الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكادمي

مجال : الكهروميكانيك

تخصص: الكهروميكانيك

Réalisation d'un système de poursuite automatique pour le séchoir solaire

من إعداد الطلبة :

- شعباني عاطف
- غرايسه حسن
- غدير إبراهيم الصديق
- فريوة عبد الحفيظ

لجنة المناقشة :

- الأرقط سلاف (رئيسة)
- محمودي عبد القادر (مناقش)
- مسعود زبيدي (مناقش)
-لعويني عبد الجليل (مؤطر)

الموسم الجامعي : 2022/2021

شـــكـــــر وعرفـــــــان

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

نشكر الله تعالى على توفيقنا لإنجاز هذا العمل.

نتقدم بخالص الشكر والعرفان إلى المشرف الأستاذ

لعويني عبد الجليل

على دعمه ورعايته لنا طوال مدة إنجاز هذه الرسالة.

وكذالك الشكر موصول للأستاذ الفاضل

علي الزين

الذي ورغم انشغالاته الكثيرة إلا أنه لم

يبخل علينا بالنصائح والتوجيهات.

نتقدم بجزيل الشكر إلى السادة الأستاذة أعضاء لجنة المناقشة الموقرين على قبولهم

عضوية اللجنة ومراجعة المذكرة.

كما نتقدم بالشكر لجميع أساتذة قسم الميكانيك وكل من ساهم في هذا العمل

إهداء

الحمد لله الذي هدانا إلى طريق العلم و كان عونا لنا في إنجاز هذه المذكرة و إتمام هذا البحث العلمي المتواضع الذي أهديه

إلى أمي الغالية ..... أرضاك الله عني يا أغلى ما أملك

إلى أبي الغالي .....يا من كنت نعم المربي ونعم الأب

إلى إخوتي الأعزاء.....جعلكم الله سندا لي في هذه الحياة

إلى العائلة الكريمة عائلة "شعباني" وكل الأقارب و الأحباب

إلى صديق العمر و رفيق الدرب "نور الدين ذهب" صديقي من أيام المحفظة الدراسية التي لا تنسى

إلى كل أساتذتي الكرام خلال المشوار الدراسي جازاكم الله عنا خير الجزاء

عاطف شعباني

إهداء

الحمد لله الذي هدانا إلى طريق العلم و كان عونا لنا في إنجاز هذه المذكرة و إتمام هذا البحث العلمي المتواضع الذي أهديه

إلى أمي الغالية..... أطال الله في عمرها و رزقني رضاها

إلى أبي الغالي .....سندي الأول في هذه الحياة بعد الله عز وجل

إلى إخوتي الأعزاء..... مصدر سعادتي في هذه الحياة

إلى العائلة الكريمة و كل الأقارب و الأحباب و إلى كل عائلة "غرايسة"

إلى كل من كان عونا لي في إتمام هذا العمل و أخص بالذكر صديقي الغالي "إبراهيم شوية"

إلى كل أساتذتي الكرام خلال المشوار الدراسي

إلى كل من نسيهم القلم و لم ينساهم القلب

حسن غرايسه

الملخص

تعتبر الشمس أهم مورد للطاقة المتجددة في وقتنا الراهن، حيث يعتبر ضوئها المصدر الرئيسي للطاقة على الأرض وبما أن الشمس في حركة مستمرة يصعب على الإنسان الإستغلال الأمثل لهذه الطاقة إلا بمساعدة أنظمة التعقب الشمسي.

تستغل الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء وذلك عن طريق اللواقط الكهروضوئية كما تستغل أيضا في تسخين المياه والهواء وذلك عن طريق اللواقط المسطحة الحرارية أو أنظمة التركيز الشمسي.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية ، أنظمة التعقب ، المركزات الشمسية .

Abstract:

Le soleil est la ressource d'énergie renouvelable la plus importante à l'heure actuelle, car sa lumière est la principale source d'énergie sur Terre, et comme le soleil est en mouvement constant, il est difficile pour une personne d'utiliser cette énergie de manière optimale, sauf à l'aide de systèmes de suivi solaire.

L'énergie solaire est utilisée pour produire de l'électricité à travers des capteurs photovoltaïques, ainsi que pour chauffer l'eau et l'air, à travers des capteurs thermiques plats ou des systèmes de concentration solaire.

Mots clés : énergie solaire, systèmes de poursuite, concentrateurs solaires.

Résumé

The sun is the most important resource for renewable energy at the present time, as its light is the main source of energy on Earth, and since the sun is in constant motion, it is difficult for a person to make optimal use of this energy except with the help of solar tracking systems.

Solar energy is used to generate electricity through photovoltaic collectors, as well as to heat water and air, through flat thermal collectors or solar concentrating systems.

Keywords: solar energy, tracking systems, solar concentrators.

الفهرس العام

المقدمة العامة.....1

الفصل I : الإشعاع الشمسي

I .1مقدمة:.....3

2.I الحركة الدورية للفصول:.....3

3.I المسارات الواضحة للشمس: 4

4.I الزوايا الشمسية: 4

5.I الزوايا الجغرافية: 4

1.5.I زوايا خط العرض φ : 4

2.5.I زوايا خط الطول *L* : 5

3.5.I زوايا الوقت: 5

1.3.5.I زاوية الميل الشمسي &: 5

2.3.5.I زاوية الساعة الشمسية ω: 6

4.5.I الزوايا العمودية : 6

1.4.5.I زاوية الارتفاع h (α): 6

2.4.5.I زاوية الذروة θz: 6

3.4.5.I زاوية السمت γ: 7

6.I التوقيت الشمسي: 7

1.6.I التوقيت الشمسي الحقيقي: 7

2.6.I التوقيت الشمسي المتوسط: 8

7.I الثابت الشمسي : 8

8.I الكتلة الهوائية الضوئية AM: 8

9.I الإشعاع الشمسي: 9

1.9.I الإشعاع المباشر: 9

2.9.I الإشعاع الشمسي المنتشر: 9

3.9.I الإشعاع الكلي: 9

10.I الانقلاب والاعتدال الموسمي: 9

1.10.I تعريف الانقلاب: 9

1.1.10.I الانقلاب الصيفي: 10

2.1.10.I الانقلاب الشتوي: 10

2.10.I تعريف الاعتدال: 11

1.2.10.I الاعتدال الربيعي: 11

2.2.10.I الاعتدال الخريفي: 12

11.I الإشعاع الشمسي في الجزائر:.....12

الفصل II : المركزات الشمسية

1.IIمقدمة.....15

2.II تعريف المركزات الشمسية:.....16

3.II العناصر الأساسية للمركز الشمسي:.....16

1.3.II العاكس: 16

2.3.II المستقبل : 16

3.3.II الوسيط الحراري : 16

4.II آلية عمل المركز الشمسي: 16

1.4.II مبدأ الانعكاس: 17

5.II أنواع المركزات الشمسية: 17

1.5.II مركزات نقطية: 17

1.1.5.II طبق قطع مكافئ: 17

2.1.5.II الأبراج الشمسية: 18

2.5.II مركزات خطية : 18

1.2.5.II أحواض بشكل قطع مكافئ : 18

2.2.5.II أنظمة فرينيل الخطية : 19

6.II التركيز الشمسي: 20

1.6.II تركيز شمسي هندسي: 20

2.6.II نسبة التركيز الضوئي C0: 20

7.II مزايا و عيوب المركزات الشمسية: 20

1.7.II المركزات الشمسية: 20

2.7.II العيوب: 21

8.II مقارنة عامة بين جميع التكنولوجيات: 21

الفصل III: أنظمة التتبع الشمسي

1.III مقدمة.....23

2.III تعريف نظام الملاحقة الشمسية: 24

3.III أنواع المتتبعات الشمسية: 24

1.3.III حسب آلية التوجيه: 24

1.1.3.III متتبع شمسي نشط : 24

2.1.3.III متتبع سلبي غير نشط: 25

2.3.III حسب درجة حرية الحركة: 25

1.2.3.III متتبع شمسي ذو محور أفقي: 25

2.2.3.III متتبع شمسي ذو محور عمودي: 26

3.2.3.III متتبع شمسي ثنائي المحور(ارتفاع/سمت): 26

4.2.3.III متتبع شمسي ثنائي المحور: 26

5.2.3.III متتبع شمسي زمني: 26
3.3.III حسب آلية التحكم: 27
1.3.3.III التحكم دو الحلقة المفتوحة: 27
1.1.3.3.III مزايا نظام التحكم المفتوح: 27
2.1.3.3.III عيوب نظام التحكم المفتوح: 27
2.3.3.III التحكم ذو الحلقة المغلقة: 28
3.3.3.III التحكم الهجين: 28
4.III مزايا و عيوب أنظمة التتبع الشمسي: 28
1.4.III مزايا أنظمة التتبع الشمسي: 28
2.4.III عيوب أنظمة التتبع الشمسي: 29
5.III مقارنة بين أنظمة التتبع و الأنظمة الثابتة: 29
6.III التطور التكنولوجي لأنظمة التعقب الشمسي: 30
الفصل IV : التجفيف الشمسي
1.IVمقدمة: 32
2.IV تعريف التجفيف: 33
3.IV مبدأ عمل المجفف الشمسي: 33
4.IV مكونات المجفف الشمسي: 33
1.4.IV وحدة التسخين: 33
2.4.IV وحدة التجفيف: 34
3.4.IV وحدة تحريك الهواء: 34
5.IV أنواع المجففات الشمسية حسب طريقة تسخين الهواء : 34
1.5.IV التجفيف الشمسي التقليدي: 34
مزايا التجفيف التقليدي: 35
سلبيات التجفيف التقليدي: 35
2.5.IV المجففات الشمسية المباشرة: 35
مزايا المجففات الشمسية المباشرة: 35
عيوب المجففات الشمسية المباشرة: 36
3.5.IV مجففات شمسية غير مباشرة: 36
مزايا المجففات الشمسية الغير مباشرة: 36
عيوب المجففات الشمسية الغير المباشرة: 36
4.5.IV مجففات شمسية متعددة الأنظمة: 37
مزايا المجففات الشمسية متعددة الأنظمة: 37
عيوب المجففات الشمسية متعددة الأنظمة: 37
6.IV مراحل عملية التجفيف: 37
المرحلة الأولى: مرحلة التزايد(AB) 38

المرحلة الثانية: مرحلة التجفيف الثابت(BC) 38
المرحلة الثالثة: مرحلة انخفاض سرعة التجفيف(CD) 39
7.IV كيفية إزالة الماء من المواد الغذائية: 39
1.7.IV الماء الحر: 39
2.7.IV الماء المرتبط (الأسموزي): 39
3.7.IV الماء المتحد: 39
8.IV العوامل التي تؤثر على سرعة التجفيف: 40
1.8.IV سرعة الهواء: 40
2.8.IV الرطوبة النسبية للهواء: 40
3.8.IV درجة حرارة الهواء المستخدم و مقدار الانخفاض فيها: 40
4.8.IV نوع المادة المراد تجفيفها: 40
5.8.IV شكل و حجم و سمك القطع المجهزة: 40
6.8.IV الضغط: 40
9.IV العلاقات العامة: 41
1.9.IV الرطوبة النسبية : 41
2.9.IV الكتلة الكلية: 41
3.9.IV الرطوبة المطلقة: 41
4.9.IV فعالية الماء: 42
5.9.IV المردود النسبي للتجفيف: 42
1. 5.9.IV المردود الكتلي: 42
2.5.9.IV المردود الطاقوي: 43
3.5.9.IV قوة التجفيف: 43

الفصل V : الجزء التطبيقي

1.V مقدمة..... 45
2.V تصميم و انجاز المتتبع الشمسي: 45
1.2.V الجانب الميكانيكي: 45
1.1.2.V التصميم الأولي لمختلف أجزاء الهيكل المعدني: 46
2.1.2.V بعض القطع الميكانيكية المستعملة: 46
2.2.V الجانب الالكتروني: 47
1.2.2.V القطع الالكترونية المستعملة: 47
1.1.2.2.V الأردوينو: 47
2.1.2.2.V اللواقط الضوئية: 48
3.1.2.2.V المرحلات الكهروميكانيكية: 49
2.2.2.V المحركات الكهربائية المستعملة: 49
3.2.2.V طريقة دمج العناصر الإلكترونية على لوحة التوصيل: 49

4.2.2.V برنامج نظام التتبع الشمسي: 50
5.2.2.V آلية العمل: 50
3.V الدراسة التجريبية: 51
1.3.V وصف منطقة التجربة: 51
2.3.V وصف المجفف الشمسي المستعمل: 51
1.2.3.V وحدة توليد الهواء الساخن : 51
2.2.3.V غرفة التجفيف : 52
3.3.V المقادير الفيزيائية المقاسة خلال التجارب: 52
4.3.V الأجهزة المستعملة في القياس: 52
1.4.3.V جهاز قياس الإشعاع الشمسي : 52
2.4.3.V جهاز قياس درجة الحرارة: 53
3.4.3.V جهاز وزن العينة: 53
5.3.V السلاسل التجريبية: 54
تفسير النتائج: 54
المناقشة: 56
الخاتمة العامة 58
المراجع..... 59

فهرس الأشكال

الفصل I: الإشعاع الشمسي

الشكل 1.I التغير الموسمي في الإشعاع الشمسي.....2

الشكل 2.I التغير الموسمي في الإشعاع الشمسي.....3

الشكل 3.I زوايا تحديد الموقع دائرة العرض φو زاوية خط الطول L.....4

الشكل 4.I تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال السنة.....5

الشكل 5.I الزوايا الشمسية.....6

الشكل 6.I منحنى الثابت الشمسي خلال السنة.....7

الشكل 7.I ظاهرة الانقلاب الصيفي.....9

الشكل 8.I ظاهرة الانقلاب الشتوي.....10

الشكل 9.I ظاهرة الإعتدال الربيعي.....11

الشكل 10.I ظاهرة الإعتدال الخريفي. 11

الشكل 11.I خريطة الإشعاع الشمسي في الجزائر.....12

الفصل II : المركزات الشمسية

الشكل 1.II طبق قطع مكافئ.....15

الشكل 2.II الأبراج الشمسية.....16

الشكل 3.II أحواض بشكل قطع مكافئ.....17

الشكل 4.II أنظمة فرينيل الخطية 17

الفصل III: أنظمة التتبع الشمسي

الشكل 1.III متتبع شمسي نشط.....21

الشكل 2.III متتبع شمسي ذو محور أفقي 22

الشكل 3.III متتبع شمسي ذو محور عمودي 23

الشكل 4.III التحكم ذو الحلقة المفتوحة 24

الشكل 5.III مقارنة المردود الطاقوي لنظام تتبع بالمردود الطاقوي لنظام ثابت 27

الفصل IV : التجفيف الشمسي

الشكل 1.IV وحدة التسخين.....30

الشكل 2.IV وحدة تحريك الهواء للمجفف الغير مباشر.....31

الشكل 3.IV المجفف الشمسي المباشر.....33

الشكل 4.IV منحنى يوضح سرعة الرطوبة بدلالة الزمن.....35

الشكل 5.IV منحنى يوضح محتوى الرطوبة بدلالة الزمن.....35

الشكل 6.IV توزيع الماء.....36

الفصل V : الجزء التطبيقي

الشكل 1.V قاعدة خرسانية لتثبيت الهيكل المعدني.....42

الشكل 2.V التصميم الأولي لمختلف أجزاء الهيكل المعدني.....43

الشكل 3.V بعض القطع الميكانيكية المستعملة.....43

الشكل 4.V الشكل النهائي للمشروع.....44

الشكل 5.V لوحة **ArduinoUNO**.....45

الشكلV .6 مقاومة فوتوضوئية LDR 45

الشكل V. 7 دمج العناصر الإلكترونية على لوحة التوصيل.....47

الشكل V. 8 جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي.....50

الشكل V. 9 جهاز قياس درجة الحرارة 50

الشكل V. 10 ميزان الكتروني دقيق.....51

الشكل V. 11.منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن.....51

الشكل V. 12.منحنى تغيرات درجات الحرارة لمواضع مختلفة من غرفة التجفيف بدلالة الزمن.....52

الشكل V. 13.منحنى يوضح تغيرات المحتوى المائي بدلالة الزمن.....53

فهرس الجداول

الجدول 1.II مقارنة بين تكنولوجيات المركزات الشمسية.....19

الجدول 1.III مقارنة بين نظام التحكم المفتوح و نظام التحكم المغلق 25

قائمة الرموز والإختصارات

الرمز	التعريف	الوحدة
Φ	زاوية خط العرض	**[°]**
L	زاوية خط الطول	**[°]**
Δ	زاوية الميل الشمسي	**[°]**
Ω	زاوية الساعة الشمسي	**[°]**
h	زاوية الإرتفاع	**[°]**
γ	زاوية السمت	**[°]**
Ib	الإشعاع الشمسي المباشر	**[w/m^2]**
Id	الإشعاع الشمسي المنتشر	**[w/m^2]**
G	الإشعاع الكلي	**[w/m^2]**
AM	الكتلة الهوائية الضوئية معامل أنغيشتروم	
i	زاوية ورود الإشعاع الشمسي	**[°]**
Tsv	التوقيت الشمسي الحقيقي	**[h]**
Tsm	التوقيت الشمسي المتوسط	**[h]**
G	التوقيت الكلي	**[h]**
I	الثابت الشمسي	**[w/m^2]**
LDR	مقاومة فوتوضوئية	
n	رقم اليوم في السنة	**[يوما]**

مقدمة

عامة

مقدمة عامة:

لقد أدرك العالم ضرورة التوجه إلى مصادر طاقوية تكون بديلة عن الوقود الأحفوري والذي أصبح يشكل تهديد حقيقي لكونه المسؤول الأول عن جميع المشاكل البيئية من تلوث الهواء و كذلك أزمة الاحتباس الحراري، أضف إلى ذلك فان الوقود الأحفوري لا يعد مصدرا مستداما فقد ينفذ في أي لحظة و هذا ما دفع الحكومات إلى تسخير منشآت بحثية تهتم بخدمة الأبحاث العلمية النظرية و التطبيقية التي تعنى بشؤون الطاقة النظيفة و المتجددة.

و من البدائل التي كانت مقترحة بقوة طاقة الشمس كونها مصدرا مستداما و متوفر في كل مكان.و تتجسد طاقة الشمس في الضوء و الحرارة المنبعثان ليتم تحويلهما إلى طاقة كهربائية عبر تقنيات تحويل مختلفة.

من التطبيقات التي حظيت باهتمام أكبر في البحوث هي ما يسمى بالخلايا الشمسية أو " فوتوضوئية" و التي تستقبل ضوء الشمس و تحولها مباشرة إلى كهرباء ، و من التطبيقات التي تلقى دعما أيضا هي تركيز الأشعة الشمسية في أنابيب مستغلين بذلك الطاقة الحرارية للشمس في تبخير المياه الموجودة في الأنابيب و الذي يعمل على تدوير التيربينات لتوليد الكهرباء بعد ذلك.

و هناك تطبيقات أخرى تعمل على استغلال الطاقة الحرارية للشمس بشكل مباشر مثل أغراض التدفئة و تسخين أحواض السباحة و تحلية المياه المالحة و تجفيف الثمار ...الخ.

على الرغم من التطويرات التي شهدتها أنظمة الطاقة الشمسية و على وجه الخصوص المركزات الشمسية إلا أنه لا زالت هناك عيوب تحول دون الاستغلال الأمثل لهذه الطاقة و على رأسها تغير زاوية سقوط الإشعاع الشمسي حيث تكون المردودية عالية من أجل زاوية سقوط شاقولية على المركز.

لهذا تطرح إشكالية كيفية تحسين مردود المركز الشمسي باستعمال آليات تضمن زاوية سقوط عمودية للإشعاع الشمسي على المركز.

الفصل I

الإشعاع الشمسي

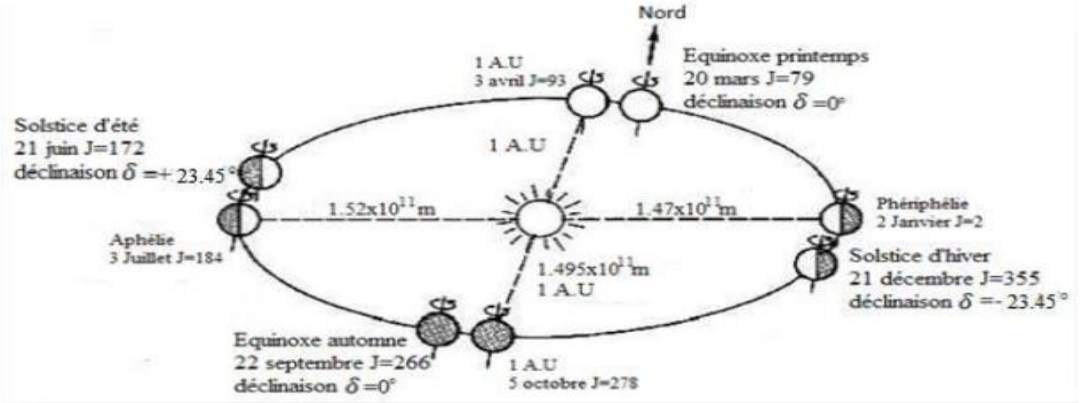
1.I مقدمة:

إن العامل الأهم الذي أكسب الطاقة الشمسية مكانة لائقة بين مصادر الطاقة الأخرى هو إشعاعها الذي بإمكانه أن يصل إلى كل نقطة من سطح الأرض بزاوية ورود تتعلق بمختلف الزوايا الشمسية الناتجة عن حركة دوران الأرض حول الشمس،و تجدر الإشارة إلى أن شدة الإشعاع الشمسي تتغير من نقطة إلى أخرى من سطح الأرض و زمانا على مدار اليوم من الشرق إلى الغروب و على مدار السنة.

وعليه فان جملة المتغيرات التي تتحكم في شدة الإشعاع الشمسي هي التغير في الزوايا الشمسية و بالتالي هذا يحتم علينا الإلمام بعبارات تقدير شدة الإشعاع الشمسي للاستفادة منها خلال التحويل الحراري و هذا ما سنتناوله خلال هذا الفصل، حيث نتعرف أولا على العلاقات و المعادلات التي تحكم شدة الإشعاع الشمسي مراعين بذلك مختلف العوامل التي من شأنها أن تؤثر على الإشعاع الشمسي أثناء سقوطه على سطح الأرض.

2.I الحركة الدورية للفصول:

تتلخص الحركة الدورانية للأرض في دورانها حول نفسها من خلال دورانها حول محورها المائل عن المحور الشاقولي بحوالي 23.45 درجة، حيث تستغرق الدورة الواحدة 24 ساعة و هو ما ينتج عنه تعاقب الليل و النهار، و تزامنا مع ذلك تمارس الأرض حركة دورانية حول الشمس ضمن مدار إهليليجي مستغرقة في ذلك 365 يوم، و بما أن ميل الأرض عن محورها الشاقولي ثابت طوال دورانها حول الشمس فان هذا سيتسبب حتما في اختلاف زاوية سقوط أشعة الشمس بين النصف الشمالي و الجنوبي للكرة الأرضية و هذا هو العامل المسؤول عن تعاقب الفصول، حيث يواجه كل نصف من الكرة الأرضية الفصل المعاكس للنصف الآخر فيأتي فصل الشتاء على النصف الشماالي عندما يحل فصل الصيف في النصف الجنوبي.[1]



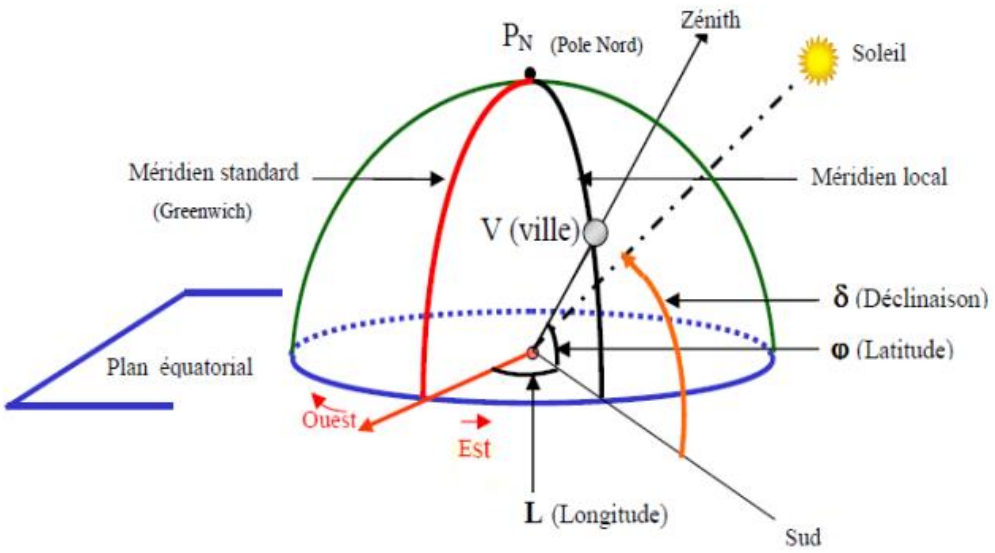
الشكل 1.I التغير الموسمي في الإشعاع الشمسي

3.I المسارات الواضحة للشمس:

يتم رسم المسارات وارتفاعات الشمس في نفس الوقت لجميع البلدان التي تقع في نفس خط العرض.تدعى الزاوية التي تمثل نقطة من الأفق مع اتجاه الجنوب السمت. فخط الاستواء السماوي هو عمليا الخط الذي تميز الشمس بالنسبة لنا في السماء، في الأيام الأولى من الربيع والخريف (ويسمى أيام تساوي الليل.) ويعتبر مسار الشمس أطول مسار في الانقلاب الشمسي الصيفي. في الانقلاب الشمسي الشتوي، يكون مسار الشمس هو الأقصر، [1]

4.I الزوايا الشمسية:

هي مجموعة الزوايا التي تمكننا من دراسة حركة الشمس و تتبع مساراتها في أي وقت خلال النهار. و تجدر الإشارة إلى أن العامل المتحكم في التوقيت الشمسي هو حركة الزاوية الواضحة للشمس في السماء.[1]



الشكل 2.I التغير الموسمي في الإشعاع الشمسي

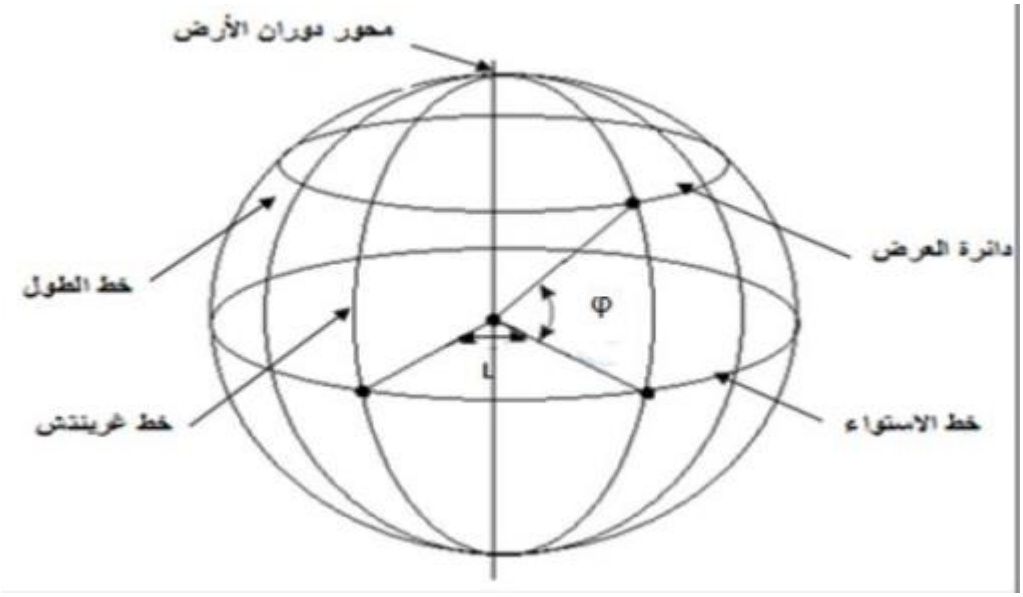
5.I الزوايا الجغرافية:

1.5.I زوايا خط العرض φ :

هي الزاوية المحصورة بين مستوي خط الاستواء و الخط الذي يصل مركز الأرض بالموضع المعتبر مما يعني أن خط الاستواء على الأرض له زاوية خط عرض تساوي صفر درجة مئوية و القطب الشمالي يمتاز بخط عرض +90 درجة و القطب الجنوبي بخط عرض 90- درجة، $90° \geq \varphi \geq -90°$.

2.5.I زوايا خط الطول L :

هي الزاوية التي يشكلها خط الطول غرينيتش ذو الزاوية صفر مع خط الطول المحلي الذي يقطع النقطة المعتبرة. كما نصطلح أن خطوط الطول التي تقع شرق خط غرينيتش تسبق بعلامة (+) أي متقدمة و أما خطوط الطول التي تقع غربا تسبق بعلامة (-) أي أنها متأخرة، $-180° \leq L \leq 180°$.



الشكل 3.I زوايا تحديد الموقع دائرة العرض φو زاوية خط الطول L

3.5.I زوايا الوقت:

1.3.5.I زاوية الميل الشمسي &:

هي الزاوية التي تنحصر بين محور المركز الشمسي عندما تكون الشمس على خط الطول المحلي و بين المستوى الاستوائي تعطى بالعلاقة.[1]

$$\delta = 23,45° \sin[0.986(n + 284)] \qquad (1.I)$$

الشكل 4.I تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال السنة

2.3.5.I زاوية الساعة الشمسية ω:

هي زاوية تتشكل بين مركز الشمس و الأرض و خط الطول المحلي تعطى بالعلاقة:

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (2.I)$$

4.5.I الزوايا العمودية :

1.4.5.I زاوية الارتفاع h (α):

هي الزاوية التي يصنعها الشعاع الشمسي الساقط على نقطة من سطح الأرض مع المستوى الأفقي المار بالنقطة[2]

و عندها يكون الارتفاع يعطى بالعلاقة h يساوي الصفر عند الشروق و الغروب تعطى بالعلاقة:

$$h = \sin^{-1}(\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\omega \cos\phi) \quad (3.I)$$

2.4.5.I زاوية الذروة θz:

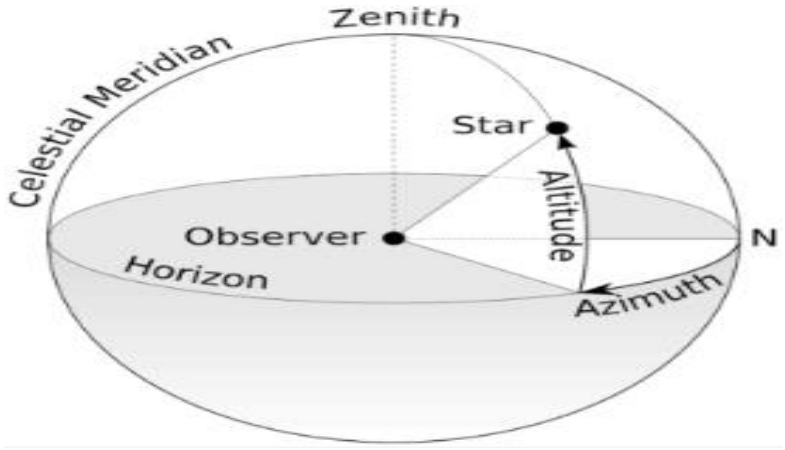
هي الزاوية التي تتشكل بين العمودي للمكان و اتجاه الشمس تعطى زاوية الذروة الشمسية بالمعادلة:

$$\theta_z = 90° - h \quad (4.I)$$

3.4.5.I زاوية السمت γ:

هي الزاوية من الشمال في اتجاه عقارب الساعة حول أفق الراصد و تستعمل هذه الزاوية بجانب الارتفاع وهي الزاوية التي يرتفع بها جرم في السماء عن أفق الراصد.[2]

$$r_s = \mathrm{Sin}^{-1}((\cos\delta.\sin\omega)/(\mathrm{h})) \qquad (5.I)$$



الشكل 5.I الزوايا الشمسية

6.I التوقيت الشمسي:

هو مصطلح يشير إلى الوقت الحاصل اعتمادا على موقع الشمس في السماء. كما يعتبر اليوم الوحدة الأساسية في قياس التوقيت الشمسي. ويتغير طول اليوم الشمسي لعدة أسباب منها المسار الإهليليجي لمدار الأرض حول الشمس و تغير سرعتها عبر المدار و كذلك ميل محور الأرض و هناك نوعان من التوقيت الشمسي التوقيت الشمسي الحقيقي و التوقيت الشمسي المتوسط[3]

1.6.I التوقيت الشمسي الحقيقي:

يمكن أن نعرف التوقيت الشمسي الحقيقي بأنه الحركة الظاهرة للشمس الفعلية و يعطى بالعلاقة [3]

$$T_{sv}=12+(\omega/15) \qquad (6.I)$$

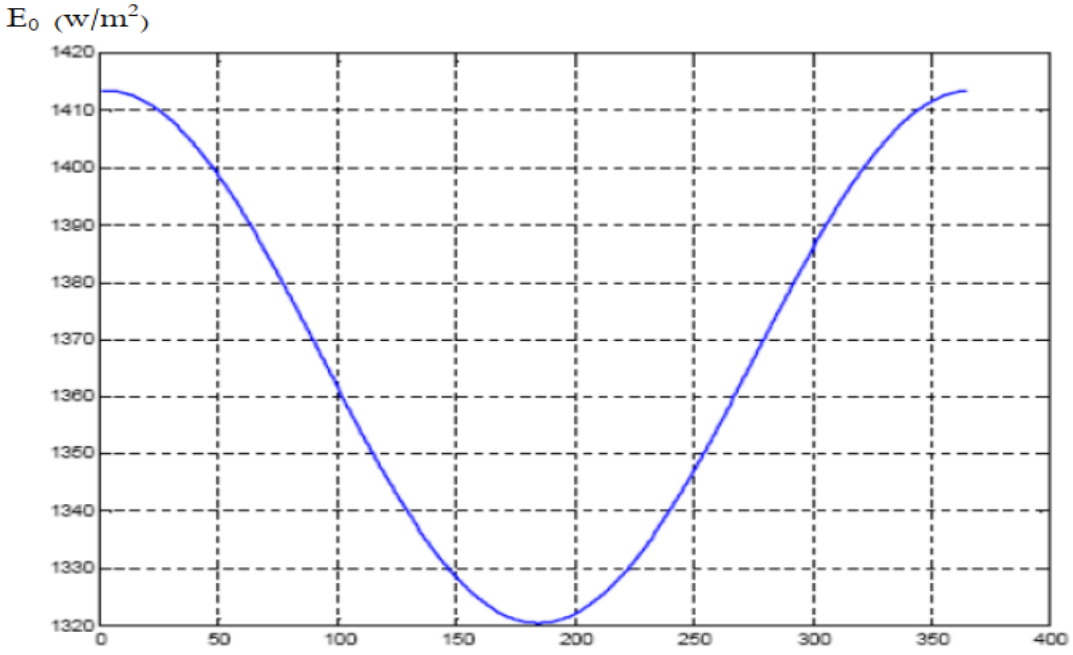
2.6.I التوقيت الشمسي المتوسط:

و هو التوقيت الذي يعتمد على حركة الشمس المتوسطة باعتبارها جرم يستخدم في المحافظة على الوقت كما أنه يختلف عن التوقيت الشمسي الحقيقي.

$$TSM_T = TG + \lambda \qquad (7.I)$$

7.I الثابت الشمسي :

يعرف على أنه كمية الطاقة الإشعاعية الصادرة من الشمس و الساقطة على سطح موضوع بشكل عمودي على مسار الأشعة الشمسي لكل وحدة مساحة و ذلك خارج الغلاف الجوي للأرض.[3]



الشكل 6.I منحنى الثابت الشمسي خلال السنة

8.I الكتلة الهوائية الضوئية AM:

مصطلح يعبر عن نسبة طول المسار الذي يقطعه الإشعاع الشمسي عبر الغلاف الجوي وصولا إلى الأرض إلى المسافة التي يخترقها الشعاع الشمسي عندما تكون الشمس عمودية على الموضع المعتبر و يعطى بالعلاقة:

$$AM = \frac{1}{\sin h} \qquad (8.I)$$

9.I الإشعاع الشمسي:

يعتبر الإشعاع الشمسي أحد صور الطاقة و عندما نتكلم عن الطاقة فإننا نهتم بدراسة شدتها و عليه حساب كمية الطاقة الإشعاعية الواصلة.وهنا تجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن التحكم بكمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض لكونها تتغير بشكل مستمر.

1.9.I الإشعاع المباشر:

يمثل كمية الإشعاع الشمسي الساقط بشكل ناظمي على وحدة المساحة من الأرض بعد اختراق الغلاف الجوي و يعطى بالعلاقة[3]

$$\mathrm{Ib} = [a0 + a1e^{-K.AM}] \quad (9.I)$$

2.9.I الإشعاع الشمسي المنتشر:

و هو الناتج عن تبعثر الإشعاع الشمسي بسبب بعض المكونات الداخلة في تركيب الغلاف الجوي.[3]

$$\mathrm{Id} = I\sinh\left[0.2710 - 0.2939(a_0 + a_1e^{-K.AM})\right] \quad (10.I)$$

3.9.I الإشعاع الكلي:

يمثل الإشعاع الكلي مجموع الإشعاع المباشر و غير المباشر و يحسب في حالة الإشعاع ناظمي بالعلاقة:[3]

$$G = (1270 - 56T_L)(\sinh)^{\frac{T_l+36}{33}} \quad (11.I)$$

حيث معامل الاضطراب للغلاف الجوي و تعطى صيغته:

$$T_L = 2.5 + 16\beta_{\mathrm{A}} + 0.5\ln\omega \quad (12.I)$$

10.I الانقلاب والاعتدال الموسمي:

1.10.I تعريف الانقلاب:

من المعلوم أن ظاهرة الانقلاب الشمسي تحدث خلال شهري ديسمبر و يونيو، فعندما يكون القطب الشمالي في اتجاه الشمس يكون الصيف في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

أما بالنسبة لنصف الكرة الشمالي فإنه يستقبل المزيد من ضوء الشمس المباشر. و يزيد عدد الساعات التي تسقط فيها ضوء الشمس أثناء النهار، و تزامنا مع ذلك يميل القطب الجنوبي بعيدا عن الشمس ويكون فصل

الشتاء في الصف الجنوبي من الكرة الأرضية كما يستقبل نصف الكرة الأرضية هذا نسبة أقل من ضوء الشمس المباشر و يقل عدد الساعات التي ينخفض فيها ضوء الشمس. [4]

1.1.10.I الانقلاب الصيفي:

أثناء الانقلاب الصيفي يكون النهار أطول ما يكون عليه خلال أيام الفصول الأخرى ، أما الليل فيكون قصير، و عند 21 و22 من يونيو عند الزوال تبلغ الشمس نقطة السمت و عندها تكون أشعة الشمس متعامدة مع مدار السرطان الذي يتواجد عند خط العرض 23°27 شمالا و يطلق على هذا اليوم بالانقلاب الصيفي.[4]

الشكل 7.I ظاهرة الانقلاب الصيفي

2.1.10.I الانقلاب الشتوي:

هو ظاهرة فلكية و خلالها يكون النهار أقصر مما هو عليه في باقي أيام السنة و بالتالي الليل يكون الأطول مقارنة بباقي الأيام. و تحدث هذه الظاهرة نتيجة ميل أحد قطبي الأرض نحو الشمس و بالتالي يكون القطب الآخر بعيدا عنها و عندها نقول عن هذا القطب بأنه يمر بفترة انقلاب شتوي، و تجدر الإشارة إلى أنه في النصف الشمالي من الكرة الأرضية تدعى هذه الظاهرة بانقلاب ديسمبر أما في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية فتدعى انقلاب يونيو. [4]

الشكل I.8 ظاهرة الانقلاب الشتوي

I.10.2 تعريف الاعتدال:

يقصد بالاعتدال عدم ميلان محور الأرض لا في اتجاه الشمس و لا بعيد عنها و ينجر عن هذه الظاهرة تساوي عدد ساعات الليل و النهار، كما تحدث ظاهرة الاعتدال يومين في العام فقط يوم يكون في شهر مارس وآخر يكون في شهر سبتمبر.[4]

I.10.2.1 الاعتدال الربيعي:

المرة الثانية في السنة التي يتساوى فيها طول الليل و النهار تكون يوم 21 و22 مارس حيث تعود حركة الشمس الظاهرية إلى الصعود اتجاه النصف الشمالي من الكرة الأرضية لكي تتعامد الأشعة الشمسية مع خط الاستواء مرة ثانية و يطلق على هذا اليوم بالاعتدال الربيعي[4]

الشكل I.9 ظاهرة الإعتدال الربيعي

2.2.10.I الاعتدال الخريفي:

عندها يتساوى طول النهار و الليل، حيث تنزل الحركة الظاهرية للشمس إلى مستوى خط الاستواء إلى أن تصبح أشعة الشمس متعامدة معه و يكون ذلك يوم 22أو 23سبتمبر و يسمى هذا بالاعتدال الخريفي.[4]

الشكل I.10 ظاهرة الاعتدال الخريفي

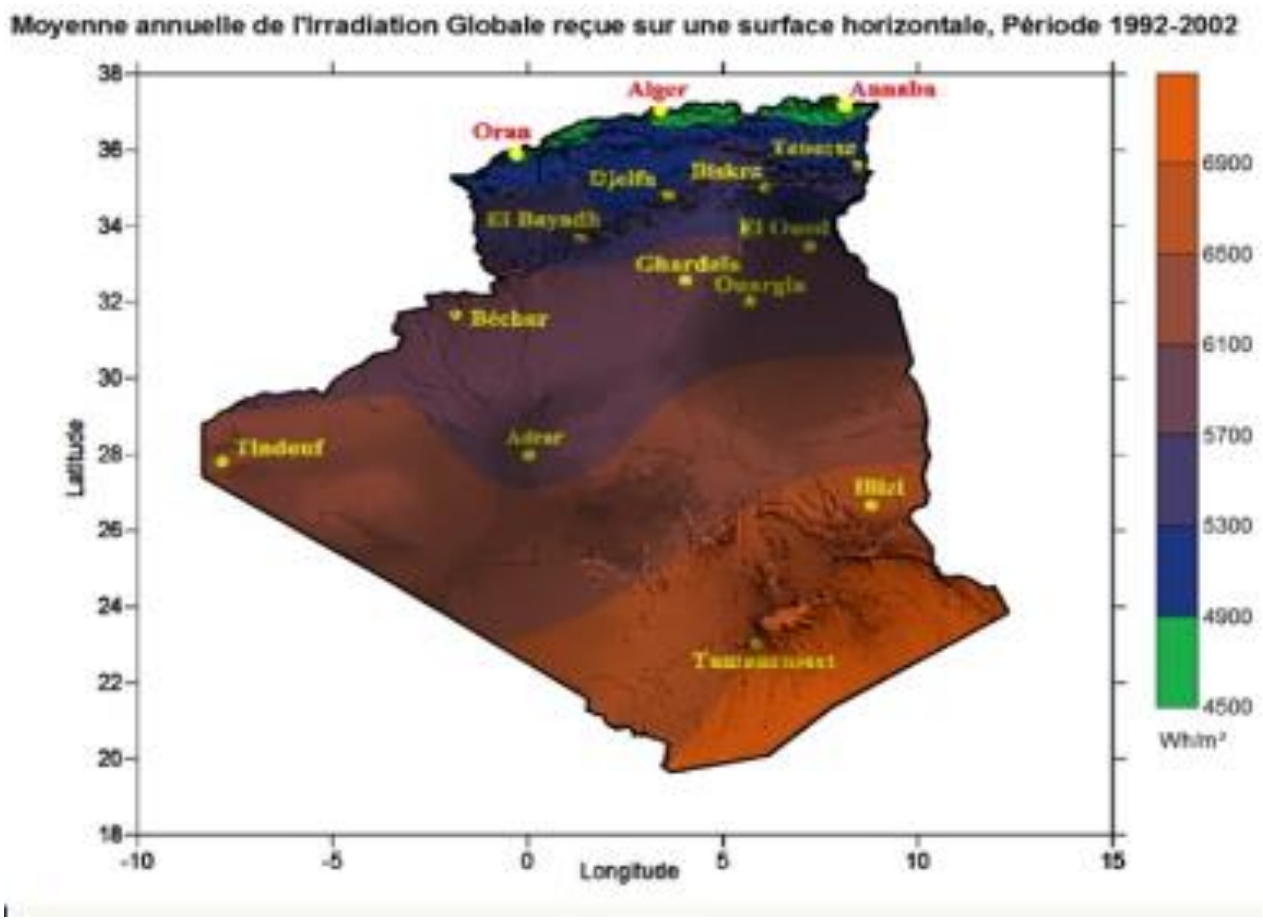
11.I الإشعاع الشمسي في الجزائر:

تمتلك الجزائر أحد اكبر حقول الطاقة الشمسية في العالم نظرا لتمتعها بفترة تشميس تصل إلى أكثر من 2000 ساعة سنويا على كامل التراب الوطني تقريبا ويمكن أن تصل حتى 3900 ساعة خصوصا في المرتفعات و الصحراء.

استنادا على الخرائط التي أعدها مركز تنمية الطاقات المتجددة فإن جميع أنحاء التراب الوطني تحظى بنسبة استقبال من الطاقة الشمسية الكلية على سطح أفقي بمساحة متر مربع تتراوح ما بين 5.1 كيلو واط في الساعة في الشمال و 6.6 كيلو واط في الساعة في الجنوب الكبير.

كما أن الإشعاع الشمسي يصل مباشرة إلى سطح الأرض دون أن يتشتت بواسطة الغلاف الجوي الذي يعد أحد العوامل المؤثرة على طاقة الإشعاع الشمسي و يمكن أن تصل هذه الأخيرة إلى 5.5 كيلو واط في الساعة بالنسبة لمحافظة مثل الجزائر العاصمة وإلى 7.5 كيلو واط في الساعة بالنسبة ل(إليزي) يوميا ولكل متر مربع.

وقد نشر" مركز تنمية الطاقات المتجددة" بمناسبة حلول الانقلاب الصيفي خريطة جديدة للإشعاع الشمسي في الجزائر:



الشكل I.11 خريطة الإشعاع الشمسي في الجزائر

الفصل II

المركزات الشمسية

1.II مقدمة:

إن فكرة تركيز الإشعاع الشمسي ليست وليدة اليوم فقد استطاع آرخميدس حرق سفن الأسطول الحربي الروماني عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي في نقطة صغيرة مما أدى إلى ارتفاع كبير في درجات الحرارة و من ثم احتراقها مستخدما في ذلك المئات من الدروع المعدنية. و في ظل تداعيات أزمة الطاقة العالمية فقد قرر الإنسان المعاصر استغلال هذه الحرارة كمصدر طاقوي بديل عن مصادر الطاقة الأحفورية لما لهذه الأخيرة من تبعات خطيرة على البيئة والكائنات الحية.

سنتناول في هذا الفصل تطبيقات الطاقة الشمسية خاصة الحرارية منها بحيث يتم التركيز على المركزات الشمسية من خلال التعرف على مبدأ عملها و أنواعها و المقارنة بين جميع التكنولوجيات المعتمدة.

2.II تعريف المركزات الشمسية:

هي آلية تقوم على استخدام المرايا لتركيز الأشعة الشمسية حيث تستقبل الإشعاع الشمسي الساقط و المنتشر على مساحات واسعة لتركيزه في مساحة صغيرة، و الغاية من كل ذلك هو امتصاص الطاقة الحرارية الهائلة التي يحملها الإشعاع الشمسي و من ثم استغلالها بشكل مباشر كعمليات تجفيف المحاصيل الزراعية أو بشكل غير مباشر من خلال تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية. [6]

3.II العناصر الأساسية للمركز الشمسي:

1.3.II العاكس:

يكون ذو سطح مستوي أو منحني و دوره الأساسي تركيز الأشعة على المستقبل كما يشترط أن يطلى السطح الداخلي للمركز بواسطة المرايا أو أي عاكس آخر له معامل انعكاسية عالي. [7]

2.3.II المستقبل:

دوره استقبال الأشعة القادمة من العاكس و تحويلها إلى طاقة حرارية حسب غرض الاستعمال.[7]

3.3.II الوسيط الحراري:

هو عبارة عن سائل أو غاز يتم وضعه عند نقطة البؤرة يعمل على امتصاص الطاقة الحرارية و من ثم نقلها أو تخزينها. [6]

4.II آلية عمل المركز الشمسي:

تتلخص آلية عمل المركز الشمسي في كونه يعكس الأشعة الشمسية الساقطة على المرآة فتقوم هذه الأخيرة بعكس الإشعاع على سطح الامتصاص لترتفع درجة حرارته و من ثم تنتقل هذه الحرارة للمائع لإنتاج البخار المضغوط و الذي يحرك التيربينات لتوليد الكهرباء، كما نشير إلى أن زاوية سقوط الإشعاع و الشكل الهندسي لسطح المركز يلعبان دورا مهما في تحديد الاستطاعة الحرارية المولدة من طرف المنظومة و يمكن أن نلاحظ عدة تصاميم لنظم المركزات الشمسية و الاختلاف الجوهري يكمن في اختلاف نصف قطر انحناء المقاطع الهندسية لكل تصميم عن آخر و من أبرز هذه التصاميم نجد العاكس شكل قرص دائري و العاكس البيضاوي و الخطي و أبراج الطاقة الشمسية.[6]

1.4.II مبدأ الانعكاس:

و هو قانون انعكاس الأشعة الضوئية على السطح العاكس و ينسب لستال ديكارت يستخدم في البصريات يصف العلاقة بين زوايا السقوط و الانعكاس لانتقال الضوء في وسط متجانس و شفاف وفق خطوط مستقيمة لنموذج الضوء الهندسي، حيث ينص على تساوي زاويتي السقوط و الانعكاس إذا سقط ضوء على سطح عاكس مستوي.

5.II أنواع المركزات الشمسية:

يتم تقسيم المركزات الشمسية إلى قسمين رئيسيين " مركزات نقطية " و مركزات " خطية " فالمركزات النقطية تكون الأشعة الساقطة على العاكس متمركزة في نقطة تدعى " البؤرة" أما بالنسبة للمركزات الخطية فالأشعة الساقطة على العاكس تتمركز في خط يسمى" المحور البؤري.[8]

1.5.II مركزات نقطية:

يمتاز هذا النوع من المركزات بتركيز الإشعاع في نقطة و تسمى النقطة البؤرية.

1.1.5.II طبق قطع مكافئ:

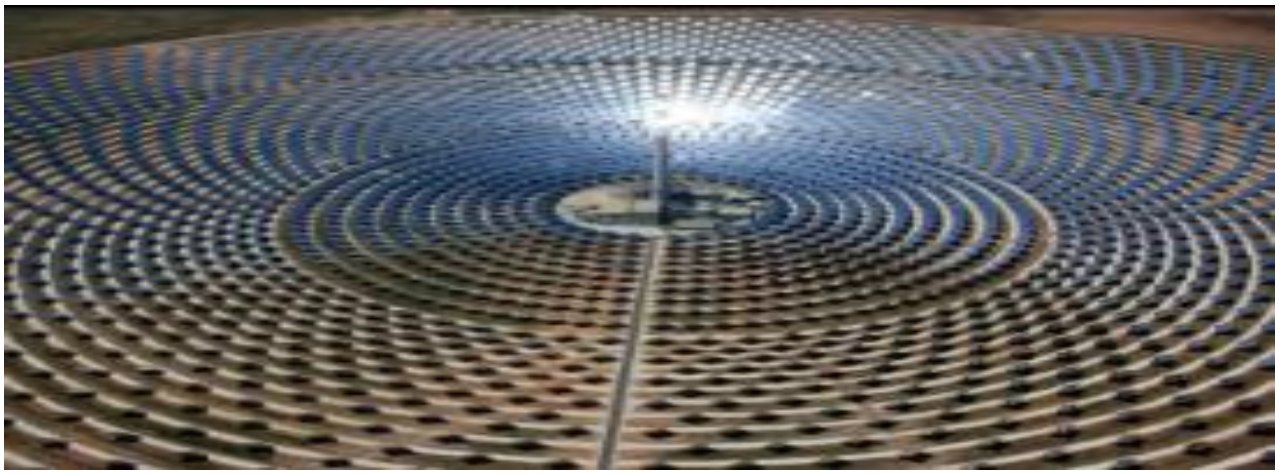
تتكون هذه المركزات من سطوح عاكسة مقعرة ذات شكل قطع مكافئ. يتم التتبع الشمسي وفق محوري دوران من أجل المحافظة على تركيز الإشعاع الشمسي في النقطة البؤرية ،حيث يكون مثبت بها جهاز استقبال دوره التقاط حرارة الشمس كما يحتوي على غاز لتشغيل توربينات وتصل درجة حرارة هذا النوع إلى 1500 درجة مئوية. [9]

الشكل 1.II طبق قطع مكافئ

2.1.5.II الأبراج الشمسية:

تقوم فكرة الأبراج الشمسية على استخدام عدد كبير من المرايا و التي تعرف بالهليوستات يتوسطها برج يحتوي في قمته على مستقبل حراري و تتم العملية كالآتي:

ينعكس الإشعاع الشمسي عن المرايا نحو المستقبل حراري الموجود في قمة البرج و بذلك يتم امتصاص طاقة حرارية ترفع من درجة حرارة السائل ليعمل كمبادل حراري و قد تصل درجة حرارته من 600 إلى 1000 درجة مئوية بصدد توليد البخار.[7 9]



الشكل 2.II الأبراج الشمسية

2.5.II مركزات خطية :

هذا النوع من المركزات يقوم بتركيز الإشعاع الشمسي في خط يدعى المحور البؤري.

1.2.5.II أحواض بشكل قطع مكافئ :

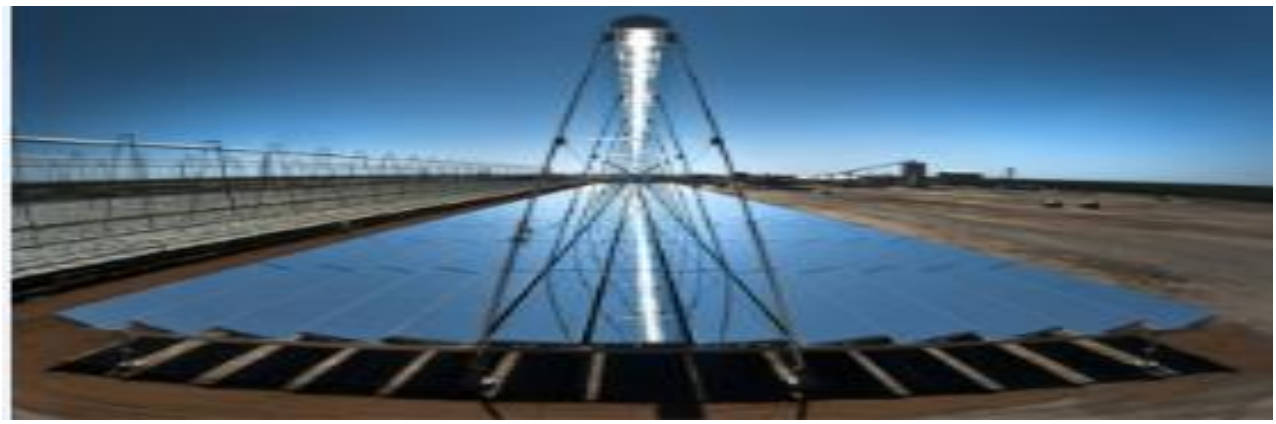
تكون المرايا العاكسة في هذا النظام على شكل قطع مكافئ حوض حرف U و يمر بشكل مواز لمنتصف المرايا حيث تعكس المرايا الإشعاع الشمسي باتجاه الأنبوب الذي يمر بداخله سائل يتم تسخينه و يعمل كمبادل حراري لتوليد البخار لتغذية التوربين و يوجد أنواع عديدة من السوائل المستخدمة و انتشر مؤخرا استخدام الزيت الحراري الذي تصل درجة حرارته إلى 393 درجة مئوية يتم. وضع المرايا بشكل خطوط متوازية مثبته على محور واحد بحيث تسقط عليها أشعة الشمس طيلة فترة النهار أثناء حركتها من الشرق إلى الغرب. و يعد هذا النوع من المحطات هو الأكثر انتشارا بين المحطات التي تعتمد طاقة الإشعاع الشمسي المركزة. [7 8]

الشكل 3.II أحواض بشكل قطع مكافئ

2.2.5.II أنظمة فرينيل الخطية :

يعود الأصل في كلمة فرينيل على التشابه بين شكل ترتيب المرايا العاكسة في هذا النظام مع عدسات فيرينيل المستخدمة في المنارات التي تعتمد على استخدام عدد من العدسات بتراكب معين و ترتيب خاص مما يقلل من عدد المرايا المستخدمة بالمقارنة مع أي تركيب أخر.

و في هذا النوع من المحطات يتم وضع العواكس على الأرض بشكل مباشر و تكون موجهة نحو أنبوب يمر بداخله سائل المبادل الحراري بطريقة مشابهة للأحواض ذات القطع المكافئ، يتم توجيه هذه الألواح و تركيبها بحيث تكون باتجاه الشمال جنوب لتحقق أكبر عائد من الطاقة سنويا و خاصة في فترة الصيف حيث تكون درجات الحرارة جد مرتفعة. [9]



الشكل 4.II أنظمة فرينيل الخطية

6.II التركيز الشمسي:

تختلف كفاءة المركز الشمسي من مركز إلى آخر و من المعايير التي تستخدم في عملية تقييم كفاءة المركز ما يلي:[8]

1.6.II تركيز شمسي هندسي:

السطح العاكس على مساحة فتحة سطح المستقبل يعطى بالعلاقة التالية:[8]

$$C_g=\frac{A_{ref}}{A_{abs}} \quad (1.II)$$

A_{abs}:هي مساحة سطح المستقبل A_{ref}: مساحة سطح فتحة العاكس

2.6.II نسبة التركيز الضوئي C_0:

الإشعاع الشمسي على سطح المستقبل إلى شدة تدفق الإشعاع الشمسي على سطح العاكس و تعطى بالعلاقة[9]

$$C_0 = \frac{l_{abs}}{I_{ref}} \quad (2.II)$$

l_{abs}:هو شدة تدق الإشعاع على سطح المستقبل.

I_{ref}:شدة تدفق الإشعاع على سطح العاكس.

7.II مزايا و عيوب المركزات الشمسية:

1.7.II المركزات الشمسية:

- ✓ المرايا المستخدمة ذات تكاليف منخفضة
- ✓ ذات مردودية عالية
- ✓ الاستغناء عن الوقود كليا و هذا يساهم أيضا في انخفاض التكلفة
- ✓ تصل إلى درجات حرارة عالية جدا
- ✓ تعتبر صديقة للبيئة (غير ملوثة)
- ✓ قدرة متاحة 24 ساعة / 7 أيام في الأسبوع (في حالة وجود نظام تخزين حراري)

2.7.II العيوب:

- ✓ تحتاج المركزات الشمسية إلى أنظمة تتبع للمحافظة على تركيز أشعة الشمس على المجمع
- ✓ تتطلب منظومات التركيز الشمسي مساحات شاسعة و أماكن مخصصة.

8.II مقارنة عامة بين جميع التكنولوجيات:

النوع	الأبراج الشمسية	حوض قطع مكافئ	طبق قطع مكافئ	مجمع فرسنل الخطي
الاستخدام	المشاريع الكبيرة المتصلة بالشبكة بسعة 30- MW 200	لمشاريع الكبيرة المتصلة بالشبكة بسعة MW 200-30	تطبيقات فردية أو مجموعات في المزارع	التطبيقات الفردية
التكاليف(دولار/واط)	4.4-2.5	4-2.7	12.6-1.3	غير متوفر
محور تتبع	محور مزدوج	محور أحادي أو مزدوج	محور مزدوج	محور مزدوج
مبادل حراري	يحتاج	يحتاج	لا يحتاج	لا يحتاج
نوع التركيز في حالة الصفوف المتوازية	تركيز نقطة	تركيز خط	تركيز نقطة	تركيز خط
نوع المستقبل	ثابت	متحرك	متحرك	ثابت
المميزات	لأن الأملاح الموجودة المرغوبة أقل فإن درجة حرارة التشغيل تكون أعلى مقارنة بحوض القطع المكافئ	ضوء الشمس مركزي للحصول على كفاءة جيدة للمستقبل	يمكننا تركيبها في أي قطعة أرض باستخدام كميات قليلة من المياه	لا تتطلب ربط دوار بين المستقبلات و مواسير المقع الرئيسية و بالتالي تجهز تصميم إضافي مرن
العيوب	كل مرآة يجب أن تشتمل على تحكم محوري مزدوج	تغلف أنابيب المستقبل بأنابيب زجاج شفاف لتخفيض الفقد الحراري	يحتاج التحويل من الحرارة إلى الكهرباء إلى آلة ثقيلة	تحتاج إلى مرآة أعلى المستقبل الثانوي لإعادة بؤر الأشعة الضائعة

الجدول 1.II مقارنة بين تكنولوجيات المركزات الشمسية

الفصل III

أنظمة التتبع الشمسي

1.III مقدمة:

إن الطلب المتزايد على الطاقة هو العامل الذي دفع المجتمع العلمي إلى تكثيف الجهود و الأبحاث بصدد خلق حلول كفيلة بتوفير كميات طاقة تسد احتياج سكان العالم.

على الرغم من أن كمية الطاقة الشمسية الواصلة إلينا هائلة إلا أن نسبة الطاقة المستغلة من إجمالي الطاقة الكلية ضئيلة جدا وهذا راجع للتكلفة الباهظة لمحطات الطاقة الشمسية، و من هنا كان على الباحثين إيجاد آليات تحقق استغلال أمثل لهذه الطاقة بأقل التكاليف، و كما أسلفنا سابقا فمن المشاكل التي تواجه الألواح الشمسية عموما و المركزات خصوصا هي تغير زاوية سقوط الإشعاع الشمسي حيث يكون المردود عالي من أجل زاوية سقوط شاقولية للإشعاع على السطوح العاكسة و هذا في حد ذاته يعتبر تحدي رئيسي يقف دون تحسين كفاءة الألواح الشمسية.

من الحلول التي تم اقتراحها للتغلب على هذه المشكلة هي تكييف لوحة شمسية متحركة باستخدام آلية تتبع الشمس و قد لقيت هذه التقنية رواجا تجاريا.

لذلك سنتناول في هذا الفصل مبدأ عمل المتعقبات الشمسية و مختلف التكنولوجيات المعتمدة و مزايا و عيوب كل تقنية.

2.III تعريف نظام الملاحقة الشمسية:

هو نظام يتعقب مسار الشمس بغرض تأمين أفضل زاوية سقوط للإشعاع الشمسي على أسطح الألواح و بالتالي المساهمة في رفع كفاءة الألواح الشمسية بمختلف أنواعها، و يبدأ نظام التتبع الشمسي عملية تعقب الشمس من بداية شروقها إلى غاية لحظة الغروب.

عموما فان نظام الملاحقة الشمسية يهدف إلى توجيه أجهزة الاستشعار في الوقت الحقيقي نحو الشمس الذي من شأنه ضمان سقوط شاقولي للإشعاع على اللوح. و تكون عملية التعقب على محورين في السمت أي من الشرق إلى الغرب على مدار اليوم و في الارتفاع عند كل موسم. و عليه نستنتج أن المتعقب الشمسي المثالي هو الذي يتحرك وفق محورين[11]

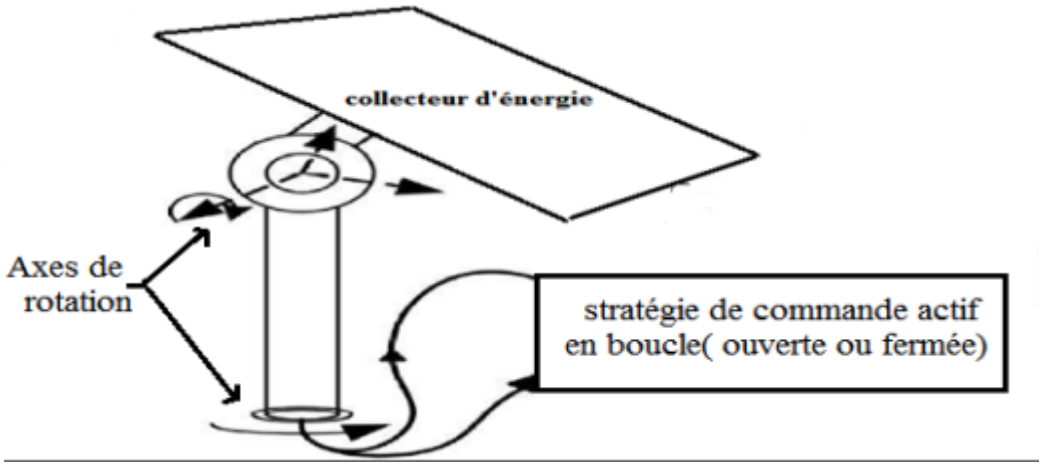
3.III أنواع المتتبعات الشمسية:

يمكن أن نصنف المتعقبات الشمسية على عدة أسس منها:

1.3.III حسب آلية التوجيه:

1.1.3.III متتبع شمسي نشط :

يعتمد هذا النوع من المتتبعات على مبدأ الكشف عن الضوء و يندرج ضمنها نوعين متتبعات أحادية المحور و متتبعات المحور المزدوج،يتفوق المتتبع النشط على المتتبع السلبي لكونه يمتاز بدقة تعقب أدق إضافة لكونه يعمل آليا أي يتطلب تدخل يدوي [12]



الشكل 1.III متتبع شمسي نشط

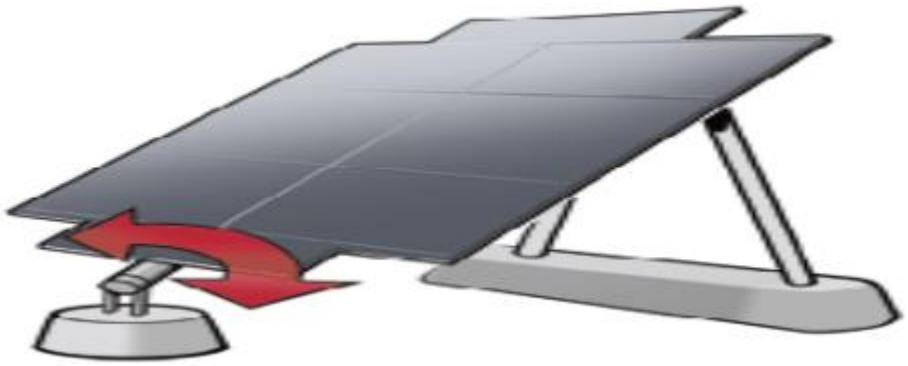
2.1.3.III متتبع سلبي غير نشط:

هذا النوع من أجهزة الملاحقة الشمسية لا يحتاج إلى طاقة لتحريك اللوح الشمسي فهو يتكون من أنابيب نحاسية مثبتة على جانبي اللوح الشرقي و الغربي، يحتوي كل أنبوب نحاسي على سائل كيميائي يمكن أن يتبخر عند درجات حرارة منخفضة، عندما تزداد شدة الإشعاع الشمسي في جانب على الآخر يتبخر السائل الكيميائي الموجود في الأنبوب النحاسي و يتمدد حجمه و هذا بدوره يؤدي إلى تحريك السائل نحو الجانب المظلل مما يسمح بضبط توازن اللوح الشمسي و تدويرها نحو أشعة الشمس. [13].

2.3.III حسب درجة حرية الحركة:

1.2.3.III متتبع شمسي ذو محور أفقي:

في هذا النوع من أنظمة التعقب يتم دعم أنبوب أفقي طويل على المحمل المركب على الأنبوب ليتم تدوير الأنبوب على المحور لتتبع الحركة الواضحة للشمس خلال اليوم نظرا لأنها لا تميل نحو خط الاستواء، فهي بالتالي ليست فعالة إلى حد كبير خلال فصل الشتاء في منتصف النهار (ما لم تكن موجودة بالقرب من خط الاستواء) ، ولكن نظام التتبع هذا يكون مثمرا للغاية خلال فصل الربيع والصيف عندما يكون المسار الشمسي مرتفعا في السماء. [12]

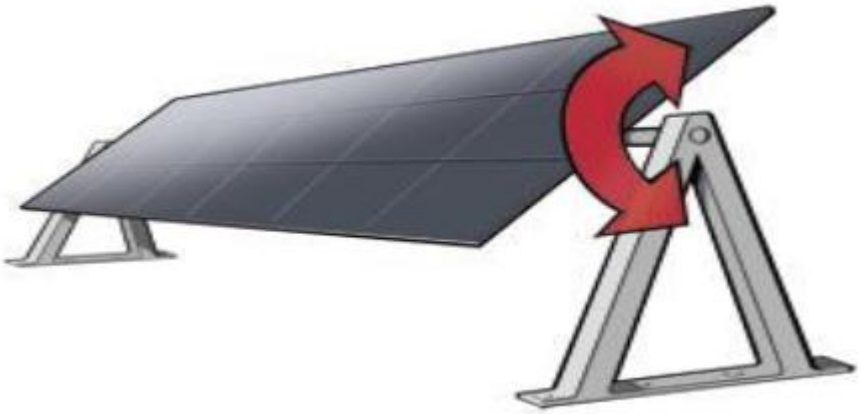


الشكل 2.III متتبع شمسي ذو محور أفقي

يتمتع متتبع الطاقة الشمسية ذو المحور الأفقي، حتى لو كانت كفاءته ضعيفة، بميزة كونه متينًا للغاية من حيث هيكله، وهو هيكل له آلية بسيطة.

2.2.3.III متتبع شمسي ذو محور عمودي:

في هذا النوع من نظام التتبع، تُركب اللوحات على محور عمودي بزاوية ارتفاع ثابتة أو قابلة للتعديل أو متتبعة. إن أجهزة التتبع هذه ذات الزوايا الثابتة أو القابلة للتعديل بشكل موسمي مناسبة للارتفاعات العالية. هذا لأن المسار الشمسي الظاهر في خطوط العرض العليا ليس مرتفع بشكل خاص ولكنه يؤدي إلى أيام طويلة في الصيف ، حيث تنتقل الشمس عبر قوس طويل.[12]



الشكل 3.III متتبع شمسي ذو محور عمودي

3.2.3.III متتبع شمسي ثنائي المحور(ارتفاع/سمت):

تكمن الفكرة في تدوير المحور حول الذروة بزاوية الدوران إلى زاوية السمت .γ بينما يكون لسطح الأرض ويدور بزاوية دوران مساوية لزاوية الارتفاع α [13]

4.2.3.III متتبع شمسي ثنائي المحور:

في المتتبع الشمسي ثنائي المحور ، يكون المحور الأول هو عمود المحور الرأسي أو حامل الحلقة الأفقي الذي يسمح للجهاز بالتحول إلى نقطة البوصلة. المحور الثاني هو محور ارتفاع أفقي مركب على منصة السمت. باستخدام هذا المزيج من المحورين ، يمكن الإشارة إلى أي مكان في نصف الكرة.

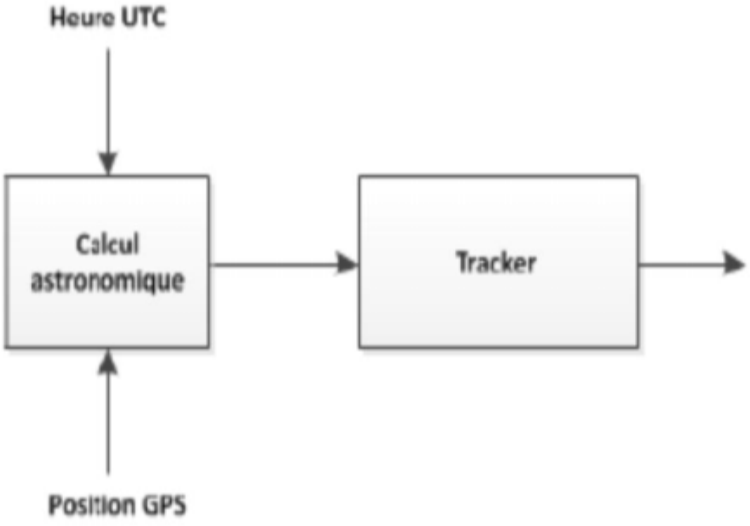
5.2.3.III متتبع شمسي زمني:

جهاز تعقب الطاقة الشمسية الزمني هو نظام يعتمد على جهاز توقيت يتحرك وفقًا لدوران الأرض بالنسبة إلى الشمس حول محور بنفس سرعة الأرض. للقيام بذلك، تم تصميم آلية دوران بسيطة للسماح للنظام بالتناوب طوال اليوم بغض النظر عن وجود أو عدم وجود الشمس. يدور هذا النظام بسرعة ثابتة تبلغ دورة واحدة يوميًا أو 15درجة في الساعة.[13]

3.3.III حسب آلية التحكم:

1.3.3.III التحكم دو الحلقة المفتوحة:

التحكم المفتوح على أنه أحد أنواع نظام التحكم الذي يعتمد فيه إخراج النظام على المدخلات و لكن تبقى وحدة التحكم مستقلة عن إخراج النظام و عليه فان التعقب الشمسي الذي يعتمد على دائرة تحكم مفتوحة يقوم على الحسابات الفلكية لموقف الشمس دون قياس الموضع الحقيقي للشمس حيث يشكل نقاط ضبط لمسار التتبع من وقت و إحداثيات GPS لمحطة مركزية.[12]



الشكل 4.III التحكم ذو الحلقة المفتوحة

1.1.3.3.III مزايا نظام التحكم المفتوح:

- ✓ تكون سلسة جدا
- ✓ أنظمة التحكم المفتوح تكون سهلة البناء و الصيانة
- ✓ ذو تكلفة منخفضة و هذا راجع لقلة عدد الوحدات الموجودة به

2.1.3.3.III عيوب نظام التحكم المفتوح:

- ✓ من المعلوم أن أنظمة التحكم المفتوح تكون عرضة للأخطاء.
- ✓ تتطلب إعادة معاير في الأوقات المناسبة.
- ✓ أحيانا تكون التغييرات في الإخراج المطلوب راجعة إلى اضطرابات داخلي.

2.3.3.III التحكم ذو الحلقة المغلقة:

يعرف على أنه نظام يؤثر فيه الإدخال على الإخراج من اجل الحفاظ على قيمة الإخراج المطلوبة. كما يحتوي هذا النظام على حلقة أو أكثر من حلقات التغذية الراجعة، و عليه فان أنظمة التعقب الشمسي التي تعتمد هذا النظام تقوم على قياس خطأ التتبع الفعلي للتحكم في مشغلات التعقب كما تعمل أداة تجميع الطاقة الشمسية على توفير مقياس الخطأ أحيانا لا يمثل الإرجاع خطأ في التتبع بل قوة تنتجها الوحدة في الواقع حيث يتلخص دور هذه الاستراتيجية في توجيه المتتبعين وفقا لموقف المتتبع الأفضل بدءا من أي موضع.[12]

نظام التحكم المفتوح	نظام التحكم المغلق
ليس له أي تأثير على الدخل	تؤثر قيمة الخرج على الدخل
لا تعطي تصحيحا أوتوماتيكيا عند حدوث متاعب خارجية	يتم التصحيح أوتوماتيكيا
يتأثر الخرج تأثيرا كبيرا بأي تغيرات	لا يتأثر الخرج بالتغيرات حيث يتم التصحيح أوتوماتيكيا
تعتمد إشارة التصحيح على القيمة الأصلية(الدخل) و لا تتأثر بقيمة الخرج	تعتمد إشارة التصحيح على قيمتي الدخل و الخرج معا
لا يحتاج لأجهزة لقياس الخرج و المقارنة	يتطلب أجهزة قياس و مقارنة بالقيمة المطلوبة
يتطلب مجهود عضلي و متابعة	لا يتطلب مجهود عضلي و متابعة
سهل الصيانة و الإصلاح	معقد الصيانة و الإصلاح و يحتاج لعامل ماهر
ذو تجهيزات بسيطة	ذو تجهيزات معقدة

الجدول 1.III مقارنة بين نظام التحكم المفتوح و نظام التحكم المغلق

3.3.3.III التحكم الهجين:

هو أمر تتبع يجمع بين حساب موضع المرجع المقترح من قبل الحلقة المفتوحة و بيانات الإرجاع المقترحة بواسطة أمر الحلقة المغلقة[12]

4.III مزايا و عيوب أنظمة التتبع الشمسي:

1.4.III مزايا أنظمة التتبع الشمسي:

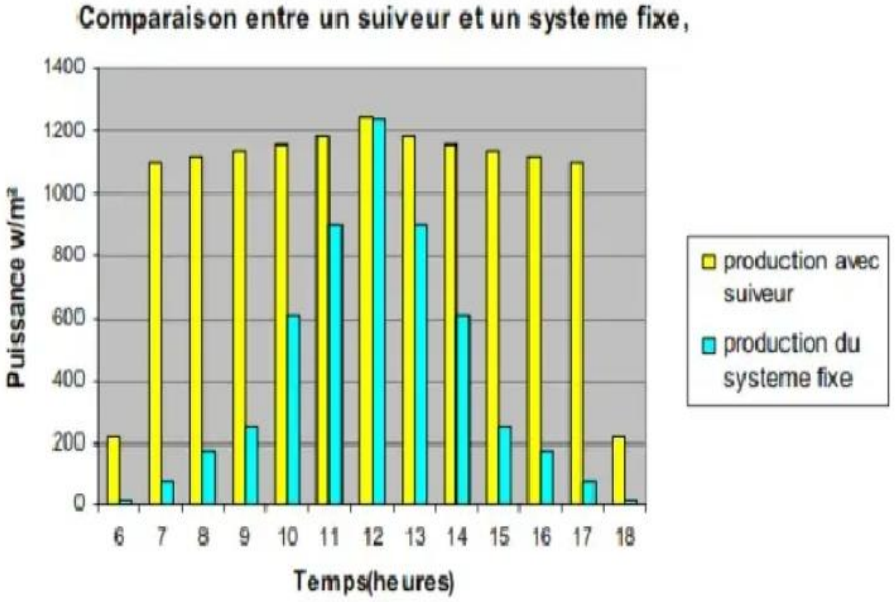
- ✓ تعمل أنظمة الملاحقة الشمسية على توفير طاقة ثابتة خلال اليوم.

- ✓ تساهم في تصغير المساحة المخصصة للمحطة الشمسية و بالتالي إمكانية استخدام المساحة المتبقية. حولها لأغراض إضافية.
- ✓ تعتبر أنظمة التعقب الشمسي الحل الأمثل للمناطق التي قد تعوق إنتاجية الطاقة الشمسية خاصة تلك التي تمتاز بتضاريس معقدة و نتوءات حجرية و الانحدار نحو الشمال و غيرها من المشاكل.
- ✓ ترفع أنظمة التعقب الشمسي من كفاءة المحطات الشمسية أعلى بنسبة 45% سنويا مقارنة بمحطة ثابتة بنفس السعة المركبة.
- ✓ من الناحية الاقتصادية تساهم أنظمة التتبع في استرداد كلفة الاستثمار خلال فترة زمنية وجيزة نظرا للإنتاجية المرتفعة.[14]

2.4.III عيوب أنظمة التتبع الشمسي:

- ✓ المحطات الشمسية التي يتم يتم تزويدها بأنظمة تعقب شمسي تحتاج إلى إشراف و صيانة دورية.
- ✓ الحركة المستمرة للألواح في تعقب الشمس قد تتسبب في حدوث مشكلات في التظليل خاصة إذا كانت الألواح قريبة من بعضها البعض.
- ✓ تعد أجهزة تعقب الطاقة الشمسية باهظة الثمن مقارنة بالأنظمة الثابتة.
- ✓ تتطلب أنظمة التتبع خبيرا للتثبيت مما يسهم في مضاعفة التكلفة
- ✓ استخدام أنظمة التتبع الشمسي يكون في المناخات التي لا تحتوي على الثلوج أي أنها تتأقلم مع المناخات الأكثر دفئا أما الأنظمة الثابتة فتستوعب الظروف البيئية القاسية بسهولة.[14]

5.III مقارنة بين أنظمة التتبع و الأنظمة الثابتة:



الشكل 5.III مقارنة المردود الطاقوي لنظام تتبع بالمردود الطاقوي لنظام ثابت

كما نلاحظ فإن استخدام نظام تتبع شمسي سمح بتمديد وقت الطاقة القصوى المتاحة و بالتالي المزيد من الساعات في اليوم بسعة أكبر.

وكما يتضح من خلال الشكل فقد ساعد نظام التعقب الشمسي على الوصول المبكر للطاقة القصوى من النظام في اليوم كما ساعد في الحفاظ على هذه الطاقة القصوى لفترة أطول قبيل ساعات المغيب مما ساهم في استقرار التوليد في المحطة لفترة أطول.[15]

6.III التطور التكنولوجي لأنظمة التعقب الشمسي:

هناك العديد من الأبحاث و الدراسات التي تعنى بتطوير أنظمة التتبع الشمسي بصدد تحقيق أقصى استفادة من محطات الطاقة الشمسية و نستعرض فيما يلي بعض هذه الدراسات:

– J.Rizk [2008] أشار إلى أن فوائد النظام المحتملة لتتبع النظام الشمسي البسيط و ذلك بالاعتماد على محرك خطوي و مستشعر للضوء، تم اختباره على سبيل التجربة كما تمت مناقشة تفاصيل التصميم و النتائج التجريبية حيث تم تصميم متعقب شمسي مزود بخلايا شمسية صغيرة لتعمل كأنظمة استشعار ذاتية الضبط مما يوفر مؤشرا متغيرا لزاويتها النسبية للشمس عن طريق الكشف عن ناتج الجهد. و قد نجح هذا الأسلوب في تعقب الإشعاع الشمسي و بالتالي تحقيق زاوية الورود الشاقولية على الألواح الشمسية.

– Mostefa Ghassoul [2013] قام بوصف نظام تعقب شمسي ذكي من حيث التكلفة لاستخراج أقصى قدر من الطاقة، تمت عمليه تصميمه ليعمل بواسطة جهاز تحكم دقيق PIC 18F452 صغير الحجم.و يقوم النظام على آليتين الأول آلية البحث(PILOT) و التي تقوم بتحديد موقع الشمس أما الآلية الثانية (الألواح الذكية) تتماشى مع PILOT فقطفي حالة إمكانية استخراج أقصى طاقة ممكنة.[16]

– Robert H.Dold et F.R.Rubio[2007] طرح تصميم لمتتبع شمسي ذو محورين بإمكانه مقاومة الظروف الجوية القاسية و يتعقب حركة الإرتفاع و حركة السمت، يشمل المتتبع الشمسي لوحا شمسيا و إطارا و قاعدة و إطارا محوريا و محركا أولا و ثانيا، تثبت الألواح الشمسية على الإطار و يعمل على التقاط ضوء الشمس، بالنسبة للمحرك الأول فهو يتحكم في حركة ارتفاع اللوح الشمسي أما المحرك الثاني فيتحكم في حركة السمت للوح الشمسي.[16]

الفصل IV

التجفيف الشمسي

1.IV مقدمة:

تعتبر عملية التجفيف من أقدم طرق الحفظ الغذائي عبر التاريخ و التي مارسها الإنسان البدائي قبل 4000 سنة حيث كانت تستخدم لحفظ الخضروات و الفاكهة و اللحوم و محاصيل الذرة. و قد اعتمد في ذلك على تقنية التجفيف الشمسي المباشر و ذلك بتعريض المواد الغذائية مباشرة للشمس.على الرغم من تبعاتها السلبية نظرا لكون المنتج معرض لكامل العوامل الخارجية من أتربة و الحشرات و الطيور.

في هذا الفصل سنتعرف أولا على تقنية التجفيف الشمسي المباشر بعدها نتطرق لسرد جميع تقنيات التجفيف الشمسي الحديثة حيث يتم تقسيم الفصل إلى جزئين الجزء الأول نسلط الضوء حول المفهوم العلمي لعملية التجفيف و مختلف أساليبه و مزايا و عيوب كل أسلوب أما الجزء الثاني فنذكر فيه مختلف العلاقات و القوانين التي يخضع لها عمل المجفف الشمسي.

2.IV تعريف التجفيف:

هو عبارة عن عملية ينتج عنها خفض المحتوى الرطوبي للمادة نتيجة لتبخر الماء و بالتالي تركيز ما يحتوي عليه من مكونات صلبة، هذا يعني أن عامل الحفظ في التجفيف عموما هو خفض درجة الرطوبة إلى الحد الذي يثبت نشاط الأحياء الدقيقة والإنزيمات ويقلل التفاعلات الكيميائية التي تؤدي للفساد.[13]

3.IV مبدأ عمل المجفف الشمسي:

إن التجفيف عبارة عن مجموعة من العمليات التي تهدف إلى التخلص من الماء الموجود في المادة الغذائية لكون هذا الماء شرط أساسي لنمو البكتيريا وتكاثرها و كذا حدوث التفاعلات الإنزيمية المسؤولة بشكل مباشر عن تلف المادة الغذائية، تحدث عملية التجفيف أما باستخدام المجفف الشمسي المباشر أو بالاعتماد على فرن كهربائي.[18]

4.IV مكونات المجفف الشمسي:

يتكون المجفف الشمسي من مجمع حراري و غرفة تجفيف و ينبغي أن تكون جدران غرفة التجفيف ذات عزل عالي للحرارة حتى لا تتسرب الحرارة إلى الخارج.

عموما فان المجفف الشمسي تدخل في تركيبه ثلاث وحدات رئيسية و هي وحدة التسخين و وحدة التجفيف و وحدة تحريك الهواء داخل المجفف و تختلف هذه الوحدات عن بعضها البعض حسب نوع المجفف كما يلي:

1.4.IV وحدة التسخين:

و هو العنصر الذي يستقبل أشعة الشمس و يحتفظ بالطاقة الحرارية اللازمة للتسخين الهواء الذي يمر عليها ليسلك طريقه إلى وحدة التجفيف.

الشكل 1.IV وحدة التسخين

2.4.IV وحدة التجفيف:

يمكن أن نجد وحدة التسخين على عدة أشكال، فهي تختلف حسب نوع المجفف فقد تكون سطح بلاستيكي أو معدني داكن مغطى بغلاف بلاستيكي شفاف و قد تكون في شكل غرفة بداخلها عدد من الشباك المعدنية توضع بها المادة الغذائية المراد تجفيفها، يكون للغرفة باب جانبي يفتح بغرض التعبئة و التفريغ. يمكن أن نجد وحدة التجفيف في شكل برج بداخله أنبوب يحوي صفوف من الألواح المعدنية المائلة حيث يتم ملأها بالمادة الغذائية المراد تجفيفها بواسطة آلية خاصة تقوم برفعه من قاع البرج إلى أعلاه.

3.4.IV وحدة تحريك الهواء:

هي الوحدة المسؤولة عن تصريف الهواء المحمل بالرطوبة من المجفف إلى الوسط الخارجي اعتمادا على مبدأ الاختلاف في الكثافة، فالمعلوم أن الهواء الحار أقل كثافة من الهواء البارد و هذا ما يسمح له بالصعود و التسلل عبر قناة عمودية تشبه المدخنة تكون في نهاية المجفف. في حالة توفر مصدر كهربائي فالأنجع تزويد الوحدة بمروحة لتعمل على دفع الهواء.

الشكل 2.IV وحدة تحريك الهواء للمجفف الغير مباشر

5.IV أنواع المجففات الشمسية حسب طريقة تسخين الهواء :

1.5.IV التجفيف الشمسي التقليدي:

هي أبسط طرق التجفيف الشمسي حيث يتم تعريض المحصول لأشعة الشمس مباشرة و ذلك بوضعه على سطح أسود مستوي كما يمكن تغطيته بواسطة قماش لحمايته من الحشرات أو الأتربة أو الطيور أثناء التجفيف. هذه الطريقة على الرغم من بساطتها إلا أنها تتطلب حرارة عالية و هواء جاف

مزايا التجفيف التقليدي:

- ✓ استغلال الطاقة الحرارية للشمس كونها طاقة مجانية و متوفرة في كل مكان
- ✓ تقنية جد اقتصادية فهي لا تتطلب عتاد باهظ الثمن.
- ✓ تعتبر تقنية بسيطة للغاية و بالتالي لا تحتاج إلى دراسات معمقة و يمكن لأي شخص القيام بتنفيذها[19]

سلبيات التجفيف التقليدي:

- ✓ التجفيف التقليدي لا يزيل الرطوبة بشكل نهائي و هذا قد يؤدي إلى تخمر المادة الغذائية أو ربما تعفنها.
- ✓ إمكانية تعرضها للأتربة و الأمطار وارد جدا و بالتالي نحصل على محصول رديء.
- ✓ التعرض المباشر لأشعة الشمس قد يؤثر على البنية البنية الميكروبيولوجية اللون و الطعم مما يؤثر على جودة المحصول.
- ✓ التجفيف التقليدي قد يتطلب أياما و هذا حتما سيؤدي على إلى إتلاف المحصول[19]

2.5.IV المجففات الشمسية المباشرة:

هو عبارة عن صندوق خشبي يتمتع بعزل حراري من أسفل ومثبت أسفله لوح مدهون باللون الأسود كما تتم تغطية الصندوق بلوح زجاجي أو بلاستيك شفاف، تسمح ثقوب أسفل الصندوق وفي اللوح الأسود بتمرير الهواء إلى المجفف أما الثقوب المتواجدة في جدران الصندوق فالغرض منها هو السماح للهواء الساخن المحمل بالرطوبة بالخروج من المجفف، يمكن رفع كفاءة المجفف من خلال وضع كمية من الصخور بين اللوح الأسود و القعر والتي تلعب دور خزان حراري يطلق حرارته بعد الغروب ويعمل كمنظم لدرجة الحرارة داخل المجفف ويتكون من:

- ✓ الزجاج يعمل كحاجز للحرارة داخل الصندوق ويساعد الميل في تدفق الهواء.
- ✓ الثقوب أسفل الصندوق تسمح بدخول الهواء إلى الصندوق أما الثقوب في الجوانب فتسمح بخروج الهواء منه و كلما زادت المساحة الإجمالية للثقوب كلما زاد تدفق الهواء وازدادت الكفاءة الحرارية للمجفف ولكن بالمقابل تقل درجة الحرارة.
- ✓ المادة المستخدمة في بناء جدران الصندوق تزيد من كفاءة المجفف كلما امتازت بعزل حراري عالي.
- ✓ يتم تزويد هذا النوع من المجففات ببوابة تكون في احد الجوانب للمناولة ويمكن أن يكون السقف الزجاجي هو بوابة المناولة.

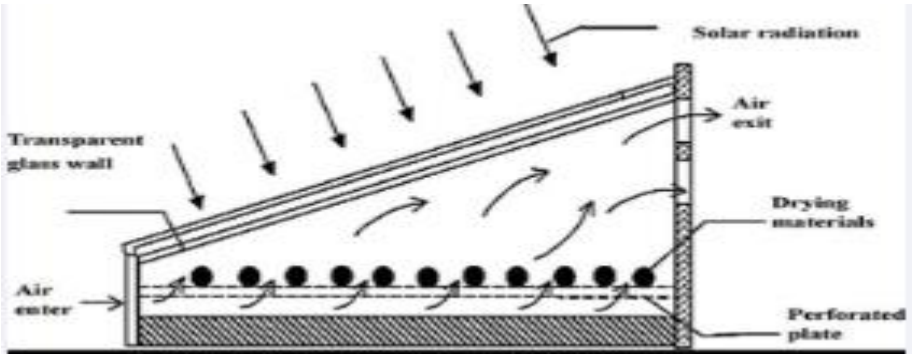
مزايا المجففات الشمسية المباشرة:

- ✓ مدة التجفيف تكون قصيرة مقارنة بالمجففات التقليدية.

- ✓ من ناحية البناء و التركيب فهو غير مكلف.
- ✓ يوفر حماية جيدة ضد الأتربة و الحشرات و كذا الأمطار.
- ✓ لا يتطلب إلى تقنيات عالية أو يد عاملة مؤهلة لتسييره.
- ✓ اقتصادي جدا فهو لا يتطلب سوى طاقة الشمس المجانية. [19]

عيوب المجففات الشمسية المباشرة:

- ✓ هذا النوع من المجففات يتم فيه تعريض المواد الغذائية مباشر لأشعة الشمس و هذا بدوره يؤدي إلى إفقاد المادة المراد تجفيفها لقيمتها الغذائية خاصة فيتامينات B و C
- ✓ سهولة كسر الزجاج و بالتالي ضرورة تبديله في كل مرة مما يضاعف من تكلفة البناء. [19]



الشكل 3.IV المجفف الشمسي المباشر

3.5.IV مجففات شمسية غير مباشرة:

هذا النوع من المجففات يختلف عن سابقه إذ لا تتعرض المواد المراد تجفيفها لأشعة الشمس بشكل مباشر بل يتم تسخين الهواء أولا بواسطة مجمع شمسي حراري ثم يدفع هذا الهواء الساخن إلى غرفة التجفيف و منها إلى الوسط الخارجي حاملا معه جزءا من رطوبة المادة الغذائية.[20]

مزايا المجففات الشمسية الغير مباشرة:

- ✓ المادة الغذائية لا تكون معرضة لأشعة الشمس بشكل مباشر و هذا يساهم في الحفاظ على القيمة الغذائية خاصة الفيتامينات A و C.
- ✓ وجود الطاقة الكهربائية أو غيابها لا تؤثر على عمله فهو يستمد الطاقة اللازمة من أشعة الشمس.

عيوب المجففات الشمسية الغير المباشرة:

- ✓ من ناحية تكلفة البناء و التركيب فهو مكلف جدا.
- ✓ أحوال الطقس المتقلبة(غيوم أمطار..الخ) تؤثر سلبا على سرعة التجفيف.

- ✓ ضعف مقاومة الزجاج وبالتالي ضرورة تبديله بشكل دوري.

4.5.IV مجففات شمسية متعددة الأنظمة:

تعرف على أنها تقنيات هجينة تقوم على التسخين بواسطة الشمس للهواء اللازم للتجفيف من جهة والاعتماد على طاقات أخرى(كهرباء.وقود أحفوري....الخ) من جهة أخرى و عليه يمكن أن نصنف المجففات المتعددة الأنظمة إلى خمسة أقسام وهي:

1. مجففات مباشرة تعتمد على التهوية الطبيعية إضافة إلى استخدام المجمع الشمسي و المجففات في غرفة واحدة.
2. مجففات مباشرة تعتمد على التهوية الطبيعية بمجمع منفصل و مجفف منفصل.
3. مجففات غير مباشرة تستعمل خزان حرارة لإعطاء الحرارة اللازمة في غياب أشعة الشمس أثناء الليل.
4. في حالة طقس غائم مجففات غير مباشرة تستعمل التهوية بدفع الهواء قشريا و من دون مجمع منفصل أو مجفف منفصل.
5. مجففات يتم تزويدها بطرف تسخين صناعي من أجل التجفيف ليلا.[20]

مزايا المجففات الشمسية متعددة الأنظمة:

- ✓ سرعة التجفيف لا تخضع للمتغيرات المناخية و هذا ما يكسبه إمكانية التحكم الجيد في درجات الحرارة.
- ✓ إمكانية التجفيف ليلا و خلال الفصول الممطرة و هذا يسمح بتجفيف كميات أكبر.
- ✓ مقارنة بالمجففات الصناعية فهو يستهلك طاقة أقل.[19]

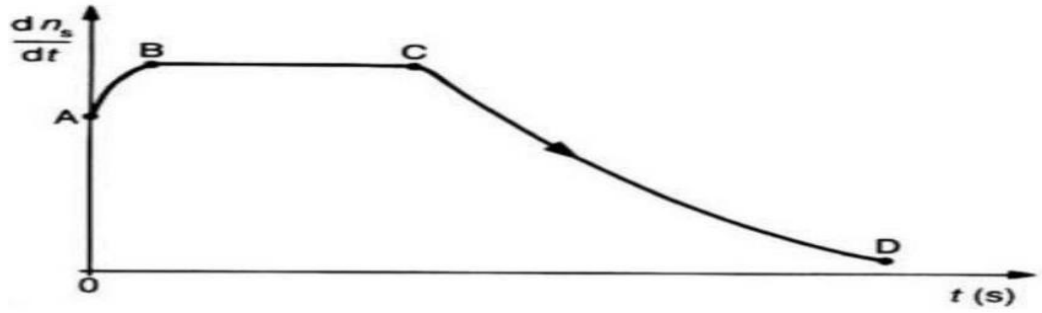
عيوب المجففات الشمسية متعددة الأنظمة:

- ✓ ضرورة اقترانها بالشبكة الكهربائية و بالتالي ارتفاع التكلفة.
- ✓ هذا النوع من المجففات يتطلب يد عاملة تكون مؤهلة للتسيير و الصيانة.[19]

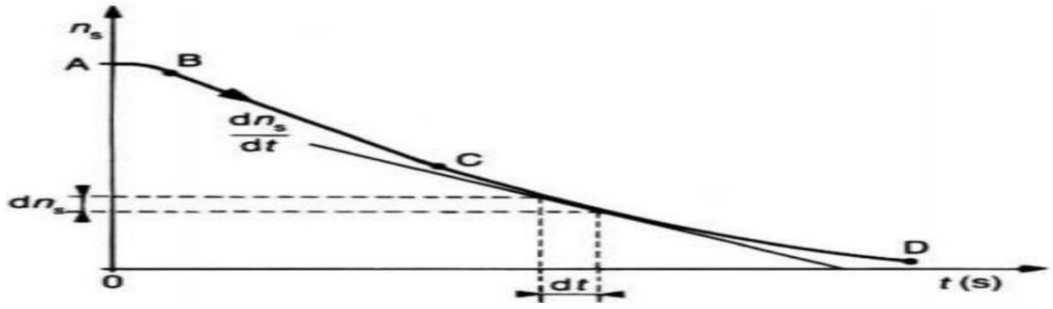
6.IV مراحل عملية التجفيف:

اقترح كريش طريقة لتمثيل سرعة التجفيف dns/dt و محتوى الرطوبة ns كما يوضحه الشكل

حيث A هي القيمة الأولية للرطوبة أما C فهي النقطة الحرجة في التجفيف. [21]



الشكل 4.IV منحنى يوضح سرعة الرطوبة بدلالة الزمن



الشكل 5.IV منحنى يوضح محتوى الرطوبة بدلالة الزمن

المرحلة الأولى: مرحلة التزايد(AB)

عندما تكون المادة معرضة للتهوية فان سطحها حتما سيحتوي على طبقة صغيرة من الماء و إزالته لا تكون إلا بتبخيره. كما أن المدة اللازمة للانتهاء من هذه المرحلة يتوقف على سمك وبالتالي كمية الماء المتواجدة على سطح المادة. خلال هذه المرحلة تتغير الرطوبة بشكل بطيء في حين أن درجة الحرارة تزداد حتى تقارب درجة الحرارة الجافة و تجدر الإشارة إلى أن هذه المرحلة تكون قصيرة جدا.[21]

المرحلة الثانية: مرحلة التجفيف الثابت(BC)

بالنسبة لهذه المرحلة فإن سرعة التجفيف تبقى ثابتة في أغلب المواد أما الرطوبة فتنتقل إلى السطح في شكل سائل تحت فعل القوة الشعيرية يحدث توازن بين الانتشار الغشائي و آلية انتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح بينما تبقى درجة الحرارة منتظمة في أنحاء المادة لأن التدفق الحراري أستعمل في تبخير الماء إلى السطح.[19]

المرحلة الثالثة: مرحلة انخفاض سرعة التجفيف(CD)

في هذه المرحلة تنخفض سرعة التجفيف بحيث تزداد صعوبة تبخير الماء من المنتج و هذا يعود إلى الأسباب التالية:

1. اختفاء الماء الحر من سطح المادة.
2. تحرك الماء و انتشاره داخل المادة المراد تجفيفها إلى أن تصل إلى السطح الخارجي. [21]

7.IV كيفية إزالة الماء من المواد الغذائية:

إن جميع المنتجات الزراعية هي ذات بنية مسامية و بالتالي فالماء يتخللها عبر هذه المسامات و يمكن التخلص منه كالآتي:

1.7.IV الماء الحر:

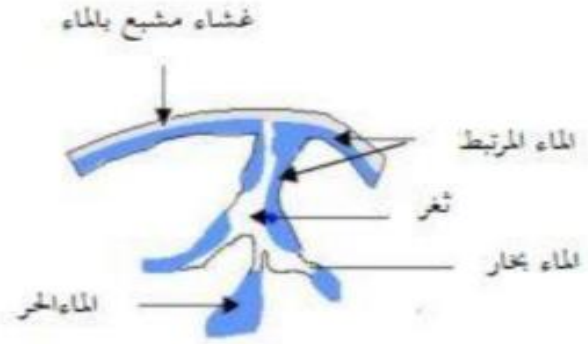
و هي كمية المياه التي تكون متواجدة بالقرب من السطح و هي أول ما يتبخر عند تعرض المادة لأي حرارة مباشرة و هذا النوع من المياه يتم التخلص منه بسهولة.[20]

2.7.IV الماء المرتبط (الأسموزي):

و يقصد بها المياه التي تتحرك و تنفذ من خلال الأغشية الخلوية من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض و هذا النوع من المياه بالإمكان إزالته باستعمال بعض الطاقة الحرارية.

3.7.IV الماء المتحد:

و هذا النوع من المياه لا يمكن إزاحته لأنها تعتبر عنصر أساسي في التركيبة الحيوية للثمرة كما أن نسبتها ضئيلة جدا.



الشكل 6.IV توزيع الماء

8.IV العوامل التي تؤثر على سرعة التجفيف:

1.8.IV سرعة الهواء:

تعتبر سرعة مرور الهواء داخل المجفف عاملا مهما في زيادة سرعة التجفيف فهو يساهم في خروج الماء المتواجد داخل المادة الغذائية و من ثم سرعة تبخيره.

2.8.IV الرطوبة النسبية للهواء:

إن استخدام هواء ذو رطوبة نسبية منخفضة يساعد على سرعة التجفيف شرط أن لا تكون الرطوبة النسبية للهواء منخفضة عن اللزوم.

3.8.IV درجة حرارة الهواء المستخدم و مقدار الانخفاض فيها:

درجات الحرارة التي ينصح بها خلال عملية التجفيف تتراوح ما بين 50 إلى 80 درجة مئوية و نشير إلى أن زيادة درجة حرارة الهواء الداخل للمجفف يساهم حتما في زيادة سرعة التجفيف.

4.8.IV نوع المادة المراد تجفيفها:

تختلف المواد عن بعضها البعض حيث تتمتع كل مادة بخصائص معينة هذه الخصائص تحتم ظروف تجفيف خاصة.

5.8.IV شكل و حجم و سمك القطع المجهزة:

حيث أن الزيادة في حجم المادة مثلا يزيد من مساحة التبادل الحراري بين سطح المادة المراد تجفيفها و هواء غرفة التجفيف الساخن و هذا يعمل على تسريع عملية التجفيف.[22]

6.8.IV الضغط:

تنص قوانين الديناميكا الحرارية على أن الماء يمكن أن يتبخر عند درجات حرارة منخفضة إذا كان الضغط المطبق عليه منخفض أيضا و بالتالي فإن انخفاض الضغط عامل مهم في سرعة التجفيف.

9.IV العلاقات العامة:

1.9.IV الرطوبة النسبية :

الرطوبة النسبية بنسبة الماء ذات الأساس الجاف و تعطى بالعلاقة:

$$X_s = \frac{m_v}{m_s} \quad (1.IV)$$

كتلة بخار الماء

2.9.IV الكتلة الكلية: و تعطى بالعلاقة:

$$X_h = m_v + m_s \quad (2.IV)$$

نستنتج من العلاقتين علاقة تربط بينهما:

$$X_s = \frac{X_h}{1-X_h} \quad (3.IV)$$

$$x_h = \frac{X_s}{1+X_s} \quad (4.IV)$$

كما تعطى علاقة الرطوبة بدلالة الضغط كالآتي:

$$H_r = \frac{P_v}{P_v^\circ} \quad (5.IV)$$

3.9.IV الرطوبة المطلقة:

تعرف الرطوبة المطلقة للهواء الرطب بكمية بخار الماء بالنسبة للهواء و الهواء الجاف و تعطى بالعلاقة:

$$X_h = \frac{m_v}{m_h} \quad (6.IV)$$

كتلة بخار الماء

كتلة الهواء الجاف

و تعطى الرطوبة المطلقة بدلالة الضغط بالعلاقة:

$$H_a = 0.622 \frac{P_v}{P-P_v} \quad (7.IV)$$

ضغط بخار الماء

يمثل مجموع الضغط الجزئي للهواء الجاف و ضغط بخار الماء و يعطى بالعلاقة:

$$p = p_v + p_s \quad (8.IV)$$

4.9.IV فعالية الماء:

إن فعالية الماء في المنتج هي نسبة الضغط السطحي لبخار الماء على ضغط بخار الما في حالة التشبع في درجة حرارة معينة للمنتج.

$$a_w = \frac{P_v}{P_v^0(T)} \quad (9.IV)$$

و إذا فرضنا أن مع الهواء في حالة توازن و ضغط بخار الماء و الهواء و درجة حرارة المادة و الهواء عند التوازن تكون:

(لا يوجد انتقال حراري)

(لا يوجد انتقال كتلي)

و عليه تصبح الرطوبة النسبية تحسب بالعلاقة:

$$H_r = \frac{Pv}{Pv°(Ta)} \quad (10.IV)$$

كما تعتبر قيمة الرطوبة النسبية بدون وحدة و محصورة من 0 إلى 100 و من هذا نستنتج أن فعالية الماء تساوي الرطوبة النسبية في حالة التوازن بين الهواء و المادة التي تحتويه.

5.9.IV المردود النسبي للتجفيف:

1. 5.9.IV المردود الكتلي:

و تعطى عبارة المردود الكتلي بالعلاقة:

$$\eta_m = \frac{X2-Xa}{X2e-Xa} \quad (11.IV)$$

ملاحظة: يتوقف المردود الكتلي بشكل رئيسي على طبيعة و حجم المنتج إضافة إلى الماء و درجة الحرارة و سرعة الهواء حول المنتج.

2.5.9.IV المردود الطاقوي:

هناك مقداران يميزان الطاقة المستهلكة:

1- متوسط استهلاك الطاقة CEM و هو مقدار الطاقة اللازمة لتبخر 1 كلغ من ماء المنتج يتم التعبير عنها بواسطة:

$$CEM = \frac{i_1 - i_a}{x_2 - x_a} \quad (12.IV)$$

نسبة استهلاك الطاقة المحددة من قبل:

$$RCE = \frac{CEM}{Lv} \quad (13.IV)$$

و هي الحرارة الكامنة لتبخير الماء..

3.5.9.IV قوة التجفيف:

و يعرف بأنه التدفق الكتلي للماء الذي سيتبخر اذا كانت نسبة المردود الكتلي 100%

و يعطى بالعلاقة:

$$PE = m_{as} (X_{2e} - X_a) \quad (14.IV)$$

حيث هو التدفق الشامل للهواء الجاف المنتشر في المجفف.

و تزامنا مع ذلك هناك تناقص في نشاط الماء للمنتوج Aw

و تعطى عبارة تدفق الماء المتبخر بالعلاقة:

$$\Delta m = \eta_m PE \quad (15.IV)$$

الفصل V

الجزء التطبيقي

1.V مقدمة:

ذكرنا سابقا أن الهدف الرئيسي من استخدام نظام التتبع الشمسي هو الرفع من أداء المجفف الشمسي و منحه فاعلية أكبر في عملية التجفيف لذلك سنتطرق خلال هذا الفصل إلى تصميم و انجاز المتعقب الشمسي ذو المحورين حيث نتناول الجانب الميكانيكي منه ثم الالكتروني بعدها نشرع في استعراض النتائج التجريبية المحصل عليها من قياس درجات الحرارة لوحدة التجفيف الشمسي ثم مناقشة هذه النتائج.

2.V تصميم و انجاز المتتبع الشمسي:

1.2.V الجانب الميكانيكي:

و هو الجزء المسؤول عن حمل المركزات الشمسية كما أنه يمثل هيكل الجهاز ويتكون من قاعدة لتثبيت الجهاز، يحتوي على محور عمودي قابل للحركة يتم صنعه من أسياخ الحديد و ذلك حتى يتمكن من تحمل وزن المركز الشمسي مضاف إليه وزن غرفة التجفيف.

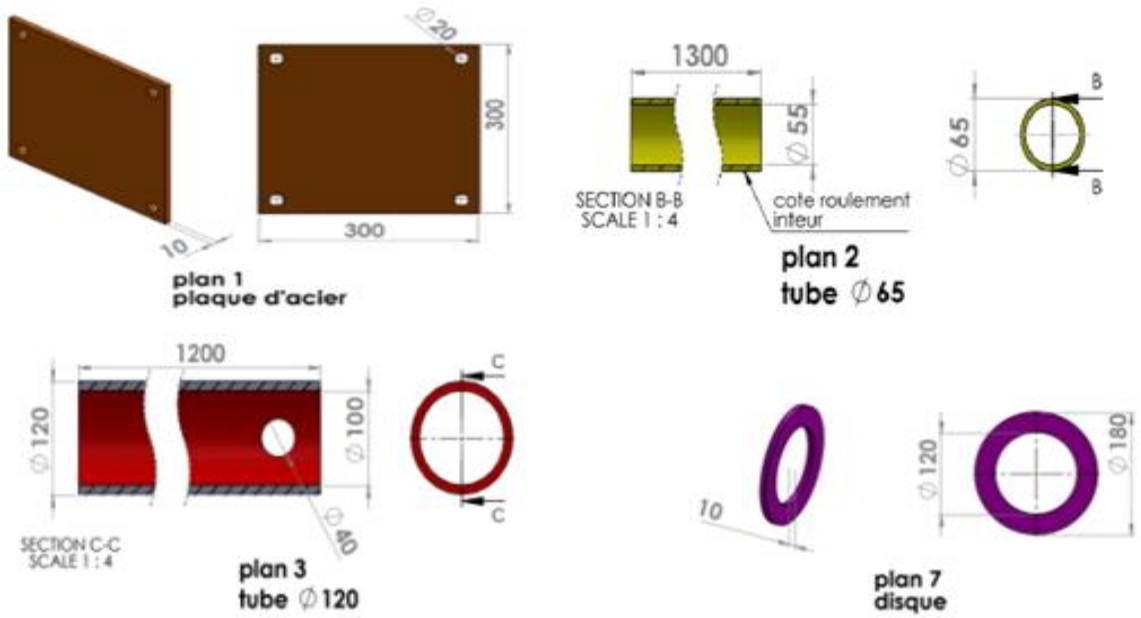
و فيما يخص قاعدة التثبيت فقد جعلناها قاعدة خرسانية تحت الأرض لعدة أسباب :

- ✓ تمنح الهيكل الدوار اتزانا أكبر من المنصات المعدنية.
- ✓ القاعدة الخرسانية ذات كلفة أقل مقارنة بالمنصة المعدنية.
- ✓ المنصات المعدنية تأخذ مساحة أكبر.

الشكل 1.V قاعدة خرسانية لتثبيت الهيكل المعدني

1.1.2.V التصميم الأولي لمختلف أجزاء الهيكل المعدني:

فيما يلي نستعرض التصميم الأولي لأجزاء الهيكل المعدني باستخدام برنامج **Solid works:**



الشكل 2.V التصميم الأولي لمختلف أجزاء الهيكل المعدني

2.1.2.V بعض القطع الميكانيكية المستعملة:

الشكل 3.V بعض القطع الميكانيكية المستعملة

الشكل 4.V الشكل النهائي للمشروع

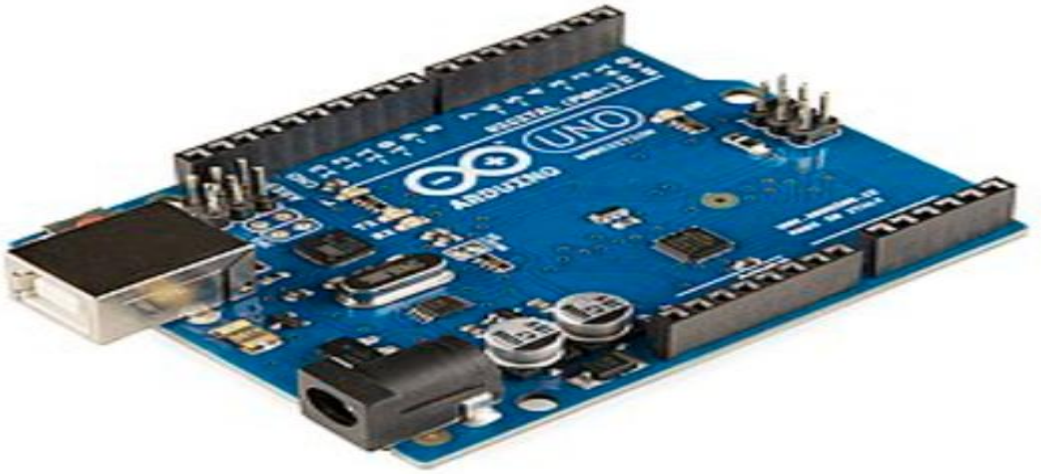
2.2.V الجانب الالكتروني:

يتناول هذا الجزء العناصر المتحكمة في حركة جهاز التعقب الشمسي من دوائر كهربائية و قطع إلكترونية سنتعرض لها بالتفصيل خلال هذه الأسطر.

1.2.2.V القطع الالكترونية المستعملة:

1.1.2.2.V الأردوينو:

الأردوينو عبارة عن لوحة مفتوحة المصدر تستخدم لبناء المشاريع الإلكترونية و هي مصممة للمبتدئين في عالم المتحكم الدقيق(microcontroller) بالإضافة لجزء يتعلق بالبرمجة عبارة عن بيئة تطوير متكاملة (Integrated Development Environment IDE) تعمل على الكمبيوتر و من خلالها يمكن كتابة وتحميل الأكواد البرمجية من الكمبيوتر إلى لوح الأردوينو.كما تحوي لوحة الأردوينو منفذ USB من خلاله يمكن تحميل الأكواد البرمجية من الكمبيوتر إلى لوح الأردوينو.

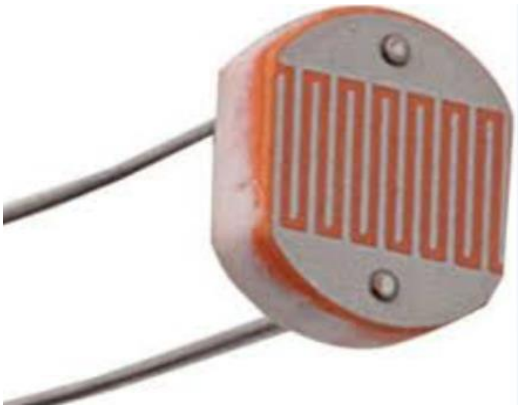


الشكل 5.V لوحة **ArduinoUNO**

2.1.2.2.V اللواقط الضوئية:

من بين اللواقط الضوئية نستعمل المقاومة الضوئية و التي يرمز لها اختصارا LDR و هي عبارة عن مقاومة تتغير طبقا لشدة الضوء المسلط عليها و يكون هذا التغيير بعلاقة عكسية حيث تقل قيمة المقاومة بزيادة شدة الضوء الساقط عليها كما تزيد قيمتها في حالة الظلام.

تصنع المقاومة الضوئية من مادة شبه موصلة حساسة للضوء تطلى بشكل متعرج و ذلك بغرض زيادة سطح المقاومة المعرض للضوء، يتم وضع هذه المادة على قاعدة عازلة و تغلف بغلاف شفاف يسمح بمرور الضوء و يتصل طرفا المادة شبه الموصلة بتلامسين معدنيين يشكلان أطراف التوصيل الخارجية للمقاومة الضوئية.



الشكل 6.V مقاومة فوتوضوئية LDR

3.1.2.2.V المرحلات الكهروميكانيكية:

هو مفتاح كهربائي يقوم بفتح و غلق دارة تدعى دارة القدرة تحت تحكم دارة أخرى تدعى دائرة التحكم.و هذا ما يسمح بفصل جزء الطاقة الميكانيكية عن جزء التحكم.

2.2.2.V المحركات الكهربائية المستعملة:

وقع اختيارنا في انجاز هذا المشروع على المحرك المؤازر الخطي (Servo motor) و ذلك لتمتعه بحركة بسيطة و آمنة كما يمتاز بتحكم دقيق و سلس في الحركة أضف إلى ذلك فهو يمتلك عزم دوران كبير مقارنة بحجمه.

3.2.2.V طريقة دمج العناصر الإلكترونية على لوحة التوصيل:

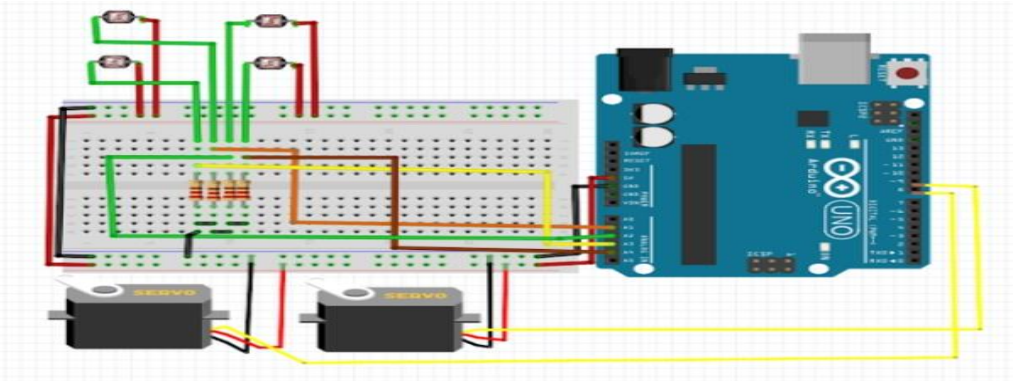
نحتاج إلى العناصر التالية:

- ✓ أردوينو أونو **ArduinoUNO** .
- ✓ 4 مقاومات فوتوضوئية (LDR).
- ✓ محركان(Servo motor) خطيان يعملان على التيار المستمر.
- ✓ 4 مقاومات 220 أوم.

نقوم بتوصيل جميع هذه العناصر على لوحة التوصيل

- ✓ توصيل حساسات الضوء LDR كالتالي:
- ✓ الحساس 1يتصل بالمنفذ فوق شمال (1A)
- ✓ الحساس 2 يتصل بالمنفذ فوق يمين (2A)
- ✓ الحساس 3يتصل بالمنفذ أسفل شمال (3A)
- ✓ الحساس 4 يتصل بالمنفذ أسفل يمين (4A)

بالنسبة للمقاومة يتم توصيل طرف آخر كل مقاومة للسالب GND.



الشكل V. 7 دمج العناصر الإلكترونية على لوحة التوصيل

4.2.2.V برنامج نظام التتبع الشمسي:

شرحنا سابقا فكرة عمل لوحة الأردوينو و قلنا بأنها تتكون من دوائر الكترونية قابلة للبرمجة تدعى المتحكم الدقيق(microcontroller) حيث يتم إعداد التعليمات البرمجية والتي نقوم بتطويرها باستخدام برامج محددة و من ثم تحميل هذه الأكواد البرمجية من الكمبيوتر إلى لوح الأردوينو وهي كالآتي:

```
# include // include Servo library
 Servo horizontal; // horizontal servo
 int servoh  = 90;// stand horizontal servo
 Servo vertical; // vertical servo
 int servov  = 90;// stand vertical servo
// LDR pin connections
// name  =  analogpin;
 int ldrrd  = 0;
 int ldrld  = 1;
 int ldrlt  = 2;
 int ldrrt  = 3;
 void setup ()
 Serial.begin( 9600);
 // servo connections
 // name.attacht(pin);
 horizontal.attach(9);
 vertical.attach(10) ؛
```

5.2.2.V آلية العمل:

عندما يتم تسليط أشعة الشمس على المقاومات الضوئية تتغير قيمتها حسب شدة الضوء المسلط عليها، فعندما تكون في اتجاه عودي مع الشمس ستكون لهما نفس القيمة و هذا يعني أن الألواح الشمسية عمودية مع

الشمس لكن عندما تتحرك الشمس سينتج أن الضوء المسلط على أحد المقاومات الضوئية أعلى من الآخر و عليه فإن قيمتيهما ستختلف و لأن المتحكم الدقيق يقوم بمقارنة قيمة المقاومات و يكتشف الفرق ليعطي أمر إلى المحرك بالدوران إلى الجهة التي يكون عليها ضوء أكبر و ذلك من خلال قيمة المقاومات الضوئية ذات القيمة الأصغر و التي يتم تدوير الألواح إليها.

3.V الدراسة التجريبية:

خلال هذه الدراسة التجريبية سنتعرف أولا على الخصائص المناخية للمنطقة التي تمت فيها التجربة ثم نعطي وصف لوحدة التجفيف المستخدمة و بعد ذلك نتعرف على المقادير الفيزيائية المراد قياسها مع ذكر الأجهزة المستخدمة في القياس.

1.3.V وصف منطقة التجربة:

تم إجراء هذه الدراسة التجريبية بمنطقة الوادي الواقعة عند خط طول 33.37 و دائرة عرض 6.84 تمتاز ولاية الوادي بطابع صحراوي جاف حار صيفا و بارد شتاءا، تعتبر منطقة الوادي منطقة غنية بالطاقة الشمسية نظرا لطابعها الصحراوي الجاف.

2.3.V وصف المجفف الشمسي المستعمل:

يندرج المجفف الشمسي المستعمل ضمن المجففات الشمسية الغير مباشرة حيث يعمل على الحمل القسري و ذلك من خلال تزويده بمروحة تساعد على خروج الهواء الرطب من غرفة التجفيف و يتكون من عنصرين رئيسيين:

1.2.3.V وحدة توليد الهواء الساخن :

وتتمثل في مركز شمسي يقوم باستقبال أشعة الشمس عبر عاكس مقعر و من ثم تركيزها في مساحة صغيرة عند المستقبل ليتم استخدام هذه الطاقة الحرارية المجمعة في تسخين الهواء و من ثم ضخه إلى داخل غرفة التجفيف عبر أنبوب يربط المستقبل بغرفة التجفيف.ونشير إلى أن نوع المركز الشمسي المستخدم هو "طبق قطع مكافئ".

$Aabs$: وهي مساحة سطح المستقبل

$Aref$: وهي مساحة سطح فتحة العاكس

2.2.3.V غرفة التجفيف :

غرفة التجفيف عبارة عن صندوق مكعب أبعاده كالآتي:

الطول: 40 cm

العرض :40 cm

الارتفاع : 70 cm

السمك: 4 cm

تزود غرفة التجفيف بمروحة تكون أسفل الغرفة و التي تسمح بتدفق قسري للهواء إلى داخل غرفة التجفيف

3.3.V المقادير الفيزيائية المقاسة خلال التجارب:

أثناء التجارب قمنا بأخذ قياسات المقادير التالية:

- ✓ شدة الإشعاع الشمسي الساقط.
- ✓ درجات الحرارة لكل من الهواء الداخل و الخارج بالإضافة إلى درجة حرارة الهواء الموجود بوسط الغرفة و كذا درجة حرارة الهواء المحيط بالغرفة.
- ✓ وزن المنتج.

4.3.V الأجهزة المستعملة في القياس:

1.4.3.V جهاز قياس الإشعاع الشمسي :

يتركب من مستشعر حراري مثبت داخل قبة زجاجية ينفذ خلالها الإشعاع نحو المستشعر و الذي يتركب هو الآخر من قاعدة مكونة من قطعتين معدنيتين إحداهما سوداء اللون و الأخرى بيضاء اللون، تمتص القطعة السوداء كل الأشعة الواصلة إليها أما القطعة البيضاء فتعكس كل الأشعة الواصلة إليها و عليه يتباين تأثر كل قطعة معدنية بكمية الإشعاع الشمسي نفسها الواصلة إليهما و هو ما يعني التباين في كمية الطاقة التي تكتسبها كل منهما. وتعتمد ميكانيكية الجهاز على تحويل الفرق بين كمية الطاقة التي تكتسبها كلتا القطعتين المعدنيتين إلى إشارات كهربائية تحرك مؤشر في قرص مدرج يمكن قراءته و تدوينه في جداول خاصة للتعبير عن شدة الإشعاع الشمسي وقت الرصد.

يزود جهاز قياس الإشعاع الشمسي بشاشة رقمية تعطي قيمة الإشعاع الشمسي ب (W/m_2)

الشكل V. 8 جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي

2.4.3.V جهاز قياس درجة الحرارة:

هو جهاز رقمي لقياس درجة الحرارة موصول بمزدوج حراري (Thermocouples) و هو عبارة عن زوج من المعادن (NiCr-Ni) نوع k حيث تعطي قيمة درجة لحرارة في المكان الموضوعة فيه المزدوجة.

الشكل V. 9 جهاز قياس درجة الحرارة

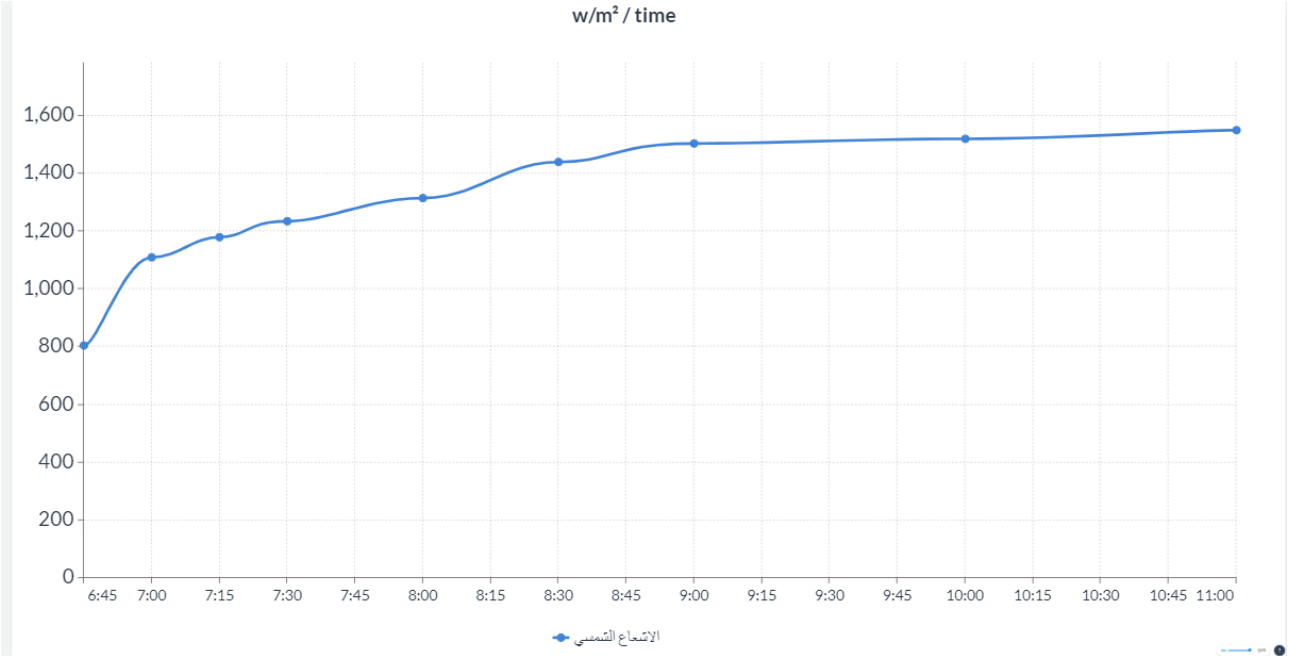
3.4.3.V جهاز وزن العينة:

جهاز إلكتروني دقيق جدا مزود بشاشة رقمية لإعطاء قراءة مباشرة لوزن العينة بوحدة الغرام(g).

الشكل V. 10 ميزان الكتروني دقيق

5.3.V السلاسل التجريبية:

تمت هذه السلاسل التجربية على رقائق من البطاطا ذات وزن أولي بقيمة 18.04 غرام



الشكل V. 11 منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن

المناقشة:

6.45-7.00: نسجل تزايد سريع في شدة الإشعاع الشمسي يصل حوالي 1500 W/m2

700-7.15: قيمة الإشعاع الشمسي ترتفع بوتيرة أقل عما كانت عليه لتصل إلي قيمة 1200 W/m2

7.15-7.30: قيمة الإشعاع الشمسي شبه ثابتة

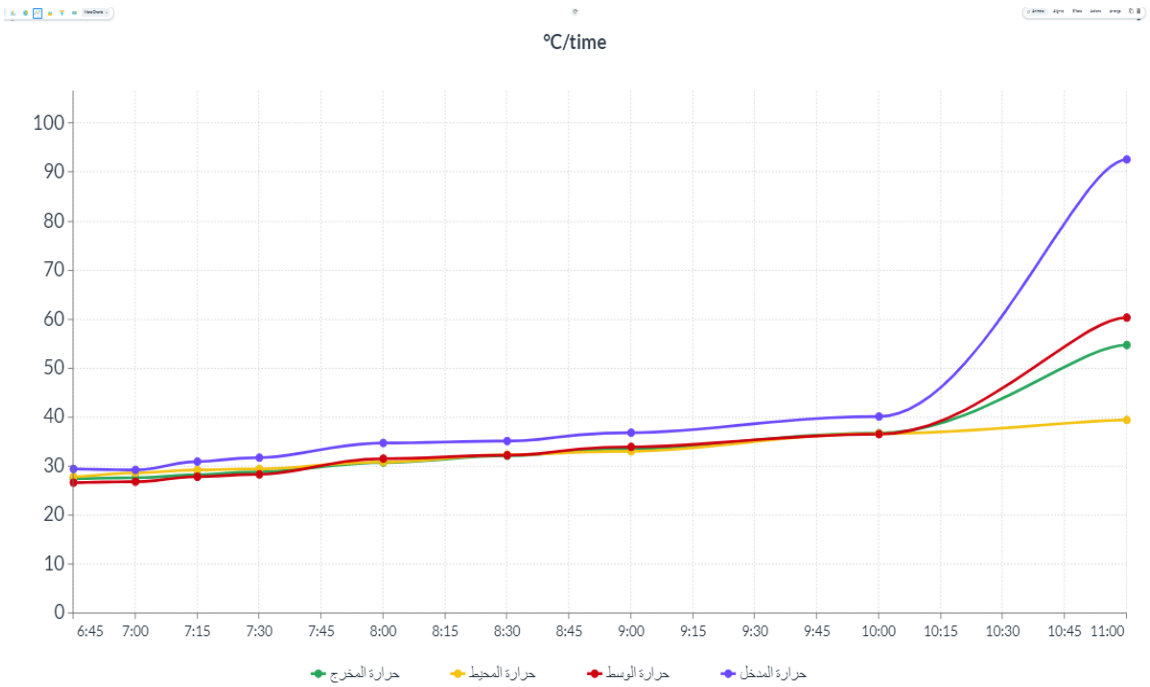
8.00-7.30: تعاود قيمة الإشعاع الشمسي في التزايد لتصل إلي القيمة W/m_2 1300 عند الساعة الثامنة

8.30-8.00: استمرار قيمة الإشعاع الشمسي في الصعود لتصل إلى القيمة W/m_2 1450 تقريبا

9.00-8.30: نسجل تزايد طفيف جدا في قيمة الإشعاع الشمسي

10.00-9.00: قيمة الإشعاع الشمسي ثابتة تماما عند القيمة W/m_2 1500 تقريبا

11.00-10.00: استمرار ثبات قيمة الإشعاع الشمسي على حالها عند القيمة W/m_2 1500



الشكل V. 12 منحنى تغيرات درجات الحرارة لمواضع مختلفة من غرفة التجفيف بدلالة الزمن

7.00-6.45: نسجل ثبات في درجات الحرارة لجميع المواضع

7.45-7.00: تزايد طفيف جدا في درجات الحرارة لجميع المواضع و هذا يفسر بالتزايد التدريجي لشدة الإشعاع الشمسي خلال هذه الفترة أيضا

7.30-7.15: استمرار درجات الحرارة لجميع المواضع في التزايد مع التزايد المستمر في قيم الإشعاع الشمسي

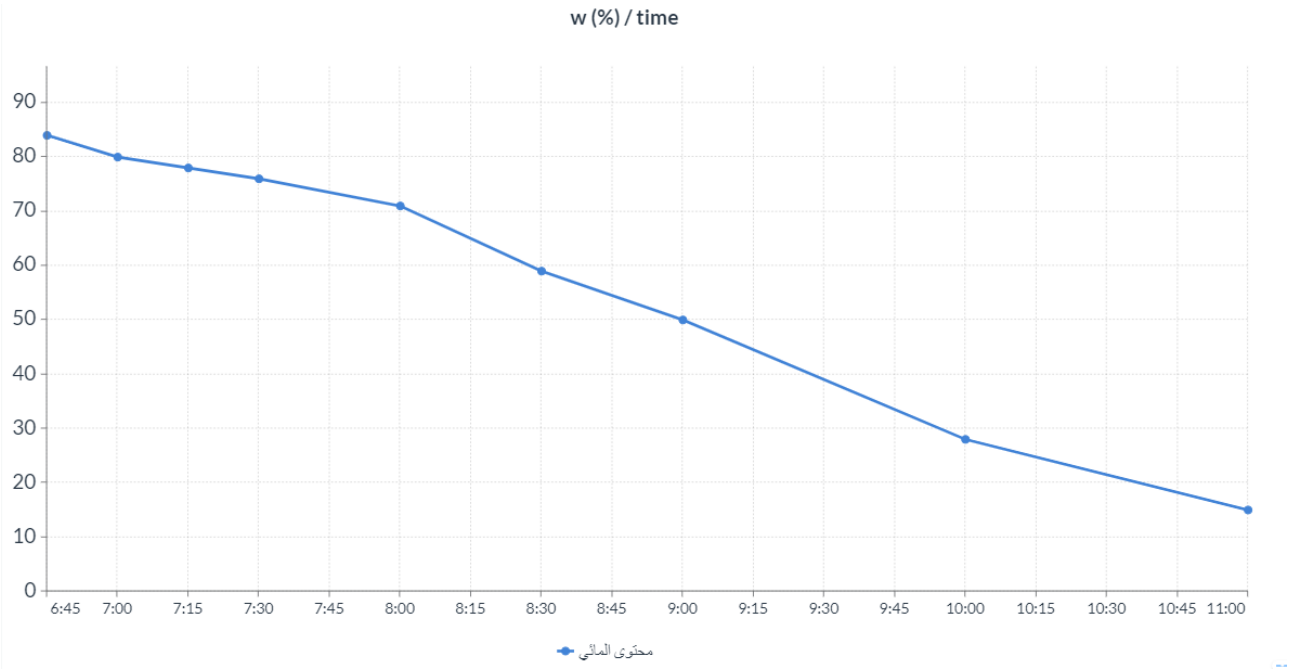
8.00-7.30: خلال هذه الفترة نلاحظ تزايد سريع في قيم درجات الحرارة مقارنة بالمراحل السابقة و هذا راجع للتسارع الحاصل في قيم الإشعاع الشمسي.

8.30-8.00: تعاود قيم درجات الحرارة الخاصة بجميع المواضع للثبوت مرة أخرى عند القيمة 30 تقريبا مع ارتفاع درجة حرارة المدخل على الوسط و هذا أمر منطقي .

9.00-8.30: نلاحظ استمرار درجات الحرارة لجميع المواضع على ما هي عليه و هذا يتزامن مع الثبات في شدة الإشعاع الشمسي خلال هذه الفترة بالضبط .

10.00-9.00: نسجل خلال هذه المرحلة تزايد طفيف جدا في قيم درجات الحرارة لكافة المواضع .

11.00-10.00: تزايد مفاجئ في قيم درجات حرارة المدخل و الوسط و المخرج مع تزايد طفيف جدا في درجة حرارة الوسط المحيط.



.

الشكل V. 13.منحنى يوضح تغيرات المحتوى المائي بدلالة الزمن

المناقشة:

07.00-6.45: خلال هذه الفترة نسجل تناقص بطيئ في المحتوى المائي بمقدار 4%.

07.15-7.00 : قيمة المحتوى المائي تستمر في النزول و ذلك راجع إلى التزايد في قيمة الإشعاع الشمسي مع مرور الزمن.

07.00-7.15 : نلاحظ هبوط سريع في نسبة المحتوى المائي من 76% إلى 71% و هذا راجع إلى التزايد السريع في قيمة الإشعاع الشمسي مما أكسب المجفف إستطاعة حرارية أكبر

08.00-7.30 : استمرار الهبوط السريع في نسبة المحتوى المائي مما يعني تزايد سرعة التجفيف خلال هذه الفترة

08.30-8.00: خلال هذه الفترة تتناقص نسبة المحتوى المائي بقيمة 10% خلال نصف ساعة فقط و تعتبر هذه النسبة عالية جدا و هذا راجع إلى التزايد الكبير في شدة الإشعاع الشمسي

09.00-8.30: تتناقص نسبة المحتوى المائي خلال هذه الفترة بقيمة بقيمة 10% ثبات في سرعة التجفيف

10.00-9.00: نسجل تناقص في قيمة المحتوى المائي بقيمة 22% خلال ساعة و هذا يدل على ازدياد سرعة التجفيف

10.00.11.00: استمرار التناقص السريع في نسبة المحتوى المائي حتى تستقر عند القيمة 16%

الخلاصة : نسبة المحتوى المائي الذي تمكنا من إزالته كانت حوالي 84% و هذا يعني أن نسبة المادة الصلبة من الوزن الأولي هي في حدود 16%

تجدر الإشارة إلى أن المؤشر الظاهري الذي يدل على فقد الثمرة لمحتواها المائي و الذي يشكل 84% من وزنها الأولي هي أن تكون قابل للكسر.

الخاتمة العامة:

من خلال دراستنا التي تناولنا فيها موضوع المتتبع الشمسي ثنائي المحور من مرحلة التصميم إلى التصنيع كان القصد من ذلك استعمال هذا النظام في تحسين أداء المجفف الشمسي و ذلك عبر تحسينه لزاوية سقوط الإشعاع الشمسي على المركزات مما يعني استثمار أكبر قدر ممكن من طاقة الإشعاع.

ومن خلال النتائج المحصل عليها يمكن القول بأن نظام التعقب الشمسي حقق النتائج المرجوة نظرا للإنتاجية المرتفعة التي حققتها المجففات الشمسية.

و ننوه إلى أنه بالإمكان توظيف نظام التعقب الشمسي في عدة مجالات أخرى مثل التقطير أو في توجيه الألواح الفوتوضوئية.

خلال إنجازنا لهذا المشروع كانت هناك تكاليف باهظة فضلا عن عدة صعوبات أخرى لكن مع ذلك فقد كان المشروع فرصة لاستكشاف عدة مجالات خاصة مجال الخراطة و الطاقات المتجددة.

في الأخير نوصي الباحثين بتعميم استعمال المتتبع الشمسي ثنائي المحور في شتى المجالات و كذا السعي المستمر في تطويره ليكون قادر على التأقلم مع جميع التغيرات المناخية.

قائمة المراجع

[1] K. Abderrahim, “Etude et Réalisation d’un Tracker solaire Commande autopilot via Arduino une carte, Mémoire Master Academy, "2018.

[2] R. Karfoul, “The calculation of the hourly direct solar radiation incident on tilted, horizontal and vertical surfaces in Lattakia city,” pp. 21–35.

[3] م. ا. سوداني، ”تحقيق عملي لمركز شمسي اسطواني مكافئ ذو غطاء زجاجي ، رسالة دكتوراه،“ 2010

[4] س-صف-علوم-8-الوحدة-اسئلة-اجابات.pdffile:///C:/Users/acer/Desktop/

[5] مريم أزهر علي غالب ،تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات اخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس، مذكرة نيل ماجستير علوم في الفيزياء جامعة بغداد2010.

[6] م. محمود العجمي ،المركزات الشمسية، العلوم التقنية ،ربيع الثاني 1416ه ،العدد الرابع والثلاثون

[7] دكتور مهندس محمد مصطفى محمد الخياط ،محطات مركزات الطاقة الشمسية ،مجلة الكهرباء العربية، العدد99 ، يناير2018.

[8] تجاني بوثينة، نصير هيفة ،دراسة المركز الشمسي ذي القطع المكافئ ،مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة حمة لخضر الوادي 2017.

[9] سوداني محمد البار ،تحقيق عملي لمركز الشمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي ،مذكرة دكتوراه ،جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.

[10] YETTOU Fatiha , Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au Saharien (Ghardaia , Algérie), Thèse de Doctorat en sciences, université HADJ LAKHDAR Batna, 10 Mars 2015

.

[11] S. Khalfallaoui, “Comportement dynamique et automatisation d’un système solaire thermique muni d’un traqueur solaire,” 2009.

[12] S. Mohamed and B. Abdellah, “Tracker solaire,” 2017.

[13] R. Ahmed, “IMPROVEMENT OF EFFICIENCY FOR SOLAR Department of Electrical and Electronic Engineering,” 2010.

[14] D. Utilisations, B. Tension, and B. Tension, “Relais électromécanique,” 2018.

[15] S. S. T. Yaseen. H. Mahmood ,FarisS.Atallah, “Fabrication and study of solar panel tracking system.pdf,” Tikrit J. Pure Sci., 2018.

[16] T. U. S. Patent and R. H. Dold, “2. literature review,” no. 0215199, 2007.

[17] André Charreau , Roland Cavaillé<>. Techniques de L'ingénieur , traité Génie des procédés –France , J 2 480 (2001).

[18] التجفيف الشمسي للفواكه و الخضروات خبرات فلسطين ألستاذ محمد سليم علي – مركز أبحاث التنوع الحيوي و البيئة، نابلس، فلسطين-صفحة رقم 2- 2010.

[19] philippe dudez ,andréthémeilin et max reynes(le séchage solaire a petite échelle des fruitse et légumé)guide pratique .paris France 1991.

[20] مذكرة العاتي مختار – قسم هندسة الطرائق – عنوان المذكرة تحسين المجفف الشمسي للمحاصيل 2011-06-08.

[21] boumediene TOUATI) etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de la menthe verte (thése de doctorat. Université abdoubekerbelkaid ; tlemcen 2008.

[22] http: //salembenmoussa.blogsport.com/2016/03/blog-post72.html.