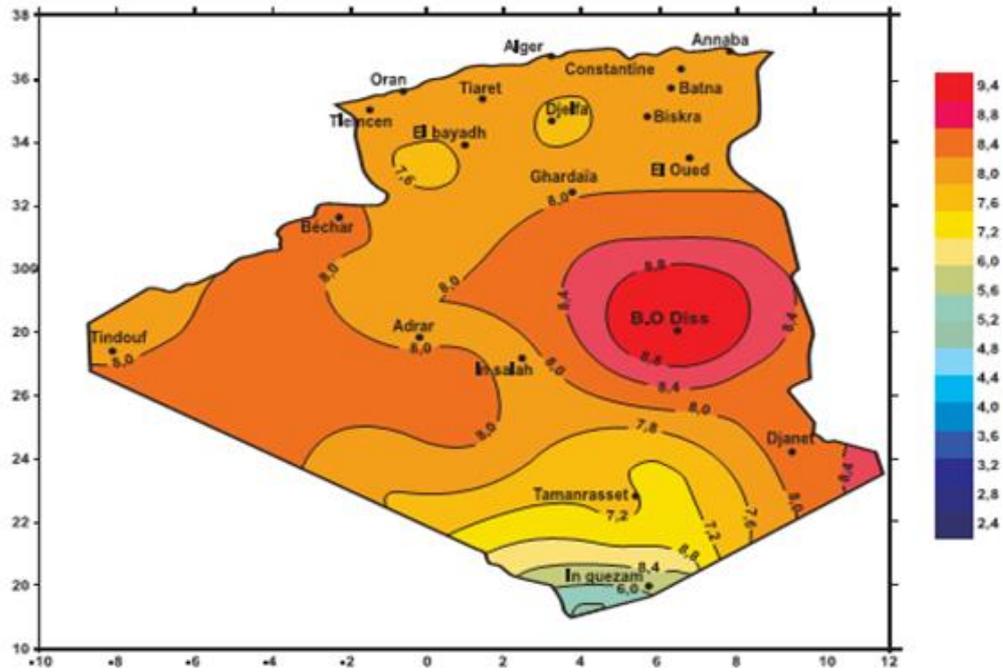
الطاقة الشمسية في الجزائر

- يبلغ إنتاج النفط في الجزائر 1.42 مليون برميل يوميا يتم تصدير منها 1.1 مليون برميل يوميا حيث تحتل المرتبة 18 عالميا [124].
- يبلغ انتاج الغاز الطبيعي 79.65 مليار متر مكعب في اليوم مع احتياطي مؤكد يبلغ 4.505 ترليون متر مكعب بترتيب 11 عالميا [124].
- ينتج عن انتاج واستهلاك هذا الوقود الأحفوري انبعاث الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري حيث تحتل الجزائر المرتبة 38 عالميا من حيث انبعاثات CO₂ والتي تجاوزت 140 ألف طن سنة 2013 [125].
- وفقا لشركة سونلغاز فإن الطلب على الطاقة في الجزائر يتزايد بنسبة 8% سنويا حيث من المتوقع بلوغ استهلاك الكهرباء TWh (80 – 75) في سنة 2020 ثم يرتفع إلى (150 – 130) TWh في 2030 [126].
- ارتفع انتاج الكهرباء من 250.26 GWh سنة 2011 إلى 397.57 GWh سنة 2013 حيث يمثل الغاز الطبيعي نسبة 92.42% من مصادر انتاج الكهرباء بينما يمثل النفط 6.49% والباقي لمصادر الطاقات المتجددة [126].
- تسعى الجزائر من خلال برامج مختلفة إلى الوصول 22000MW من مصادر الطاقات المتجددة خلال 2011 – 2030 منها 12000MW لتلبية الطلب المحلي على الكهرباء والباقي للتصدير [127].
- من المتوقع أن تصل نسبة الكهرباء المولدة للطلب المحلي بمصادر الطاقات المتجددة إلى 40% بحلول 2030 من خلال انجاز وتطوير 60 محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية والحرارية وحقول الرياح والمحطات الهجينة [127].
- للجزائر امكانات معتبرة في تدفق الاشعاع الشمسي كما بوضح الجدول التالي مدة التشميس في السنة والطاقة المستقبلية لكل متر مربع في السنة لمختلف جهات الوطن :

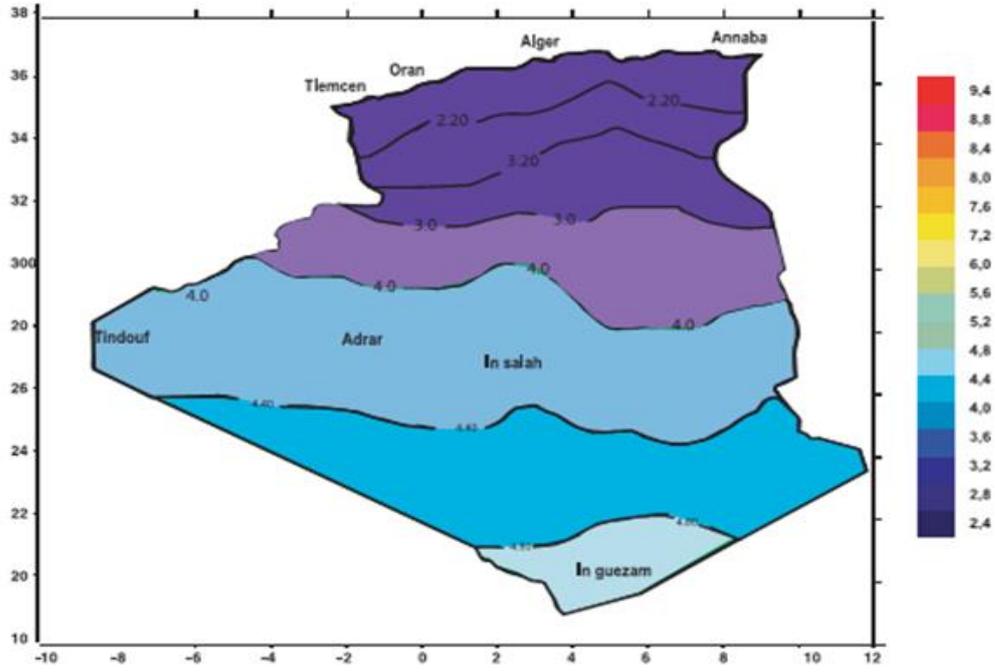
| المناطق | الساحلية | الهضاب العليا | الصحراء |
|--|----------|---------------|---------|
| نسبة المنطقة | 4% | 10% | 86% |
| مدة التشميس في السنة | 2650 | 3000 | 3500 |
| الطاقة المتوسطة KWh/m ² /an | 1700 | 1900 | 2650 |

الجدول م1-1: الطاقة الشمسية ومدة التشميس في مختلف أنحاء الجزائر [127]

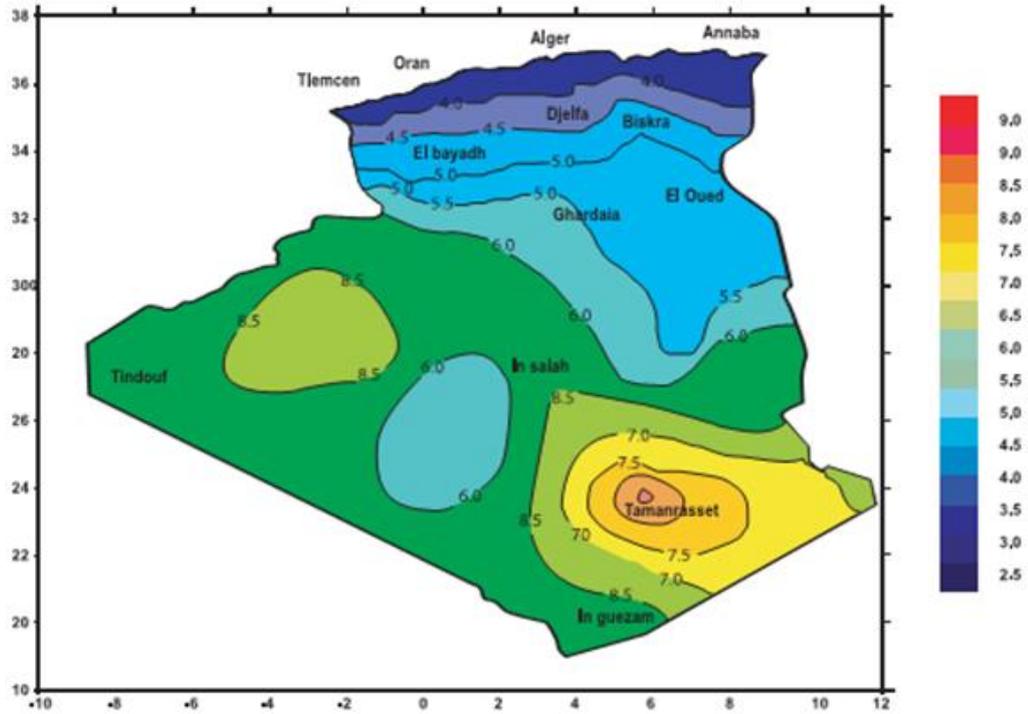
حيث يمثل الشكلين تدفق الإشعاع الشمسي اليومي على سطح أفقي في شهر جويلية ثم في شهر ديسمبر بينما يمثل الشكلين تدفق الإشعاع على سطح مائل في شهر جويلية ثم شهر سبتمبر



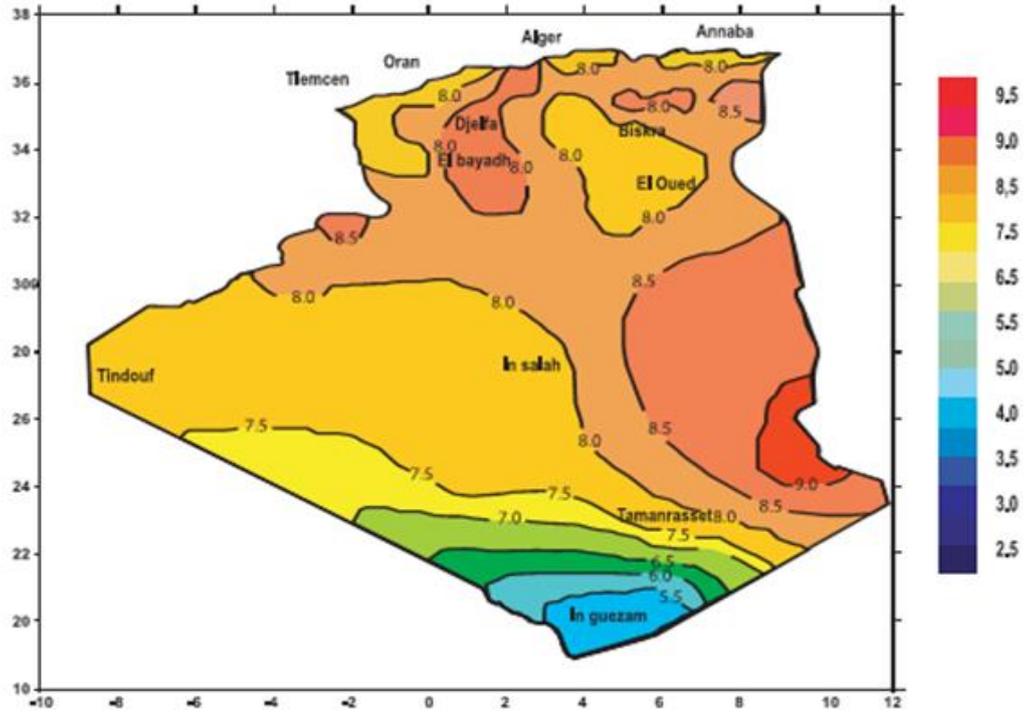
الشكل م1-1: شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح أفقي خلال شهر جويلية [127]



الشكل م1-2 : شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح أفقي خلال شهر ديسمبر [127]



الشكل م1-3: شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح مائل خلال شهر ديسمبر [127]



الشكل م1-4: شدة تدفق الإشعاع الشمسي في الجزائر على سطح مائل خلال شهر جويلية [127]

الملحق 02

الجدول م1-2 : المقادير الجغرافية والجوية لمدينة ورقلة

| القيمة | المقادير الجغرافية والجوية |
|-------------------|----------------------------|
| $\varphi=31.57^0$ | زاوية خط العرض |
| $L=5.24^0$ | زاوية خط الطول |
| $Z=141m$ | الارتفاع عن سطح البحر |
| $a=0.35$ | الألبدو (النورانية) |

الجدول م2-2: متوسط درجات الحرارة الدنيا والقصى وسرعة الرياح خلال سنة (2014) بورقلة

مصدر المعلومات: المديرية الجهوية للأرصاد الجوية للجنوب الشرقي بورقلة

| سرعة الرياح القصوى Km/h | متوسط درجة الحرارة القصى $T_{max} \text{ } ^\circ\text{C}$ | متوسط درجة الحرارة الدنيا $T_{min} \text{ } ^\circ\text{C}$ | الشهر |
|----------------------------|---|---|--------|
| 14 | 19.4 | 06.2 | جانفي |
| 20 | 22.8 | 08.2 | فيفري |
| 26 | 23.8 | 10.1 | مارس |
| 14 | 31.4 | 15.1 | أفريل |
| 29 | 35.2 | 20.2 | ماي |
| 20 | 39.7 | 23.8 | جوان |
| 15 | 44.6 | 28.5 | جويلية |
| 16 | 44.1 | 27.9 | أوت |
| 16 | 40.6 | 25.8 | سبتمبر |

| | | | |
|----|------|------|--------|
| 14 | 32.9 | 17.0 | أكتوبر |
| 20 | 25.7 | 12.1 | نوفمبر |
| 20 | 19.0 | 05.9 | ديسمبر |

الجدول م-2-3 : عدد ساعات التشميس الشهري والمتوسط اليومي لكل شهر خلال سنة (2014) بورقلة

مصدر المعلومات: المديرية الجهوية للأرصاد الجوية للجنوب الشرقي بورقلة

| الشهر | عدد ساعات التشميس الشهري | متوسط عدد ساعات التشميس اليومي |
|----------------|--------------------------|--------------------------------|
| جانفي | 246.7 | 07.96 |
| فيفري | 244.4 | 08.73 |
| مارس | 252.5 | 08.14 |
| أفريل | 309.5 | 10.32 |
| ماي | 316.9 | 10.22 |
| جوان | 225.3 | 07.51 |
| جويلية | 298.5 | 09.63 |
| أوت | 320.8 | 10.35 |
| سبتمبر | 259.5 | 08.65 |
| أكتوبر | 288.3 | 09.30 |
| نوفمبر | 224.2 | 07.47 |
| ديسمبر | 249.8 | 08.06 |
| المجموع السنوي | 3236.4 | 08.87 |

