الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الميكانيك العام

تحسين الأداء الحراري والاقتصادي لمركز شمسي خطي قطعي

Improvement the Thermal and Economical Performance of a Parabolic Trough Solar Concentrator

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة

إعداد

م. براءة حمادي

المشرف

أ.د.م عيسى مراد

العام الدراسي

2018 -2017

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of Mechanical Engineering

Improvement the Thermal and Economical Performance of a Parabolic Trough Solar Concentrator

A dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Solar Energy and Renewable Energies Engineering

By

Eng. Baraah Hamadi

Supervisor

Dr. Issa Mrad

Academic Year

2017- 2018

لجنة الحكم

مؤلفة من السادة الأساتذة:

د. وجيه ناعمة الأستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق الاختصاص: هندسة آلات التبريد عضواً

د. عيسى مراد الأستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق الاختصاص: محطات الطاقة الحرارية عضواً مشرفاً

د. نصر ياسين الأستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق الاختصاص: الترموديناميك عضواً

د. سهيل مرشه الأستاذ المساعد في قسم هندسة الميكانيك العام كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق الاختصاص: الترموديناميك عضواً

د. أمينة فارس الأستاذ المساعد في قسم هندسة الميكانيك العام كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق الاختصاص: هندسة الطاقة الشمسية عضواً

الإهداء

إلى الإنسانة الأسمى في حياتي، إلى الحبيبة التي غمرت أيامي الماضية بحنانها ودعمها لي بكل خطوة في بحثي ودراستي..... **أمي الغالية**

إلى الروح التي عانقت روحي، إلى ملاذي بعد الله، الذي لم يبخل بشيء من أجل دفعي في طريق النجاح..... **همام**

شكر

أتوجه بخالص الشكر والامتنان إلى من ساندني وأرشدني وقدم لي كل مساعدة في بحثي وأحاطني بالرعاية والاهتمام وذلل لي المصاعب والعقبات وكان مرشداً حكيماً لي وموجهاً نافذ البصيرة.....

الأستاذ الدكتور عيسى مراد

Abstract

The drastically increase in energy demand, the increase in the energy carriers prices over the last few years, and the problems resulted from environmental pollution have led to a serious trend towards energy utilization efficiency improvement, energy utilization awareness and the protection of the environment through encouraging scientific researches related to renewable energies, especially that Syria has a high solar irradiance and prolonged sunshine hours. This thesis focuses on two parts:

The first part is creation a prototype of a parabolic trough concentrator with specific specifications, and its implementation, then its tested to assess its thermal performance.

The second part is the thermal and economic comparison of the prototype according to locally available materials in Syria.

By carrying out all the calculations to determine site of the sun by calculating the solar angles equations in all sun shining hours, in addition to detailed calculation of direct solar irradiance throughout the year, also founding the mathematical prototype of the concentrator and solve it and then calculating the thermal efficiency at different values for each of the focal length f and rim angle, we found that the increasing of rim angle lead to increasing the thermal efficiency of it, and the optimum design parameters (length, width, radius of rim angle) for manufacturing concentrator according to climatic conditions in Damascus for mass flow rate 0.147 [kg/s] of heat transfer fluid (water) and design temperature 85 [ºC] are (1.15 [m] ,1 [m], 0.5 [m]), at $f = 0.25\ [m]$, diameter of the receiver $D_o = 0.02\ [m]$, $\varphi_r = 90°$.

After testing the prototype of the solar concentrator according to different materials of the receiver (copper, aluminum, stainless steel) within a few days for each material in each month of the year, taking the average value of the temperature in this days, and representation each month in a specific day during the test hours show the following: The highest temperatures and the best efficiency were obtained when copper was used as a receiver, then stainless steel, then aluminum, this is also what has been pointed out by previous studies and researches, so it was concluded that copper is more economical to use as receiver with sufficient temperature of water at outlet of the concentrator. After calculating the thermal efficiency of the concentrator by replacing the receiver and determining the temperature obtained after changing the material of the receiver we found that the experimental thermal efficiency of concentrator is less than the theoretical efficiency in (2-12) %.

Keywords: Direct solar radiation, solar angles, parabolic trough solar concentrator, thermal efficiency of the concentrator.

فهرس المحتويات

الإهداء.....
فهرس المحتويات..... 1
فهرس الأشكال..... 5
فهرس الجداول..... 9
جدول المصطلحات والرموز المستخدمة..... 11
ملخص البحث..... 14

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

1-1 مقدمة..... 16
2-1 المشكلة العلمية في البحث..... 18
3-1 هدف البحث..... 18
4-1 أهمية البحث..... 19
5-1 الدراسة المرجعية..... 19

الفصل الثاني

الإشعاع الشمسي والزوايا الشمسية

2-1 خواص الإشعاع الشمسي..... 29
2-2 دوران الأرض حول الشمس..... 29
2-3 الزوايا الشمسية..... 30
2-3-1 زاوية ارتفاع الشمس..... 30
2-3-2 زاوية خط العرض..... 31
2-3-3 زاوية الانحراف..... 31
2-3-4 الزاوية الساعية..... 31
2-3-5 زاوية السمت الشمسي..... 32
2-3-6 زاوية سمت الشمس..... 32
2-3-7 زاوية الورود..... 33

2-3-8 زاوية سمت السطح.....	33
2-3-9 زاوية الميل.....	33

الفصل الثالث

الدراسة النظرية لمركز شمسي خطي قطعي

3-1 مقدمة.....	35
3-2 أجزاء المركز الشمسي الخطي ذو القطع المكافئ.....	35
3-2-1 العاكس.....	35
3-2-2 الأنبوب الماص.....	35
3-2-3 الغلاف الزجاجي.....	35
3-2-4 آلية الملاحقة.....	36
3-3 مائع نقل الحرارة.....	37
3-4 آليات انتقال الحرارة.....	37
3-5 التحليل البصري والهندسي للمركزات ذات القطع المكافئ.....	38
3-5-1 زاوية الحافة.....	38
3-5-2 زاوية القبول.....	39
3-5-3 نسبة التركيز للمركز الشمسي الخطي ذي القطع المكافئ.....	41

الفصل الرابع

حساب الإشعاع الشمسي المباشر والحسابات التصميمية للمركز الشمسي

4-1 مقدمة.....	44
4-2 حساب الإشعاع الشمسي المباشر.....	44
4-2-1 شهر آذار.....	46
4-2-2 شهر حزيران.....	47
4-2-3 شهر أيلول.....	48
4-2-4 شهر كانون الأول.....	49
4-3 الحسابات التصميمية للمركز الشمسي الخطي القطعي.....	49
4-3-1 النموذج الرياضي للمركز الشمسي الخطي القطعي.....	50
4-3-1-1 حساب طول المركز.....	50

4-3-1-2 حساب عرض المركز.....	50
4-3-1-3 حساب نصف قطر الحافة	50
4-3-2 حل النموذج الرياضي للمركز الشمسي الخطي القطعي.....	50
4-4 تأثير تغير الكفاءة الحرارية للمركز الخطي القطعي بتغير زاوية الحافة.....	55
4-5 نتائج.....	64

الفصل الخامس

تصنيع المركز الشمسي

5-1 مقدمة.....	66
5-2 بنية المركز الشمسي الخطي القطعي.....	66
5-3 مراحل التصنيع.....	67
5-3-1 اختيار القواعد الجانبية والهيكل الداعم للعاكس.....	67
5-3-2 اختيار الأنبوب الماص.....	70
5-3-3 اختيار المحرك الكهربائي.....	72
5-3-4 اختيار اللوح العاكس.....	73
5-4 التحكم الكهربائي وتحصيل البيانات.....	75
5-4-1 آلية العمل.....	76
5-4-2 حساس الحرارة المستخدم.....	79

الفصل السادس

اختبار المركز الشمسي

6-1 مقدمة.....	81
6-2 تحديد درجة حرارة مدخل ومخرج المركز أثناء الاختبار.....	81
6-2-1 خلال فصل الشتاء.....	81
6-2-2 خلال فصل الربيع.....	91
6-2-3 خلال فصل الصيف.....	100
6-2-4 خلال فصل الخريف.....	109
6-3 نتائج.....	118

الفصل السابع

المقارنة الحرارية والاقتصادية للمواد المستخدمة في المركز

7-1 مقدمة.....	120
7-2 حساب الكفاءة الحرارية للمركز تجريبياً.....	120
7-2-1 فصل الشتاء.....	121
7-2-2 فصل الربيع.....	123
7-2-3 فصل الصيف.....	124
7-2-4 فصل الخريف.....	126
7-3 مقارنة الكفاءة الحرارية النظرية والتجريبية للمركز.....	128
7-3-1 فصل الشتاء.....	129
7-3-2 فصل الربيع.....	129
7-3-3 فصل الصيف.....	130
7-3-4 فصل الخريف.....	130
7-4 تكاليف نظام المركز الشمسي.....	131
7-4-1 كلفة القطع الميكانيكية.....	131
7-4-2 كلفة القطع الكهربائية.....	132
7-4-3 كلفة التوصيلات الصحية.....	133
7-5 نتائج.....	134
نتائج الدراسة.....	135
الاستنتاجات والتوصيات.....	137
المراجع.....	138
الملاحق.....	142

فهرس الأشكال

الفصل الأول

الشكل (1-1) طاقة العالم الحالية والمتوقعة خلال السنوات القادمة.....	16
الشكل (1-2) أنواع المركزات الشمسية.....	17
الشكل (1-3) مكونات المركز الشمسي.....	20
الشكل (1-4) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي.....	20
الشكل (1-5) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي في إسبانيا.....	21
الشكل (1-6) محطة الكريمات مدعومة بحقل شمسي في مصر.....	21
الشكل (1-7) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي مع نظام تخزين في الأردن.....	22
الشكل (1-8) نموذج المركز الشمسي في Shivaji في الهند.....	22
الشكل (1-9) نموذج المركز الشمسي في Kurukshetra في الهند.....	23
الشكل (1-10) نموذج المركز الشمسي في تكريت في العراق.....	24
الشكل (1-11) نموذج المركز الشمسي في إيطاليا.....	25
الشكل (1-12) نموذج المركز الشمسي في المكسيك.....	26
الشكل (1-13) نموذج المركز الشمسي في نيجيريا.....	27

الفصل الثاني

الشكل (2-1) الحركة السنوية للأرض حول الشمس.....	29
الشكل (2-2) التغيرات السنوية لموقع الشمس في السماء (نصف الكرة الشمالي)	30
الشكل (2-3) زاوية الانحراف في الصيف والشتاء.....	31
الشكل (2-4) الزاوية الساعية, زاوية الانحراف, زاوية خط العرض.....	32
الشكل (2-5) زاوية السمت, زاوية ارتفاع الشمس.....	32
الشكل (2-6) زاوية الورود.....	33

الفصل الثالث

الشكل (3-1) بنية المركز الشمسي الخطي ذي القطع المكافئ.....	36
الشكل (3-2) نظام الملاحقة في المركز.....	37
الشكل (3-3) مقطع عرضي في HCE يوضح آليات انتقال الحرارة.....	38

الشكل (3-4) مقطع عرضي للمركز الخطي القطعي مع مستقبل دائري.....	38
الشكل (3-5) العلاقة بين الأرض والشمس.....	40
الشكل (3-6) رسم توضيحي للشمس والمركز الشمسي.....	40

الفصل الرابع

الشكل (4-1) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام آذار عند الساعة الواحدة.....	47
الشكل (4-2) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام حزيران عند الساعة الواحدة.....	48
الشكل (4-3) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام أيلول عند الساعة الواحدة.....	48
الشكل (4-4) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام كانون الأول عند الساعة الواحدة.....	49
الشكل (4-5) تأثير تغير البعد المحرقي على طول المركز بتغير زاوية الحافة.....	54
الشكل (4-6) تأثير تغير البعد المحرقي على عرض المركز بتغير زاوية الحافة.....	54
الشكل (4-7) تأثير تغير البعد المحرقي على نصف قطر الحافة بتغير زاوية الحافة.....	55
الشكل (4-8) تأثير تغير البعد المحرقي على الكفاءة الحرارية للمركز بتغير زاوية الحافة.....	63

الفصل الخامس

الشكل (5-1) الهيكل العام للمركز الشمسي.....	66
الشكل (5-2) المركز الشمسي عند لحظة الشروق.....	67
الشكل (5-3) مخطط القاعدة الجانبية التي تُثبّت الجهاز.....	68
الشكل (5-4) مخطط الهيكل الداعم للوح العاكس.....	68
الشكل (5-5) التثبيت الميكانيكي للمحور مع الهيكل الداعم للوح العاكس عن طريق دعامة.....	69
الشكل (5-6) موازنة الهيكل الداعم على محور الدوران.....	69
الشكل (5-7) المحامل التدحرجية ضمن الحاضن.....	70
الشكل (5-8) وضع الهيكل الداعم على محور الدوران.....	70
الشكل (5-9) الأنبوب الماص.....	71
الشكل (5-10) ميكانزم ضبط موقع الأنبوب الماص.....	71
الشكل (5-11) ميكانزم ضبط موقع المحرق وتثبيت الأنبوب.....	71
الشكل (5-12) البنية الداعمة للعاكس والجنزير والمحرك.....	73
الشكل (5-13) المركز الشمسي مع وجود كتلة الموازنة.....	73
الشكل (5-14) لوح الألمنيوم المستخدم في المشروع.....	74

الشكل (5-15) نظام المركز الشمسي بشكل كامل.....	74
الشكل (5-16) توصيل الخزان والمضخة ومقياس التدفق مع المركز الشمسي.....	75
الشكل (5-17) المضخة المختارة لتدوير وسيط التشغيل في المشروع.....	75
الشكل (5-18) صورة لمكونات لوحة التحكم الكهربائية.....	76
الشكل (5-19) صورة المتحكم المنطقي المبرمج والواجهة الأساسية له.....	76
الشكل (5-20) الشاشة الأساسية للمشروع عند الضغط على F1.....	77
الشكل (5-21) الشاشة الواصفة لحالة حساسات نهاية الشوط.....	77
الشكل (5-22) شاشة ضبط أزمنة قطار النبضات لتحرك المحرك.....	78
الشكل (5-23) جهاز تحصيل البيانات.....	79
الشكل (5-24) حساس الحرارة المستخدم في القياسات.....	79

الفصل السادس

الشكل (6-1) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الشتاء مع مستقبل نحاس.....	84
الشكل (6-2) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الشتاء مع مستقبل ستانلس ستيل..	87
الشكل (6-3) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الشتاء مع مستقبل ألمنيوم.....	90
الشكل (6-4) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الربيع مع مستقبل نحاس.....	93
الشكل (6-5) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الربيع مع مستقبل ستانلس ستيل...	96
الشكل (6-6) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الربيع مع مستقبل ألمنيوم.....	99
الشكل (6-7) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الصيف مع مستقبل نحاس.....	102
الشكل (6-8) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الصيف مع مستقبل ستانلس ستيل.	105
الشكل (6-9) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الصيف مع مستقبل ألمنيوم.....	108
الشكل (6-10) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الخريف مع مستقبل نحاس.....	111
الشكل (6-11) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الخريف مع ستانلس ستيل.....	114
الشكل (6-12) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الخريف مع مستقبل ألمنيوم.....	117

الفصل السابع

الشكل (7-1) الكفاءة التجريبية للمركز في شباط مع مستقبل نحاس.....	121
الشكل (7-2) الكفاءة التجريبية للمركز في شباط مع مستقبل ستانلس ستيل.....	122
الشكل (7-3) الكفاءة التجريبية للمركز في شباط مع مستقبل ألمنيوم.....	122

الشكل (7–4) الكفاءة التجريبية للمركز في أيار مع مستقبل نحاس.....	123
الشكل (7–5) الكفاءة التجريبية للمركز في أيار مع مستقبل ستانلس ستيل.....	124
الشكل (7–6) الكفاءة التجريبية للمركز في أيار مع مستقبل ألمنيوم.....	124
الشكل (7–7) الكفاءة التجريبية للمركز في تموز مع مستقبل نحاس.....	125
الشكل (7–8) الكفاءة التجريبية للمركز في تموز مع مستقبل ستانلس ستيل.....	125
الشكل (7–9) الكفاءة التجريبية للمركز في تموز مع مستقبل ألمنيوم.....	126
الشكل (7–10) الكفاءة التجريبية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل نحاس.....	127
الشكل (7–11) الكفاءة التجريبية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل ستانلس ستيل.....	127
الشكل (7–12) الكفاءة التجريبية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل ألمنيوم.....	128

فهرس الجداول

الفصل الأول

الجدول (1-1) مجمعات الطاقة الشمسية.....	18

الفصل الرابع

الجدول (4-1) الإشعاع الشمسي المباشر لكل أيام آذار الساعة الواحدة ظهراً.....	46
الجدول (4-2) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.25\ [m]$.....	51
الجدول (4-3) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.26\ [m]$.....	51
الجدول (4-4) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.27\ [m]$.....	52
الجدول (4-5) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.28\ [m]$.....	52
الجدول (4-6) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.29\ [m]$.....	53
الجدول (4-7) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.3\ [m]$.....	53
الجدول (4-8) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.25\ [m]$.....	60
الجدول (4-9) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.26\ [m]$.....	61
الجدول (4-10) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.27\ [m]$.....	61
الجدول (4-11) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.28\ [m]$.....	62
الجدول (4-12) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.29\ [m]$.....	62
الجدول (4-13) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.3\ [m]$.....	63

الفصل السادس

الجدول (6-1) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الشتاء.....	82
الجدول (6-2) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الشتاء...	85
الجدول (6-3) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الشتاء.....	88
الجدول (6-4) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الربيع.....	91
الجدول (6-5) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الربيع....	94
الجدول (6-6) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الربيع.....	97

الجدول (6-7) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الصيف.....	100
الجدول (6-8) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الصيف..	103
الجدول (6-9) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الصيف.....	106
الجدول (6-10) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الخريف.....	109
الجدول (6-11) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الخريف	112
الجدول (6-12) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الخريف.....	115
الجدول (6-13) أعظم درجات حرارة للمائع عند مخرج المركز خلال السنة وبمواد مختلفة للمستقبل..	118

الفصل السابع

الجدول (7-1) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في شباط مع مستقبل نحاس.....	121
الجدول (7-2) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في أيار مع مستقبل نحاس.....	123
الجدول (7-3) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تموز مع مستقبل نحاس.....	125
الجدول (7-4) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل نحاس.....	126
الجدول (7-5) الكفاءة النظرية والتجريبية في شباط	129
الجدول (7-6) الكفاءة النظرية والتجريبية في أيار.....	130
الجدول (7-7) الكفاءة النظرية والتجريبية في تموز.....	130
الجدول (7-8) الكفاءة النظرية والتجريبية في تشرين الأول.....	130
الجدول (7-9) كلفة كل قطعة ميكانيكية والمنطقة التي تم الشراء منها.....	131
الجدول (7-10) كلفة كل قطعة كهربائية والمنطقة التي تم الشراء منها.....	132
الجدول (7-11) كلفة كل توصيلة صحية والمنطقة التي تم الشراء منها.....	133
الجدول (7-12) كفاءة المركز في الفصول الأربعة.....	134

جدول المصطلحات والرموز المستخدمة

$A_{a,i}$ [m^2]	مساحة المقطع الداخلي للأنبوب الماص
A_a [m^2]	المساحة الخارجية للأنبوب الماص
A_r [m^2]	مساحة العاكس
C	نسبة التركيز
C_p [J/Kg.K]	السعة الحرارية لمائع نقل الحرارة
$D_{a,i}$ [m]	القطر الداخلي للأنبوب الماص
$D_{a,o}$ [m]	القطر الخارجي للأنبوب الماص
E-W	شرق– غرب
N-S	شمال– جنوب
f_a [m]	البعد الشاقولي بين مفصل دوران المركز وقاعدته
f [m]	البعد المحرقي
F_R	معامل إزالة الحرارة
F`	معامل كفاءة المجمع
$\dot{I}_b$ [W/m^2]	شدة الإشعاع الشمسي المباشر على واحدة المساحة
h [°]	الزاوية الساعية
$h_{f,i}$ [$W/m^2.{}^\circ C$]	معامل انتقال الحرارة بالحمل
HCE	عنصر التقاط الحرارة
HTF	مائع نقل الحرارة
i [°]	زاوية الورود
S [m]	طول المركز
$\dot{m}$ [kg/s]	معدل التدفق الكتلي لمائع نقل الحرارة
N-S	شمال– جنوب
PTC	المركز الشمسي الخطي ذو القطع المكافئ
Pr_w	عدد براندل للمائع
Q_u [J]	كمية الطاقة المفيدة
$\dot{Q}_u$ [W]	معدل الطاقة المفيدة
$\dot{q}_o$ [W/m^2]	الإشعاع الشمسي المباشر الواصل إلى الأنبوب الماص بعد التخامد البصري.

الزمن	t [h]
درجة الحرارة	T [°C]
معامل انتقال الحرارة الكلي	U_L [W/m^2. °C]
سرعة جريان المائع	v_w [m/s]
عرض العاكس	W_a [m]

جدول الرموز الإغريقية

انعكاسية مرآة العاكس	ρ_r
كثافة مائع نقل الحرارة	$\boldsymbol{\rho_w}$ [kg/m^3]
اللزوجة الحركية للمائع	$\boldsymbol{\mu_w}$
الموصلية الحرارية للمائع	$\boldsymbol{\lambda_w}$
نفاذية الغلاف الزجاجي	τ_c
امتصاصية الأنبوب الماص	α_a
زاوية ارتفاع الشمس	α [°]
معامل دقة التصنيع	Υ_r
الكفاءة البصرية للمركز الشمسي	η_0
زاوية الحافة	$\boldsymbol{\varphi_r}$ [°]
زاوية القبول	$\boldsymbol{2\theta_m}$ [°]
زاوية الميل	$\boldsymbol{\beta}$ [°]
زاوية الانحراف	$\boldsymbol{\delta}$ [°]
زاوية خط العرض	**L** [°]
زاوية السمت	$\emptyset$[°]
زاوية سمت الشمس	Z [°]
زاوية سمت السطح	Z_S [°]

جدول الدلائل السفلية

a	الوسط المحيط
f,i	مائع نقل الحرارة الداخل للمركز
f,o	مائع نقل الحرارة الخارج من المركز
cond	التوصيل
conv	الحمل
d	التصميمية
e	كهرباء
rad	الإشعاع
s	السماء
th	حرارة

ملخص البحث

إنَّ ازدياد الطلب على الطاقة وارتفاع أسعار حوامل الطاقة خلال العقود الأخيرة والمشاكل الناجمة عن تلوث البيئة كل ذلك أدى إلى التوجه الجدي لرفع كفاءة استخدام الطاقة من خلال تشجيع الأبحاث العلمية المرتبطة بالطاقات المتجددة خاصة أنَّ سورية تتمتع بإشعاع شمسي عالي وزمن سطوع شمسي طويل.

تتركز الأطروحة حول محورين: 1. وضع نموذج لمركز شمسي خطي قطعي بمواصفات محددة وتنفيذه ثم اختباره لتقييم أدائه الحراري. 2. المقارنة الحرارية والاقتصادية للنموذج حسب المواد المتوفرة محلياً في سورية.

بإنجاز الحسابات لتحديد موقع الشمس من خلال حل معادلات الزوايا الشمسية في كل ساعات السطوع الشمسي بالإضافة للحساب التفصيلي لشدة الإشعاع الشمسي المباشر على مدار السنة ووضع النموذج الرياضي للمركز وحله ومن ثم حساب الكفاءة الحرارية له عند قيم مختلفة لكل من البعد المحرقي وزاوية الحافة تبين أنَّ زيادة زاوية الحافة تؤدي إلى زيادة الكفاءة الحرارية, ولأجل تدفق [kg/s] 0.147 لمائع نقل الحرارة (الماء) ودرجة حرارة تصميمية [^{o}C] 85, تكون الأبعاد التصميمية المُثلى (الطول, العرض, نصف قطر الحافة) لتصنيع نموذج المركز وفقاً لمعطيات دمشق ([m] 1.15 ,[m] 1 ,[m] 0.5) عند بعد محرقي [m] 0.25, قطر المستقبل [m] 0.02 وزاوية حافة °90.

بعد اختبار نموذج المركز الشمسي تبعاً لمواد مختلفة للمستقبل (نحاس, ألمنيوم, ستانلس ستيل) خلال عدة أيام لكل مادة في كل شهر من السنة, وأخذ القيمة الوسطية لدرجة الحرارة في هذه الأيام, وتمثيل كل شهر في يوم محدد خلال ساعات الاختبار تبين ما يلي: تم الحصول على أعلى درجات حرارة وبالتالي أفضل كفاءة عند استخدام النحاس كمستقبل ثمَّ الستانلس ستيل ثمَّ الألمنيوم وهذا ما أشارت إليه الدراسات والأبحاث السابقة لذلك تمَّ استنتاج أنَّ النحاس كمستقبل هو أكثر اقتصادية مع إمكانية تأمين أعلى درجة حرارة للمائع عند مخرج المركز. وبعد حساب الكفاءة الحرارية للمركز باستبدال المستقبل تم استنتاج أنَّ الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز أقل من الكفاءة النظرية بنسبة تتراوح بين (12–2) %.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي المباشر, الزوايا الشمسية، المركز الشمسي الخطي ذو القطع المكافئ, كفاءة المركز الحرارية.

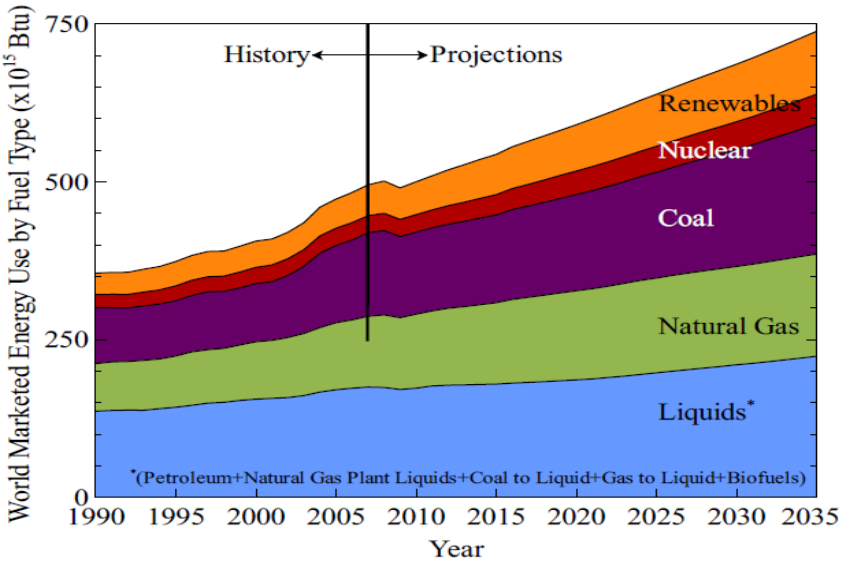
الفصل الأول

الدراسة المرجعية

Reference Study

1-1 مقدمة

يبين استهلاك الطاقة الحالي في العالم أنَّ حوالي 84.7 % من طاقة العالم **[1]** تُزوَد بالوقود الأحفوري، فقط نسبة قليلة جداً هي الاستفادة من مصادر الطاقات المتجددة. الشكل (1-1) يبين أنَّ استهلاك الطاقة في العالم من المتوقع أن يزيد إلى حوالي 50 % من العام 2005 إلى 2030.



الشكل (1-1) طاقة العالم الحالية والمتوقعة خلال السنوات القادمة [1]

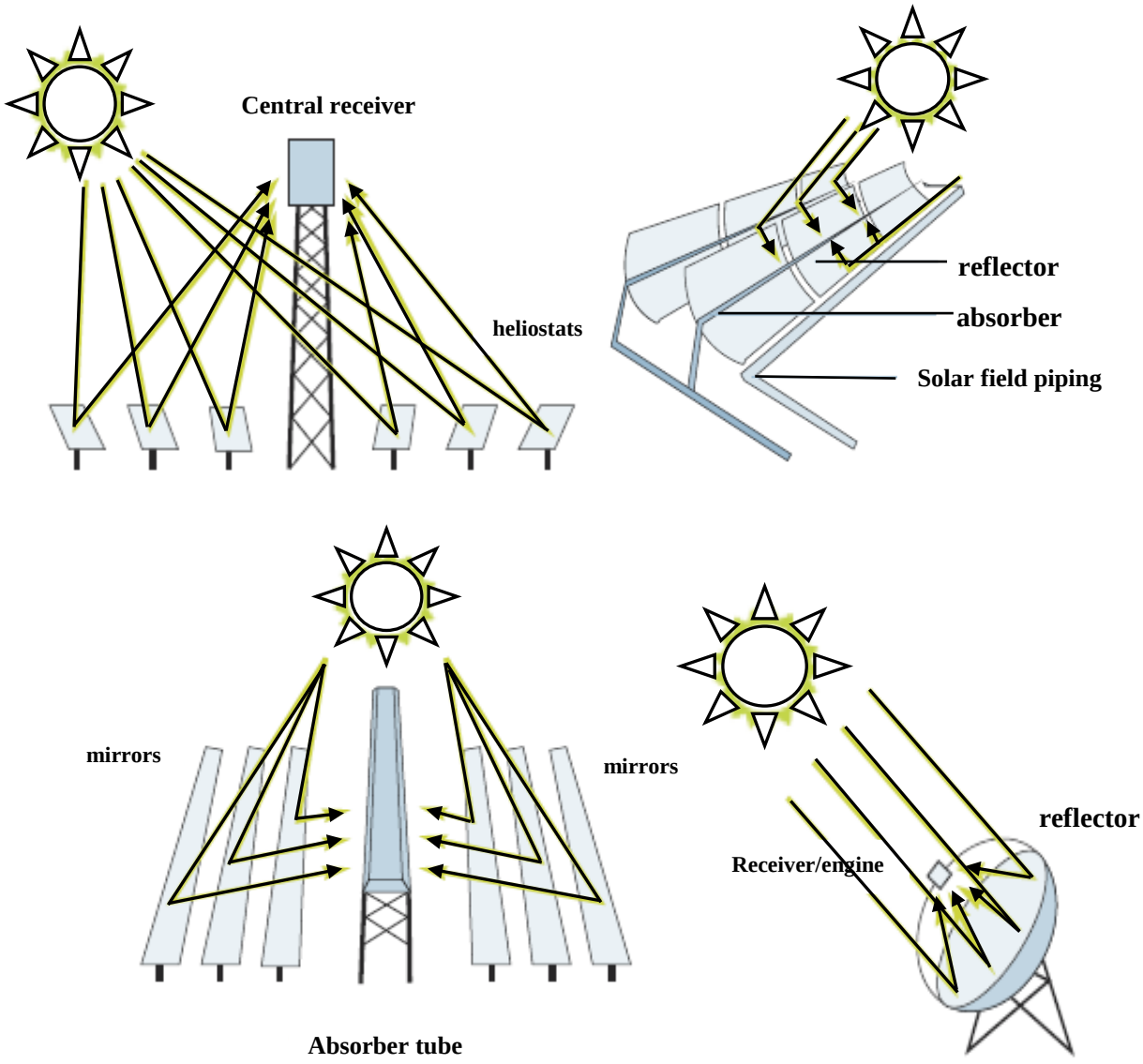
إنَّ أوجه استخدام الطاقة الشمسية في سورية مازالت محدودة جداً، بالرغم من أنَّ سورية تتمتع بإشعاع شمسي عالي وزمن سطوع شمسي طويل حيث تصل كمية الطاقة الوسطية السنوية من الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي **[2]** إلى أكثر من 2100 [kW-h/(m^2.y)]. فلو قدَّر المسؤولون أهمية هذا الاحتياطي العظيم من الطاقات المتجددة وإمكانيات استغلاله في بلادنا لتوجهوا فوراً إلى جعله هدفاً استراتيجياً لخطط التنمية القصيرة المدى، لأنَّنا إذا لم نستغل عائدات البترول الآن لتوطين وتأسيس صناعة الطاقة الشمسية كمورد بديل للنفط, فإنَّنا سنُفاجأ يوماً بأنَّ البترول قد نضب وأنَّنا لا نملك الموارد المالية الكبيرة اللازمة لاستيراد مستلزمات استغلال الطاقة الشمسية وتوطين التكنولوجيا الخاصة بها.

إنَّ استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه وفَّر الماء الساخن على مدار الساعة كما حدَّ بشكل كبير من استهلاك الكهرباء، وتُعتَبر محطات الطاقة المدعومة بالمركزات الشمسية ذات القطع المكافئ أحد أهم بدائل الطاقة المتجددة من أجل إنتاج الكهرباء.

تعمل كل المركزات الشمسية على مبدأ تركيز الإشعاع وتوجيهه نحو السطح الماص إنما تختلف فيما بينها من خلال شكل السطح العاكس وشكل السطح الماص فقد تم اقتراح أربع تقنيات للمركزات الشمسية **[3]** هي:

1. المركز الشمسي الخطي ذو القطع المكافئ PTC (Parabolic Trough Collector).
2. عدسات فريسنيل الخطية LFR (Linear Fresnel Reflector System).
3. برج الطاقة أو نظام المستقبل المركزي CRS (Central Receiver System).
4. نظام المحرك DE (Dish/Engine System).

هذه الأطروحة تُركِز فقط على المركز الشمسي الخطي القطعي. الشكل (1-2) يبين أنواع المركزات الشمسية.



الشكل (1-2) أنواع المركزات الشمسية [3]

يتم تصنيف المجمعات الشمسية بشكل أساسي **[4]** اعتماداً على ثباتها أو حركتها بنظام ملاحقة للشمس. ومجال درجة الحرارة الممكن الحصول عليها إلى عدة أنواع كما يبينه الجدول (1-1).

الجدول (1-1) مجمعات الطاقة الشمسية [4]

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat-plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
Single-axis tracking			5–15	60–300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	15–50	60–300
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	10–85	60–400
Two-axis tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	600–2000	100–1500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	300–1500	150–2000

1-2 المشكلة العلمية في البحث

إنَّ الازدياد الكبير في الطلب على الطاقة بسبب النمو السكاني الكبير الذي تشهده سورية وكذلك انتعاش النشاطات الاقتصادية المتنوعة، ومعاناة قطاع الطاقة خلال الأعوام الماضية من الأسعار العالية لحوامل الطاقة أدى إلى مشكلة كبيرة بسبب عدم قدرة المخزون الاحتياطي من مصادر الوقود الأحفوري القابلة للنفاذ على تغطية هذا الطلب، خصوصاً أنّه في سورية يتم الاعتماد على الوقود الأحفوري **[2]** بنسبة كبيرة جداً تصل إلى 93%.

1-3 هدف البحث

يتركز البحث حول محورين أساسيين:

1. وضع نموذج لمركز شمسي خطي ذي القطع المكافئ بمواصفات محددة وتنفيذه ثم اختباره لتقييم أدائه الحراري من أجل معرفة إمكانية نشر استخداماته في التطبيقات الحرارية في سورية.

2. المقارنة الحرارية والاقتصادية للنموذج حسب المواد المتوفرة محلياً لمعرفة إمكانية استثماره اقتصادياً في سورية.

1-4 أهمية البحث

رفع كفاءة استخدام الطاقة وترشيد استهلاكها والحفاظ على البيئة عن طريق وضع الخطط المستدامة التي تضمن بقاء موارد الطاقة الحالية لفترة زمنية أطول والبحث عن موارد متجددة نظيفة محلية إضافية مثل الطاقة الشمسية خصوصاً في سورية التي تُعتبر منطقة شمسية ممتازة.

جرى تنظيم محتوى الأطروحة على النحو الآتي:

- الفصل الأول: الدراسة المرجعية لأهم تطبيقات المركز الشمسي مع عرض هيكلية البحث.
- الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي والزوايا الشمسية.
- الفصل الثالث: الدراسة النظرية لمركز شمسي خطي قطعي.
- الفصل الرابع: حساب الإشعاع الشمسي المباشر والحسابات التصميمية للمركز الشمسي الخطي القطعي (وضع النموذج الرياضي الحاسوبي للمركز وحله).
- الفصل الخامس: تصنيع المركز الشمسي الخطي القطعي.
- الفصل السادس: اختبار المركز الشمسي متضمناً تقييم الأداء الحراري له وفق شروط العمل المتغيرة (الإشعاع الشمسي المباشر، درجة حرارة الوسط المحيط، مواد مختلفة لعنصر التقاط الحرارة).
- الفصل السابع: المقارنة الحرارية والاقتصادية للمواد المستخدمة في المركز.
- نتائج الدراسة مع الاستنتاجات والتوصيات.

1-5 الدراسة المرجعية

اعتمدت الأبحاث والدراسات المرجعية على استخدام تقنية المركز الشمسي الخطي القطعي (PTC) في تخديم تطبيقات حرارية متنوعة منها تتطلب درجات حرارة مرتفعة حيث يمكن للمركز القيام بوظيفة المرجل الموجود في المحطات الحرارية لتوليد الطاقة الكهربائية، ومنها تسخين المياه من أجل الاستخدامات المنزلية.

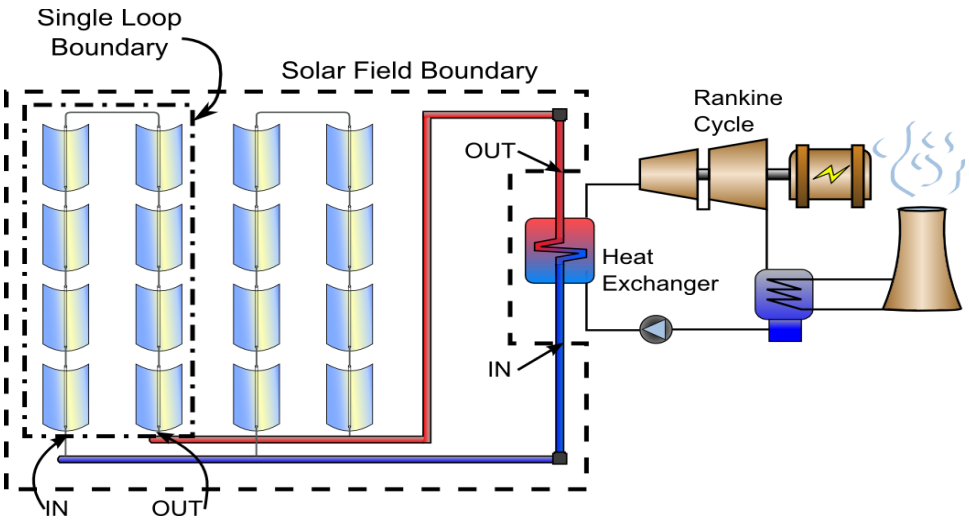
يبين الشكل (1-3) المركز الشمسي الخطي ذي القطع المكافئ **[5]**.



الشكل (1–3) مكونات المركز الشمسي [5]

تستخدم التصاميم الحالية لمحطات الطاقة التقليدية دعماً من حقل شمسي مكون من مركزات شمسية خطية ذات القطع المكافئ (PTCs) لتسخين مائع نقل الحرارة (HTF) الذي يُستخدَم إما من أجل تسخين الماء أو توليد البخار خلال المبادلات الحرارية في الدورات المركبة أو دورة رانكين **[6]**.

يبين الشكل (1–4) محطة طاقة بخارية تعمل وفق دورة رانكين متصلة مع نظام مركزات شمسية لتسخين الماء أو توليد البخار في المبادلات الحرارية.



الشكل (1–4) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي [6]

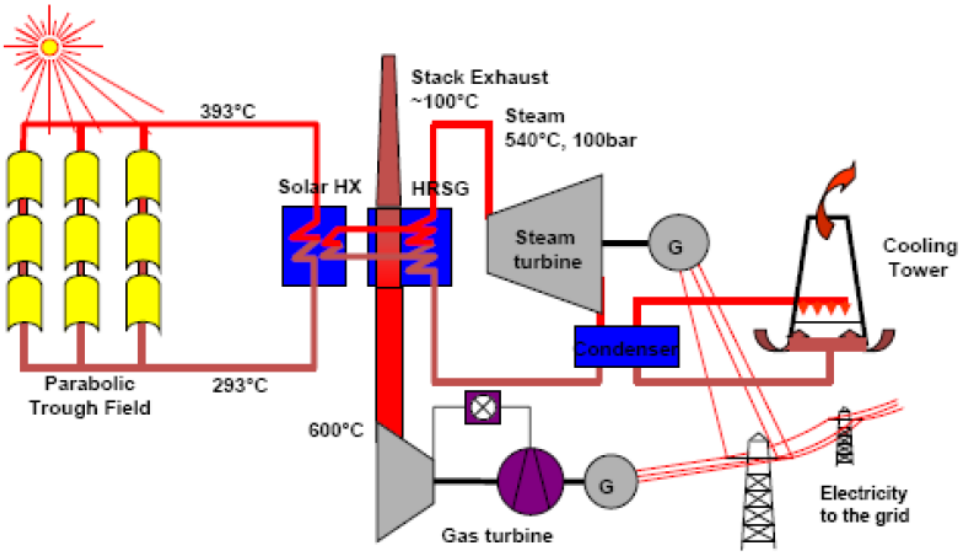
إنَّ أول محطة طاقة تم إنشائها في أوروبا باستخدام PTCs هي محطة Andasol 1 في إسبانيا عام 2006 وبدأ إنتاجها للطاقة عام 2008 **[7]**. ويوجد العديد من المحطات المشابهة لهذه المحطة في إسبانيا مثل محطة Andasol 2 **[7]** باستطاعة 50 [MW].

يبين الشكل (1–5) محطة Andasol المدعومة بالطاقة الشمسية في إسبانيا.



الشكل (1–5) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي في إسبانيا [7]

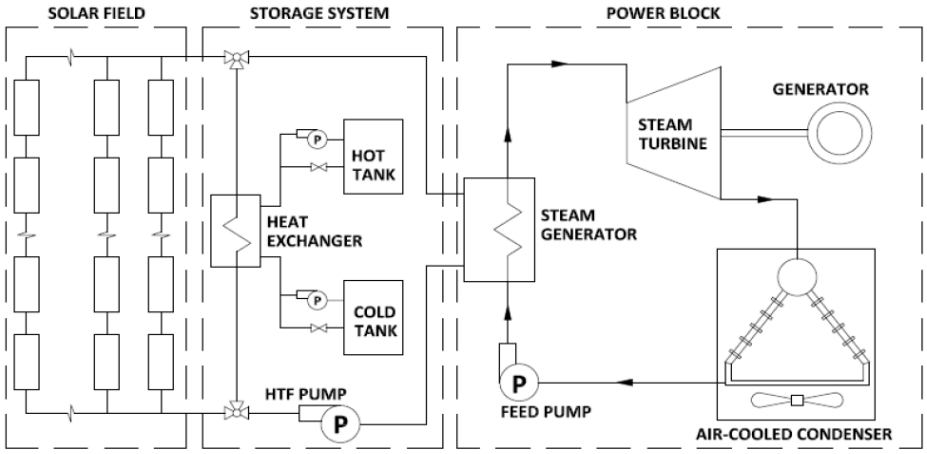
في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا **[7]** تم إنشاء محطات طاقة مركبة مدعومة بالطاقة الشمسية باستخدام PTCs, ففي منتصف عام 2011 تم إنشاء محطة باستخدام تقنية PTC في الجزائر باستطاعة [MW_e] 25، وفي المغرب تم إنشاء محطة باستطاعة [MW_e] 470 **[7]**. في مصر تم إنشاء محطة الكريمات **[8]** باستطاعة [MW_e] 140 منها [MW_e] 20 حصة الشمس. تم استنتاج أنَّ كل هكتار يعطي تقريباً [MW_{th}] 1 وذلك تبعاً للشروط المناخية الخاصة بمصر **[8]**. يبين الشكل (1–6) محطة الكريمات في مصر.



الشكل (1–6) محطة الكريمات مدعومة بحقل شمسي في مصر [8]

في الأردن **[9]** عام 2012 قام الباحث بدراسة واختبار إمكانية تصميم حقل شمسي باستخدام PTC في منطقة البحر الميت حيث HTF يُستخدم لتزويد الحرارة المطلوبة لآلة تبريد امتصاصية، مما يؤكد

إمكانية استخدام PTC في تطبيقات حرارية متنوعة. يبين الشكل (1–7) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي في الأردن.



الشكل (1–7) محطة طاقة بخارية مدعومة بحقل شمسي مع نظام تخزين في الأردن [9]

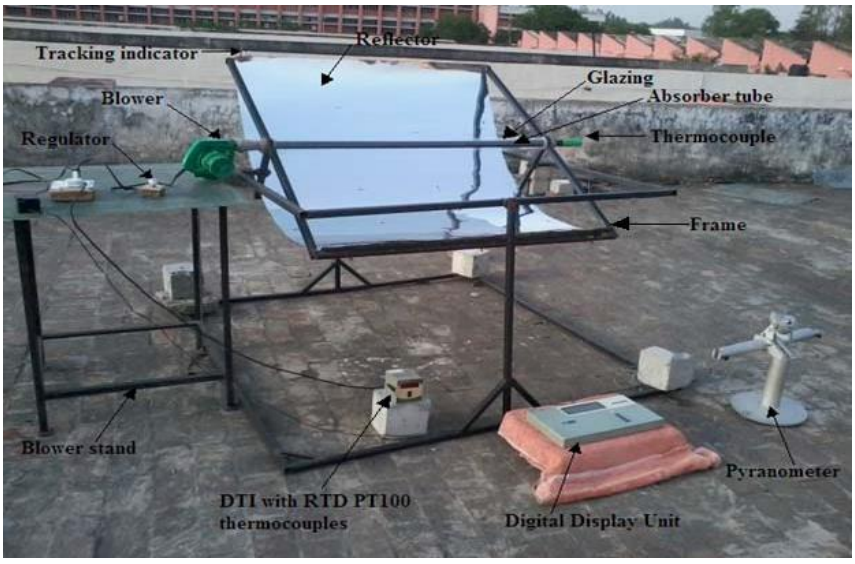
في الهند **[10]** قام الباحثون بدراسة النتائج التجريبية لنموذج مركز شمسي خطي قطعي بأبعاد مُفتَرضة: $S = 1.21$ [m], $W_a = 1.1$ [m], $C = 13.69$, $D_{a,o} = 0.025$ [m], $\gamma = 0.95$, $\varphi_r = 90°$ النموذج مصنوع من ألياف زجاجية معززة بالبلاستيك. العاكس مغطى بالألمنيوم بانعكاسية 0.85 والمستقبل من الفولاذ مغطى بمادة سوداء بامتصاصية 0.82 وقد تم اختبار المستقبل بوجود غلاف زجاجي بنفاذية 0.85، ودون غلاف زجاجي. يبين الشكل (1–8) النموذج الذي تم تصنيعه في الهند.



الشكل (1–8) نموذج المركز الشمسي في Shivaji في الهند [10]

مائع نقل الحرارة المستخدم هو الماء. تقييم الأداء للنموذج كان خلال شهري نيسان وأيار من أجل 7 ساعات كل يوم في جامعة Shivaji, Kolhapur وقد تم إعادة التجربة بتغيير المدخلات مثل مادة المستقبل ومعدل التدفق الكتلي للماء وبتدوير المركز حول المحور شرق- غرب (E-W) يدوياً. لقد تم استخدام أجهزة القياس من أجل تحديد درجة حرارة كل من الوسط المحيط, المائع, المستقبل, الخزان. أيضاً تم قياس شدة الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح في كل نصف ساعة. وتمَّ استنتاج أنَّ الغلاف الزجاجي يلعب دور عازل حول المستقبل حيث تمَّ ملاحظة أنَّه بوجود غلاف زجاجي تزداد درجة حرارة الماء الخارج بنسبة % 29 والتدرج الحراري يزداد بنسبة % 68 وتزداد الطاقة المفيدة المكتسبة بالمستقبل بنسبة % 22. الكفاءة اللحظية بوجود غلاف زجاجي % 51 وبدون غلاف زجاجي % 39.

أيضاً في الهند **[11]** قام الباحث بتصميم مركز شمسي خطي قطعي بأبعاد مُفترَضة: $S = 1.22$ [m], $D_{a,o} = 0.032$ [m], $f = 0.305$ [m], $D_{c,o} = 0.043$ [m] واختباره لمعرفة أفضل أداء حراري له من أجل تسخين هواء الغرفة وذلك عند استبدال مادة تصنيع العاكس (Stainless steel, Aluminum foil, Aluminum sheet). تم القيام بالعمل التجريبي في Kurukshetra في الهند، والبيانات التجريبية مسجلة كل نصف ساعة من الساعة (9:00 – 17:00) في شهري آذار ونيسان عام 2013. يبين الشكل (1-9) هذا النموذج.



الشكل (1–9) نموذج المركز الشمسي في Kurukshetra في الهند [11]

تم استنتاج أنَّه أولاً: عند استخدام صفيحة الستانلس ستيل كعاكس، تكون أعظم درجة حرارة للهواء الخارج من المركز [°C] 42.1 والتي يمكن استخدامها لتدفئة الغرفة. وعند استخدام رقاقة الألمنيوم كعاكس،

تكون أعظم درجة حرارة للهواء الخارج من المركز [°C] 48.2 والتي هي أكبر بنسبة % 14.5 من الدرجة التي يمكن الحصول عليها في حال العاكس ستانلس ستيل. وعند استخدام صفيحة ألمنيوم كعاكس، تكون أعظم درجة حرارة للهواء الخارج من المركز [°C] 52.3 أي أكبر بنسبة % 24.22 من الدرجة التي يمكن الحصول عليها في حال العاكس ستانلس ستيل. وأكبر بنسبة % 8.5 من الدرجة التي يمكن الحصول عليها في حال العاكس رقاقة ألمنيوم. ثانياً: عند استخدام صفيحة ألمنيوم كعاكس، تكون كفاءة المركز أكبر بنسبة % 61.18 مقارنة مع حالة العاكس ستانلس ستيل. وأكبر بنسبة % 18.98 في حال العاكس رقاقة ألمنيوم. ثالثاً: إنَّ استخدام الستانلس ستيل كعاكس مكلف اقتصادياً بالمقارنة مع رقاقة الألمنيوم وصفيحة الألمنيوم لذلك يتم استنتاج أنَّ صفيحة الألمنيوم هي أكثر اقتصادية لتُستخدم كعاكس مع إمكانية تأمين درجة حرارة الهواء عند مخرج المركز.

في العراق **[12]** قام الباحث بدراسة نظرية وعملية لمركز شمسي خطي ذي قطع مكافئ بأبعاد مُفترَضة: $f = 0.25$ [m], $S = 1.9$ [m], $W_a = 1$ [m], $D_{a,o} = 0.03$ [m], $C = 10.3$, $\varphi_r = 90°$ وذلك لتقييم كفاءته الحرارية حسب الشروط المناخية لمدينة تكريت خلال فصلي الصيف والشتاء. وقارن النتائج التجريبية مع النظرية. الإشعاع الشمسي لمدينة تكريت حُسِب نظرياً. الدراسة النظرية أُنجِزت باستخدام برنامج الفورتران 90. مائع نقل الحرارة المستخدم هو الماء. عند تصميم المركز تم اعتماد العاكس من الألمنيوم المصقول بانعكاسية 0.85، المستقبل من الفولاذ المغلفن بامتصاصية 0.9 دون إحاطته بالغلاف الزجاجي.

يبين الشكل (1–10) نموذج المركز الذي تم تصنيعه في العراق.



الشكل (1–10) نموذج المركز الشمسي في تكريت في العراق [12]

تمَّ استنتاج أنَّ الكفاءة الحرارية العملية للمركز أقل من الكفاءة الحرارية النظرية بنسبة تتراوح بين (7–15) %.

في إيطاليا **[13]** يعرض الباحثون نموذج لمركز شمسي خطي قطعي بأبعاد مُفترضة: S = 2.1 [m], W_a = 1 [m], $D_{a,o}$ = 0.03 [m], C = 9.25, $\varphi_r = 90°$ مع نظام ملاحقة يعتمد على برنامج حاسوبي لتحديد موقع الشمس. المستقبل من الألمنيوم بانعكاسية 0.94 ومحتوى ضمن غلاف زجاجي يحوي كمية قليلة من الحديد. الاختبارات تم إنجازها تبعاً لمنهجية ASHRAE 2010. مائع نقل الحرارة المستخدم هو الماء. درجة الحرارة الأعظمية [°C] 85. البنية الداعمة للقطع مصنوعة من خليط من البوليسترين داخل طبقة من الألياف الزجاجية.

يبين الشكل (1–11) نموذج المركز الشمسي الذي تم تصنيعه في إيطاليا.



الشكل (1–11) نموذج المركز الشمسي في إيطاليا [13]

لقد تم قياس كل من درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز، ودرجة حرارة الوسط المحيط. أيضاً تم قياس شدة الإشعاع الشمسي المباشر وسرعة الرياح.

تمَّ استنتاج علاقة مردود المركز مع تغير درجة حرارة مائع نقل الحرارة وتبين أنَّ ميل معادلة الكفاءة الحرارية الخطية المرتبطة بالضياعات الحرارية 0.683–، وأعظم مردود ممثلاً بالكفاءة البصرية $F_R\eta_0$= 0.658.

في قبرص **[14]** قام الباحث بتصميم مركز شمسي خطي قطعي بأبعاد مُفترضة: S = 1.993 [m], W_a = 1.208 [m], $D_{a,o}$ = 0.028 [m], C = 13.7, $\varphi_r = 90°$ واختبار

أدائه. الأنبوب الماص من الستانلس ستيل بامتصاصية 0.93 ومحاط بغلاف زجاجي بنفاذية 0.89. تم في هذا البحث تحديد الأداء الحراري للمركز الشمسي بالحصول على قيم الكفاءة اللحظية من أجل قيم الإشعاع الوارد، درجة حرارة الوسط المحيط, درجة حرارة دخول وخروج المائع, معدل تدفق المائع. تم استنتاج أنَّه في حال اعتبار $\boldsymbol{F_R, U_L}$ ثوابت فإنَّ معادلة المردود الحراري للمركز تكون خطية ويكون المردود تقريباً ثابت مع زيادة $\frac{T_{f,i}-T_a}{\dot{G}_B}$, وفي حال اعتبار $\boldsymbol{F_R, U_L}$ تابعين لدرجة الحرارة عند مدخل المركز والوسط المحيط فإنَّ معادلة المردود الحراري للمركز تكون ليست خطية وينخفض المردود مع زيادة $\frac{T_{f,i}-T_a}{\dot{G}_B}$.

في المكسيك **[15]** قام الباحثون بتصميم نموذج لمركز شمسي خطي قطعي وتقييم أدائه من أجل تسخين الماء. في التصميم تم اعتبار فتحة العاكس [m] 0.5 والطول [m] 0.95.

يبين الشكل (1−12) النموذج الذي تم تصنيعه.



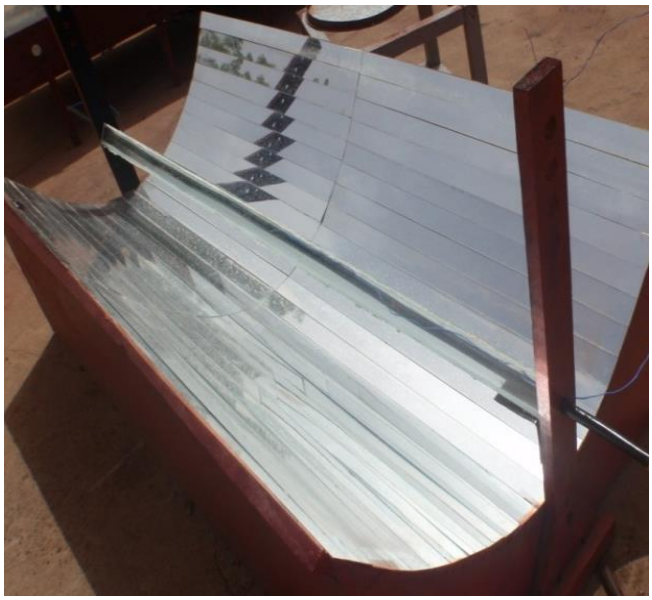
الشكل (1−12) نموذج المركز الشمسي في المكسيك [15]

نتائج التقييم لتحديد الأداء الحراري للمركز الشمسي الخطي القطعي هي درجة حراة أعظمية عند مخرج المركز [°C] 47.3 من أجل إشعاع شمسي مباشر [W/m^2] 783 وتدفق [L/min] 0.2.

في جمهورية نيجيريا الاتحادية **[16]** قام الباحثون بدراسة الأداء التجريبي لمركز شمسي خطي قطعي بالأبعاد المُفترَضة: S = 1.82 [m], f = 0.15 [m], f_a = 0.33 [m], $D_{a,o}$ = 0.0285 [m], $\dot{m} = 0.0177$ [kg/min], حيث: $\dot{m}$ معدل تدفق الماء, f_a ارتفاع المركز عن الأرض (عمقه).

الأنبوب الماص من النحاس مطلي باللون الأسود وغير محاط بغلاف زجاجي، العاكس مرآة مقعرة (المرآة مستطيلة الشكل بأبعاد $8cm \times 94cm$ وسماكتها $[mm]$ 3) والبيانات التجريبية مسجلة كل نصف ساعة من الساعة (9:00–4:00) في تشرين الأول من عام 2013.

يبين الشكل (1–13) نموذج المركز الشمسي الذي تم تصنيعه في نيجيريا.



الشكل (1–13) نموذج المركز الشمسي في نيجيريا [16]

بيَّن الاختبار التجريبي أنَّ درجة حرارة الماء الخارج من المركز وصلت إلى [°C] 110 لكن تمَّ مصادفة عدة مشاكل: 1. عدم الدقة في ملاحقة الشمس لأنَّ الملاحقة كانت يدوية, 2. تحول السائل إلى بخار وبالتالي كان يجب الاستفادة من البخار في تدوير عنفة بخارية وبالتالي إنتاج الكهرباء.

استناداً للدراسات المرجعية السابقة التي اعتمدت جميعها على افتراض الأبعاد التصميمية، فقد تمَّ اختيار موضوع البحث من خلال إعداد دراسة تصميمية لمركز شمسي خطي ذي قطع مكافئ وحساب أبعاده التصميمية وتنفيذه واختبار كفاءته الحرارية والاقتصادية وفق الشروط المناخية والاقتصادية لمدينة دمشق.

الفصل الثاني

الإشعاع الشمسي والزوايا الشمسية
Solar Radiation and Solar Angles

2-1 خواص الإشعاع الشمسي (Characteristics of Solar Radiation)

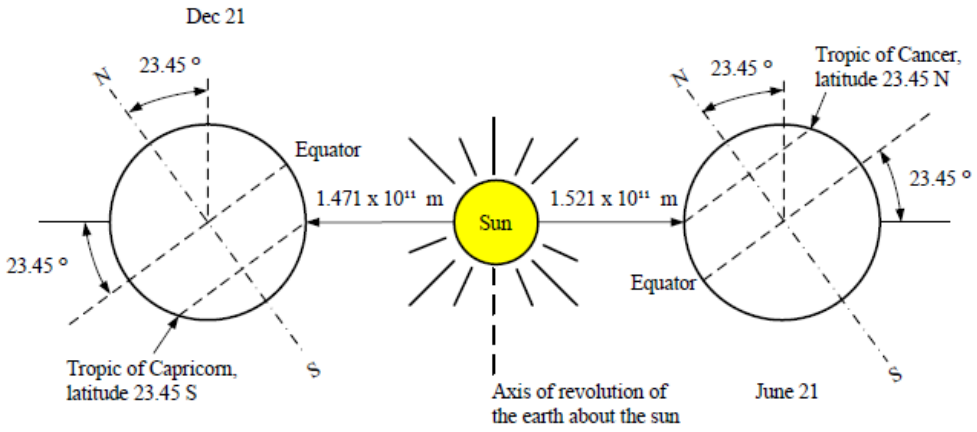
الشمس عبارة عن كرة من المواد الغازية الملتهبة ذات درجات الحرارة المرتفعة جداً **[4]** وقطر 1.39×10^9 [m] وتبعد عن الأرض حوالي 1.5×10^8 [km] .

بما أنَّ الإشعاع الشمسي ينتقل بسرعة الضوء في الخلاء (3.8×10^8 [m/s]) **[4]**, فإنَّه يصل إلى الأرض بعد مغادرته للشمس بغضون 8 دقائق و 20 ثانية. ويكون خرج الطاقة الكلي للشمس 3.8×10^{20} [MW] ، والتي تساوي 63 [MW/m^2] على سطح الشمس. هذه الطاقة تشع خارجياً في كافة الاتجاهات, تستلم الأرض فقط نسبة قليلة من الإشعاع الكلي المنبعث تُقدَّر **[4]** بما يقارب $1.7 \times 10^{14}[kW]$.

إنَّ تحديد موضع ومسار الشمس خلال الفضاء ضروري لحساب الإشعاع الشمسي الوارد على السطح.

2-2 دوران الأرض حول الشمس (Earth Revolution about the Sun)

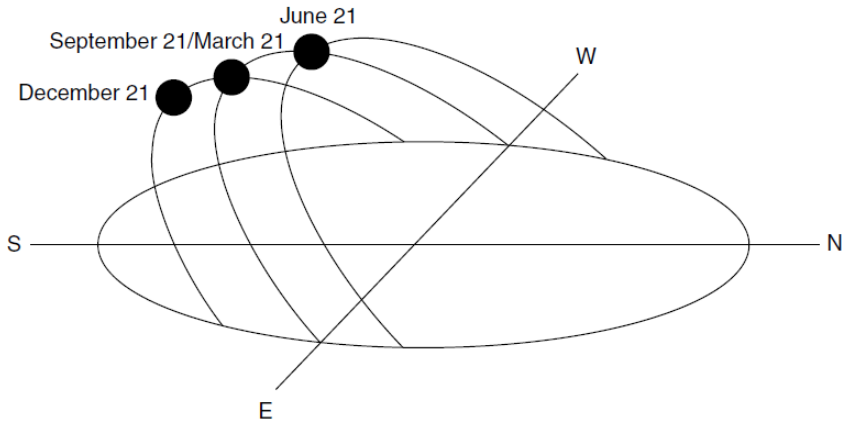
تدور الأرض حول محورها دورة واحدة كل 24 ساعة **[4]** وتنجز دورة كاملة حول الشمس خلال 365.25 يوم تقريباً. إنَّ هذه الحركة ليست دائرية تماماً بل تتبع مداراً إهليليجياً كما هو موضح في الشكل (2-1).



الشكل (2-1) الحركة السنوية للأرض حول الشمس [1]

إنَّ موضع الشمس في الفضاء يتغير من ساعة لأخرى ومن يوم لآخر على مدار العام **[17]**. تكون أوضح حركة للشمس هي حركتها اليومية بشكل قوس عبر الفضاء حيث تصل إلى أعلى نقطة عند منتصف النهار وأعلى ارتفاع للشمس يكون في يوم الانقلاب الصيفي (21 حزيران) حيث تكون الشمس

في أعظم نقطة لها في نصف الكرة الشمالي ويكون عندها طول النهار أعظمياً. وفي يوم الانقلاب الشتوي (21 كانون الأول) تكون الشمس في أقل ارتفاع لها خلال كامل السنة. في الاعتدالين الربيعي والخريفي يكون طول النهار مساوياً لطول الليل. الشكل (2-2) يوضح الأيام المميزة في السنة.



الشكل (2-2) التغيرات السنوية لموقع الشمس في السماء (نصف الكرة الشمالي) [17]

2-3 الزوايا الشمسية

يعتمد أداء معظم الأنظمة الحرارية الشمسية إلى حد كبير على عملية تجميع الطاقة الشمسية، ويعتمد أداء المركزات الشمسية على عوامل كثيرة أهمها مقدار الطاقة الشمسية التي يستقبلها سطح المركز واتجاهها بالنسبة لذلك السطح في أماكن مختلفة على سطح الأرض وفي أي وقت من السنة **[18]**, وبعد ذلك توصف الطاقة الشمسية وتُدرس التغيرات التي تطرأ عليها خلال مرورها في الغلاف الجوي الأرضي, ثم يتم استخدام العلاقات المحددة لشدة الإشعاع الشمسي الوارد على هذا السطح.

لمعرفة شدة الإشعاع الشمسي الوارد على سطح معين موجود على الأرض يلزم معرفة اتجاه الأشعة الشمسية وموقع السطح على الأرض بالنسبة للشمس والوقت من حيث الساعة واليوم لأنَّ وضع الأرض بالنسبة للشمس دائم التغير، وتتحدد هذه المميزات وغيرها بالزوايا التالية:

2-3-1 زاوية ارتفاع الشمس (Solar Altitude Angle): هي الزاوية بين الإشعاع الشمسي والمستوي الأفقي للأرض. تقاس بالدرجات وتعطى بالعلاقة **[4] ,[17]**:

$$\sin(\alpha) = \cos(\phi) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h) \qquad (2-1)$$

2-3-2 زاوية خط العرض (Latitude Angle): هي الزاوية بين مركز الأرض والموقع المدروس من جهة, والمستوي الاستوائي من جهة أخرى. وهي موجبة شمال خط الاستواء **[4]**. تقاس بالدرجات.

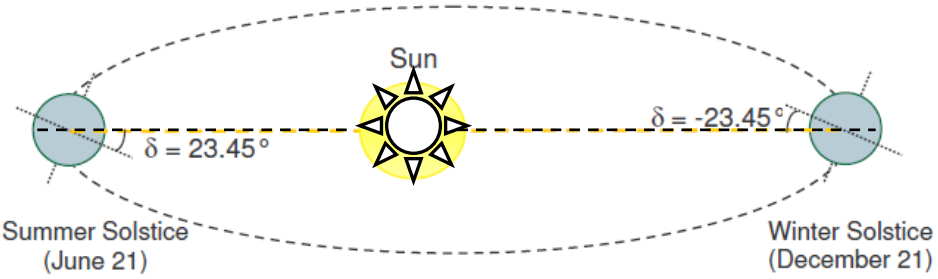
$$-90 \leq L \leq +90$$

3-3-2 زاوية الانحراف (Declination Angle): هي الزاوية بين الخط الواصل بين مركز الأرض ومركز الشمس، ومسقط هذا الخط على المستوي الأفقي كما هو مبين في الشكل (2-3). تقاس بالدرجات. **[4], [3]**

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(284 + N)\right] \qquad (2-2)$$

$$-23.45 \leq \delta \leq +23.45$$

N رقم اليوم من السنة.



الشكل (2-3) زاوية الانحراف في الصيف والشتاء [3]

4-3-2 الزاوية الساعية (Hour Angle): هي الزاوية التي تدور بها الأرض لجعل خط الطول للموقع المدروس يقع مباشرة تحت الشمس **[17], [3]**. تقاس بالدرجات, وعلاقتها:

$$h = \pm 0.25\ (Number\ of\ minutes\ from\ local\ solar\ noon) \qquad (2-3)$$

يحسب طول النهار من المعادلة **[4], [3]**:

$$Day\ length = \frac{2}{15}\cos^{-1}[-\tan(L)\tan(\delta)] \qquad (2-4)$$

تُحسب ساعة الشروق وساعة الغروب من المعادلتين التاليتين **[17], [3]**:

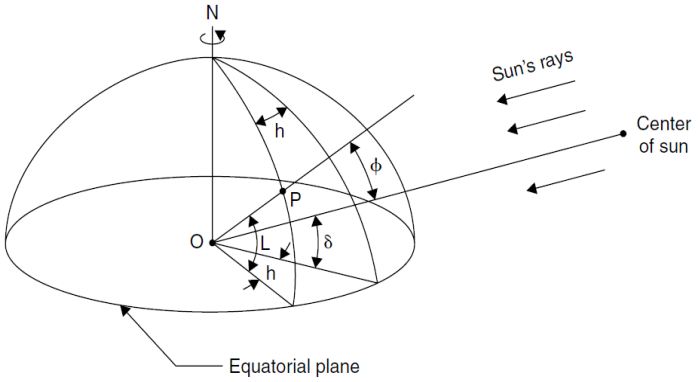
$$t_{sunrise} = 12 - \frac{Day\ length}{2} \qquad (2-5)$$

$$t_{sunset} = 12 + \frac{Day\ length}{2} \quad (2-6)$$

5-3-2 زاوية السمت الشمسي (Solar Zenith Angle): هي الزاوية بين الإشعاع الشمسي والشاقول. تقاس بالدرجات, يُرمز لها بـ ϕ أو θ_z وتعطى بالعلاقة **[4], [17]:**

$$\phi = 90 - \alpha \quad (2-7)$$

يبين الشكل (2-4) كل من الزاوية الساعية, زاوية الانحراف وزاوية خط العرض.

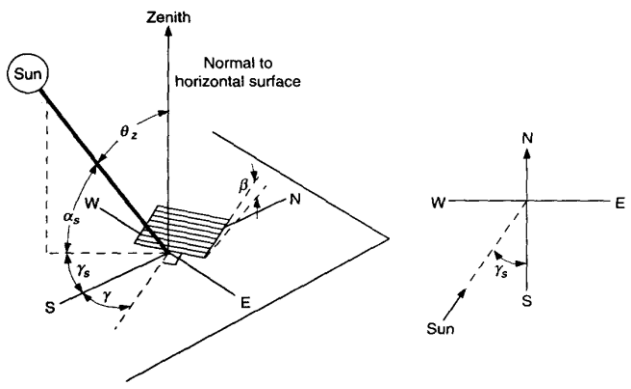


الشكل (2-4) الزاوية الساعية, زاوية الانحراف, زاوية خط العرض [17]

6-3-2 زاوية سمت الشمس (Solar Azimuth Angle): هي زاوية الانزياح عن الجنوب لمسقط حزمة الأشعة على المستوي الأفقي. تقاس بالدرجات وتعطى بالعلاقة: **[4], [17], [46].**

$$\gamma_s = sign(\omega)\left|\cos^{-1}\left[\frac{\cos\theta_z \sin L - \sin\delta}{\sin\theta_z \cos L}\right]\right| \quad (2-8)$$

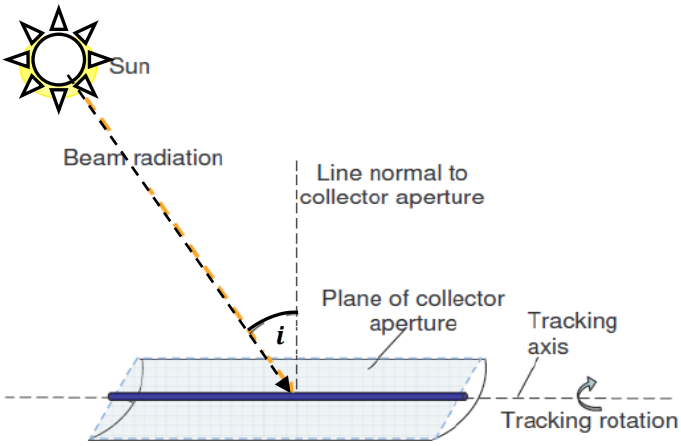
يبين الشكل (2-5) زاوية السمت الشمسي، زاوية ارتفاع الشمس وزاوية سمت الشمس.



الشكل (2-5) زاوية السمت, زاوية ارتفاع الشمس [17]

2-3-7 زاوية الورود (Incidence Angle): هي الزاوية بين الإشعاع الوارد من الشمس والناظم على سطح استقبال الأشعة، ومبينة في الشكل (2−6). تقاس بالدرجات وتعطى بالعلاقة **[4]**:

$$\cos(i) = \sin(L)\sin(\delta)\cos(\beta) - \cos(L)\sin(\delta)\sin(\beta)\cos(Z_s) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)\cos(\beta) + \sin(L)\cos(\delta)\cos(h)\sin(\beta)\cos(Z_s) + \cos(\delta)\sin(h)\sin(\beta)\sin(Z_s) \quad (2-9)$$



الشكل (2−6) زاوية الورود [19]

إنَّ حساب زاوية الورود له أهمية ملحوظة في تصميم النظام الشمسي وفي تقييم أداء المركزات الشمسية بما أنَّ مقدار الطاقة المُجمَعة يتم تخفيضه بتجيب (cos) هذه الزاوية. لأنَّه عندما لا يكون الإشعاع الشمسي عمودياً على فتحة العاكس تظهر ضياعات متعلقة بزاوية الورود. تأثير هذه الضياعات على أداء المجمع يُقاس بمُصحِح زاوية الورود $K(i)$ التي تُعطى علاقته بالشكل:

$$K(i) = \frac{\eta_o\,(i)}{\eta_o\,(i=0)} \quad (2-10)$$

η_o: الكفاءة البصرية للمركز.

2-3-8 زاوية سمت السطح (Surface Azimuth Angle): هي الزاوية بين مسقط السطح المدروس على الأفق والجنوب **[4]**. رمزها Z_S وتقاس بالدرجات.

2-3-9 زاوية الميل (Slope Angle): هي زاوية ميل السطح المدروس مع المستوي الأفقي **[17]** رمزها β وتقاس بالدرجات.

الفصل الثالث

الدراسة النظرية لمركز شمسي خطي قطعي

Theoretical Study of a Parabolic Trough Solar Concentrator

1-3 مقدمة

هناك تطبيقات حرارية هندسية متعددة تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة لا يمكن للمجمعات المسطحة أن تؤمنها بسبب أنَّ سطح الصفيحة الماصة هو نفسه سطح الفتحة (Aperture) حيث يكون الضياع الحراري كبير، لذلك تم ابتكار المركزات الشمسية التي تؤمن درجات حرارة عالية حيث أنَّه يمكن بواسطة المركز الشمسي تركيز أشعة الشمس عن طريق عاكس المركز الذي يستقبل الإشعاع المباشر ويعكسه إلى أنبوب الماص بالتالي يكون الضياع الحراري أقل ما يمكن.

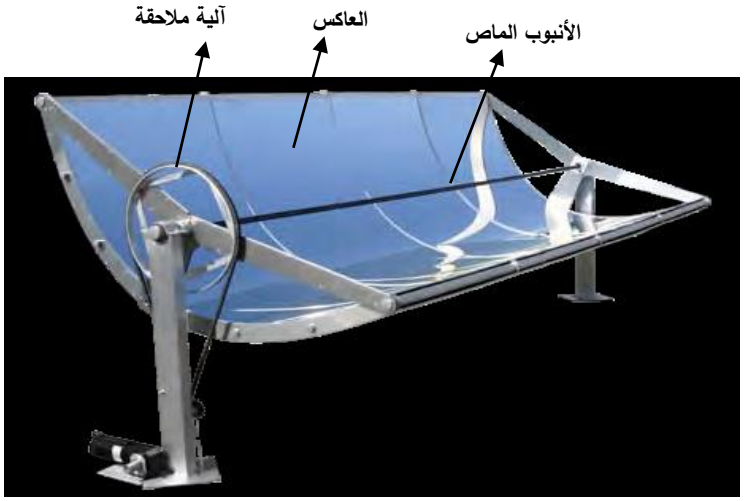
2-3 أجزاء المركز الشمسي الخطي ذو القطع المكافئ

يبين الشكل (3-1) بنية المركز الشمسي الخطي القطعي الذي يتألف من الأجزاء التالية:

1-2-3 العاكس (Reflector): يتألف من قوالب زجاجية **[1] ,[16], [20]** (مرايا) مُشكلِة بالحرارة وظيفتها استقبال الإشعاع الشمسي المباشر وعكسه إلى المستقبل, تُحمَل بواسطة البنية المعدنية للعاكس. فوق المرايا توجد طبقة من الزجاج، مثال على هذا النوع من العواكس LS-3 **[1]**، حيث تكون انعكاسية المرآة في هذا النوع عالية. يوجد نوع آخر من العواكس هو العاكس المؤلف من صفائح من الألمنيوم وهو المُستخدَم بالنسبة للتطبيقات المنزلية **[13] ,[12], [11], [10].**

2-2-3 الأنبوب الماص (Absorber Tube): يكون من الستانلس ستيل (Stainless Steel) أو من النحاس أو من الألمنيوم **[14] ,[12], [11], [10]** ويكون مغطى بطبقة انتقائية (الكروم الأسود أو السيرميت) أو طبقة سوداء تحافظ على استقرار خصائصها البصرية عند درجات حرارة **[1]** من [°C] 450 إلى [°C] 500، وتؤمن الطبقة الانتقائية امتصاصية تصل إلى حوالي 95% وانبعاثية أقل من 14%. يجب أن تكون سماكة الأنبوب الماص قليلة جداً بحيث يمكن إهمال المقاومة الحرارية عبر جداره.

3-2-3 الغلاف الزجاجي (Glass Envelope): يحيط بالأنبوب الماص **[7] ,[1]** ويسمح بالتخلية بينه وبين الأنبوب الماص من أجل تخفيض ضياعات الحمل والتوصيل، وحماية الغطاء الانتقائي ذي الحساسية العالية.



الشكل (3-1) بنية المركز الشمسي الخطي ذي القطع المكافئ [21]

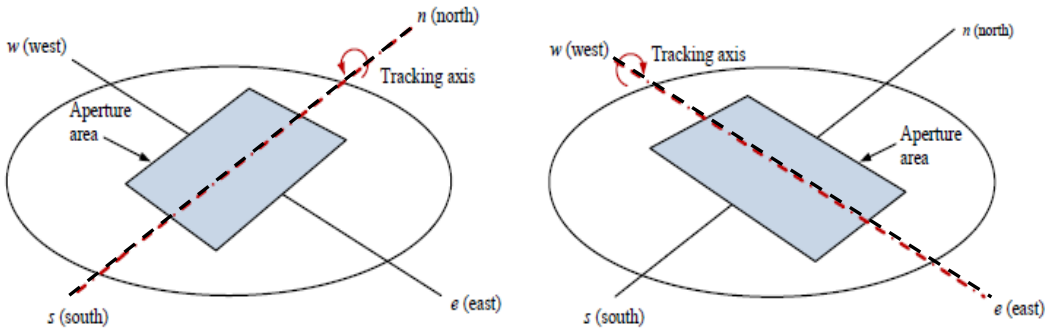
3-2-4 آلية الملاحقة (Tracking System):

يجب تزويد المركز الشمسي بجهاز يسمح له بملاحقة الشمس وفق محور توجيه جغرافي محدد لأجل تحويل الإشعاع الشمسي المباشر من سطح العاكس إلى أنبوب المحرق بشكل كامل.

الهدف من نظام الملاحقة جعل الإشعاع الشمسي الوارد دوماً موازي لمحور المركز، ويجب أن يملك نظام الملاحقة عزم كافي لتعمل المجمعات حتى عند سرعات رياح عالية **[22]**. الشكل (3-2) يبين محوري توجيه المركز الشمسي.

يتم توجيه العواكس بأي اتجاه حسب الحمل المطلوب وقد بينت الدراسات والأبحاث العلمية **[23] ,[7]** أنَّه: عندما يكون محور الملاحقة شمال_ جنوب نحصل على أعلى إنتاج ممكن للطاقة بكل السنة وتصل أعلى كمية طاقة وسطية سنوية من الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي إلى [$kW\text{-}h/(m^2.y)$] 2500. أما عندما يكون محور الملاحقة شرق _ غرب فإن ذلك يخفِّض التأرجحات الموسمية وتكون أعلى كمية طاقة وسطية سنوية من الإشعاع الشمسي الكلي الأفقي [$kW\text{-}h/(m^2.y)$] 2000.

لقد اعتمدنا محور التوجيه: شمال – جنوب حيث أنَّه التوجيه الأمثل من وجهة نظر الطاقة المستخلصة حسب الدراسات والأبحاث **[1] ,[7]**.



الشكل (3-2) نظام الملاحقة في المركز [1]

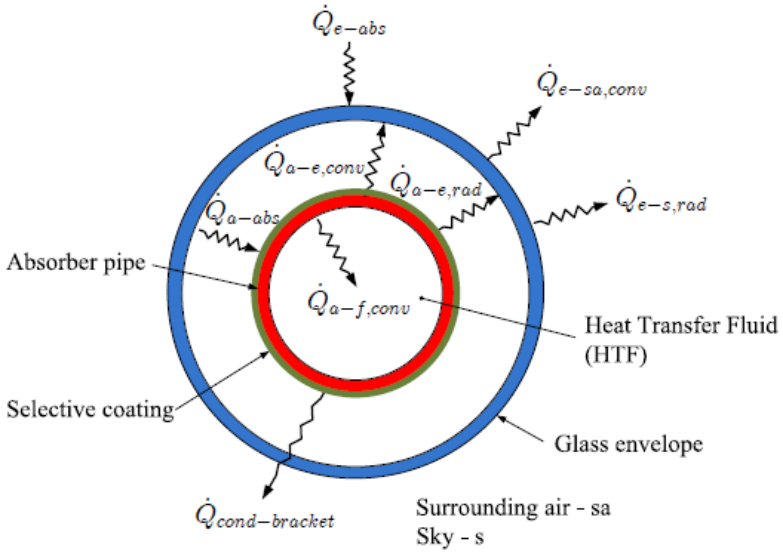
3-3 مائع نقل الحرارة (Heat Transfer Fluid)

يتدفق مائع نقل الحرارة (HTF) خلال الأنبوب الماص ويُسخَّن بالإشعاع الشمسي الممتص ليمر بعدها عبر سلسلة من مبادلات حرارية وينتج بخار محمص عند درجات حرارة عالية. قد يكون المائع زيت صناعي (Synthetic Oil) أو ماء **[9] ,[7] ,[24].**

في التطبيقات ذات درجات الحرارة دون 100 [°C] يعتبر الماء من أفضل الوسائط لأنَّ سعته التخزينية الحجمية هي الأعلى بالإضافة إلى توفره وكلفته المنخفضة **[26] ,[25].**

3-4 آليات انتقال الحرارة

إنَّ قسم من الطاقة الشمسية المنعكسة بالمرايا أو الألمنيوم **[28] ,[27]** ينفذ عبر الغلاف الزجاجي $\dot{Q}_{e-abs}$, والقسم الآخر يمتصه الأنبوب الماص $\dot{Q}_{a-abs}$. جزء من الطاقة المُمتَصة في الأنبوب الماص ينتقل إلى HTF بواسطة الحمل القسري $\dot{Q}_{a-f,conv}$. أما الطاقة المتبقية تنتقل في الاتجاه المعاكس إلى الغلاف الزجاجي بالإشعاع $\dot{Q}_{a-e,rad}$, وبالحمل الطبيعي $\dot{Q}_{a-e,conv}$, وقسم يضيع خلال أساور التثبيت بالتوصيل $\dot{Q}_{cond-bracket}$. الضياع الحراري من الأنبوب الماص (الإشعاع والحمل الطبيعي) يمر عبر الغلاف الزجاجي بالتوصيل, والطاقة المُمتَصة في الغلاف الزجاجي $\dot{Q}_{e-abs}$ تضيع إلى الوسط المحيط بالحمل $\dot{Q}_{e-sa,conv}$, وإلى السماء بالإشعاع $\dot{Q}_{e-s,rad}$. حيث يبين الشكل (3-3) مقطع عرضي في عنصر التقاط الحرارة HCE.

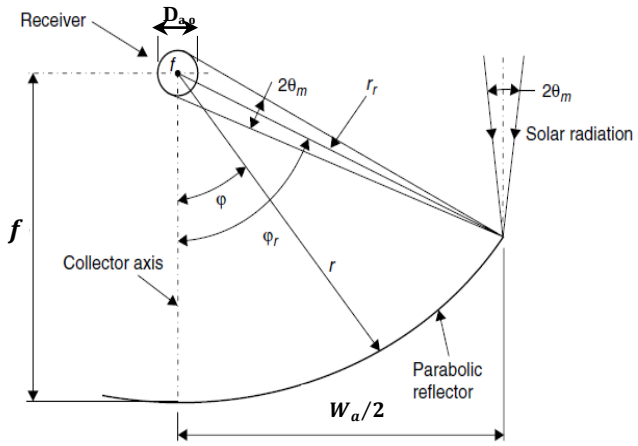


الشكل (3-3) مقطع عرضي في HCE يوضح آليات انتقال الحرارة [1]

3-5 التحليل البصري والهندسي للمركزات ذات القطع المكافئ

يبين الشكل (3-4) مركز شمسي مع مستقبل دائري الذي يبين أهم العوامل التي تُؤخذ بالاعتبار في تقييم أداء المركزات:

3-5-1 زاوية الحافة (Rim Angle): هي الزاوية بين مركز الإشعاع المنعكس من حافة العاكس إلى المحرق ومحور المركز **[4]**، رمزها φ_r ومبينة في الشكل (3-4).



الشكل (3-4) مقطع عرضي للمركز الخطي القطعي مع مستقبل دائري [4]

بالنسبة للعواكس المركبة بشكل عالي الدقة فإنَّ قطر أنبوب المستقبل $D_{a,o}$ التصميمي الذي يضمن استقبال كل الأشعة المنعكسة من العاكس يحسب من العلاقة التالية **[4]**، انظر الشكل (3-4):

$$D_{a,o} = 2r_r \times \sin\theta_m \quad (3-1)$$

حيث θ_m: نصف زاوية القبول بالدرجة (half acceptance angle)

يُعطى نصف قطر العاكس ذي القطع المكافئ **[4]** بالعلاقة:

$$r = \frac{2f}{1+\cos\varphi} \quad (3-2)$$

φ : الزاوية بين محور المركز والإشعاع المنعكس على المحرق، وتتغير من الصفر حتى φ_r.

r تزداد من f حتى r_r. بالتالي يكون عند زاوية الحافة φ_r نصف قطر الحافة مُعطى بالشكل **[4]**:

$$r_r = \frac{2f}{1+\cos\varphi_r} \quad (3-3)$$

بارامتر آخر هام متعلق بزاوية الحافة هو عرض فتحة العاكس W_a **[4]** ويعطى بالعلاقة:

$$W_a = 2r_r \times \sin\varphi_r \quad (3-4)$$

بتعويض r_r بقيمته نحصل على:

$$W_a = \frac{4f\times\sin\varphi_r}{1+\cos\varphi_r} \quad (3-5)$$

$$\sin\varphi = 2\sin\frac{\varphi}{2}\times\cos\frac{\varphi}{2} \quad (3-6)$$

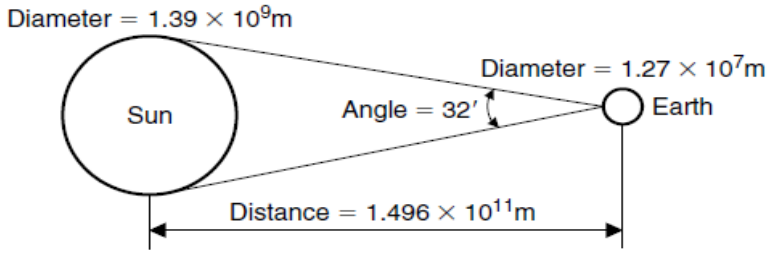
$$\cos^2\frac{\varphi}{2} = \frac{1+\cos\varphi}{2} \quad (3-7)$$

نعوض بالمعادلة (3-5) فنحصل على:

$$W_a = 4f \times \tan\frac{\varphi_r}{2} \quad (3-8)$$

3-5-2 زاوية القبول Acceptance Angle ($2\theta_m$):

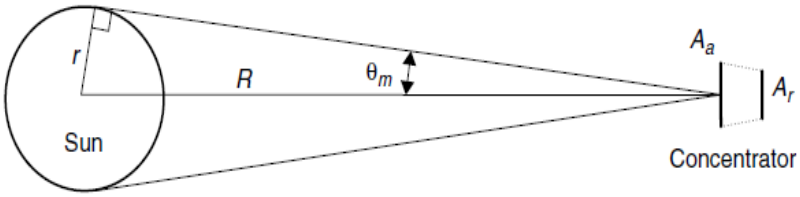
إنَّ الأشعة الشمسية التي تصل الأرض ليست متوازية بشكل تام **[17]** والسبب في ذلك أنَّ المسافة بين الأرض والشمس ليست لانهائية كما أنَّ القطر الكبير نسبياً للشمس لا يجعلها منبعاً نقطياً تماماً.



الشكل (3-5) العلاقة بين الأرض والشمس [4]

يُشكل تفرّق الأشعة الشمسية زاوية قدرها $2\theta_m$ **[4], [17]** وهي الزاوية المحصورة بعين الناظر، تكمن أهمية هذه الزاوية في حساب نسبة التركيز الأعظمية.

يعتمد نصف زاوية القبول على دقة آلية الملاحقة وخشونة سطح العاكس (نسبة تشوهات السطح).



الشكل (3-6) رسم توضيحي للشمس والمركز الشمسي [17]

تعطى نصف زاوية القبول (Acceptance Angle Half) بالعلاقة **[4]:**

$$\sin\theta_m = \frac{r}{R} \qquad (3\text{-}9)$$

$$\theta_m = \sin^{-1}\frac{1.39\times10^9/2}{1.496\times10^{11}} = 0.266^\circ \approx 16` \qquad (3\text{-}10)$$

إذا تم اعتبار كل من الشمس والمستقبل أجسام سوداء عند درجات حرارة T_s ,T_r على التوالي, فتكون الطاقة الحرارية التي تشعها الشمس معطاة بالعلاقة **[4]:**

$$Q_s = (4\pi r^2)\sigma T_s^4 \qquad (3\text{-}11)$$

إنَّ السطح العاكس سيعترض جزءاً من هذا الإشعاع ويعطى هذا الجزء بالنسبة التالية **[4]:**

$$F_{s-r} = \frac{A_a}{4\pi R^2} \qquad (3\text{-}12)$$

بالتالي تكون الطاقة المشعة من الشمس والواصلة إلى المركز معطاة بالعلاقة التالية **[4], [29]:**

$$Q_{s-r} = A_a \frac{4\pi r^2}{4\pi R^2} \sigma T_s^4 = A_a \frac{r^2}{R^2} \sigma T_s^4 \quad (3-13)$$

باعتبار سطح المستقبل جسماً أسوداً فإنَّه سيعطي طاقة حرارية بالإشعاع, فقط جزء من هذا الإشعاع سيصل إلى الشمس ويعطى هذا الجزء بالعلاقة **[29]**:

$$Q_{r-s} = A_r F_{r-s} \sigma T_r^4 \quad (3-14)$$

في هذه الشروط المثالية تكون أعلى درجة حرارة للسطح الماص مساوية لدرجة حرارة الشمس. وتبعاً للقانون الثاني في الترموديناميك يكون هذا صحيحاً فقط عندما:

$$Q_{r-s} = Q_{s-r} \quad (3-15)$$

من المعادلتين السابقتين نحصل على:

$$\frac{A_a}{A_r} = \frac{R^2}{r^2} F_{r-s} \quad (3-16)$$

بما أنَّ أكبر قيمة للمعامل F_{r-s} هي الواحد **[4]** فتكون نسبة التركيز الأعظمية النظرية بالنسبة للمركزات ثلاثية الأبعاد:

$$C_{max} = \frac{1}{\sin^2(\theta_m)} \quad (3-17)$$

وتكون نسبة التركيز الأعظمية النظرية بالنسبة للمركزات الخطية ذات القطع المكافئ **[4]**:

$$C_{max} = \frac{1}{\sin(16)} = 216 \quad (3-18)$$

في عملية تركيز الأشعة الشمسية يمكن الاستفادة فقط من الإشعاع المباشر كونه يصل إلى الأرض دون أن يغير اتجاهه (لايصطدم بأي جزيء هواء خلال مروره) لذلك نحتاج إلى نظام ملاحقة **[30]**.

3-5-3 نسبة التركيز للمركز الشمسي الخطي ذي القطع المكافئ:

تُعطى نسبة التركيز بالعلاقة **[17]**:

$$C = \frac{I_a}{I_{ap}} \quad (3-19)$$

I_a [W/m^2] تدفق الأشعة المباشرة الواردة على كل متر مربع من السطح الماص للأشعة الشمسية.

I_{ap} [W/m^2] تدفق الأشعة المباشرة لكل متر مربع من سطح فتحة العاكس للمركز.

بفرض أنَّ طاقة الأشعة الشمسية تصل للمستقبل دون أي ضياع، هذا يعني أنَّ نسبة التركيز تساوي نسبة مساحة فتحة العاكس إلى مساحة الأنبوب الماص. وهذه النسبة تعرف كما يلي **[17]:**

$$C = \frac{A_r}{A_a} \qquad (3-20)$$

من أجل المستقبل الأنبوبي تعطى نسبة التركيز بالعلاقة:

$$C = \frac{W_a}{\pi D_{a,o}} \qquad (3-21)$$

باستبدال W_a, $D_{a,o}$ بالمعادلات (3−4), (3−1) نحصل على:

$$C = \frac{\sin(\varphi_r)}{\pi \sin(\theta_m)} \qquad (3-22)$$

نسبة التركيز العظمى الحقيقية تكون عندما φ_r = 90 (أفضل وضعية لزاوية الحافة) **[31] ,[4].**

بالتعويض في المعادلة (3−22) نحصل على نسبة التركيز العظمى الحقيقية للمركز الشمسي الخطي ذي القطع المكافئ:

$$C_{\max} = \frac{1}{\pi \sin(\theta_m)} = 67.5 \qquad (3-23)$$

بالنسبة للمركز تفسَّر قيمة نسبة التركيز العالية **[15]** من خلال المعادلة التالية حيث تم اعتبار قطر الأنبوب الماص في حساب مساحته وليس محيطه:

$$C = \frac{A_r}{A_a} = \frac{W_a \times S}{D_{a,o} \times S} = \frac{W_a}{D_{a,o}}$$

S: طول المركز الأساسي.

الفصل الرابع

حساب الإشعاع الشمسي المباشر والحسابات التصميمية للمركز الشمسي

Calculation Beam Irradiance and Design Calculations of the Solar Concentrator

4-1 مقدمة

إنَّ الهدف الأساسي من الحساب التصميمي لمركز شمسي خطي ذي قطع مكافئ هو تحديد الأبعاد التصميمية للمركز التي تعطي أفضل أداء حراري واقتصادي يمكن الحصول عليه عند شروط محددة. لقد تم استنتاج الأبعاد التصميمية للمركز عن طريق دراسة تأثير تغير بارامترات متعددة كالطول والبعد المحرقي على الكفاءة الحرارية للمركز.

4-2 حساب الإشعاع الشمسي المباشر

من أجل حساب الإشعاع الشمسي الكلي الوارد على سطح معين على الأرض يجب تحديد كل من الإشعاع المباشر والمبعثر.

يتم قياس شدة الإشعاع الشمسي المباشر إما من خلال أجهزة القياس أو بناءً على علاقات رياضية وفي هذه الأطروحة تم حساب قيم الإشعاع الشمسي المباشر من ساعة الشروق حتى الغروب وذلك لكافة أيام السنة من المعادلات التالية **[12], [32]:**

$$\frac{P_L}{P_O} = \exp(-0.0001184 * H_{alt}) \qquad (4-1)$$

$\frac{P_L}{P_O}$: نسبة الضغط في الموقع المدروس إلى الضغط الجوي النظامي.

Halt: الارتفاع عن مستوى البحر بالأمتار (ارتفاع مدينة دمشق عن سطح البحر [m] 707) **[33]**.

فيكون: $\boldsymbol{\frac{P_L}{P_O} = 0.92}$

$$A_1 = 1158 * [1 + 0.066 * \cos(360 * N/370)] \qquad (4-2)$$

A_1: قيم كثافة الطاقة الشمسية خارج كوكب الأرض.

N: رقم اليوم في السنة.

$$B = 0.175 * [1 - 0.2 * \cos(0.93 * N)] - 0.0045 * [1 - \cos(1.86 * N)] \quad (4-3)$$

B: معامل امتصاص وتبعثر الأشعة بالغبار **[12], [32]**.

تُحسب زاوية ارتفاع الشمس **[17] ,[4]** من العلاقة:

$$\sin(\alpha) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h) \qquad (4-4)$$

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(284 + N)\right] \qquad (4-5)$$

L: زاوية خط العرض, وقيمتها **[2]** لمدينة دمشق 33.513°.

δ: زاوية الانحراف.

h: الزاوية الساعية ومعادلتها معطاة بالشكل التالي **[17] ,[4]**.

$$h = \pm 0.25(Number\ of\ minutes\ from\ local\ solar\ noon) \qquad (4-6)$$

تُعطى زاوية الورود للسطوح المتحركة ذات محور توجيه (N-S) **[4]** بالشكل:

$$\cos(i) = \cos(\emptyset)\cos(h) + \cos(\delta)\sin^2(h) \qquad (4-7)$$

∅: زاوية السمت، وتُحسب بالمعادلة التالية:

$$\emptyset = 90 - \alpha \qquad (4-8)$$

بما أنَّ الإشعاع الشمسي يجتاز الغلاف الجوي، فإنَّه يُخفَّض بالنسبة إلى طول مساره تبعاً للمعامل B وذلك للحصول على الإشعاع الشمسي الناظمي على سطح الأرض المُعطى بالمعادلة التالية **[12], [32]**:

$$\dot{I}_N = A_1 * exp\left(-\frac{P_L}{P_O} * \frac{B}{\sin(\alpha)}\right) \quad [W/m^2] \qquad (4-9)$$

وبالتالي تم الحصول على الإشعاع الشمسي المباشر من المعادلة **[12], [17]**:

$$\dot{I}_b = \dot{I}_N * \cos(i) \qquad [W/m^2] \qquad (4-10)$$

$\dot{I}_b$: الإشعاع الشمسي المباشر.

يتم عرض نماذج لحساب الإشعاع الشمسي المباشر للأشهر المميزة في السنة (آذار، حزيران، أيلول، كانون الأول).

4-2-1 شهر آذار:

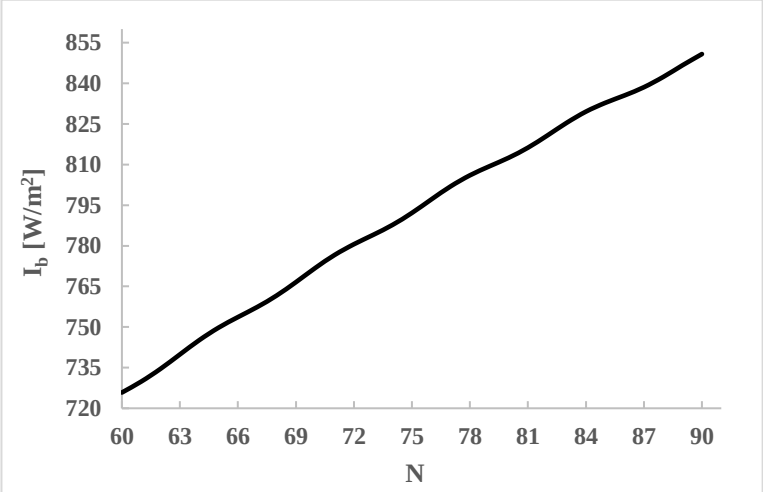
الجدول (4-1) يبين قيم زاوية الانحراف δ, زاوية ارتفاع الشمس α، زاوية الورود i، الإشعاع الشمسي الناظمي $\dot{I}_N$، والإشعاع الشمسي المباشر $\dot{I}_b$ لكل أيام شهر آذار عند الساعة الواحدة بعد الظهر الشمسي $h = 15$ [°].

الجدول (4-1) الإشعاع الشمسي المباشر لكل أيام آذار الساعة الواحدة ظهراً

N	A_1	B	δ [°]	α [°]	i [°]	$\dot{I}_N[W/m^2]$	$\dot{I}_b[W/m^2]$
60	1157.658	0.149	-8.294	45.831	49.388	956.125	726
61	1156.742	0.150	-7.915	46.191	49.766	956.063	730
62	1156.925	0.150	-7.534	46.553	50.146	956.892	735
63	1158.048	0.150	-7.150	46.917	50.529	958.480	740
64	1159.129	0.151	-6.765	47.282	50.913	960.017	745
65	1159.223	0.151	-6.377	47.650	51.300	960.719	750
66	1158.247	0.151	-5.988	48.018	51.688	960.517	754
67	1157.056	0.152	-5.597	48.388	52.079	960.115	757
68	1156.690	0.152	-5.204	48.760	52.471	960.380	762
69	1157.469	0.152	-4.810	49.132	52.864	961.577	767
70	1158.713	0.153	-4.414	49.506	53.259	963.141	772
71	1159.333	0.153	-4.017	49.880	53.655	964.169	777
72	1158.788	0.154	-3.619	50.255	54.052	964.210	781
73	1157.554	0.154	-3.219	50.631	54.451	963.657	784
74	1156.710	0.155	-2.819	51.007	54.850	963.409	788
75	1156.994	0.155	-2.418	51.384	55.250	964.082	792
76	1158.158	0.155	-2.016	51.761	55.651	965.469	797
77	1159.184	0.156	-1.613	52.138	56.052	966.723	802
78	1159.175	0.156	-1.210	52.514	56.454	967.095	806
79	1158.139	0.157	-0.807	52.891	56.856	966.591	809
80	1156.981	0.157	-0.404	53.268	57.258	965.967	812
81	1156.715	0.158	0.000	53.644	57.661	966.067	816
82	1157.572	0.158	0.404	54.020	58.063	967.086	821
83	1158.803	0.159	0.807	54.395	58.466	968.401	825
84	1159.332	0.159	1.210	54.769	58.868	969.110	830
85	1158.697	0.160	1.613	55.143	59.269	968.827	833
86	1157.452	0.160	2.016	55.515	59.670	968.017	836
87	1156.686	0.161	2.418	55.886	60.071	967.588	839
88	1157.069	0.161	2.819	56.256	60.470	968.103	842
89	1158.266	0.162	3.219	56.625	60.869	969.280	847

90	1159.230	0.162	3.619	56.992	61.267	970.246	851

الشكل (4–1) يبين تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام شهر آذار عند الساعة الواحدة بعد الظهر الشمسي.

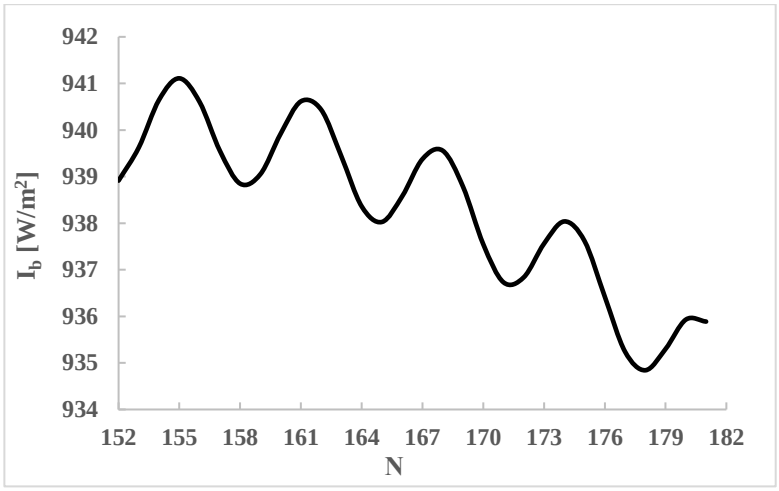


الشكل (4–1) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام آذار عند الساعة الواحدة

نلاحظ من الشكل (4–1) أنَّ الإشعاع الشمسي المباشر يزداد تقريباً بشكل خطي كل يوم عند نفس الوقت بالنسبة لشهر آذار.

4–2–2 شهر حزيران:

الشكل (4–2) يبين تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام حزيران عند الساعة الواحدة بعد الظهر الشمسي.

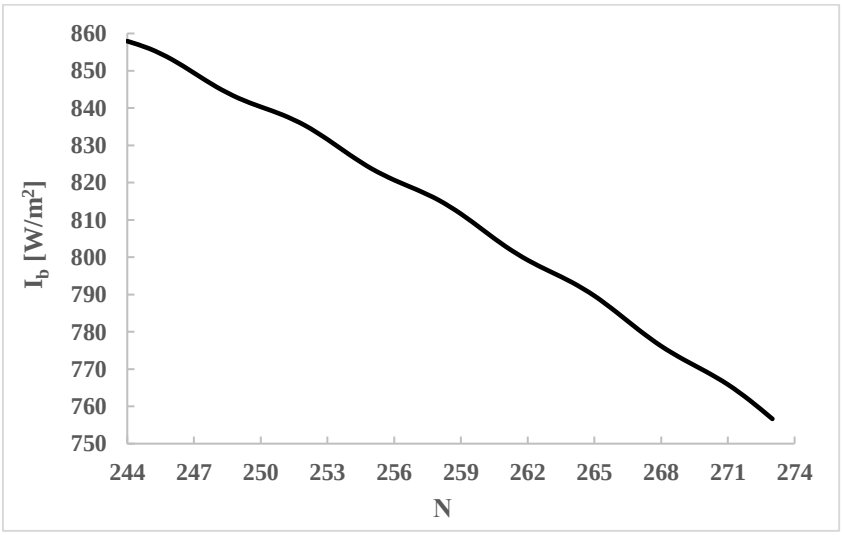


الشكل (4-2) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام حزيران عند الساعة الواحدة

نلاحظ من الشكل (4-2) أنَّ الإشعاع الشمسي المباشر يتأرجح بالانخفاض كل يوم تقريباً خلال نفس الوقت بالنسبة لشهر حزيران.

4-2-3 شهر أيلول:

الشكل (4-3) يبين تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام شهر أيلول عند الساعة الواحدة بعد الظهر الشمسي.

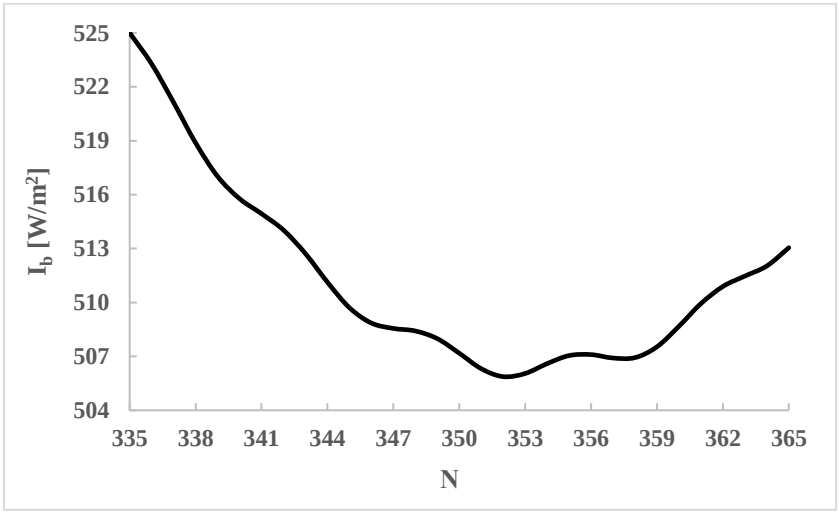


الشكل (4-3) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام أيلول عند الساعة الواحدة

نلاحظ من الشكل (4–3) أنَّ الإشعاع الشمسي المباشر ينخفض تقريباً بشكل خطي كل يوم خلال نفس الوقت بالنسبة لشهر أيلول.

4–2–4 شهر كانون الأول:

الشكل (4–4) يبين تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام شهر كانون الأول عند الساعة الواحدة بعد الظهر الشمسي.



الشكل (4–4) تغير الإشعاع الشمسي المباشر مع كل أيام كانون الأول عند الساعة الواحدة

نلاحظ من الشكل (4–4) أنَّ الإشعاع الشمسي المباشر يتغير كل يوم عند نفس الوقت بالنسبة لشهر كانون الأول.

استناداً لقيم الإشعاع الشمسي المباشر المحسوبة سابقاً لكل ساعات سطوع الشمس في السنة, تم اعتماد القيمة الوسطية للإشعاع الشمسي المباشر على مدار السنة $\dot{I}_{b,ave,y} = 285.99\ [W/m^2]$

4–3 الحسابات التصميمية للمركز الشمسي الخطي القطعي

إنَّ الهدف الأساسي من الحساب التصميمي لمركز شمسي خطي ذي قطع مكافئ هو تحديد الأبعاد التصميمية المُثلى التي تعطي أفضل أداء حراري واقتصادي يمكن الحصول عليه من المركز عند شروط محددة. والنموذج الرياضي التالي هو الذي تمَّ الاستناد عليه في حساب أبعاد المركز.

4-3-1 النموذج الرياضي للمركز الشمسي الخطي القطعي:

4-3-1-1 حساب طول المركز:

يتم حساب طول المركز الشمسي الخطي القطعي من العلاقة التالية **[25]**:

$$S = \frac{H_P}{2}\left[\sec\left(\frac{\varphi_r}{2}\right)\tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) + \ln\left(\sec\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) + \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right)\right)\right] \quad (4\text{-}11)$$

$$H_P = 4f \quad (4\text{-}12)$$

4-3-1-2 حساب عرض المركز:

يتم حساب عرض العاكس من المعادلة التالية **[25]**:

$$W_a = 4f\tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) \quad (4\text{-}13)$$

4-3-1-3 حساب نصف قطر الحافة (Calculating the Rim Radius):

يتم حساب نصف قطر الحافة من المعادلة التالية **[25]**:

$$r_r = \frac{2f}{1+\cos(\varphi_r)} \quad (4\text{-}14)$$

4-3-2 حل النموذج الرياضي للمركز الشمسي الخطي القطعي:

لحساب الأبعاد التصميمية للمركز الشمسي الخطي القطعي تمَّ تحديد قيمة البعد المحرقي وذلك لحل جملة المعادلات السابقة (4-14), (4-13), (4-12), (4-11).

حسب الدراسات والمراجع **[15], [11]** من أجل التطبيقات المنزلية تتراوح قيمة البعد المحرقي ضمن المجال [m] [0.3 – 0.25] لذلك تمَّ حل جملة المعادلات السابقة باعتبار تغير زاوية الحافة لمعرفة تأثير تغيرها على أبعاد المركز وباعتبار:

أولاً: قيمة البعد المحرقي [m] 0.25 تم الحصول على الجدول (4−2).

الجدول (4−2) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$f = 0.25\ [m]$

φ_r [°]	$S\ [m]$	$W_a\ [m]$	$r_r\ [m]$
40	0.37	0.36	0.28
45	0.43	0.41	0.29
50	0.48	0.47	0.30
55	0.54	0.52	0.32
60	0.61	0.58	0.33
65	0.68	0.64	0.35
70	0.75	0.70	0.37
75	0.84	0.77	0.40
80	0.93	0.84	0.43
85	1.03	0.92	0.46
90	1.15	1.00	0.50

ثانياً: قيمة البعد المحرقي [m] 0.26 تم الحصول على الجدول (4−3).

الجدول (4−3) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$f = 0.26\ [m]$

φ_r [°]	$S\ [m]$	$W_a\ [m]$	$r_r\ [m]$
40	0.39	0.38	0.29
45	0.44	0.43	0.30
50	0.50	0.48	0.32
55	0.56	0.54	0.33
60	0.63	0.60	0.35
65	0.70	0.66	0.37
70	0.78	0.73	0.39
75	0.87	0.80	0.41
80	0.97	0.87	0.44
85	1.07	0.95	0.48
90	1.19	1.04	0.52

ثالثاً: قيمة البعد المحرقي [m] 0.27 تم الحصول على الجدول (4−4).

الجدول (4-4) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$$f = 0.27\ [m]$$

φ_r [°]	$S\ [m]$	$W_a\ [m]$	$r_r\ [m]$
40	0.40	0.39	0.31
45	0.46	0.45	0.32
50	0.52	0.50	0.33
55	0.59	0.56	0.34
60	0.66	0.62	0.36
65	0.73	0.69	0.38
70	0.81	0.76	0.40
75	0.90	0.83	0.43
80	1.00	0.91	0.46
85	1.11	0.99	0.50
90	1.24	1.08	0.54

رابعاً: قيمة البعد المحرقي [m] 0.28 تم الحصول على الجدول (4-5).

الجدول (4-5) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$$f = 0.28\ [m]$$

φ_r [°]	$S\ [m]$	$W_a\ [m]$	$r_r\ [m]$
40	0.42	0.41	0.32
45	0.48	0.46	0.33
50	0.54	0.52	0.34
55	0.61	0.58	0.36
60	0.68	0.65	0.37
65	0.76	0.71	0.39
70	0.84	0.78	0.42
75	0.94	0.86	0.44
80	1.04	0.94	0.48
85	1.16	1.03	0.52
90	1.29	1.12	0.56

خامساً: قيمة البعد المحرقي [m] 0.29 تم الحصول على الجدول (4-6).

الجدول (4−6) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$$f = 0.29\ [m]$$

φ_r [°]	$S\ [m]$	$W_a\ [m]$	$r_r\ [m]$
40	0.43	0.42	0.33
45	0.49	0.48	0.34
50	0.56	0.54	0.35
55	0.63	0.60	0.37
60	0.71	0.67	0.39
65	0.79	0.74	0.41
70	0.87	0.81	0.43
75	0.97	0.89	0.46
80	1.08	0.97	0.49
85	1.20	1.06	0.53
90	1.33	1.16	0.58

<u>سادساً</u>: قيمة البعد المحرقي [m] 0.3 تم الحصول على الجدول (4−7).

الجدول (4−7) قيم أبعاد المركز مع تغير زاوية الحافة عند

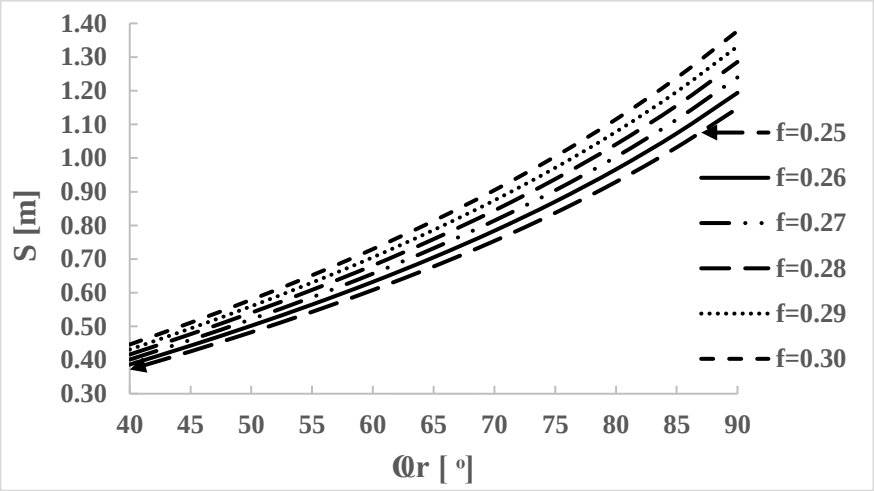
$$f = 0.3\ [m]$$

φ_r [°]	$S\ [m]$	$W_a\ [m]$	$r_r\ [m]$
40	0.45	0.44	0.34
45	0.51	0.50	0.35
50	0.58	0.56	0.37
55	0.65	0.62	0.38
60	0.73	0.69	0.40
65	0.81	0.76	0.42
70	0.90	0.84	0.45
75	1.00	0.92	0.48
80	1.11	1.01	0.51
85	1.24	1.10	0.55
90	1.38	1.20	0.60

نلاحظ من الجداول السابقة أنَّ:

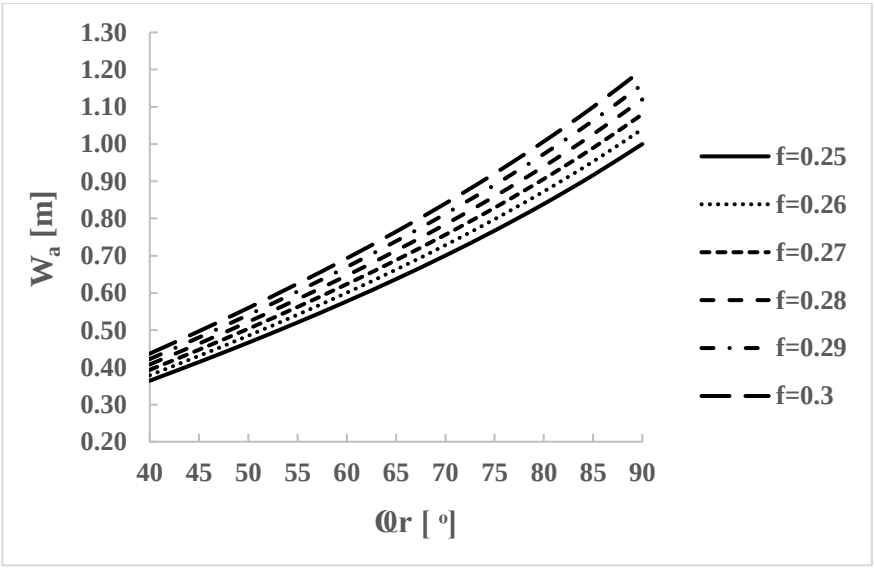
- أبعاد المركز تزداد كلما زادت زاوية الحافة حتى يكون أكبر طول وعرض ونصف قطر حافة للمركز يتم الحصول عليه عند أعظم قيمة لزاوية الحافة وهي 90^{o}.

- زيادة قيم البعد المحرقي تؤدي إلى زيادة طول المركز بشكل طفيف كما هو مبين في الشكل (4-5).



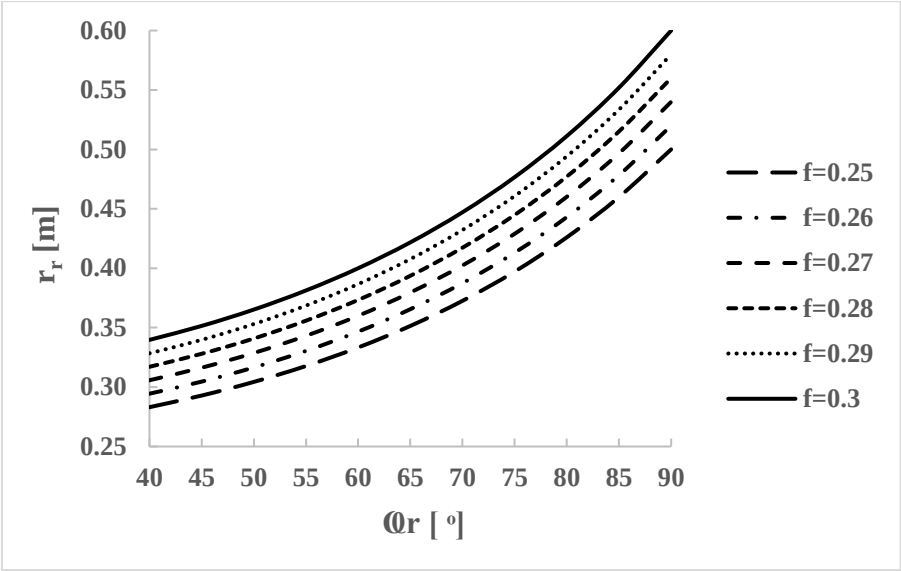
الشكل (4-5) تأثير تغير البعد المحرقي على طول المركز بتغير زاوية الحافة

- زيادة قيم البعد المحرقي تؤدي إلى زيادة عرض المركز بشكل طفيف كما هو مبين في الشكل (4-6).



الشكل (4-6) تأثير تغير البعد المحرقي على عرض المركز بتغير زاوية الحافة

- زيادة قيم البعد المحرقي تؤدي إلى زيادة نصف قطر حافة المركز بشكل طفيف كما هو مبين في الشكل (4-7).



الشكل (4-7) تأثير تغير البعد المحرقي على نصف قطر حافة المركز بتغير زاوية الحافة

4-4 تأثير تغير الكفاءة الحرارية للمركز الخطي القطعي بتغير زاوية الحافة

لأجل تحديد زاوية الحافة التي يكون عندها أبعاد المركز مُثلى تم دراسة علاقة الكفاءة الحرارية للمركز مع تغير زاوية الحافة.

تعُطَى معادلة الكفاءة الحرارية للمركز **[4], [17], [34]** بالشكل التالي:

$$\eta_{th} = F_R\eta_o - \left[F_R U_L\left(T_{f,i} - T_a\right)/\left(C\dot{I}_b\right)\right] \qquad (4\text{-}15)$$

η_o: الكفاءة البصرية للمركز ومعادلتها تُعطى بالشكل التالي **[4]**:

$$\eta_o = \gamma * \rho_r * \tau_c * \alpha_a \qquad (4\text{-}16)$$

ملاحظة: تم اعتماد نموذج المركز المُراد تصنيعه في هذا البحث فقط بمستقبل (دون إحاطته بغلاف زجاجي أي $\tau_c = 1$)، والسبب في ذلك أنَّه سيتم اختبار هذا النموذج من أجل التطبيقات المنزلية أي التي لا تحتاج لدرجات حرارة عالية جداً **[25]**.

γ : معامل دقة التصنيع وقيمته 0.95 من أجل زاوية حافة 90^{o} **[35]**.

ρ_r: انعكاسية العاكس المصنوع من الألمنيوم, قيمتها 0.86 **[35]** ,**[8]**.

α_a: امتصاصية المستقبل (نحاس), قيمتها 0.95 **[36]** ,**[10]**.

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (4-16) نحصل على $\eta_o = 0.78$.

$T_{f,i}$: درجة حرارة دخول مائع نقل الحرارة (الماء) إلى المركز, تم أخذ قيمة لدرجة الحرارة عند شهر من كل فصل في السنة حسب أطلس درجات الحرارة **[37]** لمدينة دمشق ومن ثمَّ اعتبار القيمة الوسطية لهذه الدرجات ([°C] 18.09).

T_a: درجة حرارة الوسط المحيط, تم حساب متوسط درجة حرارة الهواء المحيط **[37]** لكافة أيام السنة وقيمتها [°C] 15.

$\dot{I}_b$: شدة الإشعاع الشمسي المباشر، تم اعتماد القيمة الوسطية للإشعاع الشمسي المباشر على مدار السنة وقيمتها: $\dot{I}_{b,ave,y} = 285.99\ [W/m^2]$

C: نسبة التركيز وهي نسبة مساحة فتحة العاكس إلى مساحة المستقبل (الأنبوب الماص) **[4]** ,**[17]**. وتعرَّف:

$$C = \frac{A_r}{A_{a,o}} = \frac{W_a}{\pi D_{a,o}} \qquad (4\text{-}17)$$

$D_{a,o}$: القطر الخارجي للمستقبل وقيمته [cm] 2 حسب السوق المحلية.

A_r: مساحة العاكس.

U_L: معامل انتقال الحرارة الكلي ويُحسب بالعلاقة التالية **[4]**:

$$U_L = h_w + h_{r,r-a} \qquad (4\text{-}18)$$

h_w : معامل انتقال الحرارة بالحمل بين المستقبل والهواء المحيط بسبب الرياح. يحسب من علاقة نوسلت **[4]** المعطاة بالشكل التالي:

$$Nu_a = \frac{h_w \times D_{a,o}}{\lambda_a} \qquad (4\text{-}19)$$

$$h_w = \frac{Nu_a \times \lambda_a}{D_{a,o}} \qquad (4\text{-}20)$$

λ_a: الموصلية الحرارية للهواء، تم اعتماد المواصفات الحرارية للهواء عند درجة حرارة وسطية بين سطح المستقبل والهواء المحيط. باعتبار درجة حرارة سطح المستقبل [˚C] 60 **[38]**, وقد تم حساب متوسط درجة حرارة الهواء المحيط على مدار السنة [˚C] 15, بالتالي تكون المواصفات الحرارية للهواء عند درجة الحرارة الوسطية [˚C] 37.5 هي **[39]**:

$$v_a = 0.00001702\ [m^2/s], \qquad \lambda_a = 0.02662\ [W/m°C]$$

من أجل حساب عدد نوسلت يجب حساب رينولدز لمعرفة نوع الجريان. علاقة رينولدز تعطى بالشكل التالي **[4]**:

$$Re_a = \frac{v_a \times D_{a,o}}{v_a} \qquad (4-21)$$

v_a: سرعة الهواء, تم اعتماد القيمة 2 [m/s] **[2]**.

بتعويض القيم السابقة في العلاقة (4-21) نحصل على: $Re_a = 2350.176$, هذا يعني أنَّ الجريان مضطرب وتكون علاقة نوسلت **[4]** من أجل $1000 < Re_a < 50000$ بالشكل:

$$Nu_a = 0.3 {Re_a}^{0.6} \qquad (4-22)$$

بتعويض قيمة رينولدز بالعلاقة (4-22) يكون $Nu_a = 30.97$, وبالتعويض في المعادلة (4-20) يكون:

$$h_w = 41.23\ [W/m^2°C]$$

$h_{r,r-a}$: معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين المستقبل والهواء المحيط, يحسب من العلاقة **[4]**:

$$h_{r,r-a} = 4\sigma\varepsilon T_r^3 \qquad (4-23)$$

σ: ثابت ستيفان بولتسمان **[4], [17]** قيمته $5.67*10^{-8}$ [W/m^2.K^4]

ε_r: انبعاثية المستقبل, قيمته 0.2 **[40]**.

T_r: درجة حرارة سطح المستقبل, لقد تم اعتبارها 60 [˚C].

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (4-23) يتم الحصول على:

$$h_{r,r-a} = 1.67\ [W/m^2°C]$$

وبتعويض كل من قيمة $h_{r,r-a}$, h_w في المعادلة (4-18) يتم الحصول على:

$$\boldsymbol{U_L = 42.9\ [W/m^2°C]}$$

F_R: معامل إزالة الحرارة, التفسير الفيزيائي له أنَّه يُمثِل نسبة الطاقة الحرارية المفيدة الحقيقية إلى الطاقة المفيدة التي يتم الحصول عليها في حال كانت درجة حرارة الأنبوب الماص هي نفسها درجة حرارة المائع المتدفق عند مدخل الأنبوب الماص, وقيمته دائماً أصغر من الواحد، يُعرَف بالعلاقة **[17] ,[4]:**

$$F_R = \frac{\dot{m}C_P}{A_{a,i}U_L}\left[1 - \exp^{\left(-\frac{A_{a,i}U_L\acute{F}}{\dot{m}C_P}\right)}\right] \qquad (4-24)$$

يتأثر عامل إزالة الحرارة بالعوامل التالية:

1. خصائص المركز الشمسي (التصميم والتصنيع الحراري والبصري).
2. نوع مائع نقل الحرارة (ماء– زيت) وخصائصه الحرارية والفيزيائية.
3. التدفق الكتلي لمائع نقل الحرارة.

$\dot{m}$: معدل التدفق الكتلي لمائع نقل الحرارة والذي يمكن تغييره والتحكم فيه حسب التطبيق المطلوب من المركز.

بعد تجريب عدة قيم للتدفق واختبار الجهاز تم اعتماد قيمة التدفق التجريبية في هذه الدراسة $9\ [L/min] = 0.147\ [kg/s]$ وذلك لأجل التطبيقات المنزلية.

فتكون السرعة حسب معادلة الاستمرار معطاة بالشكل التالي **[4]:**

$$v_w = \frac{\rho_w * A_{a,i}}{\dot{m}} \qquad (4-25)$$

$A_{a,i}$: مساحة المقطع الداخلي للمستقبل، وتُعطى معادلته **[4]** بالشكل التالي:

$$A_{a,i} = \frac{\pi * {D_{a,i}}^2}{4} \qquad (4-26)$$

$D_{a,i}$: القطر الداخلي للمستقبل.

بالتعويض في المعادلة (4–26) تم الحصول على: $A_{a,i} = 0.0003\ [m^2]$

ρ_w: كثافة المائع.

يتم اعتماد المواصفات الحرارية للمائع عند درجة الحرارة الوسطية بين المائع وسطح المستقبل.

بفرض درجة حرارة المائع [˚C] 50، ولدينا درجة حرارة سطح المستقبل [˚C] 60، عندها تكون المواصفات الحرارية للمائع عند درجة الحرارة [˚C] 55 هي **[39]**:

$\rho_w = 985.2\ [\mathrm{kg}/m^3]$, $c_p = 4183\ [\mathrm{J/kg°C}]$

$\mu_w = 0.000504\ [\mathrm{kg/m.s}]$, $Pr_w = 3.25$

$$\lambda_w = 0.649\ [W/m°\mathrm{C}]$$

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (4−25) نحصل على: $\boldsymbol{v_w = 0.58\ [m/s]}$

$\acute{F}$: معامل كفاءة المركز، التفسير الفيزيائي له أنَّه عند موقع محدد للجريان يُمثل نسبة الطاقة الحرارية المفيدة الحقيقية إلى الطاقة الحرارية التي سيتم الحصول عليها في حال كانت درجة حرارة الأنبوب الماص هي نفسها درجة حرارة المائع المتدفق عند نفس الموقع، وكلما زادت قيمة F_R زادت قيمة $\acute{F}$ وتُعطى معادلته بالشكل التالي **[4]**:

$$\acute{F} = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L}+\frac{D_{a,o}}{h_{f,i}D_{a,i}}+\left(\frac{D_{a,o}}{2k}ln\frac{D_{a,o}}{D_{a,i}}\right)} \qquad (4-27)$$

k: الموصلية الحرارية للمستقبل المُفتَرض أنَّه مصنوع من الستانلس ستيل، قيمتها حسب المراجع **[40]** $302\ [W/m°\mathrm{C}]$.

$h_{f,i}$: معامل انتقال الحرارة بالحمل بين المائع وجدار المستقبل، ويحسب بالشكل التالي:

نحسب عدد رينولدز للمائع من العلاقة التالية **[4]**:

$$Re_w = \frac{v_w \times D_{a,i} \times \rho_w}{\mu_w} \qquad (4-28)$$

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (4−28) نحصل على: $Re_w = 20582.67$

بما أنَّ: $Re_w > 2300$ فإنَّ معادلة نوسلت تُعطى بالشكل **[4]**:

$$Nu_w = 0.023(Re_w)^{0.8}(Pr_w)^{0.4} \qquad (4-29)$$

بالتعويض في المعادلة (4−29) نحصل على: $Nu_w = 104.060$, وبالتعويض في المعادلة التالية:

$$h_{f,i} = \frac{Nu_w * \lambda_w}{D_{a,i}} \quad (4-30)$$

نحصل على قيمة: $h_{f,i} = 3751.93\ [W/m^2°C]$

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (4-27) نحصل على: $\acute{F} = \mathbf{0.9873}$ وبالتعويض في المعادلة (4-24) نحصل على: $\mathbf{F_R = 0.9866}$

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (4-15) مع الأخذ بالاعتبار تغير زاوية الحافة لمعرفة تأثير تغيرها على كفاءة المركز الحرارية وباعتبار:

أولاً: $f = 0.25\ [m]$ تم الحصول على الجدول (4-8).

الجدول (4-8) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند $f = 0.25\ [m]$

φ_r [°]	W_a	C	η_{th}
40	0.36	5.79	0.6908
45	0.41	6.59	0.7003
50	0.47	7.42	0.7081
55	0.52	8.29	0.7145
60	0.58	9.19	0.7199
65	0.64	10.14	0.7246
70	0.70	11.14	0.7287
75	0.77	12.21	0.7323
80	0.84	13.35	0.7355
85	0.92	14.58	0.7384
90	1.00	15.92	0.7410

ثانياً: $f = 0.26\ [m]$ تم الحصول على الجدول (4-9).

الجدول (4−9) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$$f = 0.26\ [m]$$

φ_r [°]	W_a	C	η_{th}
40	0.38	6.02	0.6938
45	0.43	6.86	0.7030
50	0.48	7.72	0.7105
55	0.54	8.62	0.7166
60	0.60	9.56	0.7219
65	0.66	10.54	0.7263
70	0.73	11.59	0.7303
75	0.80	12.70	0.7337
80	0.87	13.89	0.7368
85	0.95	15.17	0.7396
90	1.04	16.55	0.7421

ثالثاً: $f = 0.27\ [m]$ تم الحصول على الجدول (4−10).

الجدول (4−10) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$$f = 0.27\ [m]$$

φ_r [°]	W_a	C	η_{th}
40	0.39	6.26	0.6966
45	0.45	7.12	0.7055
50	0.50	8.02	0.7127
55	0.56	8.95	0.7186
60	0.62	9.92	0.7236
65	0.69	10.95	0.7280
70	0.76	12.04	0.7317
75	0.83	13.19	0.7350
80	0.91	14.42	0.7380
85	0.99	15.75	0.7407
90	1.08	17.19	0.7431

رابعاً: $f = 0.28\ [m]$ تم الحصول على الجدول (4−11).

الجدول (4−11) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$f = 0.28\ [m]$

φ_r [°]	W_a	C	η_{th}
40	0.41	6.49	0.6992
45	0.46	7.38	0.7078
50	0.52	8.31	0.7147
55	0.58	9.28	0.7204
60	0.65	10.29	0.7253
65	0.71	11.36	0.7294
70	0.78	12.48	0.7331
75	0.86	13.68	0.7363
80	0.94	14.96	0.7391
85	1.03	16.33	0.7417
90	1.12	17.83	0.7441

خامساً: $f = 0.29\ [m]$ تم الحصول على الجدول (4−12).

الجدول (4−12) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$f = 0.29\ [m]$

φ_r [°]	W_a	C	η_{th}
40	0.42	6.72	0.7016
45	0.48	7.65	0.7099
50	0.54	8.61	0.7166
55	0.60	9.61	0.7221
60	0.67	10.66	0.7268
65	0.74	11.76	0.7308
70	0.81	12.93	0.7343
75	0.89	14.17	0.7374
80	0.97	15.49	0.7402
85	1.06	16.92	0.7427
90	1.16	18.46	0.7449

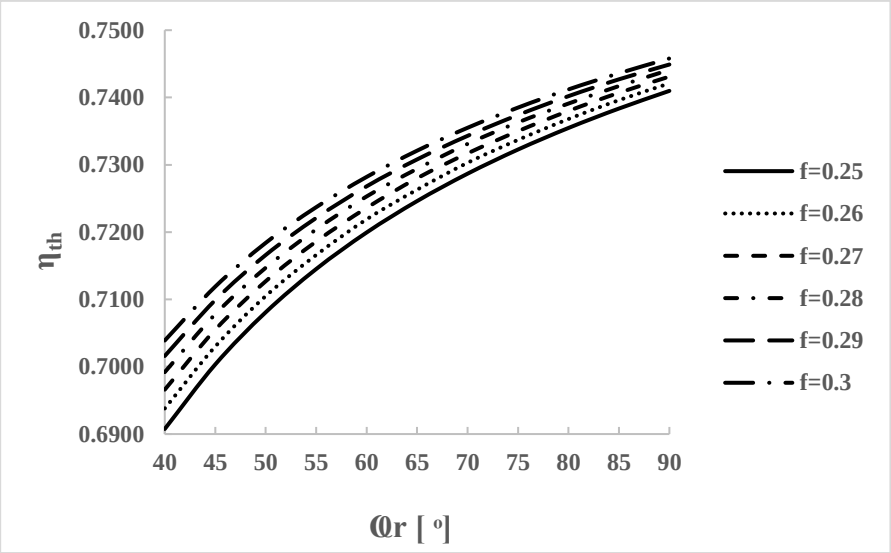
سادساً: $f = 0.3\ [m]$ تم الحصول على الجدول (4−13).

الجدول (4−13) تغير كفاءة المركز مع تغير زاوية الحافة عند

$$f = 0.3\ [m]$$

φ_r [°]	W_a	C	η_{th}
40	0.44	6.95	0.7039
45	0.50	7.91	0.7119
50	0.56	8.91	0.7184
55	0.62	9.94	0.7237
60	0.69	11.03	0.7282
65	0.76	12.17	0.7321
70	0.84	13.37	0.7355
75	0.92	14.65	0.7385
80	1.01	16.03	0.7412
85	1.10	17.50	0.7436
90	1.20	19.10	0.7458

نستنتج من الجداول السابقة أنَّ زيادة زاوية الحافة تؤدي إلى زيادة أبعاد المركز وبالتالي زيادة الكفاءة الحرارية له، وتكون أعلى كفاءة للمركز عند أكبر قيمة لزاوية الحافة $(\varphi_r = 90°)$ كما يظهر في الشكل (4−8).



الشكل (4−8) تأثير تغير البعد المحرقي على الكفاءة الحرارية للمركز بتغير زاوية الحافة

نستنتج من الشكل (4−8) أنَّ زيادة قيم البعد المحرقي تؤدي إلى زيادة الكفاءة الحرارية للمركز بشكل طفيف وذلك بازدياد قيمة زاوية الحافة.

4-5 نتائج

بإنجاز كافة الحسابات لتحديد موقع الشمس من خلال حل معادلات الزوايا الشمسية في كل ساعات السطوع الشمسي بالإضافة للحساب التفصيلي لشدة الإشعاع الشمسي المباشر على مدار السنة ووضع النموذج الرياضي للمركز وحله ومن ثم حساب الكفاءة الحرارية له عند قيم مختلفة للبعد المحرقي وقيم مختلفة لزاوية الحافة تمَّ استنتاج أنَّ:

1. الإشعاع الشمسي المباشر يزداد تقريباً بشكل خطي كل يوم عند نفس الوقت بالنسبة لشهر آذار.
2. الإشعاع الشمسي المباشر يتأرجح كل يوم خلال نفس الوقت بالنسبة لشهر حزيران.
3. الإشعاع الشمسي المباشر ينخفض تقريباً بشكل خطي كل يوم خلال نفس الوقت بالنسبة لشهر أيلول.
4. الإشعاع الشمسي المباشر يتغير كل يوم عند نفس الوقت بالنسبة لشهر كانون الأول.
5. الأبعاد المثلى لتصنيع نموذج لمركز شمسي خطي قطعي وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق:

$\dot{I}_{b,ave,y} = 285.99\ [W/m^2]$ $\quad v_a = 2\ [m/s]$

$T_{a,ave,y} = 15\ [°C],$ $\quad H_{alt} = 707\ [m]$

تكون عند أعظم قيمة لزاوية الحافة ($90°$) والبارامترات التصميمية المُثلى هي:

$S\ [m]$	$W_a [m]$	$r_r [m]$
1,15	1	0.5

عند بعد محرقي $f = 0.25\ [m]$, وقطر خارجي للمستقبل $D_{a,o} = 2\ [cm]$

6. تم اختيار $f = 0.25\ [m]$ عند تصميم نموذج مركز شمسي خطي قطعي لأنَّ زيادة قيم البعد المحرقي تؤدي إلى زيادة أبعاد المركز وبالتالي زيادة الكفاءة الحرارية له بشكل طفيف، لكن زيادة الأبعاد للمركز تؤدي إلى زيادة الكلفة الاقتصادية له بشكل كبير **[16]**.

الفصل الخامس

تصنيع المركز الشمسي

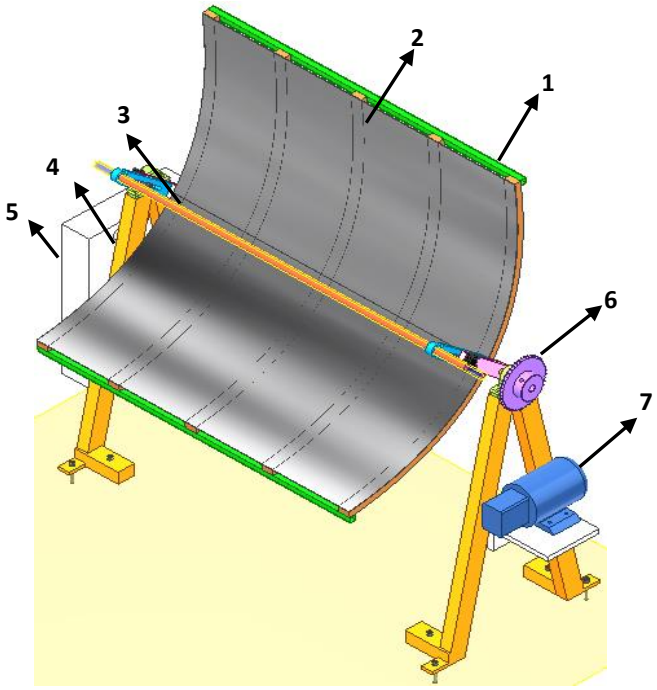
Manufacturing of the Solar Concentrator

5-1 مقدمة

قبل الشروع في تنفيذ الجزء العملي المرتبط بالأطروحة تمَّ وضع المخططات الهندسية اللازمة لتصميم وتصنيع المركز الشمسي حيث أُستخدِمت إحدى برامج التصميم بمساعدة الحاسب في رسم ونمذجة القطع المكونة للمركز وعُدِلت المخططات الهندسية مراراً مع تقدم العمل في المشروع لأسباب تتعلق بأبعاد القطع المتواجدة في السوق المحلية وتداركاً للعيوب التصنيعية التي ظهرت خلال العمل ونبين هنا مراحل التصنيع انطلاقاً من المخطط الهندسي الأول.

5-2 بنية المركز الشمسي الخطي القطعي

وُضِع المخطط الهندسي التالي للمركز الشمسي وهو مكون من قواعد جانبية ومحور دوران وهيكل دعم اللوح العاكس وهي المكونات الاساسية للجهاز:



الشكل (5-1) الهيكل العام للمركز الشمسي [41]

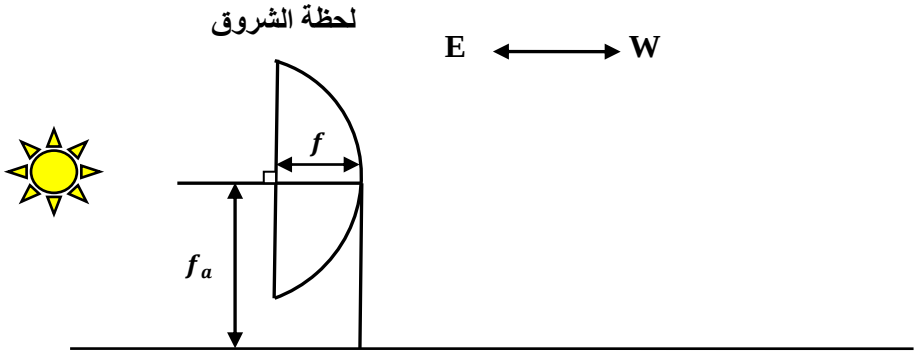
يبين الشكل (5-1) مكونات المركز الشمسي التالية:

1. البنية المعدنية الداعمة للعاكس، 2. اللوح العاكس، 3. الأنبوب الماص (المستقبل)، 4. الدعامات الجانبية لتثبيت الجهاز بالأرض، 5. لوحة التحكم، 6. مسنن الجنزير المقاد، 7. المحرك الكهربائي.

5-3 مراحل التصنيع

انطلاقاً من الحسابات النظرية التصميمية للمركز حُدِدت أبعاد اللوح العاكس وحسب المواد والأبعاد المتوفرة في السوق المحلية تم تحديد مادة المستقبل وقطره وبالتالي تم البدء في تصميم وتصنيع الجهاز، حيث كانت أول مرحلة للتصنيع هي تحديد ارتفاع الهيكل الداعم للصفيحة العاكسة عن الأرض f_a.

f_a: البعد الشاقولي بين مفصل دوران المركز والمستوي الأفقي للأرض كما يظهر في الشكل (5-2).



الشكل (5-2) المركز الشمسي عند لحظة الشروق

تُعطى قيمة البعد f_a بالعلاقة التالية:

$$f_a = \frac{W_a}{2} + 0.25 \qquad (5-1)$$

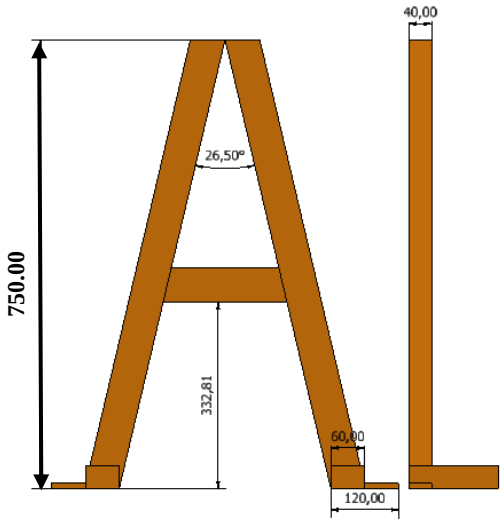
W_a: عرض الصفيحة العاكسة والقيمة التي تم حسابها وفقاً لحل النموذج الرياضي للمركز هي [m] 1.

تم افتراض قيمة [m] 0.25 للارتفاع f_a حتى لايصطدم المركز بالأرض أثناء دورانه لملاحقة الشمس.

5-3-1 اختيار القواعد الجانبية والهيكل الداعم للعاكس

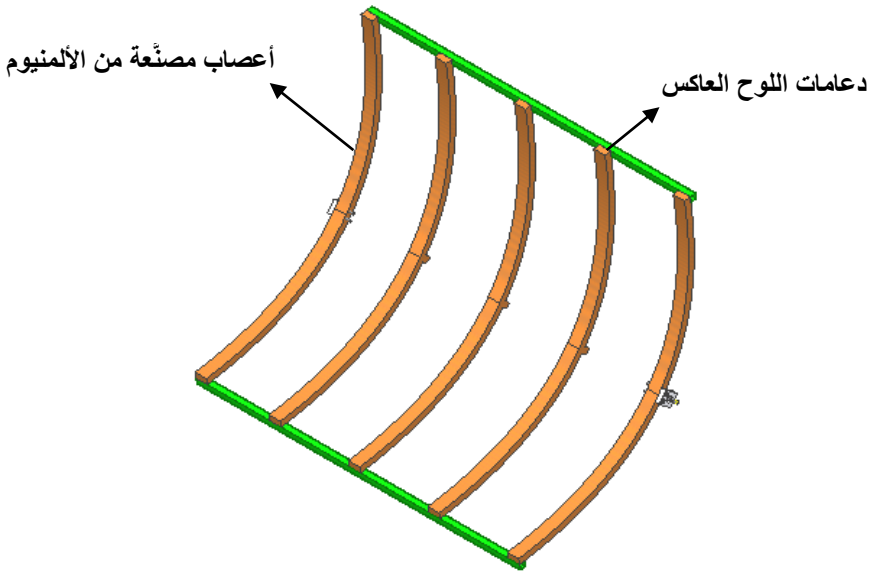
بعد تحديد ارتفاع العاكس عن الأرض تمَّ تصميم القواعد الجانبية لنظام المركز حيث تم تفصيلها من مقاطع حديدية ذات أبعاد 60mm x 40mm وتم تجميعها باللحام كما هو مبين في الشكل (5-3).

وظيفة هذه القاعدة حمل المحرك وتثبيت الهيكل بالأرض بالإضافة إلى تأمين مرتكز لدوران الهيكل الداعم للوح العاكس.



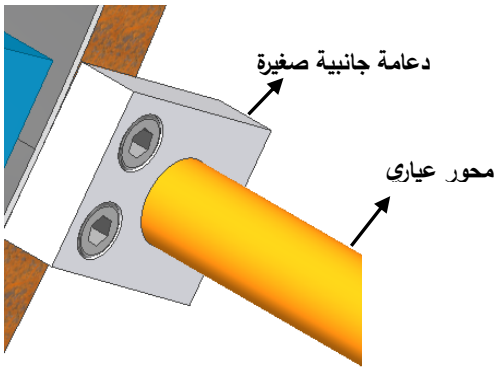
الشكل (5-3) مخطط القاعدة الجانبية التي تثبت الجهاز

بعد الانتهاء من تفصيل القواعد الجانبية بدأت عملية تفصيل دعامات اللوح العاكس حيث تم اختيار تصميم يسمح بتحقيق أبعاد المركز المحسوب نظرياً ويؤمن حماية اللوح العاكس من العوامل الجوية كالرياح والصدمات بالإضافة إلى إمكانية تثبيته ومعايرته على محور الدوران ويبين الشكل (5-4) هذه الدعامات حيث تتكون من مجموعة من الأعصاب (عدد 5) المُصنَّعة من الألمنيوم بالتطعيج المبرمج لخفة الوزن وتقليل الإجهادات على المحرك الكهربائي بالإضافة إلى دعامتين أفقيتين مهمتهما تثبيت الأعصاب وضبط المسافات بينها.



الشكل (5-4) مخطط الهيكل الداعم للوح العاكس

ثمَّ تم تصنيع دعامتين جانبيتين صغيرتين بهدف تثبيت المحور العياري (محور الدوران) مع الهيكل المعدني الداعم للعاكس كما هو موضح في الشكل (5-5). تم اختيار المحور بقطر [mm] 20 حسب الأقطار المتوفرة في السوق المحلية. تمت عملية موازنة المحور في مركز اللوح العاكس من الطرفين وتمت عملية الربط والموازنة مع القواعد الجانبية.



الشكل (5-5) التثبيت الميكانيكي للمحور مع الهيكل الداعم للوح العاكس عن طريق دعامة [42]

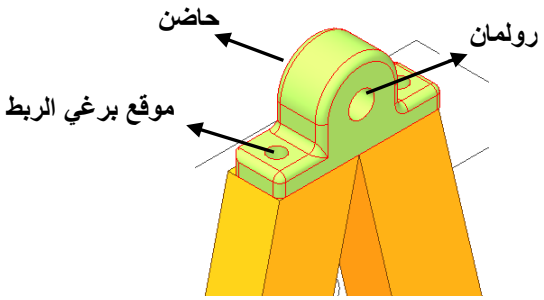
يبين الشكل (5-6) نتيجة موازنة الهيكل الداعم على محور الدوران وبقاءه ثابتاً خلال الاختبار الأمر الذي يدل على نجاح عملية الموازنة.



الشكل (5-6) موازنة الهيكل الداعم على محور الدوران

بعد ذلك تم اختيار محامل تدحرجية (رولمانات) مناسبة لوزن العاكس وظيفتها تثبيت محور الدوران، وتسمح ببعض الانحراف الزاوي الممكن أن يظهر خلال التجميع.

تم اعتماد المحامل بقطر داخلي [mm] 20 ووضعت ضمن حواضن تسمح ببعض التحرك الزاوي الناجم عن أخطاء التصنيع. تم تثبيت هذه الحواضن على السطح العلوي للقواعد الجانبية من خلال براغي الربط كما هو مبين في الشكل (5-7).



الشكل (5-7) المحامل التدحرجية ضمن الحاضن [42]

أخيراً تم تجميع المكونات السابقة معاً وأُختبِر الهيكل من ناحية التوازن والأداء الوظيفي الأساسي، حيث تم معايرة الحركة والتأكد من عدم وجود ميلان أو أخطاء في عملية الدوران.

وخلال هذه المرحلة تم إزالة الأخطاء قدر الإمكان وإضافة باقي مكونات النظام الشمسي كما هو موضح في الشكل (5-8).



الشكل (5-8) وضع الهيكل الداعم على محور الدوران وربط المحامل التدحرجية مع الدعامات الجانبية

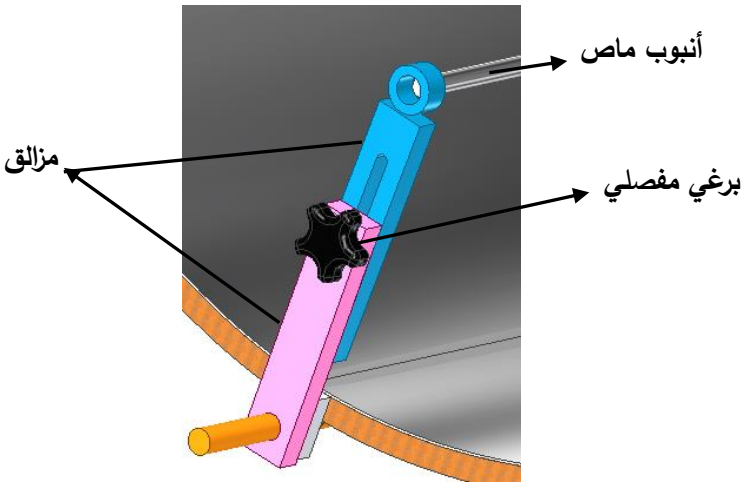
5-3-2 اختيار الأنبوب الماص

تم اعتماد قطر الأنبوب الماص (عنصر التقاط الحرارة) [mm] 20 حسب المتوفر في السوق المحلية كما هو مبين في الشكل (5-9).



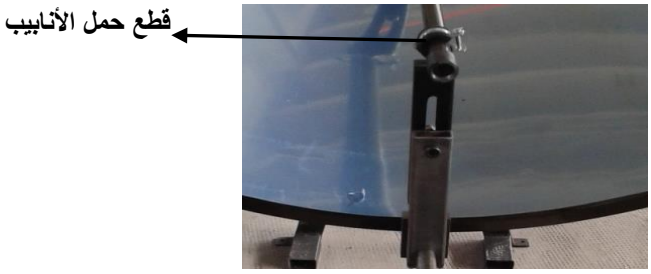
الشكل (5-9) الأنبوب الماص

ومن أجل تثبيته بدقة في المحرق صُمم الميكانزم التالي الذي يسمح بعملية معايرة موقع الأنبوب وتحديد البعد المحرقي بدقة وبذلك تتم المعايرة مهما كان الارتفاع المطلوب للبعد المحرقي حيث تُؤمن المزالق الموجودة في الميكانزم عملية ضبط الارتفاع للأنبوب وتُؤمن البراغي المفصلية تحديد موقع الأنبوب وذلك من الطرفين. والشكل (5-10) يبين توضيح لعمل هذا الميكانزم.



الشكل (5-10) ميكانزم ضبط موقع الأنبوب الماص [43]

وبهدف تأمين وسيلة سريعة لفك وتركيب الأنبوب الماص تم استخدام قطع حمل الأنابيب كما هو مبين في الشكل (5-11) التي تتميز بأنَّها سريعة الفك والتركيب إذ يتم حل البراغي مباشرة ويصبح الأنبوب حر الحركة من الطرفين وتسمح هذه القطع بحصول تمدد صغير في أبعاد الأنبوب ناجم عن ارتفاع درجة الحرارة فيه دون مشاكل.



الشكل (5-11) ميكانزم ضبط موقع المحرق وتثبيت الأنبوب

5-3-3 اختيار المحرك الكهربائي

من أجل تأمين دوران المركز لابد من استخدام محرك كهربائي قادر على تدوير كتلة الهيكل مع الأنبوب ولهذا تم اختيار محرك كهربائي باستطاعة $P = 0.25\ [hp]$ مع علبة سرعة دودية ذات نسبة تخفيض 001 تؤمن زيادة عزم المحرك 100 مرة تقريباً وتخفض سرعته البالغة [rpm] 1400 إلى حوالي [rpm] 14 وتُعتبر هذه السرعة كبيرة بالنسبة لحركة المُركز الدورانية, لذلك بهدف تخفيض السرعة أكثر اختيرت جملة نقل حركة بالجنزير نسبة النقل فيها ¼. مع الأخذ بعين الاعتبار وجود ضياعات نقل ميكانيكية **[45]** تصل إلى حوالي [30-15] %.

لدينا استطاعة المحرك:

$$P = 0.25\ [hp] = 186\ [W] \qquad (5-2)$$

تُعطى علاقة السرعة الزاوية **[45]** بالشكل التالي:

$$\omega = \frac{2*\pi*N}{60} \qquad (5-3)$$

N: عدد الدورات في الدقيقة وقيمتها [rpm] 1400.

بالتعويض بالمعادلة (5-3) نحصل على السرعة الزاوية وقيمتها [r/s] 146.5

وبقسمة الاستطاعة على السرعة الزاوية نحصل على علاقة عزم المحرك **[45]** المعطاة كما يلي:

$$M = \frac{P}{\omega} \qquad (5\text{-}4)$$

بتعويض القيم السابقة في المعادلة (5-4) نحصل على: $M = 1.27\ [N.m]$ وبعد علبة السرعة الدودية يصبح $127\ [N.m]$ أي [Kg.m] 12.7 وذلك في الحالة المثالية دون أخذ الضياعات في جملة الحركة بعين الاعتبار, وبما أنَّ وزن الهيكل الداعم للوح العاكس أصغر من هذا المقدار (تقريباً وزن اللوح العاكس مع الهيكل الداعم والأنبوب الماص [Kg] 8) فاختيار المحرك صحيح مع وجود عامل أمان.

تم تركيب بكرات الجنزير على كل من مخرج عمود علبة السرعة وعمود دوران الهيكل العاكس وربط الجنزير عليهما كما هو مبين في الشكل (5-12) ثم أُختبرت الحركة بشكل مستمر وبشكل متقطع بنجاح وهو نظام عمل المحرك في المشروع.



الشكل (5-12) البنية الداعمة للعاكس والجنزير والمحرك

أخيراً تم تركيب كتلة موازنة فيها ميكانزم آلي يسمح بتحقيق التوازن للجهاز عند الدوران والشكل (5-13) يبين هذه الكتلة.



الشكل (5-13) المركز الشمسي مع وجود كتلة الموازنة

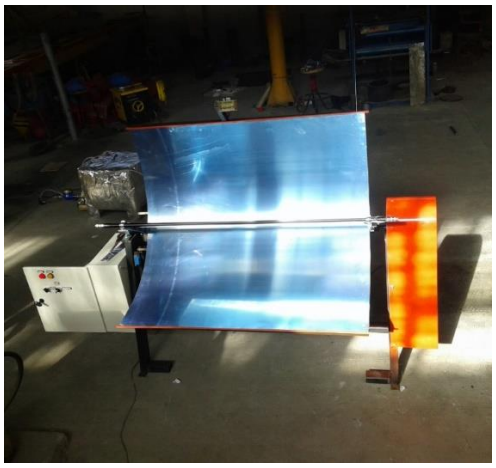
5-3-4 اختيار اللوح العاكس

تم اختيار اللوح العاكس من الألمنيوم المصقول لأنَّه حسب الأبحاث والدراسات المرجعية **[11] ,[10], [13]** يُفضَّل استخدام الألمنيوم كعاكس لأجل التطبيقات المنزلية حيث تصل انعكاسية الألمنيوم إلى 0.89 وأبعاد اللوح الذي تم اعتماده هي $120cm \times 200cm$ من أجل تحقيق الأبعاد التي تم حسابها نظرياً, ويبين الشكل (5-14) هذا اللوح.



الشكل (5-14) لوح الألمنيوم المستخدم في المشروع

بهدف دعم اللوح العاكس وحمايته فقط تم ثبيت لوح معدني خلفه على الهيكل الداعم بالبراغي بغرض منع الرياح من تشويه الهيكل، والشكل (5-15) يبين جهاز المركز بعد تركيب لوح الألمنيوم على الهيكل الداعم للعاكس.



الشكل (5-15) نظام المركز الشمسي بشكل كامل

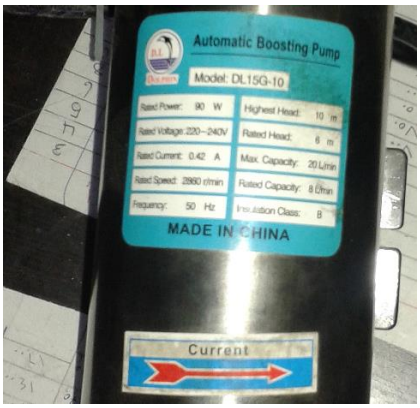
من أجل نقل وسيط التشغيل إلى المستقبل صُممَت دارة مكونة من خزان ماء ذي سعة [L] 100 **[10]** تم عزله بالصوف الزجاجي، ومضخة تسريع ومقياس تدفق حساسيته $[m^3/h]$ 0.0001 وصمامات ومجموعة من الأنابيب المرنة والوصلات الدوارة التي لا تعيق حركة دوران المركز مع تأمين السهولة في الفك والتركيب.

يبين الشكل (5-16) تصميم الخزان وفيه فتحة تعبئة وفتحة دخول وفتحة خروج بقياس نصف إنش، يتصل الخزان مع مضخة التسريع التي تسحب الماء إلى الأنبوب الماص وتعود إلى الخزان من جديد.



الشكل (5-16) توصيل الخزان والمضخة ومقياس التدفق مع المركز الشمسي

تم اختيار المضخة المبينة في الشكل (5-17) ذات الضغط [bar] 1 وارتفاع أعظمي [m] 10 وجهد عمل [v] 220 مع وضعية عمل يدوية أو آلية.



الشكل (5-17) المضخة المختارة لتدوير وسيط التشغيل في المشروع

5-4 التحكم الكهربائي وتحصيل البيانات

تم تصميم دارة تحكم كهربائية مهمتها تدوير المركز الشمسي حسب موقع الشمس (ملاحقة قرص الشمس من ساعة الشروق حتى ساعة الغروب) بهدف الحصول على أكبر قدر من الأشعة الشمسية وعكسها إلى المحرق.

تتكون دارة التحكم كما هو مبين في الشكل (5-18) من مجموعة من الحساسات الضوئية التي تحدد موقع الشمس وتُدوِّر المركز باتجاه الشمس بالإضافة إلى دارة تحصيل قراءات حساسات الحرارة وتخزينها على وسيط تخزين خاص. وتؤمن دارة التحكم ميزة التحكم اليدوي والآلي.

من خلال التحكم اليدوي يصبح من الممكن تحريك المركز بالاتجاهين من خلال مفاتيح تحكم خاصة.

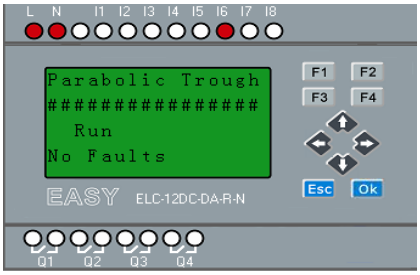
أما في التحكم الآلي يبحث المركز عن موقع الشمس من خلال الحساسات الضوئية ويقوم بملاحقتها طوال ساعات السطوع الشمسي, وأثناء الليل يقوم المحرك آلياً بإعادة نفسه إلى وضعية البداية، وإعادة العمل من جديد في صباح اليوم التالي.

تحتوي دارة التحكم على ساعة يستطيع من خلالها المركز معرفة الزمن وبالإضافة إلى الإحداثيات الجغرافية يستطيع تحديد وقت الغروب وإعادة نفسه إلى وضعية البداية.



الشكل (5-18) صورة لمكونات لوحة التحكم الكهربائية

يبين الشكل (5-19) المُتحكم المنطقي المبرمج المُستخَدم في المشروع وفيه تظهر الشاشة الأساسية ومجموعة من أزرار التحكم.



الشكل (5-19) صورة المتحكم المنطقي المبرمج والواجهة الأساسية له

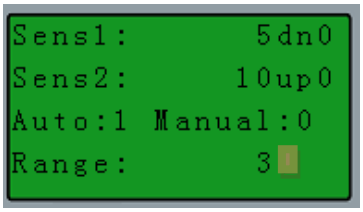
5-4-1 آلية العمل:

عند الضغط على زر F1 يتم عرض الشاشة الأولى كما هو مبين في الشكل (5-20) وفيها يظهر كل من قيمة الحساس الضوئي الأول Sens1 وقيمة الحساس الضوئي الثاني Sens2، بالإضافة إلى

وضعية العمل المختارة Auto أو Manual، وأخيراً مجال الحساسية الذي يُحدد متى سيلاحق الحساس الشمس والعمل الذي يقوم به المحرك حالياً أي التحرك للأعلى أو للأسفل down أو up.

من خلال هذه الشاشة الأساسية نستعلم عن حالة الحساسات وعن وضعة العمل والعمل المنفذ حالياً ومنها يتم ضبط مقدار الحساسية (إنَّ مقدار الحساسية الكبير يعني تحركات قليلة للجهاز ومقدار الحساسية الصغير تعني ملاحقة أصغر تغير في موقع الشمس).

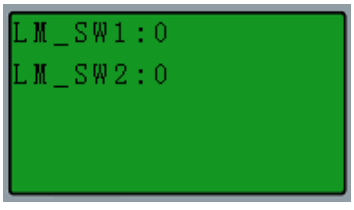
تُفضل القيمة 3 الابتدائية المختارة بالتجريب وفقاً لعطالة الجهاز والقيم التي تعطيها الحساسات الضوئية.



الشكل (5-20) الشاشة الأساسية للمشروع عند الضغط على F1

عند الضغط على زر F2 تظهر الشاشة المبينة في الشكل (5-21) التي تعطي معلومات عن حساسات نهاية الشوط، حيث تفيد حساسات نهاية الشوط منع الجهاز من الدوران خارج المجال 180° لأنَّ الزيادة عن هذه القيمة تؤدي إلى توجيه العاكس باتجاه الأرض أي دون أي استفادة من أشعة الشمس.

تم تصميم عنصر أمان بحيث يتوقف الجهاز عن العمل في حال انقطع أي من أسلاكه بالخطأ أو عند الوصول إلى نهايات الشوط الحدية ومن هنا تأتي أهمية هذه الشاشة في الاستعلام عن حالة هذه الحساسات.

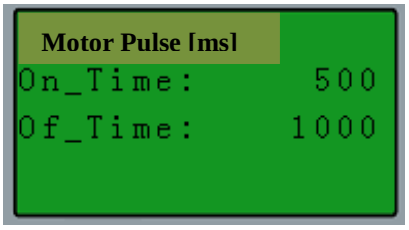


الشكل (5-21) الشاشة الواصفة لحالة حساسات نهاية الشوط

بما أنَّ المحرك يعمل على ملاحقة قرص الشمس خلال ساعات السطوع الشمسي فيجب تأمين محرك ذو سرعة متناهية في الصغر، ولصعوبة تحقيق هذا الأمر فقد تم تطوير نظام عمل يعمل على تحريك المحرك فقط عند تحرك الشمس لزوايا ملحوظة بالنسبة له من خلال الاعتماد على القراءات المأخوذة من

الحساسات إذ يكفي أن يدور المحرك لمدة زمنية قدرها نصف ثانية إلى ثانية واحدة حتى يصل إلى الموقع الجديد ويؤدي ذلك إلى تخفيف كبير في استهلاك الكهرباء.

تبين الشاشة المبينة في الشكل (5-22) عملية ضبط سرعة المحرك بما يتناسب مع عطالة الجهاز وتصميمه حيث نحدد في هذه الشاشة أزمنة قطار النبضات الذي يحرك المحرك وتسهل هذه الشاشة من عملية إعادة البرمجة لكل جهاز.



الشكل (5-22) شاشة ضبط أزمنة قطار النبضات لتحرك المحرك

يقوم المحرك بملاحقة الشمس اعتماداً على القيم المقروءة من الحساسات حيث يحاول التحرك إلى أن يصل إلى موقع يصبح فيه الفرق في قيمة القراءة من الحساسات ضمن مجال الحساسية المحدد.

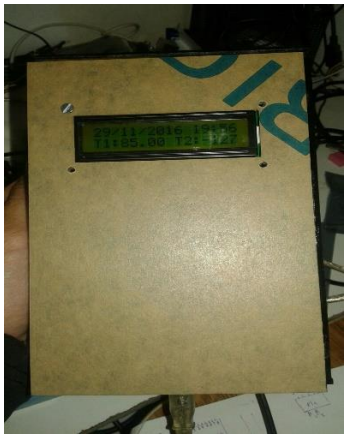
من غير الملائم بالنسبة للجهاز وضع قيمة الحساسية صغيرة جداً إذ يؤدي ذلك إلى بقاء المحرك في حالة حركة مستمرة لتحقيق التوازن الدقيق في حالة التعامد مع الشمس ونظراً لوجود الرياح والاهتزاز الطبيعي خلال حركة الهيكل والقفزات والخبطات الموجودة خلال إقلاع المحرك فإنَّ ذلك يؤدي إلى خروج الجهاز دوماً عن وضعية التوازن الدقيقة ومحاولة العودة لها من الجهتين.

يمكن منع المحرك من الحركة غير اللازمة والتي لا تؤثر على دقة العمل من خلال ضبط قيمة الحساسية على رقم مناسب يُحدَد بالتجربة وفقاً لظروف التشغيل. يمكن تفعيل الوضع الحيادي الذي يمنع أزرار التحكم من إرسال التعليمات إلى المتحكم وذلك لأهداف الصيانة مثلاً والتوقف عن العمل.

بهدف تحصيل المعطيات وتسهيل عملية الوصول لها فقد صُممَت دارة خاصة مكونة من شاشة تعرض التاريخ والوقت وقراءات حساسات درجة الحرارة عند مدخل ومخرج الأنبوب كما في الشكل (5-23).

تحتوي هذه الدارة على ميزة تحصيل المعلومات وتخزينها على كرت ذاكرة خاص حيث يتم تحصيل المعطيات كل خمس دقائق وتخزينها في ملفات نصية على هذا الكرت بحيث يُعبِّر اسم الملف عن تاريخ اليوم وتُعبِّر محتوياته عن الساعة والقيم المقروءة من الحساسات.

يعطي الجهاز تنبيهاً في حال فشل عملية الكتابة على كرت الذاكرة أو تنبيهاً في حال سحب الكرت من الجهاز بالإضافة إلى إمكانية سحب المعلومات عن بعد من خلال حاسب أو جهاز موبايل من خلال الاتصال عبر الـ WiFi، حيث يتم الحصول على قيمة القراءة الحالية، كما ويمكن في حال تأمين اتصال نشط بالانترنت من الوصول إلى المعلومات عبر الانترنت من أي مكان.



الشكل (5-23) جهاز تحصيل البيانات

5-4-2 حساس الحرارة المستخدم

الحساس المستخدم في القياس هو الحساس DS18B20 المبين في الشكل (5-24) ذو مجال القياس 125°C →55°C- ودقة 0.5° درجة مئوية، الحساس المستخدم مقاوم للصدأ والماء فهو مغلف ومحمي.



الشكل (5-24) حساس الحرارة المستخدم في القياسات [42]

الفصل السادس

اختبار المركز الشمسي

Solar Concentrator Test

6-1 مقدمة

إنَّ الهدف الأساسي من اختبار المركز الشمسي الخطي القطعي هو تقييم أدائه الحراري والاقتصادي ومقارنة النتائج التجريبية مع القيم النظرية التي تم حسابها عند تصميم المركز.

لقد تم إجراء التجارب باستبدال مادة المستقبل حيث تم اعتماد المواد التالية المتوفرة في السوق المحلية وهي: النحاس، الألمنيوم، الستانلس ستيل، وتم تقييم أداء المركز خلال كافة فصول السنة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق. والبيانات التجريبية مسجلة كل خمس دقائق من الساعة 8:00 صباحاً حتى الساعة 16:00 بعد الظهر الشمسي.

تم اختبار المركز تبعاً لمواد مختلفة للمستقبل خلال عدة أيام لكل مادة في كل شهر من السنة. وتم أخذ القيمة الوسطية لدرجة الحرارة في هذه الأيام، وتمثيل كل شهر في يوم محدد خلال ساعات الاختبار.

ملاحظة:

إنَّ القيم الواردة في كافة الجداول التالية تمثل كامل فصول السنة لأنَّها قيم ساعية وسطية لكل أيام كل فصل على حدا.

6-2 تحديد درجة حرارة مدخل ومخرج المركز أثناء الاختبار

بعد تصميم وتصنيع المركز الشمسي تم وضع حساس درجة حرارة (DS18B20) ذو مجال القياس -55°C →125°C عند مدخل ومخرج المركز بهدف معرفة درجة الحرارة عند مدخله ومخرجه.

6-2-1 خلال فصل الشتاء:

الجدول (6-1) يبين درجة حرارة دخول المائع إلى المركز ودرجة حرارة خروج المائع من المركز عند استخدام النحاس كمادة للمستقبل خلال الشتاء.

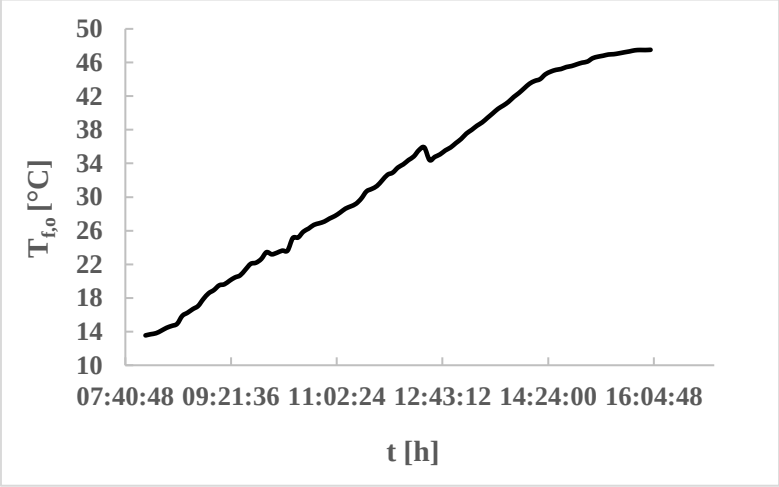
الجدول (6−1) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الشتاء

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:00:01	12.89	13.55
08:05:02	13.05	13.69
08:10:03	13.38	13.81
08:15:04	13.56	14.11
08:20:05	13.78	14.45
08:25:06	13.99	14.68
08:30:07	14.31	14.92
08:35:08	14.56	15.88
08:40:09	15.19	16.25
08:45:10	15.38	16.68
08:50:11	15.94	17.05
08:55:12	16.31	17.88
09:00:13	16.81	18.56
09:05:14	17.31	18.94
09:10:15	17.88	19.5
09:15:16	18.25	19.63
09:20:17	18.56	20.06
09:25:18	19.06	20.44
09:30:19	19.31	20.69
09:35:20	20.31	21.38
09:40:21	20.69	22.06
09:45:22	21.13	22.19
09:50:23	21.56	22.63
09:55:24	22.06	23.44
10:00:25	22.13	23.19
10:05:26	22.63	23.38
10:10:27	23.06	23.63
10:15:28	23.13	23.63
10:20:29	23.69	25.13
10:25:30	24.06	25.19
10:30:31	24.5	25.88
10:35:32	25.06	26.25
10:40:33	25.38	26.69
10:45:34	25.88	26.88
10:50:35	26.27	27.09
10:55:36	26.61	27.45
11:00:37	26.82	27.75
11:05:38	27.28	28.16

11:10:39	27.69	28.62
11:15:40	27.93	28.89
11:20:41	28.22	29.2
11:25:42	28.85	29.81
11:30:43	29.58	30.67
11:35:44	29.96	30.97
11:40:45	30.38	31.32
11:45:46	30.92	31.99
11:50:47	31.58	32.65
11:55:48	31.94	32.91
12:00:49	32.54	33.52
12:05:50	32.91	33.89
12:10:51	33.41	34.4
12:15:52	33.89	34.83
12:20:53	34.58	35.59
12:25:54	34.92	35.9
12:30:55	35.39	34.4
12:35:56	33.75	34.78
12:40:57	34.09	35.08
12:45:58	34.56	35.55
12:50:59	34.89	35.9
12:56:00	35.48	36.42
13:01:01	35.93	36.91
13:06:02	36.52	37.55
13:11:03	37.01	37.99
13:16:04	37.47	38.48
13:21:05	37.92	38.88
13:26:06	38.49	39.42
13:31:07	38.92	39.95
13:36:08	39.56	40.49
13:41:09	39.91	40.88
13:46:10	40.39	41.32
13:51:11	40.98	41.9
13:56:12	41.41	42.38
14:01:13	41.99	42.94
14:06:14	42.51	43.48
14:11:15	42.96	43.81
14:16:16	43.29	44.02
14:21:17	43.75	44.59
14:26:18	44.08	44.91
14:31:19	44.38	45.12

14:36:20	44.59	45.23
14:41:21	44.85	45.46
14:46:22	44.99	45.58
14:51:23	45.17	45.79
14:56:24	45.22	45.98
15:01:25	45.47	46.11
15:06:26	45.79	46.51
15:11:27	45.98	46.69
15:16:28	46.12	46.81
15:21:29	46.3	46.95
15:26:30	46.42	46.99
15:31:31	46.56	47.09
15:36:32	46.7	47.21
15:41:33	46.85	47.32
15:46:34	46.96	47.45
15:51:35	47.05	47.49
15:56:36	47.12	47.48
16:01:37	47.16	47.51

الشكل (6–1) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الشتاء باعتبار المستقبل نحاس حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل يوم من أيام الفصل.



الشكل (6–1) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الشتاء مع مستقبل نحاس

الجدول (6–2) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الستانلس ستيل كمادة للمستقبل خلال الشتاء.

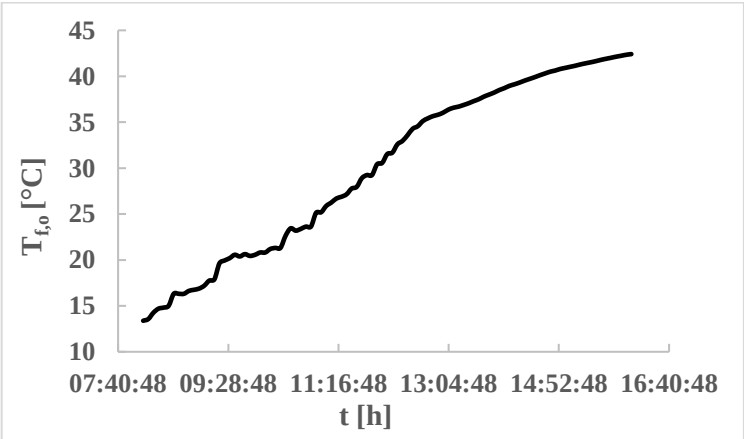
الجدول (6–2) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الشتاء

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:05:23	12.44	13.38
08:10:22	12.69	13.56
08:15:21	13.19	14.25
08:20:20	13.63	14.69
08:25:19	14.13	14.81
08:30:18	14.56	15
08:35:17	14.94	16.31
08:40:16	15.44	16.31
08:45:15	15.69	16.31
08:50:14	16.19	16.63
08:55:13	16.5	16.75
09:00:12	16.81	16.88
09:05:11	17.13	17.19
09:10:10	17.63	17.75
09:15:09	17.88	17.88
09:20:08	18.31	19.63
09:25:07	18.56	19.94
09:30:06	18.94	20.19
09:35:05	19.44	20.56
09:40:04	19.63	20.38
09:45:03	20.13	20.63
09:50:02	20.31	20.44
09:55:01	20.56	20.56
10:00:00	20.88	20.81
10:04:59	20.88	20.81
10:09:58	21.31	21.19
10:14:57	21.44	21.31
10:19:56	21.56	21.31
10:24:55	21.56	22.63
10:29:54	22.06	23.44
10:34:53	22.13	23.19
10:39:52	22.63	23.38
10:44:51	23.06	23.63
10:49:50	23.13	23.63
10:54:49	23.69	25.13
10:59:48	24.06	25.19
11:04:47	24.5	25.88
11:09:46	25.06	26.25

11:14:45	25.38	26.69
11:19:44	25.88	26.88
11:24:43	26.23	27.15
11:29:42	26.44	27.77
11:34:41	26.94	27.96
11:39:40	27.62	28.9
11:44:39	28.02	29.24
11:49:38	27.9	29.24
11:54:37	29.08	30.42
11:59:36	29.47	30.56
12:04:35	30.09	31.53
12:09:34	30.61	31.68
12:14:33	31.3	32.59
12:19:32	31.89	32.96
12:24:31	32.46	33.59
12:29:30	33	34.28
12:34:29	33.6	34.56
12:39:28	34	35.12
12:44:27	34.38	35.42
12:49:26	34.69	35.66
12:54:25	34.8	35.81
12:59:24	35.09	36.04
13:04:23	35.38	36.36
13:09:22	35.6	36.57
13:14:21	35.71	36.69
13:19:20	35.88	36.87
13:24:19	36.14	37.06
13:29:18	36.41	37.29
13:34:17	36.63	37.5
13:39:16	36.91	37.78
13:44:15	37.14	38
13:49:14	37.35	38.22
13:54:13	37.58	38.49
13:59:12	37.81	38.7
14:04:11	38.02	38.95
14:09:10	38.23	39.12
14:14:09	38.44	39.31
14:19:08	38.65	39.52
14:24:07	38.84	39.71
14:29:06	39.02	39.9
14:34:05	39.23	40.11

14:39:04	39.42	40.3
14:44:03	39.61	40.49
14:49:02	39.78	40.62
14:54:01	39.93	40.79
14:59:00	40.08	40.91
15:03:59	40.19	41.03
15:08:58	40.32	41.15
15:13:57	40.46	41.29
15:18:56	40.59	41.41
15:23:55	40.71	41.52
15:28:54	40.83	41.64
15:33:53	40.96	41.78
15:38:52	41.09	41.9
15:43:51	41.22	42.01
15:48:50	41.31	42.13
15:53:49	41.4	42.23
15:58:48	41.53	42.34
16:03:47	41.65	42.41

الشكل (6−2) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الشتاء باعتبار المستقبل ستانلس ستيل حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل يوم في الفصل.



الشكل (6−2) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الشتاء مع مستقبل ستانلس ستيل

الجدول (6−3) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الألمنيوم كمادة للمستقبل خلال الشتاء.

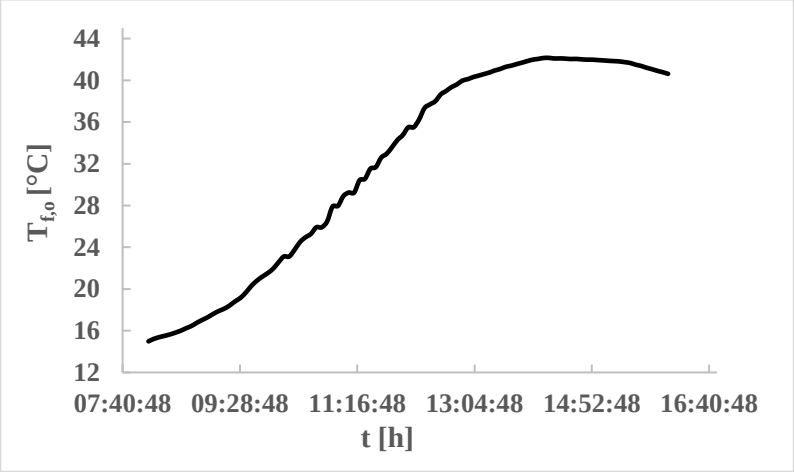
الجدول (6−3) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الشتاء

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:04:39	14.33	14.98
08:09:38	14.56	15.22
08:14:37	14.74	15.38
08:19:36	14.89	15.51
08:24:35	15.11	15.65
08:29:34	15.3	15.82
08:34:33	15.52	16.01
08:39:32	15.73	16.25
08:44:31	15.99	16.47
08:49:30	16.31	16.78
08:54:29	16.53	17.05
08:59:28	16.77	17.31
09:04:27	17.01	17.62
09:09:26	17.33	17.89
09:14:25	17.57	18.11
09:19:24	17.9	18.42
09:24:23	18.11	18.81
09:29:22	18.24	19.15
09:34:21	18.75	19.67
09:39:20	19.16	20.29
09:44:19	19.56	20.78
09:49:18	19.84	21.17
09:54:17	20.25	21.51
09:59:16	20.8	21.93
10:04:15	21.22	22.54
10:09:14	21.22	23.11
10:14:13	21.22	23.11
10:19:12	22.47	23.76
10:24:11	23.09	24.5
10:29:10	23.65	24.95
10:34:09	24.25	25.27
10:39:08	24.25	25.91
10:44:07	25.38	25.91
10:49:06	25.82	26.47
10:54:05	26.44	27.9
10:59:04	26.94	27.96
11:04:03	27.62	28.9
11:09:02	28.02	29.24

11:14:01	27.9	29.24
11:19:00	29.08	30.42
11:23:59	29.47	30.56
11:28:58	30.09	31.53
11:33:57	30.61	31.68
11:38:56	31.3	32.59
11:43:55	31.89	32.96
11:48:54	32.46	33.59
11:53:53	33	34.28
11:58:52	33.6	34.76
12:03:51	34	35.5
12:08:50	34.68	35.5
12:13:49	35.29	36.25
12:18:48	36.01	37.34
12:23:47	36.68	37.69
12:28:46	36.99	38
12:33:45	37.31	38.65
12:38:44	37.62	38.98
12:43:43	37.95	39.35
12:48:42	38.27	39.61
12:53:41	38.58	39.97
12:58:40	38.85	40.11
13:03:39	39.09	40.31
13:08:38	39.29	40.45
13:13:37	39.51	40.6
13:18:36	39.72	40.75
13:23:35	39.96	40.94
13:28:34	40.12	41.09
13:33:33	40.35	41.29
13:38:32	40.49	41.4
13:43:31	40.68	41.55
13:48:30	40.85	41.69
13:53:29	41.01	41.84
13:58:28	41.15	41.98
14:03:27	41.28	42.05
14:08:26	41.37	42.14
14:13:25	41.36	42.15
14:18:24	41.32	42.09
14:23:23	41.29	42.1
14:28:22	41.28	42.08
14:33:21	41.28	42.04

14:38:20	41.25	42.05
14:43:19	41.22	42.01
14:48:18	41.18	41.98
14:53:17	41.17	41.98
14:58:16	41.15	41.94
15:03:15	41.12	41.91
15:08:14	41.07	41.87
15:13:13	41.05	41.84
15:18:12	41.01	41.81
15:23:11	40.95	41.74
15:28:10	40.88	41.66
15:33:09	40.74	41.5
15:38:08	40.61	41.38
15:43:07	40.45	41.21
15:48:06	40.29	41.07
15:53:05	40.11	40.91
15:58:04	40.01	40.78
16:03:03	39.88	40.62

الشكل (6-3) يبين تغير درجة حرارة خروج مائع نقل الحرارة من المركز مع الزمن خلال الشتاء باعتبار المستقبل ألمنيوم حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل يوم من أيام الفصل.



الشكل (6-3) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الشتاء مع مستقبل ألمنيوم

6-2-2 خلال فصل الربيع:

الجدول (6-4) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام النحاس كمادة للمستقبل خلال الربيع.

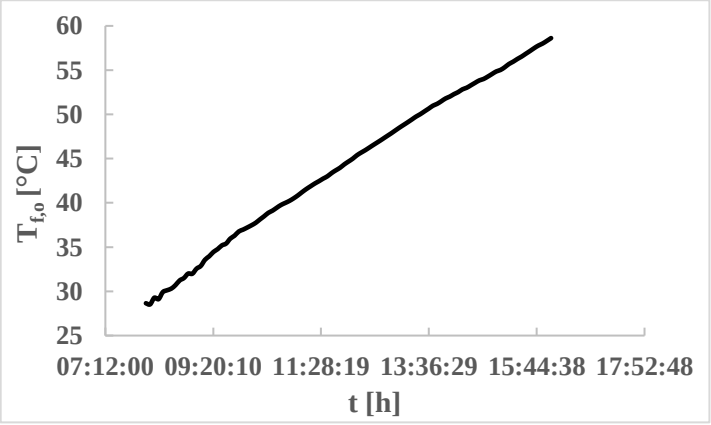
الجدول (6-4) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الربيع

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:00:10	28	28.65
08:05:11	28.25	28.53
08:10:12	28.75	29.28
08:15:13	28.81	29.12
08:20:14	29.25	29.91
08:25:15	29.56	30.12
08:30:16	30	30.3
08:35:17	30.38	30.7
08:40:18	30.69	31.23
08:45:19	31.19	31.5
08:50:20	31.38	32
08:55:21	31.69	31.99
09:00:22	32.13	32.56
09:05:23	32.38	32.87
09:10:24	33.06	33.57
09:15:25	33.31	33.96
09:20:26	33.64	34.45
09:25:27	34.06	34.77
09:30:28	34.56	35.19
09:35:29	34.81	35.4
09:40:30	35.18	35.96
09:45:31	35.44	36.29
09:50:32	36	36.76
09:55:33	36.13	36.97
10:00:34	36.56	37.21
10:05:35	36.88	37.46
10:10:36	37.15	37.74
10:15:37	37.39	38.12
10:20:38	37.65	38.48
10:25:39	37.98	38.87
10:30:40	38.21	39.12
10:35:41	38.52	39.45

10:40:42	38.83	39.76
10:45:43	39.11	39.99
10:50:44	39.49	40.22
10:55:45	39.81	40.51
11:00:46	40.13	40.84
11:05:47	40.48	41.21
11:10:48	40.72	41.56
11:15:49	40.99	41.87
11:20:50	41.27	42.18
11:25:51	41.51	42.45
11:30:52	41.82	42.74
11:35:53	42.11	43
11:40:54	42.4	43.37
11:45:55	42.71	43.68
11:50:56	43.08	43.97
11:55:57	43.39	44.35
12:00:58	43.71	44.67
12:05:59	44.07	44.99
12:11:00	44.39	45.38
12:16:01	44.7	45.68
12:21:02	44.98	45.96
12:26:03	45.29	46.27
12:31:04	45.61	46.58
12:36:05	45.92	46.88
12:41:06	46.23	47.19
12:46:07	46.54	47.51
12:51:08	46.85	47.82
12:56:09	47.18	48.15
13:01:10	47.51	48.48
13:06:11	47.82	48.79
13:11:12	48.13	49.1
13:16:13	48.44	49.42
13:21:14	48.76	49.75
13:26:15	49.06	50.02
13:31:16	49.37	50.34
13:36:17	49.68	50.65
13:41:18	49.99	50.98
13:46:19	50.21	51.19
13:51:20	50.53	51.49
13:56:21	50.84	51.8
14:01:22	51.08	52.01

14:06:23	51.31	52.29
14:11:24	51.55	52.52
14:16:25	51.86	52.83
14:21:26	52.09	53.01
14:26:27	52.32	53.29
14:31:28	52.6	53.57
14:36:29	52.88	53.84
14:41:30	53.05	54
14:46:31	53.31	54.27
14:51:32	53.62	54.56
14:56:33	53.92	54.85
15:01:34	54.21	55.02
15:06:35	54.5	55.32
15:11:36	54.81	55.69
15:16:37	55.09	55.95
15:21:38	55.4	56.26
15:26:39	55.71	56.53
15:31:40	55.99	56.85
15:36:41	56.3	57.16
15:41:42	56.61	57.49
15:46:43	56.9	57.78
15:51:44	57.18	58.01
15:56:45	57.47	58.31
16:01:46	57.76	58.62

الشكل (6-4) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الربيع باعتبار المستقبل نحاس حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت تقريباً بشكل خطي خلال كل يوم.



الشكل (6-4) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الربيع مع مستقبل نحاس

الجدول (6–5) يبين درجة حرارة دخول المائع إلى المركز ودرجة حرارة خروج المائع من المركز عند استخدام الستانلس ستيل كمادة للمستقبل خلال فصل الربيع.

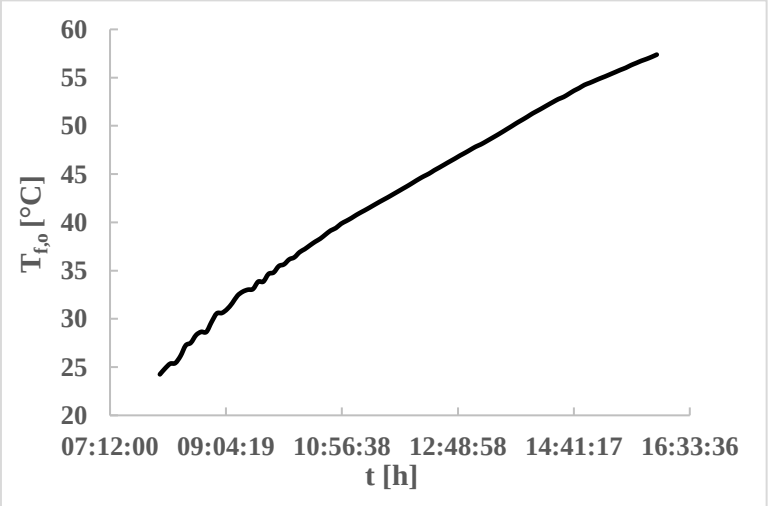
الجدول (6–5) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الربيع

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:00:19	23.9	24.25
08:05:13	23.68	24.85
08:10:15	24.27	25.35
08:15:13	24.76	25.42
08:20:14	25.11	26.14
08:25:15	26.15	27.24
08:30:16	26.5	27.52
08:35:17	27.26	28.31
08:40:18	27.51	28.65
08:45:19	28.07	28.65
08:50:20	28.56	29.67
08:55:21	29.35	30.56
09:00:22	29.49	30.61
09:05:23	29.95	31
09:10:24	30.47	31.63
09:15:25	31.22	32.4
09:20:26	31.63	32.81
09:25:27	31.81	33.02
09:30:28	32.11	33.09
09:35:29	32.89	33.85
09:40:30	32.96	33.86
09:45:31	33.47	34.65
09:50:32	33.74	34.81
09:55:33	34.34	35.47
10:00:34	34.52	35.65
10:05:35	35.04	36.16
10:10:36	35.47	36.38
10:15:37	35.83	36.91
10:20:38	36.2	37.23
10:25:39	36.7	37.62
10:30:40	37.1	37.99
10:35:41	37.49	38.31
10:40:42	37.85	38.74
10:45:43	38.17	39.15
10:50:44	38.46	39.41

10:55:45	38.89	39.85
11:00:46	39.16	40.14
11:05:47	39.49	40.44
11:10:48	39.8	40.78
11:15:49	40.11	41.08
11:20:50	40.42	41.37
11:25:51	40.75	41.68
11:30:52	41.01	41.99
11:35:53	41.32	42.29
11:40:54	41.65	42.58
11:45:55	41.96	42.89
11:50:56	42.27	43.2
11:55:57	42.58	43.51
12:00:58	42.86	43.82
12:05:59	43.18	44.15
12:11:00	43.49	44.48
12:16:01	43.82	44.78
12:21:02	44.09	45.05
12:26:03	44.41	45.39
12:31:04	44.72	45.69
12:36:05	45.05	46
12:41:06	45.34	46.31
12:46:07	45.63	46.61
12:51:08	45.94	46.93
12:56:09	46.23	47.22
13:01:10	46.54	47.53
13:06:11	46.85	47.84
13:11:12	47.11	48.08
13:16:13	47.42	48.38
13:21:14	47.74	48.69
13:26:15	48.06	49
13:31:16	48.39	49.32
13:36:17	48.71	49.65
13:41:18	49.08	49.98
13:46:19	49.39	50.32
13:51:20	49.7	50.63
13:56:21	49.99	50.95
14:01:22	50.31	51.29
14:06:23	50.62	51.58
14:11:24	50.93	51.88
14:16:25	51.24	52.19

14:21:26	51.55	52.49
14:26:27	51.84	52.78
14:31:28	52.09	53
14:36:29	52.41	53.32
14:41:30	52.71	53.65
14:46:31	52.99	53.92
14:51:32	53.29	54.24
14:56:33	53.51	54.45
15:01:34	53.72	54.68
15:06:35	53.96	54.91
15:11:36	54.16	55.12
15:16:37	54.38	55.35
15:21:38	54.61	55.58
15:26:39	54.89	55.81
15:31:40	55.11	56.02
15:36:41	55.36	56.29
15:41:42	55.57	56.51
15:46:43	55.81	56.74
15:51:44	56.09	56.93
15:56:45	56.28	57.15
16:01:36	56.49	57.38

الشكل (6-5) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الربيع باعتبار المستقبل ستانلس ستيل حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل يوم من أيام الفصل.



الشكل (6-5) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الربيع مع مستقبل ستانلس ستيل

الجدول (6–6) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الألمنيوم كمادة للمستقبل خلال الربيع.

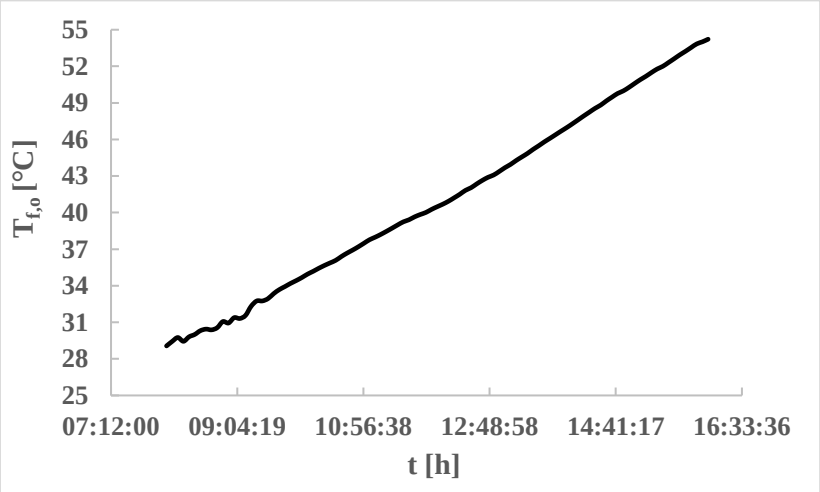
الجدول (6–6) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الربيع

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:01:25	28.25	29.06
08:06:26	28.5	29.43
08:11:27	28.81	29.75
08:16:28	29.06	29.44
08:21:29	29.38	29.81
08:26:30	29.63	30
08:31:31	29.56	30.31
08:36:32	29.94	30.44
08:41:33	30.13	30.38
08:46:35	30.25	30.56
08:51:35	30.31	31.06
08:56:36	30.56	30.94
09:01:38	31.06	31.38
09:06:38	31.06	31.31
09:11:40	31.19	31.56
09:16:41	31.38	32.31
09:21:42	31.81	32.75
09:26:44	32.13	32.75
09:31:44	32.31	32.94
09:36:46	32.44	33.35
09:41:48	32.75	33.68
09:46:49	32.99	33.93
09:51:50	33.25	34.19
09:56:51	33.49	34.42
10:01:52	33.71	34.67
10:06:54	33.94	34.95
10:11:55	34.19	35.18
10:16:56	34.42	35.43
10:21:57	34.68	35.66
10:26:58	34.91	35.87
10:31:59	35.19	36.08
10:37:00	35.45	36.39
10:42:01	35.71	36.67
10:47:02	35.96	36.92
10:52:04	36.21	37.19

10:57:05	36.52	37.48
11:02:06	36.79	37.77
11:07:08	37	37.98
11:12:09	37.23	38.21
11:17:10	37.47	38.46
11:22:11	37.71	38.72
11:27:13	37.98	38.99
11:32:14	38.25	39.24
11:37:14	38.47	39.41
11:42:16	38.69	39.65
11:47:17	38.9	39.84
11:52:18	39.08	40.01
11:57:20	39.27	40.26
12:02:21	39.49	40.48
12:07:23	39.71	40.69
12:12:24	39.95	40.93
12:17:25	40.23	41.21
12:22:26	40.51	41.5
12:27:28	40.82	41.82
12:32:29	41.06	42.04
12:37:30	41.38	42.35
12:42:31	41.71	42.64
12:47:32	41.95	42.89
12:52:33	42.16	43.08
12:57:34	42.4	43.37
13:02:36	42.71	43.68
13:07:37	42.99	43.95
13:12:37	43.29	44.27
13:17:38	43.58	44.56
13:22:39	43.87	44.85
13:27:40	44.19	45.18
13:32:41	44.5	45.48
13:37:43	44.81	45.8
13:42:44	45.1	46.09
13:47:45	45.39	46.39
13:52:47	45.7	46.69
13:57:48	45.99	46.98
14:02:49	46.31	47.29
14:07:50	46.62	47.61
14:12:51	46.93	47.93
14:17:52	47.24	48.24

14:22:52	47.57	48.55
14:27:54	47.88	48.82
14:32:55	48.19	49.16
14:37:56	48.5	49.47
14:42:58	48.81	49.77
14:48:00	49.03	49.98
14:53:02	49.32	50.27
14:58:04	49.63	50.59
15:03:06	49.94	50.9
15:08:08	50.23	51.18
15:13:10	50.54	51.49
15:18:12	50.83	51.78
15:23:14	51.05	52
15:28:16	51.34	52.31
15:33:18	51.65	52.62
15:38:20	51.96	52.94
15:43:22	52.28	53.23
15:48:24	52.57	53.54
15:53:26	52.85	53.84
15:58:28	53.04	54.01
16:03:30	53.29	54.22

الشكل (6–6) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الربيع باعتبار المستقبل ألمنيوم حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت تقريباً بشكل خطي خلال كل يوم.



الشكل (6–6) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الربيع مع مستقبل ألمنيوم

6-2-3 خلال فصل الصيف:

الجدول (6-7) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام النحاس كمادة للمستقبل خلال الصيف.

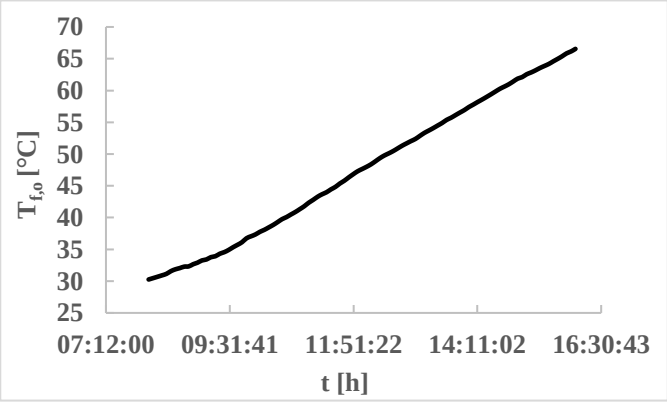
الجدول (6-7) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الصيف

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:00:09	30.01	30.26
08:05:03	30.19	30.47
08:10:15	30.4	30.69
08:15:13	30.62	30.91
08:20:14	30.85	31.15
08:25:15	31.09	31.57
08:30:16	31.32	31.86
08:35:17	31.55	32.05
08:40:18	31.78	32.28
08:45:19	32.02	32.32
08:50:20	32.27	32.66
08:55:21	32.5	32.91
09:00:22	32.77	33.26
09:05:23	33	33.41
09:10:24	33.26	33.77
09:15:25	33.5	33.92
09:20:26	33.77	34.31
09:25:27	34.08	34.56
09:30:28	34.33	34.91
09:35:29	34.6	35.34
09:40:30	34.89	35.72
09:45:31	35.31	36.13
09:50:32	35.67	36.74
09:55:33	35.96	37.05
10:00:34	36.42	37.34
10:05:35	36.81	37.75
10:10:36	37.09	38.07
10:15:37	37.48	38.45
10:20:38	37.84	38.84
10:25:39	38.31	39.29
10:30:40	38.78	39.75
10:35:41	39.12	40.08

10:40:42	39.51	40.49
10:45:43	39.89	40.88
10:50:44	40.34	41.33
10:55:45	40.82	41.79
11:00:46	41.36	42.34
11:05:47	41.82	42.79
11:10:48	42.29	43.28
11:15:49	42.68	43.67
11:20:50	43.01	43.99
11:25:51	43.45	44.44
11:30:52	43.86	44.83
11:35:53	44.38	45.36
11:40:54	44.81	45.8
11:45:55	45.36	46.33
11:50:56	45.83	46.82
11:55:57	46.29	47.29
12:00:58	46.67	47.64
12:05:59	47.02	47.99
12:11:00	47.42	48.38
12:16:01	47.91	48.86
12:21:02	48.38	49.35
12:26:03	48.79	49.77
12:31:04	49.16	50.11
12:36:05	49.51	50.47
12:41:06	49.93	50.89
12:46:07	50.34	51.31
12:51:08	50.72	51.68
12:56:09	51.09	52.04
13:01:10	51.43	52.38
13:06:11	51.88	52.86
13:11:12	52.34	53.32
13:16:13	52.71	53.7
13:21:14	53.11	54.08
13:26:15	53.52	54.49
13:31:16	53.91	54.89
13:36:17	54.38	55.37
13:41:18	54.75	55.71
13:46:19	55.13	56.12
13:51:20	55.54	56.53
13:56:21	55.98	56.92
14:01:22	56.39	57.39

14:06:23	56.82	57.78
14:11:24	57.23	58.19
14:16:25	57.62	58.58
14:21:26	58.08	58.99
14:26:27	58.48	59.41
14:31:28	58.89	59.84
14:36:29	59.28	60.27
14:41:30	59.65	60.62
14:46:31	60.01	60.98
14:51:32	60.45	61.42
14:56:33	60.88	61.87
15:01:34	61.19	62.11
15:06:35	61.59	62.55
15:11:36	61.87	62.84
15:16:37	62.2	63.17
15:21:38	62.59	63.54
15:26:39	62.89	63.86
15:31:40	63.21	64.18
15:36:41	63.62	64.59
15:41:42	64.02	64.98
15:46:43	64.41	65.39
15:51:44	64.89	65.85
15:56:45	65.18	66.15
16:01:42	65.56	66.55

الشكل (6-7) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الصيف باعتبار المستقبل نحاس حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت تقريباً بشكل خطي خلال كل أيام الفصل.



الشكل (6-7) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الصيف مع مستقبل نحاس

الجدول (6–8) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الستانلس ستيل كمادة للمستقبل خلال الصيف.

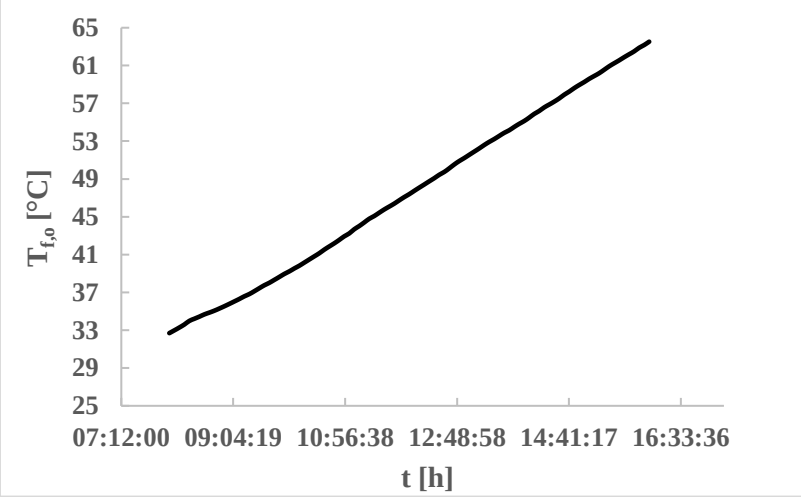
الجدول (6–8) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الصيف

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:00:11	32.17	32.69
08:05:12	32.33	32.98
08:10:13	32.54	33.28
08:15:14	32.76	33.6
08:20:15	32.99	33.98
08:25:16	33.2	34.21
08:30:17	33.42	34.43
08:35:18	33.63	34.67
08:40:19	33.85	34.86
08:45:20	34.04	35.06
08:50:21	34.3	35.29
08:55:22	34.51	35.53
09:00:23	34.85	35.78
09:05:24	35.09	36.04
09:10:25	35.38	36.3
09:15:26	35.63	36.58
09:20:27	35.89	36.82
09:25:28	36.18	37.12
09:30:29	36.49	37.44
09:35:30	36.78	37.75
09:40:31	37.05	38.01
09:45:32	37.34	38.32
09:50:33	37.65	38.63
09:55:34	37.98	38.95
10:00:35	38.25	39.22
10:05:36	38.56	39.53
10:10:37	38.85	39.82
10:15:38	39.19	40.15
10:20:39	39.51	40.48
10:25:40	39.86	40.81
10:30:41	40.19	41.14
10:35:42	40.55	41.52
10:40:43	40.89	41.86
10:45:44	41.22	42.19
10:50:45	41.56	42.55

10:55:46	41.95	42.93
11:00:47	42.25	43.24
11:05:48	42.69	43.68
11:10:49	43.05	44.02
11:15:50	43.41	44.4
11:20:51	43.78	44.79
11:25:52	44.09	45.08
11:30:53	44.45	45.43
11:35:54	44.78	45.77
11:40:55	45.09	46.08
11:45:56	45.42	46.39
11:50:57	45.76	46.74
11:55:58	46.09	47.08
12:00:59	46.42	47.39
12:06:00	46.75	47.74
12:11:01	47.09	48.08
12:16:02	47.42	48.41
12:21:03	47.78	48.75
12:26:04	48.11	49.08
12:31:05	48.45	49.44
12:36:06	48.79	49.74
12:41:07	49.18	50.12
12:46:08	49.55	50.53
12:51:09	49.9	50.89
12:56:10	50.21	51.21
13:01:11	50.58	51.55
13:06:12	50.92	51.89
13:11:13	51.26	52.23
13:16:14	51.59	52.59
13:21:15	51.93	52.92
13:26:16	52.24	53.22
13:31:17	52.56	53.55
13:36:18	52.89	53.88
13:41:19	53.18	54.15
13:46:20	53.51	54.5
13:51:21	53.85	54.83
13:56:22	54.19	55.13
14:01:23	54.52	55.49
14:06:24	54.89	55.88
14:11:25	55.22	56.19
14:16:26	55.59	56.57

14:21:27	55.92	56.87
14:26:28	56.25	57.18
14:31:29	56.59	57.52
14:36:30	56.95	57.91
14:41:31	57.27	58.24
14:46:32	57.63	58.61
14:51:33	57.96	58.94
14:56:34	58.29	59.25
15:01:35	58.63	59.59
15:06:36	58.97	59.89
15:11:37	59.22	60.19
15:16:38	59.57	60.55
15:21:39	59.93	60.92
15:26:40	60.25	61.24
15:31:41	60.57	61.55
15:36:42	60.9	61.88
15:41:43	61.22	62.19
15:46:44	61.54	62.5
15:51:45	61.89	62.88
15:56:46	62.21	63.17
16:01:47	62.53	63.52

الشكل (6-8) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الصيف باعتبار المستقبل ستانلس ستيل حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل أيام الفصل.



الشكل (6-8) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الصيف مع مستقبل ستانلس ستيل

الجدول (6–9) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الألمنيوم كمادة للمستقبل خلال الصيف.

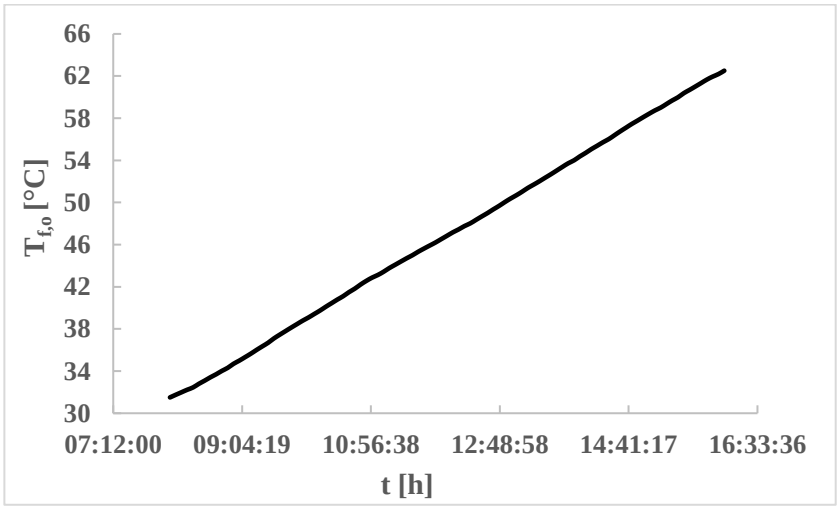
الجدول (6–9) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الصيف

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:01:28	31.18	31.5
08:06:30	31.26	31.75
08:11:32	31.37	31.99
08:16:34	31.69	32.23
08:21:36	31.98	32.45
08:26:38	32.29	32.79
08:31:40	32.58	33.09
08:36:42	32.9	33.41
08:41:44	33.22	33.7
08:46:46	33.61	34.02
08:51:48	33.85	34.31
08:56:50	34.14	34.69
09:01:52	34.45	34.99
09:06:54	34.78	35.32
09:11:56	35.09	35.65
09:16:58	35.42	36.01
09:22:00	35.75	36.35
09:27:02	36.08	36.69
09:32:04	36.45	37.1
09:37:06	36.78	37.45
09:42:08	37.12	37.79
09:47:10	37.46	38.13
09:52:12	37.79	38.46
09:57:14	38.1	38.79
10:02:16	38.42	39.09
10:07:18	38.73	39.42
10:12:20	39.05	39.75
10:17:22	39.37	40.11
10:22:24	39.69	40.45
10:27:26	39.98	40.79
10:32:28	40.29	41.11
10:37:30	40.61	41.49
10:42:32	40.95	41.82
10:47:34	41.28	42.21
10:52:36	41.61	42.56

10:57:38	41.93	42.87
11:02:40	42.19	43.12
11:07:42	42.5	43.43
11:12:44	42.81	43.78
11:17:46	43.12	44.09
11:22:48	43.43	44.4
11:27:50	43.74	44.71
11:32:52	44.03	45
11:37:54	44.35	45.33
11:42:56	44.64	45.63
11:47:58	44.95	45.92
11:53:00	45.23	46.21
11:58:02	45.54	46.53
12:03:04	45.86	46.85
12:08:06	46.17	47.17
12:13:08	46.48	47.45
12:18:10	46.8	47.76
12:23:12	47.09	48.02
12:28:14	47.4	48.35
12:33:16	47.71	48.68
12:38:18	48.05	49
12:43:20	48.39	49.35
12:48:22	48.71	49.68
12:53:24	49.05	50.04
12:58:26	49.39	50.38
13:03:28	49.72	50.69
13:08:30	50.05	51.03
13:13:32	50.41	51.39
13:18:34	50.74	51.7
13:23:36	51.06	52.02
13:28:38	51.39	52.36
13:33:40	51.74	52.69
13:38:42	52.09	53.04
13:43:44	52.43	53.39
13:48:46	52.78	53.73
13:53:48	53.09	54.01
13:58:50	53.45	54.38
14:03:52	53.78	54.71
14:08:54	54.1	55.07
14:13:56	54.45	55.39
14:18:58	54.79	55.72

14:24:00	55.08	56.02
14:29:02	55.42	56.39
14:34:04	55.79	56.76
14:39:06	56.12	57.11
14:44:08	56.49	57.46
14:49:10	56.82	57.78
14:54:12	57.15	58.11
14:59:14	57.46	58.43
15:04:16	57.77	58.74
15:09:18	58.09	59.01
15:14:20	58.41	59.35
15:19:22	58.75	59.69
15:24:24	59.08	59.99
15:29:26	59.41	60.38
15:34:28	59.72	60.69
15:39:30	60.04	61.01
15:44:32	60.35	61.34
15:49:34	60.69	61.67
15:54:36	60.98	61.95
15:59:38	61.29	62.19
16:04:40	61.6	62.51

الشكل (6-9) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الصيف باعتبار المستقبل ألمنيوم حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت تقريباً بشكل خطي خلال كل أيام الفصل.



الشكل (6-9) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الصيف مع مستقبل ألمنيوم

6-2-4 خلال فصل الخريف:

الجدول (6-10) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز بمستقبل نحاس خلال الخريف.

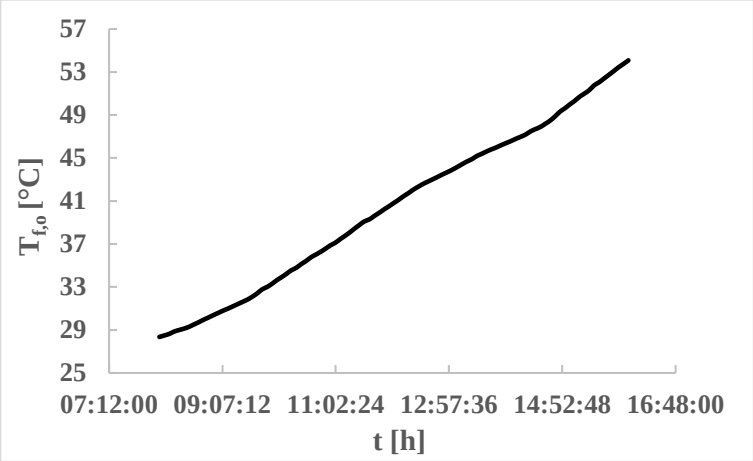
الجدول (6-10) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل نحاس في الخريف

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:03:11	28.12	28.35
08:08:09	28.23	28.49
08:13:07	28.39	28.63
08:18:05	28.56	28.85
08:23:03	28.71	28.99
08:28:01	28.92	29.12
08:32:59	29.09	29.28
08:37:57	29.32	29.5
08:42:55	29.55	29.71
08:47:53	29.76	29.94
08:52:51	29.98	30.15
08:57:49	30.06	30.37
09:02:47	30.29	30.58
09:07:45	30.48	30.79
09:12:43	30.69	30.98
09:17:41	30.88	31.19
09:22:39	31.07	31.4
09:27:37	31.22	31.61
09:32:35	31.43	31.82
09:37:33	31.65	32.09
09:42:31	31.88	32.4
09:47:29	32.09	32.77
09:52:27	32.35	32.99
09:57:25	32.61	33.28
10:02:23	32.89	33.62
10:07:21	33.18	33.91
10:12:19	33.39	34.22
10:17:17	33.63	34.55
10:22:15	33.85	34.78
10:27:13	34.19	35.12
10:32:11	34.5	35.41
10:37:09	34.78	35.75
10:42:07	35.06	36.01
10:47:05	35.29	36.27

10:52:03	35.55	36.56
10:57:01	35.81	36.87
11:01:59	36.09	37.11
11:06:57	36.4	37.45
11:11:55	36.7	37.76
11:16:53	37.01	38.09
11:21:51	37.32	38.45
11:26:49	37.64	38.79
11:31:47	37.96	39.11
11:36:45	38.26	39.29
11:41:43	38.58	39.61
11:46:41	38.87	39.9
11:51:39	39.19	40.22
11:56:37	39.49	40.51
12:01:35	39.8	40.82
12:06:33	40.11	41.12
12:11:31	40.41	41.45
12:16:29	40.73	41.74
12:21:27	41.02	42.06
12:26:25	41.31	42.33
12:31:23	41.6	42.59
12:36:21	41.82	42.81
12:41:19	42.06	43.03
12:46:17	42.28	43.25
12:51:15	42.5	43.48
12:56:13	42.71	43.69
13:01:11	42.96	43.92
13:06:09	43.22	44.17
13:11:07	43.47	44.43
13:16:05	43.7	44.68
13:21:03	43.91	44.9
13:26:01	44.18	45.19
13:30:59	44.4	45.39
13:35:57	44.65	45.61
13:40:55	44.86	45.81
13:45:53	45.03	45.99
13:50:51	45.24	46.2
13:55:49	45.43	46.39
14:00:47	45.65	46.58
14:05:45	45.84	46.79
14:10:43	46.01	46.98

14:15:41	46.22	47.19
14:20:39	46.53	47.48
14:25:37	46.71	47.69
14:30:35	46.92	47.89
14:35:33	47.23	48.18
14:40:31	47.52	48.48
14:45:29	47.91	48.87
14:50:27	48.38	49.31
14:55:25	48.74	49.62
15:00:23	49.01	49.98
15:05:21	49.39	50.31
15:10:19	49.73	50.69
15:15:17	50.02	50.99
15:20:15	50.38	51.31
15:25:13	50.79	51.76
15:30:11	51.08	52.04
15:35:09	51.41	52.39
15:40:07	51.78	52.73
15:45:05	52.11	53.08
15:50:03	52.45	53.44
15:55:01	52.79	53.75
15:59:59	53.09	54.08

الشكل (6–10) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الخريف وباعتبار المستقبل نحاس حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل أيام الفصل.



الشكل (6–10) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الخريف مع مستقبل نحاس

الجدول (6–11) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الستانلس ستيل كمادة للمستقبل خلال الخريف.

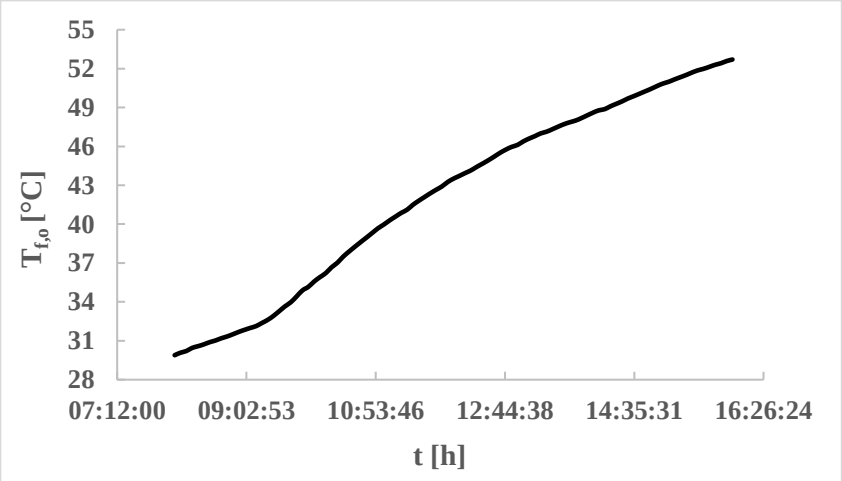
الجدول (6–11) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ستانلس ستيل في الخريف

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:01:20	29.61	29.89
08:06:19	29.75	30.08
08:11:18	29.88	30.21
08:16:17	30.12	30.45
08:21:16	30.31	30.58
08:26:15	30.47	30.72
08:31:14	30.59	30.89
08:36:13	30.71	31.02
08:41:12	30.88	31.19
08:46:11	31.04	31.33
08:51:10	31.25	31.5
08:56:09	31.44	31.68
09:01:08	31.59	31.84
09:06:07	31.72	31.99
09:11:06	31.87	32.13
09:16:05	32.09	32.37
09:21:04	32.28	32.61
09:26:03	32.52	32.92
09:31:02	32.78	33.29
09:36:01	33.06	33.66
09:41:00	33.32	33.98
09:45:59	33.63	34.43
09:50:58	33.97	34.89
09:55:57	34.28	35.16
10:00:56	34.61	35.57
10:05:55	34.93	35.91
10:10:54	35.35	36.22
10:15:53	35.71	36.67
10:20:52	36.16	37.02
10:25:51	36.54	37.49
10:30:50	36.91	37.88
10:35:49	37.39	38.25
10:40:48	37.72	38.61
10:45:47	38.09	38.96
10:50:46	38.48	39.32

10:55:45	38.79	39.68
11:00:44	39.09	39.97
11:05:43	39.41	40.29
11:10:42	39.75	40.58
11:15:41	39.99	40.87
11:20:40	40.31	41.11
11:25:39	40.65	41.49
11:30:38	40.96	41.8
11:35:37	41.22	42.09
11:40:36	41.51	42.38
11:45:35	41.82	42.65
11:50:34	42.03	42.91
11:55:33	42.36	43.25
12:00:32	42.67	43.51
12:05:31	42.89	43.72
12:10:30	43.08	43.94
12:15:29	43.31	44.15
12:20:28	43.6	44.42
12:25:27	43.85	44.67
12:30:26	44.11	44.93
12:35:25	44.36	45.21
12:40:24	44.62	45.5
12:45:23	44.87	45.75
12:50:22	45.09	45.96
12:55:21	45.32	46.11
13:00:20	45.59	46.38
13:05:19	45.81	46.6
13:10:18	45.99	46.79
13:15:17	46.15	47
13:20:16	46.34	47.13
13:25:15	46.51	47.32
13:30:14	46.7	47.52
13:35:13	46.89	47.71
13:40:12	47.02	47.86
13:45:11	47.21	47.99
13:50:10	47.42	48.18
13:55:09	47.63	48.39
14:00:08	47.81	48.6
14:05:07	47.97	48.78
14:10:06	48.2	48.87
14:15:05	48.41	49.09

14:20:04	48.6	49.28
14:25:03	48.79	49.47
14:30:02	49.01	49.69
14:35:01	49.22	49.87
14:40:00	49.41	50.06
14:44:59	49.62	50.25
14:49:58	49.83	50.44
14:54:57	49.99	50.65
14:59:56	50.2	50.84
15:04:55	50.39	50.98
15:09:54	50.57	51.16
15:14:53	50.72	51.33
15:19:52	50.89	51.5
15:24:51	51.08	51.69
15:29:50	51.22	51.86
15:34:49	51.35	51.98
15:39:48	51.42	52.13
15:44:47	51.57	52.29
15:49:46	51.75	52.41
15:54:45	51.89	52.58
15:59:44	52.03	52.7

الشكل (6-11) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الخريف باعتبار المستقبل ستانلس ستيل حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل أيام الفصل.



الشكل (6-11) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الخريف مع مستقبل ستانلس ستيل

الجدول (6–12) يبين درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز عند استخدام الألمنيوم كمادة للمستقبل خلالفصل الخريف.

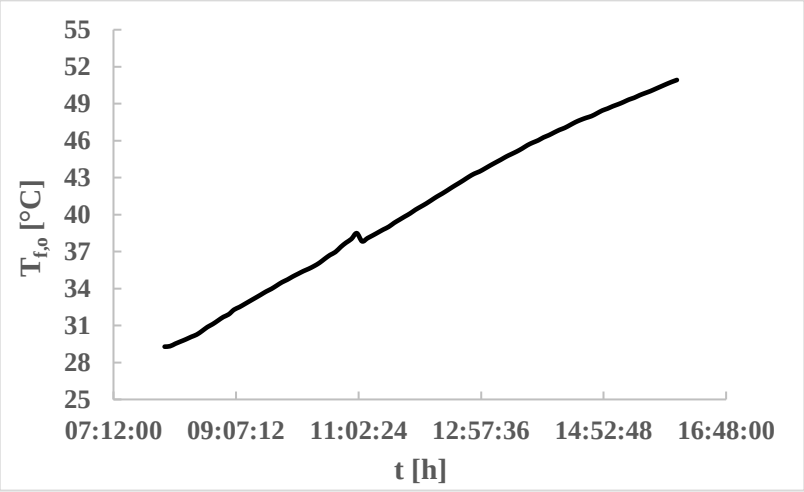
الجدول (6–12) درجة حرارة المائع عند مدخل ومخرج المركز مع مستقبل ألمنيوم في الخريف

t [h]	$T_{f,i}$ [°C]	$T_{f,o}$ [°C]
08:00:06	29.09	29.28
08:05:07	29.11	29.32
08:10:08	29.28	29.52
08:15:09	29.44	29.7
08:20:10	29.59	29.88
08:25:11	29.76	30.08
08:30:12	29.91	30.26
08:35:13	30.08	30.55
08:40:14	30.29	30.87
08:45:15	30.56	31.11
08:50:16	30.7	31.4
08:55:17	30.95	31.69
09:00:18	31.22	31.9
09:05:19	31.47	32.28
09:10:20	31.72	32.49
09:15:21	31.97	32.74
09:20:22	32.23	32.99
09:25:23	32.45	33.24
09:30:24	32.69	33.49
09:35:25	32.92	33.75
09:40:26	33.18	33.97
09:45:27	33.41	34.24
09:50:28	33.65	34.51
09:55:29	33.84	34.72
10:00:30	34.03	34.97
10:05:31	34.24	35.19
10:10:32	34.46	35.41
10:15:33	34.67	35.6
10:20:34	34.86	35.82
10:25:35	35.23	36.08
10:30:36	35.56	36.41
10:35:37	35.89	36.72
10:40:38	36.21	36.96
10:45:39	36.52	37.37
10:50:40	36.85	37.72

10:55:41	37.29	38.02
11:00:42	37.65	38.49
11:05:43	36.89	37.83
11:10:44	37.12	38.08
11:15:45	37.35	38.31
11:20:46	37.59	38.55
11:25:47	37.82	38.79
11:30:48	38.09	39.01
11:35:49	38.35	39.32
11:40:50	38.6	39.58
11:45:51	38.89	39.84
11:50:52	39.15	40.09
11:55:53	39.41	40.39
12:00:54	39.68	40.64
12:05:55	39.91	40.89
12:10:56	40.18	41.17
12:15:57	40.45	41.45
12:20:58	40.71	41.7
12:25:59	40.99	41.97
12:31:00	41.26	42.25
12:36:01	41.51	42.51
12:41:02	41.79	42.78
12:46:03	42.05	43.06
12:51:04	42.29	43.31
12:56:05	42.52	43.49
13:01:06	42.75	43.73
13:06:07	42.99	43.98
13:11:08	43.25	44.22
13:16:09	43.47	44.45
13:21:10	43.69	44.7
13:26:11	43.92	44.91
13:31:12	44.15	45.12
13:36:13	44.37	45.36
13:41:14	44.62	45.63
13:46:15	44.85	45.84
13:51:16	45.06	46.02
13:56:17	45.27	46.26
14:01:18	45.46	46.44
14:06:19	45.68	46.66
14:11:20	45.88	46.87
14:16:21	46.09	47.04

14:21:22	46.28	47.27
14:26:23	46.49	47.5
14:31:24	46.68	47.69
14:36:25	46.86	47.85
14:41:26	47.02	47.99
14:46:27	47.23	48.21
14:51:28	47.45	48.44
14:56:29	47.62	48.6
15:01:30	47.81	48.79
15:06:31	47.98	48.95
15:11:32	48.15	49.13
15:16:33	48.34	49.33
15:21:34	48.51	49.48
15:26:35	48.7	49.68
15:31:36	48.89	49.85
15:36:37	49.05	50.01
15:41:38	49.23	50.2
15:46:39	49.42	50.39
15:51:40	49.61	50.58
15:56:41	49.79	50.76
16:01:42	49.95	50.92

الشكل (6-12) يبين تغير درجة حرارة خروج المائع من المركز مع الزمن خلال الخريف باعتبار المستقبل ألمنيوم، نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع الزمن تقريباً بشكل خطي خلال كل أيام الفصل.



الشكل (6-12) تغير درجة حرارة خروج المائع مع الزمن خلال الخريف مع مستقبل ألمنيوم

3-6 نتائج

بعد اختبار نموذج المركز الشمسي تبعاً لمواد مختلفة للمستقبل خلال عدة أيام لكل مادة في كل شهر من السنة، وأخذ القيمة الوسطية لدرجة الحرارة في هذه الأيام، وتمثيل كل شهر في يوم محدد خلال ساعات الاختبار تبين ما يلي:

1. خلال كافة فصول السنة وباعتبار المواد الثلاثة المختلفة للمستقبل (نحاس، ستانلس ستيل، ألمنيوم) نلاحظ ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل يوم من أيام الفصل.
2. تصل درجات الحرارة خلال الفصول الأربعة وباستخدام المواد الثلاثة للمستقبل كما هو موضح في الجدول (6-13).

الجدول (6-13) أعظم درجات حرارة للمائع عند مخرج المركز خلال السنة وبمواد مختلفة للمستقبل

الشتاء			الربيع		
نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم	نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم
47.51 [°C]	42.41	40.62	58.62 [°C]	57.38	54.22
الصيف			الخريف		
نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم	نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم
66.55 [°C]	63.52	62.51	54.08 [°C]	52.7	50.92

الفصل السابع

المقارنة الحرارية والاقتصادية للمواد المستخدمة في المركز

Thermal and Economic Comparison of the Materials Used in the Concentrator

7- 1 مقدمة

إنَّ الهدف الأساسي من المقارنة الحرارية والاقتصادية للمواد التي تم إجراء التجارب عليها في المركز الشمسي الخطي القطعي هو تحديد المادة التي نحصل من خلالها على أعلى كفاءة حرارية بأقل كلفة ممكنة عند شروط محددة.

7-2 حساب الكفاءة الحرارية للمركز تجريبياً

تم حساب الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي الخطي القطعي **[34] ,[17], [4],** لكل أشهر السنة من المعادلة التالية:

$$\eta_{exp} = F_R\eta_0 - \left[F_R U_L \left(T_{f,i}(t) - T_a(t)\right)/\left(C\dot{I}_b(t)\right)\right] \qquad (7\text{-}1)$$

F_R: معامل إزالة الحرارة، قيمته 0.987 تم حسابها سابقاً.

η_0: الكفاءة البصرية للمركز، تم حساب قيمتها لكل مادة من مواد المستقبل من المعادلة (16-4).

U_L: معامل الضياع الحراري الكلي، قيمته 42.9 تم حسابها سابقاً.

$T_{f,i}$: درجة حرارة المائع الداخل إلى المركز الشمسي، وقد تم تسجيل القيم في كافة أيام السنة عن طريق حساس درجة الحرارة DS18B20.

$T_a(t)$: درجة حرارة الوسط المحيط وهي تابعة للزمن، تم إيجاد قيمها من برنامج TRANSYS لكل ساعات السنة.

C: نسبة التركيز، قيمتها 15.92 تم حسابها سابقاً (الفصل الرابع).

$\dot{I}_b(t)$: شدة الإشعاع الشمسي المباشر، تم حساب كافة قيمه التابعة للزمن في كل أيام السنة من المعادلات (الفصل الرابع).

نعرض في الجداول التالية قيم الكفاءة الحرارية لكل فصول السنة من الساعة 8:30 حتى 15:30، حيث كل فصل ممثلاً بشهر.

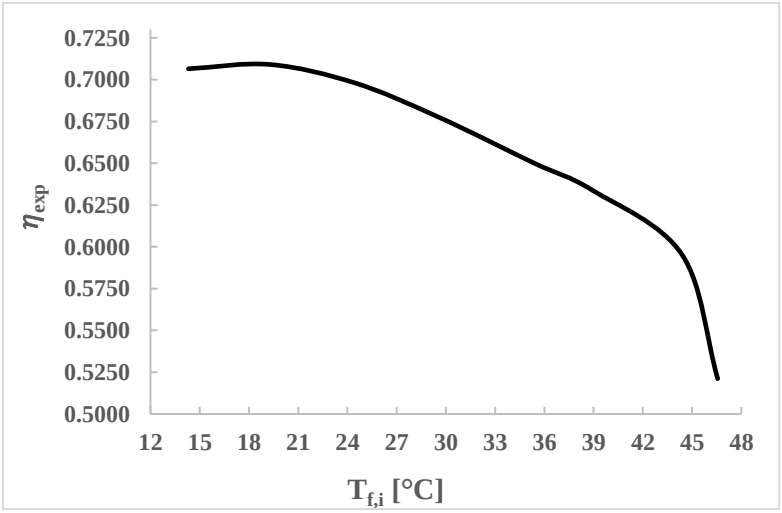
7-2-1 فصل الشتاء

يبين الجدول (7-1) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي الخطي القطعي عند استخدام النحاس كمستقبل وذلك في شهر شباط حيث: ($\alpha_a = 0.95$) فتكون $\eta_o = 0.776$. لقد تم تمثيل الشهر في يوم واحد وذلك لأنَّ القيم ساعية وسطية لكل أيام الشهر.

الجدول (7-1) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في شباط مع مستقبل نحاس

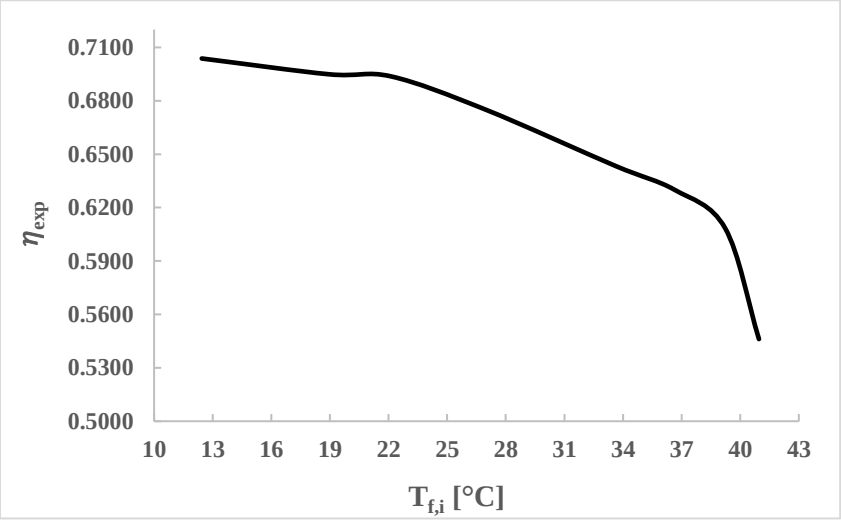
t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	371.86	6.007	14.31	0.7065
09:30:00	496.82	8.689	19.31	0.7091
10:30:00	528.93	10.98	24.5	0.6979
11:30:00	508.75	12.67	29.58	0.6775
12:30:00	496.36	13.76	35.39	0.6500
13:30:00	496.11	14.3	38.92	0.6339
14:30:00	470.75	14.21	44.38	0.5954
15:30:00	362.11	13.24	46.56	0.5211

يبين الشكل (7-1) قيم الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل في شباط.



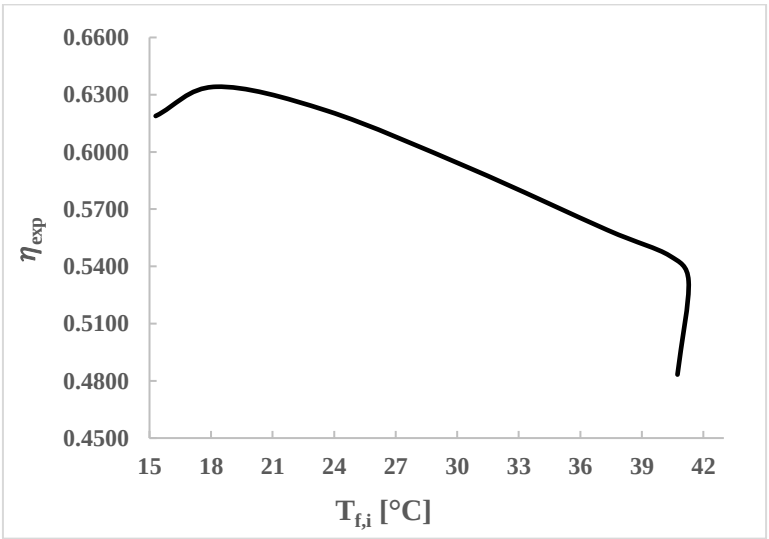
الشكل (7-1) الكفاءة التجريبية للمركز في شباط مع مستقبل نحاس

يبين الشكل (7−2) قيم الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز الشمسي عند استخدام الستانلس ستيل كمستقبل في شباط حيث: ($\alpha_a = 0.93$) فتكون $\eta_o = 0.76$.



الشكل (7−2) الكفاءة التجريبية للمركز في شباط مع مستقبل ستانلس ستيل

يبين الشكل (7−3) قيم الكفاءة التجريبية للمركز عند استخدام الألمنيوم كمستقبل في شباط حيث: ($\alpha_a = 0.85$) فتكون $\eta_o = 0.694$.



الشكل (7−3) الكفاءة التجريبية للمركز في شباط مع مستقبل ألمنيوم

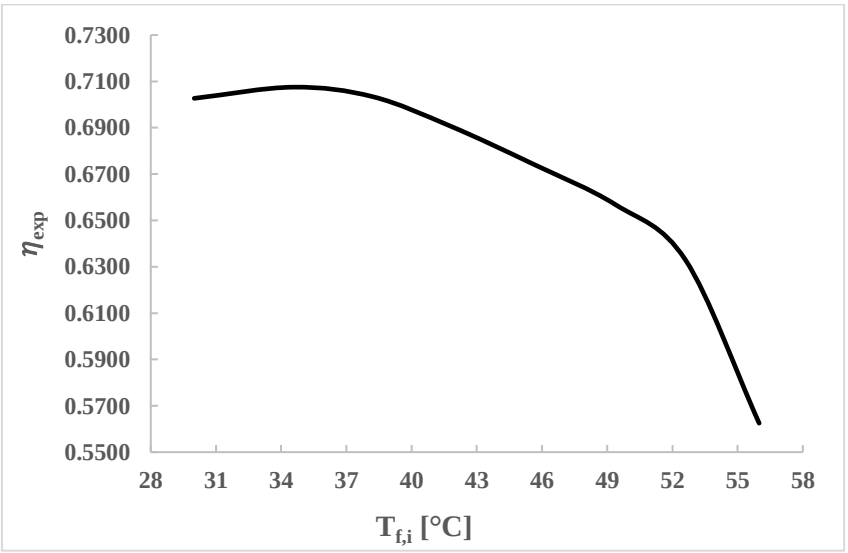
7-2-2 فصل الربيع

يبين الجدول (7-2) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل وذلك في شهر أيار. حيث تم تمثيل الشهر في يوم واحد وذلك لأنَّ القيم ساعية وسطية لكل أيام الشهر.

الجدول (7-2) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في أيار مع مستقبل نحاس

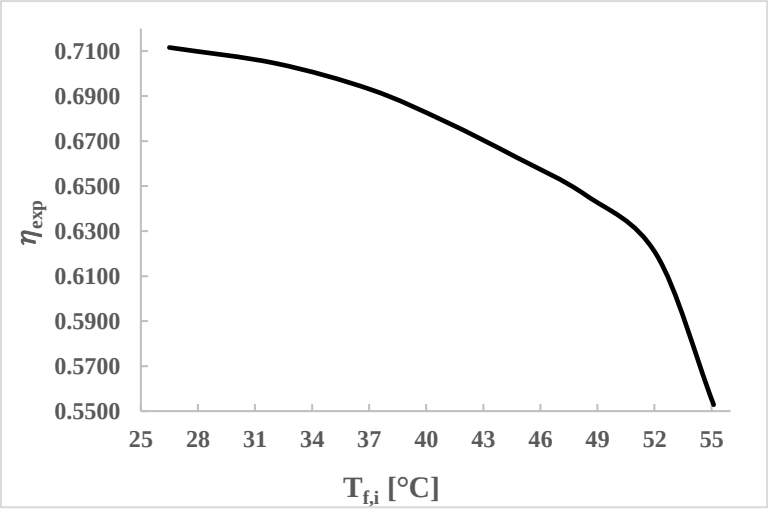
t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	668.10	21.16	30	0.7027
09:30:00	705.26	23.65	34.56	0.7075
10:30:00	738.26	25.78	38.21	0.7034
11:30:00	739.19	27.41	41.82	0.6906
12:30:00	742.58	28.5	45.61	0.6742
13:30:00	729.23	29.03	49.37	0.6569
14:30:00	743.29	29.07	52.6	0.6330
15:30:00	699.55	28.3	55.99	0.5625

يبين الشكل (7-4) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل في أيار.



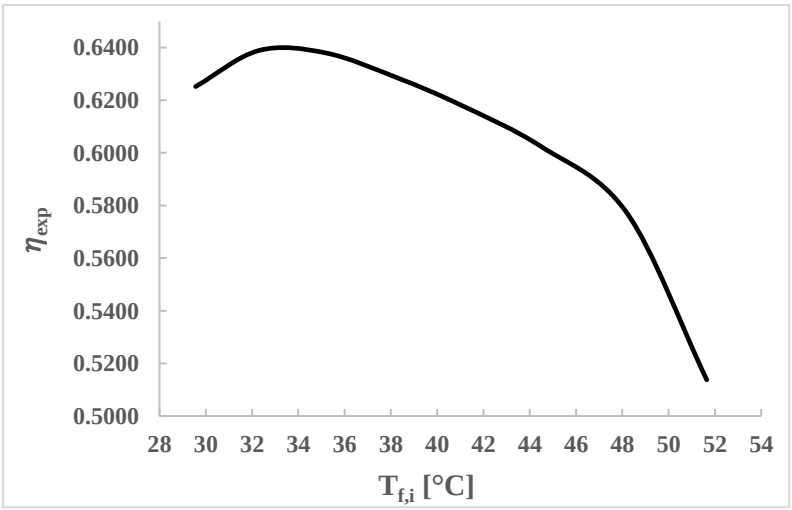
الشكل (7-4) الكفاءة التجريبية للمركز في أيار مع مستقبل نحاس

يبين الشكل (7–5) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام الستانلس ستيل كمستقبل في أيار.



الشكل (7–5) الكفاءة التجريبية للمركز في أيار مع مستقبل ستانلس ستيل

يبين الشكل (7–6) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام الألمنيوم كمستقبل في أيار.



الشكل (7–6) الكفاءة التجريبية للمركز في أيار مع مستقبل ألمنيوم

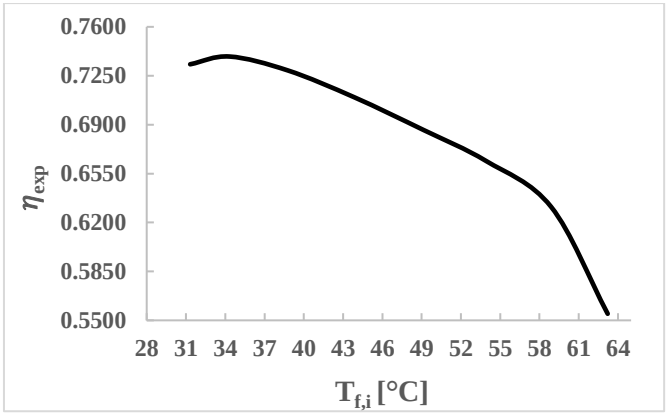
7–2–3 فصل الصيف

يبين الجدول (7–3) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل في شهر تموز. حيث تم تمثيل الشهر في يوم واحد وذلك لأنَّ القيم ساعية وسطية لكل أيام الشهر.

الجدول (7−3) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تموز مع مستقبل نحاس

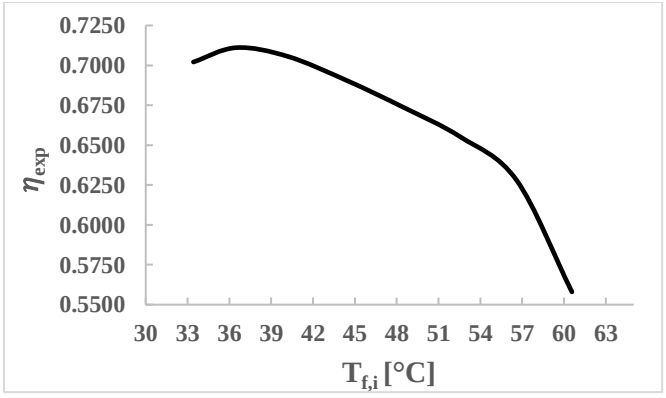
t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	809.97	26.75	31.32	0.7332
09:30:00	866.90	29.26	34.33	0.7388
10:30:00	903.03	31.4	38.78	0.7288
11:30:00	915.45	33.08	43.86	0.7096
12:30:00	914.94	34.27	49.16	0.6861
13:30:00	911.81	34.92	53.91	0.6641
14:30:00	881.65	35.06	58.89	0.6312
15:30:00	803.68	34.46	63.21	0.5547

يبين الشكل (7−7) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل في تموز.



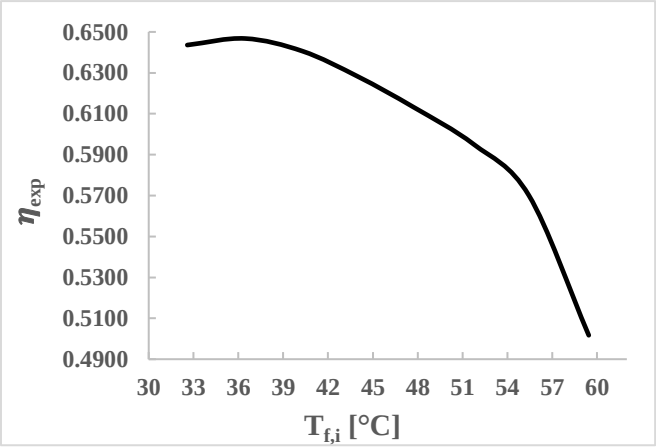
الشكل (7−7) الكفاءة التجريبية للمركز في تموز مع مستقبل نحاس

يبين الشكل (7−8) قيم الكفاءة الحرارية للمركز عند استخدام الستانلس ستيل كمستقبل في تموز.



الشكل (7−8) الكفاءة التجريبية للمركز في تموز مع مستقبل ستانلس ستيل

يبين الشكل (7−9) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام الألمنيوم كمستقبل في تموز.



الشكل (7−9) الكفاءة التجريبية للمركز في تموز مع مستقبل ألمنيوم

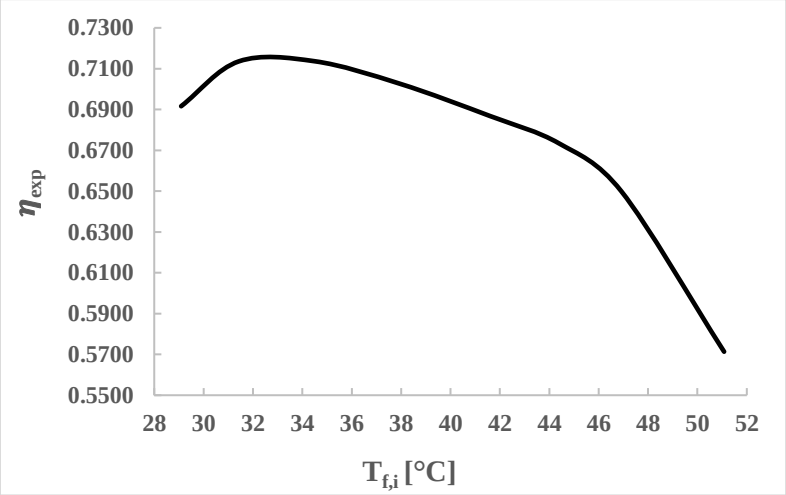
7−2−4 فصل الخريف

يبين الجدول (7−4) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل في شهر تشرين الأول. حيث تم تمثيل الشهر في يوم واحد وذلك لأنَّ القيم ساعية وسطية لكل أيام الشهر.

الجدول (7−4) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل نحاس

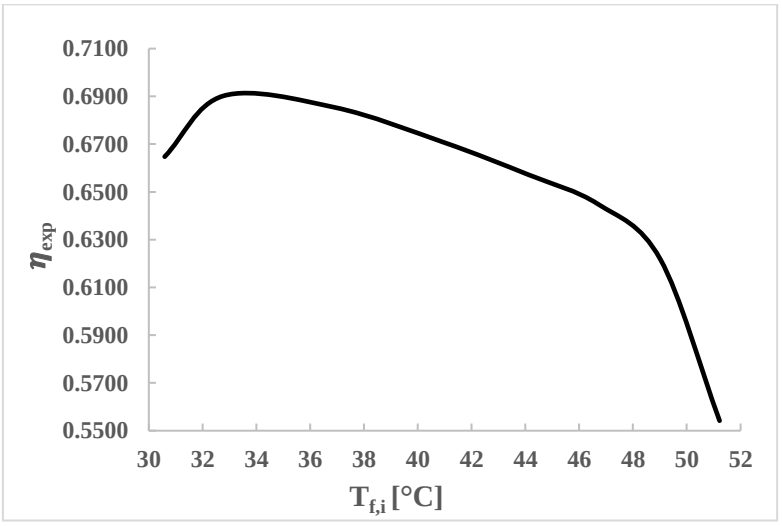
t [h]	$\dot{I}_b[W/m^2$	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	742.45	18.7	29.09	0.6916
09:30:00	860.81	21.66	31.43	0.7136
10:30:00	905.06	24.1	34.5	0.7136
11:30:00	913.03	25.85	37.96	0.7026
12:30:00	891.35	26.84	41.6	0.6868
13:30:00	857.52	27.14	44.4	0.6734
14:30:00	715.48	26.38	46.92	0.6499
15:30:00	489.55	24.59	51.08	0.5713

يبين الشكل (7−10) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام النحاس كمستقبل في تشرين الأول.



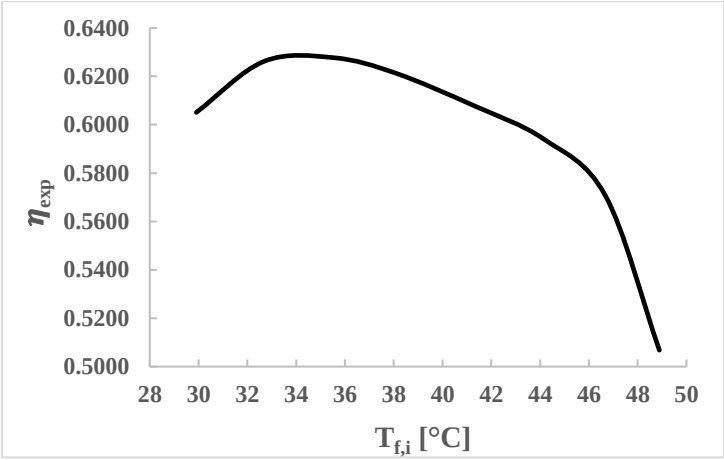
الشكل (7–10) الكفاءة التجريبية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل نحاس

يبين الشكل (7–11) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام الستانلس ستيل كمستقبل في تشرين الأول.



الشكل (7–11) الكفاءة التجريبية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل ستانلس ستيل

يبين الشكل (7–12) قيم الكفاءة الحرارية للمركز الشمسي عند استخدام الألمنيوم كمستقبل في تشرين الأول.



الشكل (7−12) الكفاءة التجريبية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل ألمنيوم

نلاحظ من الجداول السابقة أنَّ قيمة الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز الشمسي الخطي القطعي تتناقص مع ارتفاع درجة حرارة المائع الداخل إليه.

7−3 مقارنة الكفاءة الحرارية النظرية والتجريبية للمركز

تم حساب قيمة الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز في كل فصول السنة ومقارنتها مع القيمة النظرية له، وتم عرض نتائج شهر واحد من كل فصل.

لقد تم حساب قيمة الكفاءة الحرارية النظرية للمركز الشمسي من المعادلة (1−7)، حيث:

$\eta_{0,th}$: الكفاءة البصرية النظرية للمركز، تم حساب قيمتها من المعادلة (16−4) حيث:

γ: معامل دقة التصنيع وقيمته 0.95 من أجل زاوية حافة 90^{o} **[35]**.

ρ_r: انعكاسية العاكس المصنوع من الألمنيوم، قيمتها 0.86 **[35]** ,**[8]**.

α_a: امتصاصية المستقبل تم أخذ متوسط معامل الامتصاص لكل من مواد المستقبل المُستخدمة (نحاس، ستانلس ستيل، ألمنيوم) وقيمتها 0.91، وبالتالي تكون:

$$\eta_{0,th} = 0.743$$

$T_{f,i}$: درجة حرارة المائع الداخل إلى المركز، وقد تم أخذ القيمة الوسطية لدرجة الحرارة لكل شهر من أطلس درجات الحرارة **[36]**.

7-3-1 فصل الشتاء

يبين الجدول (7-5) قيمة كل من متوسط الإشعاع الشمسي المباشر, الكفاءة النظرية والتجريبية للمركز الشمسي في شهر شباط عند قيمة ثابتة لدرجة حرارة دخول المائع إلى المركز وبمواد مختلفة للمستقبل.

الجدول (7-5) الكفاءة النظرية والتجريبية في شباط

$T_{f,i,max}$ [°C]	$T_{a,ave}$ [°C]	$\dot{I}_{b,ave}$ $[W/m^2]$	η_{th}	$\eta_{exp,Cu}$	$\eta_{exp,St}$	$\eta_{exp,Al}$
14.3	11.712	466.461	0.72	0.7	0.69	0.61

$T_{f,i,max}$: أعظم درجة حرارة للماء في شهر شباط حسب أطلس درجات الحرارة **[36]**.

$T_{a,ave}$: متوسط درجة حرارة الوسط المحيط في شهر شباط **[36]**.

$\dot{I}_{b,ave}$: متوسط الإشعاع الشمسي المباشر في شباط.

η_{th}: الكفاءة النظرية للمركز.

$\eta_{exp,Cu}$: الكفاءة التجريبية للمركز في حال استخدام مستقبل نحاس.

$\eta_{exp,St}$: الكفاءة التجريبية للمركز في حال استخدام مستقبل ستانلس ستيل.

$\eta_{exp,Al}$: الكفاءة التجريبية للمركز في حال استخدام مستقبل ألمنيوم.

7-3-2 فصل الربيع

يبين الجدول (7-6) قيمة كل من متوسط الإشعاع الشمسي المباشر، متوسط درجة حرارة الوسط المحيط, الكفاءة النظرية والتجريبية للمركز الشمسي في شهر أيار عند قيمة ثابتة لدرجة حرارة دخول المائع إلى المركز.

الجدول (7-6) الكفاءة النظرية والتجريبية في أيار

$T_{f,i,max}$ [°C]	$T_{a,ave}$ [°C]	$\dot{I}_{b,ave}$ $[W/m^2]$	η_{th}	$\eta_{exp,Cu}$	$\eta_{exp,St}$	$\eta_{exp,Al}$
29.071	26.632	466.461	0.724	0.702	0.70	0.625

7-3-3 فصل الصيف

يبين الجدول (7-7) قيمة كل من متوسط الإشعاع الشمسي المباشر، متوسط درجة حرارة الوسط المحيط, الكفاءة النظرية والتجريبية للمركز في تموز عند قيمة ثابتة لدرجة حرارة دخول المائع إلى المركز.

الجدول (7-7) الكفاءة النظرية والتجريبية في تموز

$T_{f,i,max}$ [°C]	$T_{a,ave}$ [°C]	$\dot{I}_{b,ave}$ $[W/m^2]$	η_{th}	$\eta_{exp,Cu}$	$\eta_{exp,St}$	$\eta_{exp,Al}$
35.055	32.478	875.93	0.73	0.719	0.71	0.6468

7-3-4 فصل الخريف

يبين الجدول (7-8) قيمة كل من متوسط الإشعاع الشمسي المباشر، متوسط درجة حرارة الوسط المحيط، الكفاءة النظرية والتجريبية للمركز في تشرين الأول عند قيمة ثابتة لدرجة حرارة دخول المائع إلى المركز.

الجدول (7-8) الكفاءة النظرية والتجريبية في تشرين الأول

$T_{f,i,max}$ [°C]	$T_{a,ave}$ [°C]	$\dot{I}_{b,ave}$ $[W/m^2]$	η_{th}	$\eta_{exp,Cu}$	$\eta_{exp,St}$	$\eta_{exp,Al}$
27.135	24.157	796.91	0.724	0.69	0.66	0.605

نلاحظ من الجداول السابقة (7–5), (7–6), (7–7) و (7–8) أنَّ الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز أقل من الكفاءة النظرية له بنسبة % (12–2) وهذا ما بينته الدراسات والأبحاث السابقة **[12]**. وهذه النسبة تتفاوت تبعاً لاختلاف مواد المستقبل، ويعود السبب في ذلك إلى أنَّه عندما تم حساب الكفاءة النظرية للمركز تم اعتماد قيمة تصميمية لدرجة حرارة مائع نقل الحرارة عند مدخل المركز في كل شهر، وتم حساب القيمة الوسطية لدرجة حرارة الوسط المحيط في نفس الشهر من برنامج TRANSYS **[37]**. أما عندما تم حساب الكفاءة التجريبية للمركز تم قياس درجة حرارة المائع عند مدخل المركز في كل ساعات السطوع الشمسي، وأيضاً تم تحديد قيم درجة حرارة الوسط المحيط لكل أيام السنة **[37]**.

7–4 تكاليف نظام المركز الشمسي

7–4–1 كلفة القطع الميكانيكية

يبين الجدول (7–9) كلفة كل قطعة ميكانيكية والمنطقة التي تم الشراء منها.

الجدول (7–9) كلفة كل قطعة ميكانيكية والمنطقة التي تم الشراء منها

اسم القطعة الميكانيكية	المنطقة	الكلفة
بروفيل حديد داعم للعاكس	الصناعة	8000
براغي شد عامة	الصناعة	5000
براغي صاج	الصناعة	7000
مسننات جنزير	صقاق الجن	25000
جنزير	صقاق الجن	9000
بروفيلات ألمنيوم ملفوفة	سوق العمارة	80000
صفيحة ألمنيوم عاكس أوروبي	صقاق الجن	100000
الهيكل المعدني مع أجور لحام	الهمك	153000
طلاء ومواد لاصقة	العمارة	10000
محور دوران عياري	الصناعة	10000
رولمانات مع يطقات (بيت الرولمان)	صقاق الجن	10000
صاج حماية المسننات والمحرك	الصناعة	30000
صاج دعم لوح العاكس من التشوه	الصناعة	40000

أجور تصنيع ونقل ومواصلات		85000
تفصيل حمالات البواري للمحرق	الهمك	20000
أجور ومواد تثبيت الهيكل بالأرض	العمارة	53000

7-4-2 كلفة القطع الكهربائية

يبين الجدول (7-10) كلفة كل قطعة كهربائية والمنطقة التي تم الشراء منها.

الجدول (7-10) كلفة كل قطعة كهربائية والمنطقة التي تم الشراء منها

اسم القطعة الكهربائية	المنطقة	الكلفة
وحدة تغذية طاقة (Power Supply V12)	سوق الكهرباء	5000
متحكم منطقي مبرمج	سوق الكهرباء	200000
مفاتيح كهربائية	سوق الكهرباء	10000
فيوزات	سوق الكهرباء	6000
قاطع كهربائي	سوق الكهرباء	1500
ريليه	سوق الكهرباء	2500
وصلات (جنكسيوانت)	سوق الكهرباء	12000
لمبات إشارة	سوق الكهرباء	8000
محرك كهربائي	صقاق الجن	80000
علبة سرعة	صقاق الجن	55000
كبلة برمجة ومحولة خاصة	سوق الكهرباء	20000
وحدة تحصيل المعلومات	سوق الكهرباء	100000
تابلو كهرباء	سوق الكهرباء	20000
كابلات	سوق الكهرباء	15000
حساسات حرارة	سوق الكهرباء	24000

7-4-3 كلفة التوصيلات الصحية

يبين الجدول (7-11) كلفة كل توصيلة صحية والمنطقة التي تم الشراء منها.

الجدول (7-11) كلفة كل توصيلة صحية والمنطقة التي تم الشراء منها

اسم التوصيلة الصحية	المنطقة	الكلفة
برابيش راسور	المناخلية	10000
حمالات بواري 2/1 انش	المناخلية	5000
خزان ماء مع لحام	المناخلية	30000
وصلات أوتوماتيك	المناخلية	10000
مضخة ماء أوتوماتيك	المناخلية	25000
أنبوب ستانلس ستيل	باب مصلى	5000
أنبوب نحاس	باب مصلى	3200
أنبوب ألمنيوم	باب مصلى	2800
مقياس تدفق	المناخلية	45000
اكسسوارات التوصيل	المناخلية	30000
عوازل	باب مصلى	30000

وتكون الكلفة الكلية (total cost) هي: مجموع تكاليف كل من القطع الميكانيكية والكهربائية والتوصيلات الصحية.

$$total\ cost = 1400000\ [Syrian\ Pound] \qquad (7-2)$$

7-5 نتائج

بعد حساب الكفاءة الحرارية للمركز باستبدال عنصر التقاط الحرارة وتحديد درجة الحرارة عند مدخل ومخرج المركز تم استنتاج ما يلي:

1. نحصل دوماً على أعلى درجات حرارة عند استخدام النحاس كعنصر التقاط الحرارة ومن ثمَّ الستانلس ستيل ثمَّ الألمنيوم وهذا ما أشارت إليه الدراسات والأبحاث السابقة **[44] ,[16].**
2. إنَّ متوسط كفاءة الجهاز في الفصول الأربعة مبينة في الجدول (7-12) وهذه القيم قريبة من نتائج الدراسات السابقة **[12], [13], [14], [15].**

الجدول (7-12) كفاءة المركز في الفصول الأربعة

الشتاء			**الربيع**		
نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم	نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم
0.6489	0.6405	0.5733	0.6663	0.6586	0.6053
الصيف			**الخريف**		
نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم	نحاس	ستانلس ستيل	ألمنيوم
0.6808	0.6655	0.6049	0.6753	0.6487	0.595

3. أعلى كفاءة للجهاز كانت عند استخدام النحاس كمستقبل ثمَّ الستانلس ستيل ثمَّ الألمنيوم كما بينت الدراسات **[44]**، السبب في ذلك أنَّه تم الحصول على أعلى درجة حرارة عند استخدام النحاس كمستقبل.
4. الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز أقل من الكفاءة النظرية له بنسبة % (2-12) وهذا ما بينته الدراسات والأبحاث السابقة **[12]**.
5. إنَّ استخدام الستانلس ستيل كعنصر التقاط حرارة مكلف اقتصادياً **[11]** لذلك يتم استنتاج أنَّ النحاس كمستقبل هو أكثر اقتصادية مع إمكانية تأمين أعلى درجة حرارة للمائع عند مخرج المركز.

6. إنَّ صفيحة الألمنيوم هي أكثر اقتصادية لتُستخدم كعاكس **[11]** مع إمكانية تأمين درجة حرارة المائع عند مخرج المركز.

نتائج الدراسة

تمَّ في هذا البحث إنجاز كافة الحسابات لتحديد موقع الشمس من خلال حل معادلات الزوايا الشمسية في كل ساعات السطوع الشمسي بالإضافة للحساب التفصيلي لشدة الإشعاع الشمسي المباشر على مدار السنة ووضع النموذج الرياضي للمركز وحله ومن ثم اختباره في شروط عمل متغيرة لقيم البعد المحرقي وزاوية الحافة من أجل حساب الكفاءة الحرارية وقد أظهرت النتائج ما يلي:

1. الأبعاد المُثلى لتصنيع نموذج لمركز شمسي خطي قطعي وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق:

$$S = 1{,}15\ [m] \qquad W_a = 1\ [m], \qquad r_r = 0.5\ [m]$$

عند $\varphi_r = 90°$ و $f = 0.25\ [m]$.

2. لم توضِّح نتائج الدراسات المرجعية تأثير قيمة البعد المحرقي على أبعاد المركز وبالتالي كلفته، في هذه الدراسة تم دراسة تأثير تغير قيمة هذا البعد على أبعاد المركز وتبيّن أنَّ زيادة قيم البعد المحرقي تؤدي إلى زيادة أبعاد المركز وبالتالي زيادة الكفاءة الحرارية له بشكل طفيف، لكن زيادة الأبعاد للمركز تؤدي إلى زيادة الكلفة الاقتصادية له بشكل كبير.

بعد تصنيع نموذج المركز الشمسي واختباره تبعاً لمواد مختلفة للمستقبل (نحاس، ستانلس ستيل، ألمنيوم) خلال أشهر السنة، وأخذ القيمة الوسطية لدرجة الحرارة في هذه الأيام تبين ما يلي:

3. خلال كافة فصول السنة وباعتبار المواد الثلاثة المختلفة للمستقبل تم ملاحظة ارتفاع درجة حرارة المائع مع مرور الوقت خلال كل يوم من أيام الفصل.
4. في الشتاء وباستخدام مادة النحاس كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 47.51 خلال النهار حسب الشكل (6-1).
5. في الشتاء وباستخدام الستانلس ستيل كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 42.41 خلال النهار، الشكل (6-2).
6. في الشتاء وباستخدام الألمنيوم كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 40.62 خلال النهار، الشكل (6-3).
7. في الربيع وباستخدام النحاس كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 58.62 الشكل (6-4).
8. في الربيع باستخدام الستانلس ستيل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 57.38، الشكل (6-5).
9. في الربيع باستخدام الألمنيوم كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 54.22، الشكل (6-6).

10. في الصيف باستخدام النحاس تصل درجة الحرارة إلى [°C] 66.55, الشكل (6–7).
11. في الصيف باستخدام الستانلس ستيل كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 63.52، الشكل (6–8).
12. في الصيف باستخدام الألمنيوم كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 62.51، الشكل (6–9).
13. في الخريف باستخدام النحاس كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 54.08، الشكل (6–10).
14. في الخريف باستخدام الستانلس ستيل كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 52.7، الشكل (6–11).
15. في الخريف باستخدام الألمنيوم كمستقبل تصل درجة الحرارة إلى [°C] 50.92، الشكل (6–12).

بناءً على ما سبق تمَّ حساب الكفاءة الحرارية للمركز نظرياً وتجريبياً باستبدال مادة المستقبل والجداول (7–5)، (7–6)، (7–7) و(7–8) بينت ما يلي:

16. الكفاءة الحرارية التجريبية للمركز أقل من الكفاءة النظرية بنسبة تتراوح بين (12–2) % وهذا ما بينته الأبحاث والدراسات السابقة.
17. أعلى كفاءة للجهاز كانت عند استخدام النحاس كمستقبل كما بينت الدراسات.
18. إنَّ متوسط كفاءة الجهاز عند استخدام النحاس كمستقبل تتراوح بين 0.6489 في الشتاء، 0.6808 في الصيف، 0.6663 في الربيع، 0.6753 في الخريف.
19. إنَّ متوسط كفاءة الجهاز عند استخدام الستانلس ستيل كمستقبل تتراوح بين 0.6405 في الشتاء، 0.6655 في الصيف، 0.6586 في الربيع، 0.6487 في الخريف.
20. إنَّ متوسط كفاءة الجهاز عند استخدام الألمنيوم كمستقبل تتراوح بين 0.5733 في الشتاء، 0.6149 في الصيف، 0.6053 في الربيع، 0.595 في الخريف.

References:

1. Padilla, R.V. (4 April, 2011). Simplified Methodology for Designing Parabolic Trough Solar Power Plants. PhD dissertation, University of South Florida.

2. National Energy Research Center. Damascus, Syria.

3. Silva, Joa. P. Modelling and Simulation of Parabolic Trough Power Plant. Technical University of Lisbon, Portugal.

4. Kalogirou, S. (2009). Solar Energy Engineering Processes and Systems. NREL (USA). Elsevier Inc.

5. Kearney, D. Parabolic Trough Collector Overview. NREL (USA), 2007.

6. Wagner, M & Mehos, M. Modeling of a parabolic Trough Solar Field for Acceptance Testing: A Case Study. (August 7-10, 2011) Washington, USA.

7. Horst, D. (5- March, 2012) Performance Simulation for Parabolic Trough Concentrating Solar Power Plants and Export Senario Analysis for North Africa. University of Kassel.

8. AFREC (2011). Overview of the Kuraymat 150 MW Integrated Solar Combined Cycle Power Plant (ISCC), Kuraymat, Egypt.

9. Khaled, A. (February,2012) Technical and Economic Performance of Parabolic Trough in Jordan. University of Kassel.

10. Atul, A. Aher, S & Shinde, N. (2013). Performance Evaluation of Low-Cost FRP Parabolic Trough Reflector with Mild Steel Receiver. International Journal of Energy and Environmental Engineering. Doi: 10.1186/2251 -6832-4-5.

11. Yadav, I. Kumar, M& Balram. (2013) Vol:7, No:12. Experimental Study and Analysis of Parabolic Trough Collector with Various Reflectors. International Journal of Mathematical, Computational, Physical and Quantum Engineering.

12. Yassen, T. (3 April, 2012) Vol:5, No:1. Experimental and Theoretical Study of a Parabolic Trough Solar Collector. Anbar Journal for Engineering Sciences.

13. Coccia, G. Nicola, G & Sotte, M. (2015) 727-736. Design, Manufacture, and Test of a Prototype for a Parabolic Trough Collector for Industrial Process Heat. Renewable Energy. Elsevier Inc.

14. Kalogirou, S & Panayiotou, G. Evaluation of A Parabolic Trough Collector Performance.

15. Valenciaa, J. Ramírez, R. Acostaa, O. Jaramillob & Aguilara, J. Energy Procedia 57 (2014) 989 – 998. Design, Construction and Evaluation of Parabolic Trough Collector as Demonstrative Prototype. Elsevier Inc.

16. Umar1, S. Muhammad, K & Yahya, N. (6 December, 2013). Experimental Performance Evaluation of Parabolic Trough Concentrator. International Journal of Environment and Bioenergy, 8(2): 86-93. Florida, USA.

17. Duffie, J & Beckman, W: Solar Engineering of Thermal Processes (1991). Second Edition. JOHN WILEY & SONS, INC.

18. Paraschiv, S. Paraschiv, L. Ion, V & Vatachi, N. (February, 2010). Design and Sizing Characteristics of Solar Thermal Power Plant with Cylindrical Parabolic Concentrators in Dobrogea Region.

19. Nersesian, R. (2011) Energy for the 21st Century, Second Edition.

20. Price, H. Forristal, R. Wendelin, T & Lewandwski, A. (April 2006). Field Survey of Parabolic Trough Receiver Thermal Performance. NREL (USA).

21. Killy, B & Kearney, D. (July 2006). Parabolic Trough Solar System Piping Model. NREL (USA).

22. Chen, G. Ren, z & Esfarjani, K. (2013). Metallic Composites Phase-Change Materials for High-Temperature Thermal Energy Storage.

23. Valenzuela, L. (27-28 June, 2012). STE Plants with Parabolic Trough Collectors.

24. Denholm, P & Hummon, M. (2013). Simulating the Value of Concentrating Solar Power with Thermal Energy Storage in a production cost model, NREL (USA).

25. Jaramillo, O. Venegas, E & Aguilar, J. (2013). Parabolic Trough Concentrators for Low Enthalpy Processes. Renewable Energy. Elsevier Inc. 529- 539.

26. Forristall, R. (October, 2003). Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver, NREL (USA).

27. Padilla, R. Demirkaya, G. Goswami, Y. Stefanakos, E & Rahman, M. Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver. Applied Energy 88 (2011) 5097‑5110, Elsevier Inc.

28. Burkholder, F. Kutscher, C. (May 2009) Heat loss Testing of Schotts 2008 PTR70 Parabolic Trough Receiver.

29. Rahmatmand, A. Yahmood, M. Raesi, M. Niknia, I & Kanan, P. (Vol. 15, No. 5-6, May – June 2013, P. 571- 577) Experimental Analysis of Shiraz Solar Thermal Power Plant Performance during 2009- 2011.

30. Concentrated Solar Thermal Energy. Australia, 2011.

31. Henry, P. (16 -18 March, 2003) A Parabolic Trough Solar Power Plant Simulation Model.

32. Lunde, P.J.; "Solar thermal engineering-Space heating and hot water system", John Wiley and sons, New York, 1980.

33. Google Earth.

34. Yunus, A & Michael, B. Thermodynamics and Engineering Approach. Fifth Edition.

35. Paloposki, T & Liedquist, L. Steel emissivity at high temperatures.

36. Krueger, D. Heller, A. Hennecke, K & Duer, K. Parabolic Trough Collectors for District Heating Systems at High Latitudes a Case Study. Denemark.

37. TRANSYS SOFTWARE. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

38. Yaghoubi, F. Ahamadi, G & Bandehee, M. Analysis of Heat Losses of Absorber Tubes of Parabolic Trough Collector of Shiraz (Iran) Solar Power Plant. Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 1, No. 1, January 2013.

39. Cengel, Y. Heat Transfer a Practical Approach.
40. Teodorescu, G. (4 August, 2007) Radiative Emissivity of Metals and Oxidized Metals at High Temperature. Romania.
41. Joao, P. Modelling and Simulation of Parabolic Trough Power Plant. Portugal.
42. Rivera, E & Cruz, F. (2009) Performance Evaluation and Simulation of a Solar Thermal Power Plant.
43. Potter, D. (March, 1996) Measuring Temperature with Thermocouples – a Tutorial.
44. Etudes, Vente et Installation des Panneaux Photovoltaïques Solaire Thermique, Eoliennes et Chauffage Central. (1 June- 30 August, 2017) Chambon Feugerolles, France.

المراجع العربية:

45. الدرومي، غ. (2001–2000) تصميم الآلات. كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.
46. فارس، أ. (2016–2015) أنظمة التسخين الشمسي 1. كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.
47. المعهد العالي للعلوم والتكنولوجيا.

الملاحق

الجدول (7−1) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في شباط مع مستقبل ستانلس ستيل

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	371.86	6.007	12.44	0.7038
09:30:00	496.82	8.689	18.94	0.6949
10:30:00	528.93	10.98	22.13	0.6937
11:30:00	508.75	12.67	26.94	0.6752
12:30:00	496.36	13.76	33.6	0.6435
13:30:00	496.11	14.3	36.63	0.6301
14:30:00	470.75	14.21	39.23	0.6084
15:30:00	362.11	13.24	40.96	0.5462

الجدول (7−2) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في شباط مع مستقبل ألمنيوم

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	371.86	6.007	15.3	0.6188
09:30:00	496.82	8.689	18.24	0.6342
10:30:00	528.93	10.98	23.65	0.6216
11:30:00	508.75	12.67	30.61	0.5915
12:30:00	496.36	13.76	37.31	0.5591
13:30:00	496.11	14.3	40.35	0.5456
14:30:00	470.75	14.21	41.28	0.5323
15:30:00	362.11	13.24	40.74	0.4833

الجدول (7−3) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في أيار مع مستقبل ستانلس ستيل

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	668.10	21.16	26.5	0.7116
09:30:00	705.26	23.65	32.11	0.7045
10:30:00	738.26	25.78	37.1	0.6929
11:30:00	739.19	27.41	41.01	0.6787
12:30:00	742.58	28.5	44.72	0.6629
13:30:00	729.23	29.03	48.39	0.6460
14:30:00	743.29	29.07	52.09	0.6197
15:30:00	699.55	28.3	55.11	0.5528

الجدول (7−4) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في أيار مع مستقبل ألمنيوم

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	668.10	21.16	29.56	0.6252
09:30:00	705.26	23.65	32.31	0.6389
10:30:00	738.26	25.78	35.19	0.6380
11:30:00	739.19	27.41	38.25	0.6286
12:30:00	742.58	28.5	41.06	0.6180
13:30:00	729.23	29.03	44.5	0.6023
14:30:00	743.29	29.07	48.19	0.5773
15:30:00	699.55	28.3	51.65	0.5138

الجدول (7−5) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تموز مع مستقبل ستانلس ستيل

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	809.97	26.75	33.42	0.7021
09:30:00	866.90	29.26	36.49	0.7111
10:30:00	903.03	31.4	40.19	0.7056
11:30:00	915.45	33.08	44.45	0.6904
12:30:00	914.94	34.27	48.45	0.6738
13:30:00	911.81	34.92	52.56	0.6552
14:30:00	881.65	35.06	56.59	0.6281
15:30:00	803.68	34.46	60.57	0.5580

الجدول (7−6) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تموز مع مستقبل ألمنيوم

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	809.97	26.75	32.58	0.6436
09:30:00	866.90	29.26	36.45	0.6468
10:30:00	903.03	31.4	40.29	0.6406
11:30:00	915.45	33.08	44.03	0.6281
12:30:00	914.94	34.27	47.71	0.6133
13:30:00	911.81	34.92	51.74	0.5951
14:30:00	881.65	35.06	55.44	0.5701
15:30:00	803.68	34.46	59.45	0.5017

الجدول (7−7) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل ستانلس ستيل

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	742.45	18.7	30.59	0.6647
09:30:00	860.81	21.66	32.78	0.6902
10:30:00	905.06	24.1	36.91	0.6854
11:30:00	913.03	25.85	40.96	0.6708
12:30:00	891.35	26.84	44.11	0.6572
13:30:00	857.52	27.14	46.7	0.6449
14:30:00	715.48	26.38	49.01	0.6219
15:30:00	489.55	24.59	51.22	0.5542

الجدول (7−8) قيم الكفاءة الحرارية للمركز في تشرين الأول مع مستقبل ألمنيوم

t [h]	$\dot{I}_b$ [W/m^2]	T_a [°C]	$T_{f,i}$ [°C]	η_{exp}
08:30:00	742.45	18.7	29.91	0.6051
09:30:00	860.81	21.66	32.69	0.6262
10:30:00	905.06	24.1	35.56	0.6277
11:30:00	913.03	25.85	38.09	0.6213
12:30:00	891.35	26.84	41.26	0.6080
13:30:00	857.52	27.14	44.15	0.5941
14:30:00	715.48	26.38	46.68	0.5706
15:30:00	489.55	24.59	48.89	0.5068