

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة

ميدان: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء الطاقة و الطاقات المتجددة



كلية: العلوم

قسم: الفيزياء

رقم: PH/ENR/11/2024

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبة:

بوقرة شهرزاد

تحت عنوان

نمذجة و دراسة عددية لتوزيع الحرارة و تدفق الهواء داخل

مجفف شمسي

تمت المناقشة يوم 27 / 05 / 2024 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا
مشرفا و مقرا
مناقشا

جامعة محمد بوضياف- المسيلة
جامعة محمد بوضياف- المسيلة
جامعة محمد بوضياف- المسيلة

بن دراجي رزيق
بولشفار هشام
بن منصور نادية

السنة الجامعية: 2023/2024

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

إهداء

قال تعالى: ﴿يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ﴾ [المجادلة: ١١]

إلى من ربياني وأنا رازني وأعاناني بالصلوات والدعوات.

إلى أغلى شخصين في حياتي، والدَيَّ العزيزين أطل الله في عمرهما.

إلى سدي وعزوتي وروح الحياة، إخوتي حفظهم الله.

إلى كل من علمني عرفاً طيبة مشواري الدراسي.

إلى رفيقات رازني.

شهرزاد

شكر و عرفان

في البداية لابد لي من أن أتوجه أولاً بالشكر لله عزّ وجلّ الذي وفقني ومهد لي الطريق لأتم هذه المذكرة.

كما أتوجه بالشكر والامتنان لأستاذي بولشفار هشام حفظه الله ورعاه، فقد كان لإشرافه ومنحه الدعم والتوجيه خلال هذا العمل الفضل في خروج هذه المذكرة بالشكل الذي هي عليه، كما كان لتوجيهاته وثقته في قدراتي وتشجيعه المستمر لي مصدر إلهام وتحفيز.

والشكر موصول لأعضاء لجنة المناقشة الكرام على رأسها الأستاذ بن دراجي رزيق الذي تكرم برئاسة اللجنة ، كما أشكر الأستاذة بن منصور نادية التي شرفتنا بمناقشة المذكرة.

وأتوجه بالشكر الخالص لإخوتي لتقديمهم كل الدعم خلال إنجازي لهذه المذكرة.

قائمة المصطلحات

الحروف اللاتينية:

[K]	درجة الحرارة الساخنة	T_h
[K]	درجة الحرارة الباردة	T_c
[Pa]	الضغط	P
[m]	الإحداثيات الأسطوانية	r, θ, z
[s]	الزمن	t
$[m/s^2]$	الجاذبية	g
$[J.kg^{-1}.k^{-1}]$	السعة الحرارية للمائع عند ضغط ثابت	C_p
[m/s]	السرعة	v
[m/s]	مركبة السرعة على المحور (r)	v_r
[m/s]	مركبة السرعة على المحور (z)	v_z
[m/s]	مركبة السرعة على المحور (θ)	v_θ
[m]	البعد المرجعي	D
	عدد برندتل (Prandtl)، v/α	Pr
	عدد رايلي (Rayleigh)، $\frac{g \beta_T \Delta T D^3}{v \cdot \alpha}$	Ra
	إحداثيات r لا بعدية	r^+
	إحداثيات z لا بعدية	z^+
	حرارة لا بعدية	T^+
	ضغط لا بعدي	P^+
	مركبة السرعة على (r) لا بعدية	v_r^+
	مركبة السرعة على (z) لا بعدية	v_z^+
	مركبة السرعة على (θ) لا بعدية	v_θ^+

الحروف اليونانية:

$[w.m^{-1}.k^{-1}]$	الناقلية الحرارية للمائع	λ
$[m^2.s^{-1}]$	اللزوجة الحركية	ν
$[kg.s^{-1}.m^{-1}]$	اللزوجة الديناميكية	μ
$[k^{-1}]$	معامل التمدد الحراري في ضغط ثابت	β_T
$[kg.m^{-3}]$	الكتلة الحجمية للمائع	ρ
$[m^2/s]$	معامل الانتشار الحراري	α

دلائل:

+ رمز لا بعدي

الفهرس

إهداء

شكر و عرفان

i.....	المصطلحات
ii.....	الفهرس
vi.....	قائمة الأشكال
xi	قائمة الجداول
1.....	المقدمة العامة
الفصل الأول: عموميات وبحث بيئيوغرافي حول المجففات الشمسية	
5.....	1. مقدمة
5.....	2. الطاقات المتجددة
5.....	1.2 تعريف
6.....	2.2 طاقة الرياح
7.....	2. 3 طاقة المياه
7.....	4.2 طاقة جيوحرارية
7.....	5.2 طاقة الكتلة الحيوية
8.....	6.2 الطاقة الشمسية
8.....	6.2 1 مصدر الطاقة الشمسية
9.....	6. 2 2 الطاقة الحرارية
9.....	6. 2 3 الطاقة الشمسية الحرارية الديناميكية
10.....	6. 2 4 الطاقة الشمسية الكهروضوئية
10.....	3. تطبيقات الطاقة الشمسية
11.....	1.3 توليد الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية
12.....	3. 2 تحلية المياه
12.....	3. 3 تسخين المياه

13.....	3. 4 التدفئة.....
14.....	3. 5 التبريد الشمسي.....
14.....	3. 6 الطبخ الشمسي.....
15.....	3. 7 تجفيف المحاصيل.....
15.....	4. المجففات الشمسية.....
15.....	4. 1 المجففات.....
16.....	4. 2 المجففات الشمسية.....
16.....	4. 3 مكونات المجفف الشمسي.....
17.....	4.4 مفهوم الحمل الحراري الطبيعي.....
17.....	4. 4. 1 آليات الحمل الحراري الطبيعي.....
18.....	4. 5 تصنيف مجففات الطاقة الشمسية.....
20.....	4. 5. 1 مجففات الطاقة الشمسية المباشرة.....
21.....	4. 5. 2 مجففات الطاقة الشمسية غير المباشرة.....
21.....	4. 5. 3 مجففات الطاقة الشمسية المختلطة.....
22.....	4. 5. 4 مجففات الطاقة الشمسية الهجينة.....
23.....	5. تطبيقات المجففات الشمسية.....
24.....	6. المبادئ الأساسية في التجفيف.....
25.....	6. 1 خصائص هواء التجفيف.....
25.....	6. 1. 1 الرطوبة.....
25.....	6. 1. 2 الرطوبة النسبية.....
25.....	6. 1. 3 الرطوبة المطلقة.....
26.....	6. 2 سرعة التجفيف.....
27.....	6. 3 درجة الحرارة المثالية للتجفيف.....
28.....	6. 4 تأثير المعالم الرئيسية للهواء على حركية التجفيف.....
28.....	6. 5 البحث البيبليوغرافي.....

الفصل الثاني: النمذجة الرياضية

- 2.1 مقدمة.....36
- 2.2 طرح المشكلة.....36
- 2.3 الصياغة الرياضية.....37
- 2.4 النموذج الرياضي في الإحداثيات الأسطوانية.....38
- 2.5 فرضيات التبسيط.....39
- 2.6 الشروط الحدية.....40
- 2.7 المعادلات اللابعدية.....40
- 2.8 الشروط الحدية اللابعدية.....41

الفصل الثالث: المحاكاة العددية

- 3.1 المحاكاة العددية.....43
- 3.2 نظرة عامة حول برنامج COMSOL.....43
- 3.2.1 التعريف ببرنامج COMSOL.....43
- 3.2.2 طريقة العناصر المنتهية.....43
- 3.2.3 ميزات برنامج COMSOL.....46
- 3.3 خطوات العمل على برنامج COMSOL.....46

الفصل الرابع: النتائج والمناقشة

- 4.1 مقدمة.....54
- 4.2 الخصائص والأبعاد الهندسية للمجفف موضوع المحاكاة.....54
- 4.2.1 الخصائص الهندسية للمجفف.....54
- 4.2.2 الخصائص الفيزيائية للمائع (الهواء).....55
- 4.3 تأثير الفارق الحراري ΔT في حالة زاوية الميل $\alpha = 0^\circ$ بدون سرعة ابتدائية للهواء
- 4.4 تأثير زاوية الميل α على التوزيع الحراري وسرعة الهواء في حالة $\Delta T = 20^\circ C$ بدون سرعة ابتدائية للهواء $V_{in} = 0 \text{ m/s}$55
- سرعة ابتدائية للهواء $V_{in} = 0 \text{ m/s}$62

- 1.4.4 مقارنة نتائج درجات الحرارة وسرعة الهواء بدلالة زاوية ميل المجمع α في حالة $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0\text{ m/s}$ 66
- 5.4 تأثير زاوية الميل α على التوزيع الحراري وسرعة الهواء في حالة $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ وسرعة ابتدائية للهواء تقدر ب: $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 67
- 1.5.4 مقارنة نتائج درجات الحرارة وسرعة الهواء بدلالة زاوية ميل المجمع α في حالة $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 73
- 6.4 تأثير السرعة الابتدائية V_{in} على التوزيع الحراري وزمن تجديد الهواء داخل غرفة التجفيف في حالة $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$ 75
- 1.6.4 نتائج السرعة الابتدائية $V_{in}=0,001\text{ m/s}$ 76
- 2.6.4 نتائج تأثير السرعة الابتدائية $V_{in}=0,005\text{ m/s}$ 77
- 7.4 مقارنة النتائج الخاصة بالتوزيع الحراري وزمن التهوية تحت تأثير السرعة الابتدائية للهواء في حالة فارق حراري وزاوية ميل ثابتين $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$ 79
- الخاتمة 82
- ملحق أ 85
- ملحق ب 86
- قائمة المراجع والمواقع الإلكترونية 87

قائمة الأشكال

الفصل الأول:

- الشكل (1.1): طاقة الرياح.....6
- الشكل (2.1): طاقة المياه.....7
- الشكل (3.1): طاقة الكتلة الحيوية.....8
- الشكل (4.1): مخطط يبين استخدامات الطاقة الشمسية.....11
- الشكل (5.1): أنظمة الخلايا الكهروضوئية.....11
- الشكل (6.1): آلية تحلية المياه بالطاقة الشمسية.....12
- الشكل (7.1): رسم تخطيطي لاستغلال الطاقة الشمسية في تسخين المياه.....13
- الشكل (8.1): نظام التدفئة الشمسية للمنازل.....13
- الشكل (9.1): استعمال الطاقة الشمسية في الطبخ.....14
- الشكل (10.1): استعمال الطاقة الشمسية في تجفيف المحاصيل الزراعية.....15
- الشكل (11.1): مبدأ التجفيف الشمسي.....16
- الشكل (12.1): آلية الحمل الحراري الطبيعي.....18
- الشكل (13.1): رسم تخطيطي لمجفف مباشر مع الحمل الحراري القسري.....19
- الشكل (14.1): رسم تخطيطي وبياني للمجفف شمسي المباشر مع الحمل الطبيعي.....19
- الشكل (15.1): مجفف شمسي مباشر ومبدأ عمله.....20
- الشكل (16.1): مجفف شمسي غير مباشر ومبدأ عمله.....21
- الشكل (17.1): مبدأ عمل مجفف مختلط.....22
- الشكل (18.1): مجفف هجين يستعمل المروحة لتحريك الهواء داخل المجفف.....23
- الشكل (19.1): تطبيقات متنوعة المجففات الشمسية.....24
- الشكل (20.1): منحني حركية التجفيف بدلالة الزمن.....26
- ### الفصل الثاني:

- الشكل (1.2): شكل هندسي للمجفف الشمسي.....36

الشكل (2.2): مقطع عرضي للمجفف الشمسي.....37

الشكل (3.2): الشروط الحدية اللابعدية.....41

الفصل الثالث:

الشكل (1.3): الواجهة Model Navigator.....47

الشكل (2.3): مراحل تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج.....47

الشكل (3.3): هندسة المجال الفيزيائي.....48

الشكل (4.3): أمر خاص بإدخال الثوابت.....48

الشكل (5.3): نافذة إعدادات المجال الفرعي في وضع Navier-stocks.....49

الشكل (6.3): نافذة إعدادات المجال الفرعي.....49

الشكل (7.3): تحديد الشروط الحدية للمدخل الأيسر.....50

الشكل (8.3): تحديد الشروط الحدية للمدخل الأيمن.....50

الشكل (9.3): تحديد الشروط الحدية لجدران المجفف.....51

الشكل (10.3): تحديد الشروط الحدية للمخرج.....51

الشكل (11.3): إنشاء شبكة تقسيمات المجال الهندسي (Maillage).....52

الشكل (12.3): بداية الحساب والمعالجة.....52

الفصل الرابع:

الشكل (1.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0$ m /s في

حالة $\Delta T = 5$ C^o.....57

الشكل (2.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0$ m /s في

حالة $\Delta T = 5$ C^o.....57

الشكل (3.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0$ m /s في

حالة $\Delta T = 10$ C^o.....58

الشكل (4.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0$ m /s في

حالة $\Delta T = 10$ C^o.....58

- شكل (5.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\alpha = 0^\circ$ في حالة $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 59
- الشكل (6.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\alpha = 0^\circ$ في حالة $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 59
- الشكل (7.4): منحنى بياني لمقارنة تغير درجة الحرارة قطريا في أماكن مختلفة داخل غرفة المجفف عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\alpha = 0^\circ$ ، $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 60
- الشكل (8.4): منحنى بياني لمقارنة سرعة الهواء العمودية على محور التناظر داخل المجفف بدلالة الفرق في درجة الحرارة ΔT عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\alpha = 0^\circ$ 61
- الشكل (9.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 63
- الشكل (10.4): حقل السرعات داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 63
- الشكل (11.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 64
- الشكل (12.4): حقل السرعات داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 64
- الشكل (13.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 65
- الشكل (14.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 65
- الشكل (15.4): منحنى بياني لمقارنة درجة الحرارة عند منتصف غرفة المجفف بدلالة زاوية الميل عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 66
- الشكل (16.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية على محور التناظر داخل المجفف بدلالة زاوية الميل عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ 67

- الشكل (17.4):** التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 0^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 69
- الشكل (18.4):** حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 0^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 69
- الشكل (19.4):** التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 70
- الشكل (20.4):** حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 70
- الشكل (21.4):** التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 71
- الشكل (22.4):** حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 71
- الشكل (23.4):** التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 72
- الشكل (24.4):** حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$ 72
- الشكل (25.4):** منحنى بياني لمقارنة تغير الحرارة قطريا عند منتصف غرفة المجفف بدلالة زاوية الميل عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0,01\text{ m/s}$ 74
- الشكل (26.4):** منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية على محور التناظر داخل المجفف بدلالة زاوية الميل عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0,01\text{ m/s}$ 75
- الشكل (27.4):** التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $V_{in} = 0,001\text{ m/s}$ ، $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$ 76
- الشكل (28.4):** حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $V_{in} = 0,001\text{ m/s}$ ، $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$ 77

الشكل (29.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة $V_{in}=0,005\text{m/s}$78

الشكل (30.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة $V_{in}=0,005\text{m/s}$78

الشكل (31.4) : منحنى بياني لمقارنة درجة الحرارة عند منتصف غرفة المجفف

79..... $z=0.65\text{m}$ بدلالة السرعة الابتدائية V_{in} عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha=30^\circ$

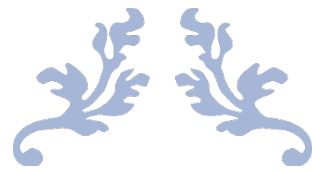
الشكل (32.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية على محور التناظر داخل المجفف

80..... $z=0.65\text{m}$ بدلالة السرعة الابتدائية V_{in} عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha=30^\circ$

قائمة الجداول

الفصل الرابع:

- الجدول (1.4): الخصائص الفيزيائية للهواء المستعمل في المحاكاة.....55
- الجدول (2.4): متوسط درجة الحرارة في منتصف غرفة التجفيف بدلالة زاوية الميل عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$66
- الجدول (3.4): السرعة العمودية القصوى على محور تناظر المجفف بدلالة زاوية الميل عند $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$67
- الجدول (4.4): درجة الحرارة في منتصف غرفة التجفيف $Z = 0.65 \text{ m}$ بدلالة زاوية الميل عند $V_{in} = 0,01 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$73
- الجدول (5.4): السرعة العمودية القصوى على محور التناظر داخل المجفف بدلالة الفرق في زاوية الميل في حالة $V_{in} = 0,01 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$74
- الجدول (6.4): درجة الحرارة المتوسطة في منتصف غرفة التجفيف بدلالة السرعة الابتدائية للهواء عند V_{in} و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$79
- الجدول (7.4): زمن تجديد الهواء داخل غرفة التجفيف بدلالة السرعة الابتدائية للهواء عند V_{in} و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$81



المقدمة العامة



منذ عقود، أصبحت قضية الطاقة محور اهتمام عالمي، وذلك لأسباب اقتصادية وسياسية وبيئية. حيث يتعرض عالمنا اليوم إلى أزمات اقتصادية مستمرة نتيجة لارتفاع أسعار الطاقة وزيادة الطلب عليها مما جعلها تعد مورداً استراتيجياً يمكن استخدامه لتحقيق النفوذ والهيمنة الدوليين. هذا المورد يعتمد أساساً على الوقود الأحفوري التقليدي خاصة النفط والغاز. هذا الاعتماد يزيد من حدة مشاكل البيئة وتلوث الغلاف الجوي بالغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون مما يؤدي إلى زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري وينجم عن هذه الظاهرة ذوبان الجليد في القطبين وارتفاع مستوى سطح البحر مما يؤثر بشكل كبير على كوكب الأرض و بدرجة أكبر المناطق الساحلية. كما تسبب هذه الظاهرة تغير نمط تساقط الأمطار فتزيد من تساقطها في مناطق أو تسبب انحباسها في مناطق أخرى مؤدياً إلى زيادة التصحر والاختفاء التدريجي للمساحات الخضراء وبالتالي حدوث اختلال في التوازن البيئي يضر بالحياة البشرية و الحيوانية و كذا النباتية.

في ظل هذه الأزمة، استثمر الإنسان في الطاقات المتجددة والمستدامة كبديل واعد، حيث توفر المصادر النظيفة والمتجددة فرصة للتخلص من الاعتماد الكامل على الوقود الأحفوري في توجه إلى الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية و طاقة الرياح و طاقة المياه والكتلة الحيوية بالإضافة إلى طاقة الهيدروجين، مما يسهم في تلبية الطلب المتزايد على الطاقة مع استخدامها بشكل مستدام وبيئي مع أثرها على تحقيق التوازن الجيوستراتيجي.

للطاقة الشمسية استخدامات عديدة أهمها إنتاج الطاقة الكهربائية بطرق متعددة، كما تبرز عملية التجفيف كوسيلة فعالة بتحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة واستعمالها لتجفيف مختلف المواد والمحاصيل الزراعية داخل مجففات شمسية و التي تعتمد على ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي حيث تلعب هذه العملية دوراً مهماً في الاقتصاد المحلي والحفاظ على الغذاء بطرق سليمة و اقتصادية. لأهمية هذا التطبيق و انتشاره بشكل واسع و خاصة في المناطق الزراعية و لأن الجزائر تعتبر بلداً زراعياً بامتياز، وقع اختيارنا على هذا الموضوع لدراسته دراسة معمقة حتى يتسنى لنا تقييم و إبراز قيمته الاقتصادية.

تتضمن هذه الدراسة أربعة فصول تلخص فيما يلي:

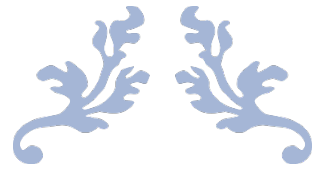
الفصل الأول تحت عنوان عموميات وبحث بيبيولوجرافي حول المجففات الشمسية حيث قمنا بتقديم معلومات عامة حول الطاقات المتجددة و ثم التركيز على الطاقة الشمسية وتطبيقاتها والتوسع في احدى التطبيقات المتمثلة في التجفيف الشمسي باستخدام المجففات الشمسية أين قمنا بعرض أنواعها ومبدأ عملها وكذا عرض المبادئ الأساسية في التجفيف وفي النهاية ختمنا هذا الفصل ببحث بيبيولوجرافي يعرض الأعمال السابقة التي تناولت مواضيع مشابهة.

أما الفصل الثاني فهو يخص النمذجة الرياضية أين تم طرح المشكلة الفيزيائية داخل مجفف شمسي أسطواني الشكل متناظر مع عرض الصياغة الرياضية للنموذج في الاحداثيات الأسطوانية مع مراعاة فرضيات التبسيط والشروط الحدية.

الفصل الثالث تطرق إلى المحاكاة العددية باستعمل البرنامج Comsol Multiphysics تناولنا نظرة عامة حول طريقة العناصر المنتهية و البرنامج و ميزاته الأساسية وخطوات العمل عليه.

أما الفصل الأخير نعرض فيه نتائج المحاكاة مع مناقشتها.

وفي الأخير نلخص عملنا بخاتمة تنوه إلى أهم النقاط التي تم استنتاجها ثم تليها قائمة المراجع والمواقع الالكترونية المشار إليها في هذه المذكرة.



الفصل الأول

عموميات وبحث بيبلوغرافي حول
المجففات الشمسية



1. مقدمة:

الطاقة المصطلح البسيط في نطقه المتشعب في مفهومه ركيزة كل الحضارات واللبننة الأساسية لكل القطاعات الحيوية في المجتمع. ابتدأ استعمالها منذ بدأ الخلق فالإنسان سعى على مر العصور الى توفيرها فأول مصدر عرفه الانسان القديم حرق الاخشاب وبمرور الزمن توسع ليشمل حرق الفحم، النفط، الغاز، البنزين وغيرها من المواد غير المتجددة. ومع زيادة التعداد السكاني في العالم زاد الطلب على هذه الطاقة والتي توفر حوالي 80% من استهلاك الطاقة العالمي، والذي يعتبر في زيادة مستمرة بالمقارنة مع تناقص مصدر الطاقة غير المتجددة. فبسبب الاستعمال الغير العقلاني لهذه المصادر واجهت البشرية عدة مشاكل كخطرها على صحة الانسان والنظم البيئية ولعل أهمها انها قد تتسبب في فناءه لتأثيرها الكبير على غلاف الأرض (طبقة الأوزون) وبالتالي كان على العلم إيجاد مخرج من هذا المأزق بتوفير بديل لها نظيف ومجاني ومتجدد فعرفت البشرية مصدر جديد للطاقة ألا وهي طاقة الشمس ولتحقيق ذلك، تم إجراء العديد من الأبحاث العلمية حول تقنيات استغلال هذه الطاقة.

2. الطاقات المتجددة:**1.2 تعريف :**

الطاقة المتجددة هي مصدر للطاقة يتجدد بسرعة، حيث يعتبر غير قابل للنفاذ على مدى الزمن البشري. تأتي هذه الطاقة من ظواهر طبيعية منتظمة أو ثابتة ناتجة بشكل رئيس من طاقة الشمس، كما تعتبر طاقة خضراء لا تضر البيئة. يمكن تعريف الطاقة المتجددة أيضاً على أنها طاقة تستمد من مصادر طبيعية متجددة ودائماً متاحة، أي مصادر تتجدد بسرعة كافية لضمان عدم وجود تأثير على توفرها في المستقبل. إنها طاقة نظيفة أقل تلويثاً من

الطاقات المستمدة من مصادر أحفورية. [1]

هناك 5 أنواع رئيسية من الطاقات المتجددة هي:

- ◆ طاقة الرياح.
- ◆ طاقة الكتلة الحيوية.

- ◆ طاقة المياه.
- ◆ الطاقة الجيوحرارية
- ◆ الطاقة الشمسية.

2.2 طاقة الرياح:

تُعتبر طاقة الرياح شكلاً غير مباشر للطاقة الشمسية، حيث تكون الفروق في درجات الحرارة والضغط الناتجة في الغلاف الجوي نتيجة امتصاص الإشعاع الشمسي.

تُعرف طاقة الرياح بأنها الطاقة التي يتم استخراجها من حركة الرياح وتحويلها إلى طاقة قابلة للاستخدام. تعتمد طاقة الرياح على استخدام التوربينات الهوائية، وهي أجهزة تحويل حركة الهواء إلى طاقة كهربائية. يتم تركيب التوربينات في المناطق ذات سرعة رياح عالية ومستقرة لضمان أداء فعال واستفادة قصوى. واستخدام الإنسان للرياح ليس أمرًا جديدًا، بل يعود إلى فترة زمنية قديمة جدًا. في الوقت الحالي، تُستخدم الطاقة الميكانيكية للرياح لإنتاج الكهرباء وهي واحدة من أكثر أنواع الطاقة المتجددة تطورًا كما أنها ذات أهمية اقتصادية وبيئية حيث شهد هذا القطاع تطورًا كبيرًا خلال السنوات الأخيرة على مستوى العالم. [2]



الشكل (1.1): طاقة الرياح [3]

3.2 طاقة المياه:

تعرف أيضا بالطاقة الهيدروليكية هذه الطاقة تنبع من حركة المياه، وهناك عدة تقنيات تتيح استغلال هذه الطاقة حيث يمكن للعنفات تحويلها مباشرة إلى طاقة ميكانيكية (مثل طواحين المياه)، أين تقوم التوربينات والمولدات الكهربائية بتحويلها إلى كهرباء.



الشكل (2.1): طاقة المياه [4]

4.2 طاقة جيوحرارية:

وتسمى أيضا بالطاقة الجيوثيرمالية، وهي مشتقة من الكلمة اليونانية "جيو" وتعني "الأرض" و"ثيرموس" وتعني "الحرارة"، تشير إلى العلم الذي يدرس الظواهر الحرارية الداخلية للكرة الأرضية. لاستغلال الطاقة الجيوثيرمالية، يتم تداول سائل في عمق الأرض. يمكن أن يكون هذا السائل من حوض مائي ساخن طبيعي، أو من مياه محقونة بضغط تحت الأرض. في كلتا الحالتين، يتسخن السائل ويصعد محملاً بالحرارة (الطاقة الحرارية). يتم استخدام هذه الحرارة مباشرة أو تحويل جزء منها إلى كهرباء. [5]

5.2 طاقة الكتلة الحيوية:

الكتلة الحيوية هي أقدم مصدر للطاقة استخدمته البشرية. وتشمل أي مادة عضوية، نباتية أو من أصل حي. يغطي مصطلح الكتلة الحيوية مجموعة واسعة من المواد: الخشب،

وفضلات صناعات تحويل الخشب، وفضلات زراعية (قش، فضلات حيوانية، إلخ) وجميع أنواع الفضلات العضوية الأخرى.

الكتلة الحيوية هي ثاني أكبر مصدر للطاقة المتجددة في العالم بعد الطاقة الشمسية التي تعتبر مصدر كل الطاقات الأخرى.

يمكنها إنتاج الغاز المنبعث نتيجة التحللات العضوية أو الكهرباء والحرارة من خلال احتراق فضلات وبقايا المواد العضوية النباتية أو الحيوانية.



الشكل (3.1): طاقة الكتلة الحيوية [6]

6.2 الطاقة الشمسية:

الطاقة الشمسية هي أغنى مصدر للطاقة على وجه الأرض هي الطاقة المنبعثة من أشعة الشمس بشكل رئيسي على شكل حرارة وضوء وهي نتاج التفاعلات النووية داخل النجم الأقرب إلينا وهو الشمس، إن الإشعاع الشمسي الذي يقع على سطح الأرض يفوق بكثير كمية الطاقة التي تستهلكها جميع الأنشطة البشرية.

6.2.1 مصدر الطاقة الشمسية:

الطاقة الشمسية هي الطاقة التي تأتي من الشمس. تقوم الشمس يوميًا بإطلاق كمية هائلة من الطاقة حيث تعتبر الشمس كرة ضخمة من الغازات تتألف أساسًا من الهيدروجين

والهيليوم. تولّد الشمس الطاقة في نواتها من خلال عملية تسمى الاندماج النووي و يؤدي الضغط والحرارة العالية داخل الشمس إلى تكسير ذرات الهيدروجين واندماج أنويتها. وتفقد جزء من المادة أثناء الاندماج النووي وتُطلق في الفضاء على شكل طاقة مشعة تتطلب الاف السنين حتى تصل إلى سطح الشمس، ثم حوالي ثماني دقائق لتقطع المسافة التي تفصلها عن الأرض. تتحرك الطاقة الشمسية نحو الأرض بسرعة الضوء.

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة أو كهرباء تستخدم المحطات الشمسية أشعة الشمس كمصدر للطاقة، حيث يستفيد هذا النظام من تركيز الإشعاع الشمسي، ويتم جمعه باستخدام أجهزة مثل مجمعات الطاقة الشمسية والألواح الشمسية الكهروضوئية. [7]

هناك ثلاثة طرق أساسية لاستغلال الطاقة الشمسية:

- ◆ الطاقة الحرارية .
- ◆ الطاقة الشمسية الكهروضوئية .
- ◆ الطاقة الحرارية الديناميكية.

2.6.2 الطاقة الحرارية:

طاقة الشمسية الحرارية هي نوع من أنواع الطاقة الشمسية، وهي عملية تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية يمكن استخدامها مباشرة. أو بشكل غير مباشر من خلال إنتاج بخار الماء لتشغيل المولدات الكهربائية وبالتالي الحصول على طاقة كهربائية، إنتاج البرودة، إلخ.

2.6.3 الطاقة الشمسية الحرارية الديناميكية:

هي وسيلة لإنتاج الكهرباء وتخزين الطاقة الحرارية اللازمة لهذا الإنتاج لعدة ساعات بعد غروب الشمس في محطات الطاقة الشمسية ذات التركيز. يتمثل المبدأ في تركيز حرارة الشمس باستخدام مرايا لتسخين سائل عالي الحرارة (عدة مئات من الدرجات) لتوليد بخار من خلال تبادل حراري، ثم إنتاج الكهرباء باستخدام توربينة. يمكن للسائل المستخدم

الاحتفاظ بحرارته لعدة ساعات بعد غروب الشمس، مما يسمح بإنتاج الكهرباء في مطلع المساء، في وقت يكون فيه الاستهلاك هو الأكبر.

2.6.4 الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

تستخدم تقنية الطاقة الشمسية الضوئية لوصف الأجهزة التي تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. يعد التأثير الكهروضوئي هو التحول المباشر للضوء (الفوتونات) إلى كهرباء من خلال مواد شبه موصلة. تحظى وحدات الطاقة الشمسية التي تقوم بهذا التحويل بالعديد من المزايا، حيث إنها دائمة وموثوقة وتتطلب صيانة قليلة نظرًا لعدم وجود أجزاء متحركة، كما أنها صامتة تمامًا وتتطلب فقط ضوء الشمس كوقود. [7]

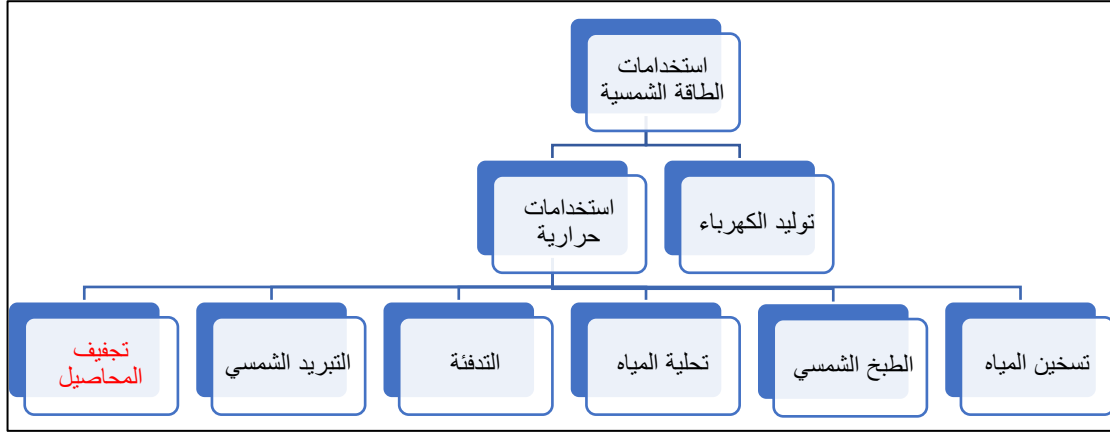
3. تطبيقات الطاقة الشمسية:

استفاد الإنسان مباشرةً من طاقة الإشعاع الشمسي في العديد من التطبيقات مثل تجفيف المحاصيل الزراعية وتدفئة المنازل كما استُخدمت أيضًا في مجالات أخرى تم ذكرها في كتب التاريخ العلمي.

على سبيل المثال، حرق أرخميدس أسطول الحرب الروماني في العام 212 قبل الميلاد عندما ركز الإشعاع الشمسي على سفن الأعداء باستخدام مئات من الدروع المعدنية. وفي عصر البابلي، كنَّ نساء الكهنة يستخدمن أنية من الذهب المصقول كمرآيا لتكثيف الإشعاع الشمسي للحصول على النار. واستخدم علماء مثل تشرنهورس، سويتز، لافوازييه، موتشوت، إيريكسون، هاردينج، وغيرهم الطاقة الشمسية لصهر المواد، وطهي الطعام، وإنتاج بخار الماء، وتقطير الماء، وتسخين الهواء. في بداية القرن الحالي، كانت أول محطة للري بالطاقة الشمسية تعمل خمس ساعات في اليوم في المعادي بالقرب من القاهرة. [8]

منذ زمن طويل و الإنسان يحاول الاستفادة من الطاقة الشمسية واستغلالها قدر الإمكان، ولكن بطرق بسيطة في أسلوبها ومحدودة في كمية الطاقة المستغلة، لكن ومع التقدم التكنولوجي و العلمي ظهرت آفاق جديدة في مجال استغلال الطاقة الشمسية بطرق جد متطورة مع إمكانيات هائلة لتخزين الطاقة الشمسية

وتأتي أهمية الطاقة الشمسية من كونها طاقة هائلة مقارنة بكميات الطاقة التي تحتاجها البشرية كما أنه يمكن استغلالها من أي مكان على وجه الأرض وتشكل مصدرا مجانيا متجددا لا غنا للإنسان عنه في حياته اليومية وعن استخداماته العديدة أهمها:



الشكل (4.1): مخطط يبين استخدامات الطاقة الشمسية

1.3 توليد الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية:

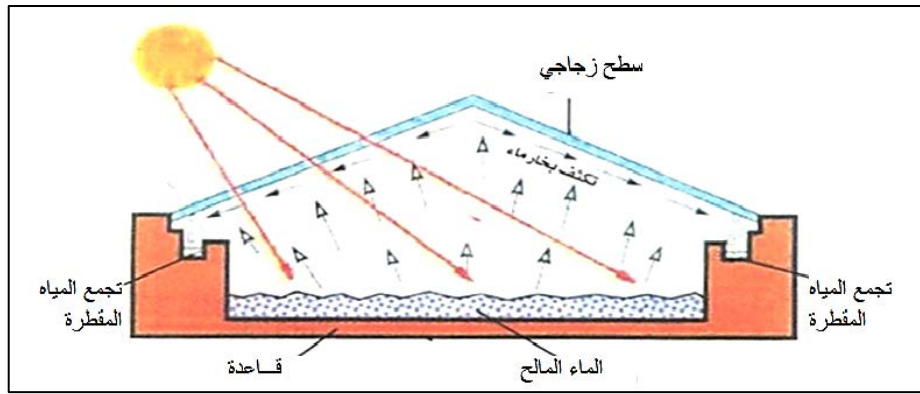
توليد الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية يعتمد على استخدام خلايا فوتو فولتية لتحويل أشعة الشمس إلى تيار كهربائي. يتم ذلك عندما تمتص المواد الشبه موصلة، مثل السيليكون الضوء وتحرر الإلكترونات، مما يؤدي إلى توليد تيار كهربائي.



الشكل (5.1): أنظمة الخلايا الكهروضوئية [9]

3.2 تحلية المياه:

عملية التحلية تعني تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة عن طريق المقطرات الشمسية المتنوعة، حيث تعتمد على استغلال الأشعة الشمسية مباشرة كمصدر حراري وذلك لرفع درجة حرارة المياه المالحة إلى درجة التبخر ثم تكثيفها على أسطح باردة باستخدام المقطرات الشمسية، تستخدم عادة في المناطق الصحراوية والساحلية في الجزر الصغيرة لوجود الحاجة للمياه العذبة بها.

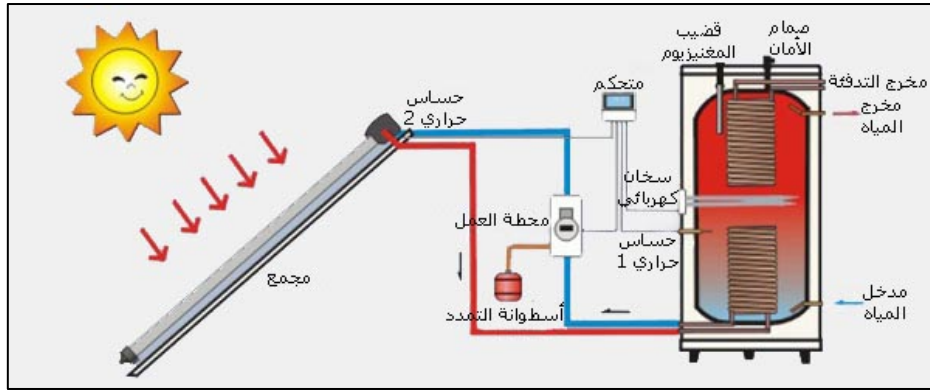


الشكل (6.1): آلية تحلية المياه بالطاقة الشمسية [10]

3.3 تسخين المياه:

تستخدم منظومات تسخين المياه بالطاقة الشمسية منذ عدة سنوات في مختلف البيئات، بما في ذلك المنازل والأماكن الصناعية وغيرها. يتم تفضيل استخدام هذه المنظومات في الحالات التي يكون فيها صعباً استخدام مصادر الطاقة التقليدية مثل الغاز الطبيعي أو الكهرباء لتسخين المياه.

تتميز معظم منظومات تسخين المياه بالطاقة الشمسية بتصميم بسيط وتكلفة منخفضة للتركيب. يتم توجيه أشعة الشمس إلى مجمعات الطاقة الشمسية، حيث يتم امتصاصها وتحويلها إلى حرارة في وسط تحويل السائل. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام أشعة الشمس مباشرة لتسخين المياه، مما يجعل هذه النظم فعالة وملائمة للاستخدام اليومي.

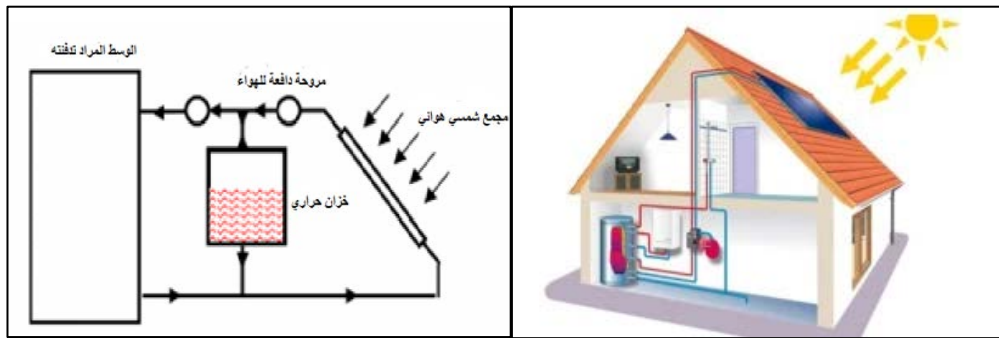


الشكل (7.1): رسم تخطيطي لاستغلال الطاقة الشمسية في تسخين المياه [11]

3.4 التدفئة:

عملية التدفئة تشير إلى نقل كمية من الحرارة المستمدة من الطاقة الشمسية إلى داخل الفراغ الذي يرغب في تدفئته. تتنوع أساليب وكفاءات نماذج التدفئة، حيث تشمل بعضها التدفئة المباشرة باستخدام أشعة الشمس حيث تكون واجهات المنازل مجهزة غالبًا من الزجاج الشفاف. يمكن أيضًا استخدام أنظمة تدفئة تعتمد على الهواء، حيث يتم تسخين الهواء باستخدام مجمعات شمسية، ثم يتم دفع هذا الهواء إلى داخل الفراغ المراد تسخينه باستخدام مروحة.

هناك نظام آخر للتدفئة يعتمد على الماء الساخن، وهو يشبه النظام السابق ولكن يختلف في وسيلة نقل الحرارة. حيث يعتمد النظام الأول على نقل الحرارة عن طريق الهواء، في حين يعتمد النظام الثاني على الماء المسخن بشكل أساسي، وذلك عن طريق استخدام المجمعات الشمسية.



الشكل (8.1): نظام التدفئة الشمسية للمنازل [11]

3.5 التبريد الشمسي:

التبريد الشمسي هو عملية عكسية لعملية التدفئة، وهو عبارة عن ضخ الحرارة من داخل حيز معين إلى الخارج وذلك باستعمال أداة ميكانيكية تعمل على ذلك. يمكن أن تسهم التقنية الشمسية الحرارية إسهاما بارزا في تبريد الهواء إذ تستخدم الحرارة المكتسبة في السخان كطاقة تعمل على تشغيل معدات إنتاج الهواء البارد، ولعل من المميزات الهامة لهذه التقنية أن الحاجة للتبريد تظهر في نفس وقت سطوع الشمس ويشيع استخدام نظامين لتبريد الشمسي هما الأنظمة المغلقة و الأنظمة المفتوحة.

3.6 الطبخ الشمسي:

استخدام الطاقة الشمسية في عمليات الطهي يمثل حلاً فعالاً نظراً لتكلفتها المنخفضة وسهولة الحصول عليها و خلوها من مظاهر التلوث. يستند الطبخ الشمسي إلى مبدأ الاحتباس الحراري، حيث يقوم بتوجيه الإشعاع الشمسي إلى صندوق معزول من جميع الجوانب بمواد عازلة حرارياً، باستثناء الجانب العلوي المتجه نحو الشمس الذي يغطي بزجاج. كما يتم طلاء سطوح الصندوق باللون الأسود لامتصاص أقصى قدر من الإشعاع. تتباين عملية طهي الطعام من وجبة إلى أخرى، ولتقليل وقت الطهي، تطورت الأفران الشمسية إلى الطباخ ذو المرأة الواحدة أو ذو المرأتين أو ذو المرايا الثلاثة، بالإضافة إلى الطباخ ذو المجمع البؤري والذي يمكنه رفع درجة الحرارة إلى أكثر من 150 درجة مئوية.



الشكل (9.1): استعمال الطاقة الشمسية في الطبخ [12]

7.3 تجفيف المحاصيل:

التجفيف هو عملية تخليص المواد من كل السوائل الموجودة فيها بما في ذلك الماء، حيث كان الناس قديما يلجؤون إلى تجفيف الأغذية والخضراوات والفواكه المعرضة للتلف، أو التي ينتهي موسم ظهورها بعد فترة قصيرة. والتجفيف بشكل عام من أقدم استخدامات الطاقة الشمسية وخاصة تجفيف المحاصيل فهو مسألة قديمة لتخليص المحاصيل من قسم من السوائل الموجودة فيها وذلك لمنعها من التلف وجعلها صالحة للتخزين لفترات طويلة. ويؤدي إلى انخفاض في الوزن والحجم، مما يسهل عمليات النقل والتخزين. [13]



الشكل (10.1): استعمال الطاقة الشمسية في تجفيف المحاصيل الزراعية [14]

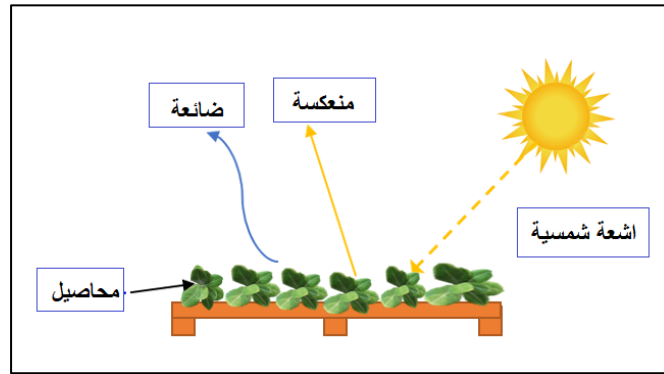
4. المجففات الشمسية:

1.4 المجففات:

لمحة تاريخية:

يعتبر الحفاظ على الأغذية عن طريق التجفيف أحد أقدم تقنيات تحويل المواد الفلاحية المستخدمة من قبل البشر. لقد تطورت لأول مرة في الشرق الأوسط متزامنة مع زراعة الحبوب. ومنذ ذلك الحين انتشرت هذه العملية في جميع أنحاء العالم. وطريقة الاستعمال هي نشر المحاصيل في الهواء الطلق على الأرض وتعريضها للإشعاع الشمسي. وقد جفف

أجدادنا الطعام واحتفظوا به لفترة طويلة دون اللجوء إلى استخدام التبريد. وعلى مر القرون الماضية، تم الحفاظ على الفواكه في منطقة الشرق الأوسط عن طريق لَفّها في سعف النخيل المجفف ودفنها في الرمل الساخن لتجف. وكان الهنود في شمال الولايات المتحدة قد استخدموا دخان النار لتجفيف اللحم والأعشاب والخضار أو السمك بتعريضها للهواء الساخن. في كل مكان تقريبا في العالم، استخدم الناس أساليب مختلفة لتجفيف الأطعمة للحفاظ على المنتجات الغذائية والاحتفاظ بها من موسم إلى آخر، سواء الحبوب أو اللحوم أو الفواكه أو الأعشاب، وغيرها. ومع مرور الوقت تم تحسين التجفيف وعلى سبيل المثال جفف الإغريق والرومان بنجاح البازلاء والزبيب وتعلم الفرس الحفاظ على المشمش والبطيخ وطور الصينيون واليابانيون فن الحفاظ على الأسماك والمأكولات البحرية. [15]



الشكل (11.1): مبدأ التجفيف الشمسي.

4.2 المجففات الشمسية:

المجففات الشمسية هي أنظمة تستخدم لتجفيف المواد باستخدام الطاقة الشمسية. يقوم هذا النوع من المجففات بتحويل طاقة الشمس إلى حرارة، ويستفيد من هذه الحرارة لتسريع عملية التجفيف. يُستخدم ذلك على نطاق واسع في العديد من التطبيقات مثل تجفيف الأطعمة، والفواكه، والخضروات، والحبوب، والألياف، والألبسة، والأخشاب...إلخ.

4.3 مكونات المجفف الشمسي:

يتكون المجفف الشمسي من ثلاثة أجزاء رئيسة حجرة لتجفيف الغذاء، ومجمع شمسي لتسخين الهواء، ونظام لتدفق الهواء.

وتعمل **حجرة التجفيف** على حماية الغذاء من الحيوانات والحشرات والغبار والأمطار، وغالبا ما تكون الحجرة معزولة حراريا لزيادة كفاءتها؛ كما ينبغي أن تكون صواني التجفيف آمنة لوضع الغذاء فيها.

أما **المجمع الشمسي** فهو عبارة عن صندوق داكن اللون مع غطاء شفاف، ويعمل المجمع على رفع درجة حرارة الهواء داخل المجمع فوق درجة حرارة الجو الخارجي. وينصح باستخدام الزجاج كغطاء للمجمع الشمسي. ويعتمد حجم المجمع الشمسي في المجفف على درجة حرارة الجو الخارجي، وشدة أشعة الشمس، والرطوبة الجوية.

وتستخدم المجففات الشمسية أحد النظامين من **أنظمة تدفق الهواء**، واحد يعتمد على الحمل الحراري الطبيعي، والآخر يعتمد على الحمل الحراري القسري باستخدام مراوح في المجفف الشمسي. ويمكن تعزيز أثر الحمل الحراري للهواء عن طريق إضافة مدخنة، وبالإضافة إلى ذلك يمكن أن يكون للرياح السائدة في المكان منفعة إضافية. وتتطلب المجففات ذات الحمل الحراري الطبيعي عناية أكبر في الاستخدام، حيث يؤدي وضع المنتج في طبقات سميكة في الصواني أو النقص في كمية أشعة الشمس إلى ركود الهواء في المجفف ووقف عملية التجفيف. [16]

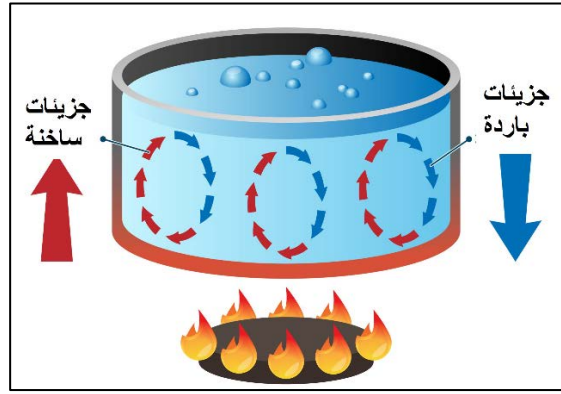
تتنوع المجففات الشمسية في التصميم والهيكل، ويمكن تصنيفها إلى فئتين رئيسيتين: المجففات الشمسية السلبية والمجففات الشمسية النشطة وكلها تعتمد على الحمل الحراري في عملها فقبل أن نتطرق إلى أنواع المجففات يجب معرفة آلية عمل الحمل الحراري.

4.4 مفهوم الحمل الحراري الطبيعي:

الحمل الحراري الطبيعي هو حركة الموائع الطبيعية والتلقائية نتيجة لاختلافات في الكثافة، وهذه الاختلافات تنجم عن اختلافات في درجات الحرارة الموجودة في المائع ويسبب هذا التدفق نقل الحرارة إلى البيئة المحيطة.

1.4.4 آليات الحمل الحراري الطبيعي:

إن طريقة الحمل الحراري هي أساس انتقال الحرارة في الأجسام المائعة، مبدأ عمل الحمل الحراري يعتمد على الجاذبية الأرضية حيث أن كل فرق في درجات حرارة السائل أو الغاز سيغير من تركيزه فترتفع الأجزاء الساخنة إلى الأعلى وتحل محلها الأجزاء الباردة حسب قاعدة أرخميدس وينتج عن ذلك عملية التبادل الحراري.



الشكل (12.1): آلية الحمل الحراري الطبيعي [17]

إن انتقال المائع من المنطقة ذات الدرجة الحرارية العالية إلى المنطقة ذات الدرجة الحرارية الأقل يولد تياراً يسمى تيار الحمل الحراري. فمثلاً عندما نسخن الماء على النار تتكون داخل الإناء تيارات الحمل فتصعد الكمية المائية الساخنة إلى الأعلى ويحل محلها الماء البارد، ولا يصعد هذا الأخير إلا عندما تصبح درجة حرارته أعلى من الماء الساخن الذي فوقه، وهكذا حتى يصل الماء إلى درجة الغليان.

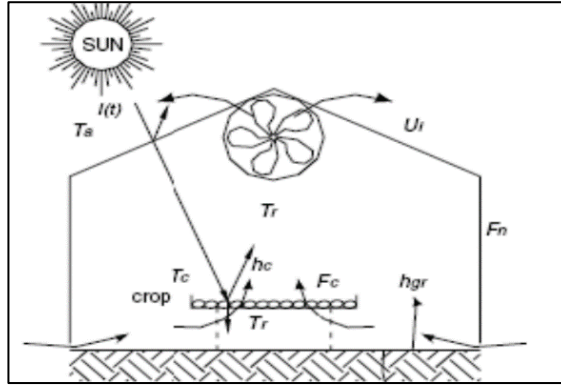
4.5 تصنيف مجففات الطاقة الشمسية:

يتم تصنيف المجففات بشكل رئيسي استناداً إلى طرق التسخين الخاصة بها وكيفية استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الحرارة. بشكل عام، يمكن تصنيفها إلى مجموعتين رئيسيتين، هما:

مجففات الطاقة الشمسية النشطة: (تُعرف في كثير من الأحيان بمجففات هجينة) يتم تصنيفها بشكل رئيسي باعتماد مصادر إضافية للحرارة، مثل الكهرباء أو الوقود.

في هذا النوع من المجففات تكون حركة الهواء قسرية أي يتم تدوير الهواء الساخن ضمن المجففة بواسطة منظومة المراوح يتم اختيارها بحسب كمية الهواء اللازمة لإتمام عملية

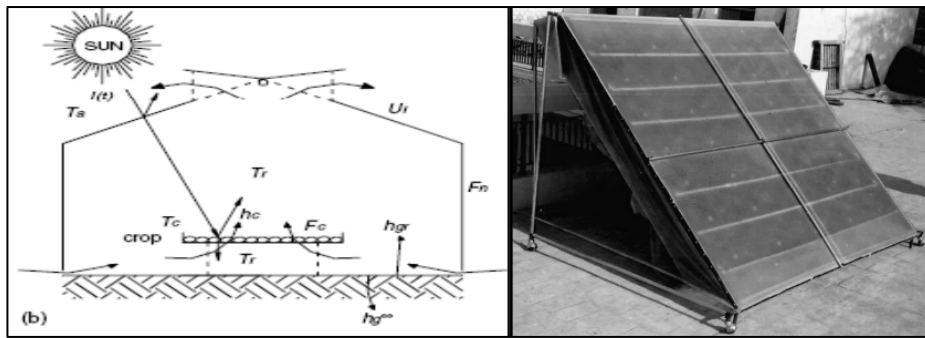
التجفيف وذلك بسبب سرعة واستمرارية الهواء الساخن. ولهذا النوع من المجففات عيوب منها تكلفته العالية بالنسبة لإنتاج والاستثمار مقارنة بالمجففات الحمل الطبيعي، كما يتطلب الإمدادات المحلية من الكهرباء التقليدية أو النظام الكهروضوئية لتشغيل المروحة.



الشكل (13.1): رسم تخطيطي لمجفف مباشر مع الحمل الحراري القسري [18]

مجففات الطاقة الشمسية السلبية: (تُعرف تقليدياً بالتجفيف الشمسي بالحمل الطبيعي)

تتميز بالاعتماد على الطاقة الشمسية فقط وتشمل التجفيف حمل هوائي طبيعي. تعتمد حركة الهواء الساخن ضمن غرفة التجفيف على الحمل الطبيعي بمعنى آخر يسخن الهواء فتتخفض كثافته فيتحرك نحو الأعلى مجففا المنتجات المراد تجفيفها وعندما يمتص منها رطوبتها ويبرد يتم طرده إلى الوسط الخارجي من خلال المدخنة. ولهذه المجففات عيوب منها خطر تجاوز الحد الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بها من قبل المنتج في الكثير من الأحيان بسبب ضعف حركة الهواء.



الشكل (14.1): رسم تخطيطي وبياني للمجفف شمسي المباشر مع الحمل الطبيعي [18]

يمكن تحديد ثلاث فئات فرعية مختلفة لمجففات الطاقة الشمسية النشطة أو السلبية، وهي:

مجففات الطاقة الشمسية المباشرة: حيث يتم توجيه الطاقة الشمسية مباشرة نحو المادة المراد تجفيفها

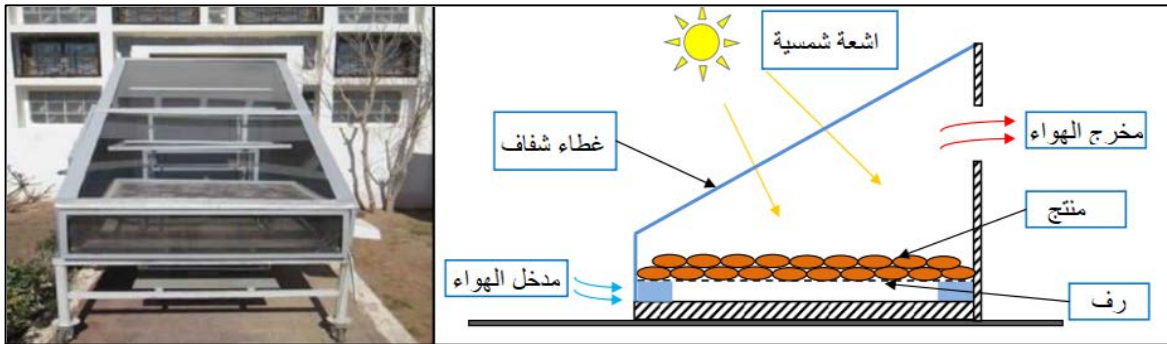
مجففات الطاقة الشمسية الغير مباشرة: حيث يتم توجيه الهواء الساخن نحو المادة بدلاً من توجيه الإشعاع الشمسي.

مجففات الطاقة الشمسية المختلطة: التي تجمع بين استخدام الطاقة الشمسية المباشرة وغير المباشرة في نفس العملية.

4.5.1 مجففات الطاقة الشمسية المباشرة:

مبدأ عمل مجففات الطاقة الشمسية المباشرة:

في هذا النظام، يتم إزالة الرطوبة من خلال الهواء الذي يدخل من الجزء السفلي للمجفف ويخرج من المخرج العلوي للهواء. في مجفف الطاقة الشمسية المباشرة، يتم توجيه إجمالي الإشعاع الشمسي المتساقط على الغطاء الشفاف، حيث جزء منه يعكس في الغلاف الجوي والجزء الآخر ينقل داخل مجفف الطاقة الشمسية. يتم انعكاس جزء من الإشعاع المنقول عن طريق سطح المنتجات المراد تجفيفها. الجزء المتبقي من الإشعاع المنقول يتم امتصاصه من قبل سطح المنتجات، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها وإطلاق إشعاعات طويلة لا يمكنها الهروب إلى الغلاف الجوي بسبب الغطاء الشفاف. ونتيجة لذلك، يتم تحقيق درجة حرارة عالية فوق المنتجات المراد تجفيفها داخل المجفف. وبالتالي، يُمكن الغطاء الشفاف من تقليل الخسائر بواسطة التوصيل إلى الغلاف الجوي.

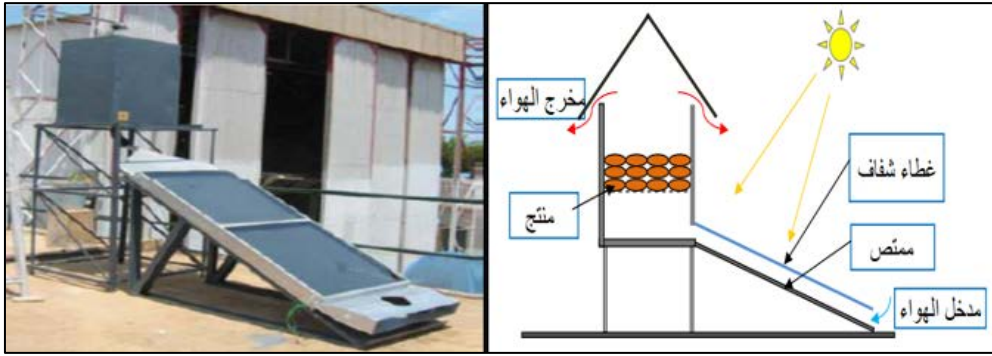


الشكل (15.1): مجفف شمسي مباشر ومبدأ عمله [19],[20]

4.5.2 مجففات الطاقة الشمسية غير المباشرة

مبدأ عمل مجففات الطاقة الشمسية غير المباشرة:

تتميز مجففات الطاقة الشمسية غير المباشرة عن مجففات الطاقة الشمسية المباشرة من حيث نقل الحرارة وإزالة البخار. يتم وضع المنتجات المراد تجفيفها في صواني داخل حجرة التجفيف، ويُستخدم جهاز استشعار شمسي منفصل لتسخين الهواء الداخل إلى الحجرة. يمر الهواء المُسخن عبر الأطعمة الرطبة، مما يوفر الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة عن طريق نقل الحرارة بين الأطعمة الرطبة والهواء الساخن.



الشكل (16.1): مجفف شمسي غير مباشر ومبدأ عمله [21]، [22]

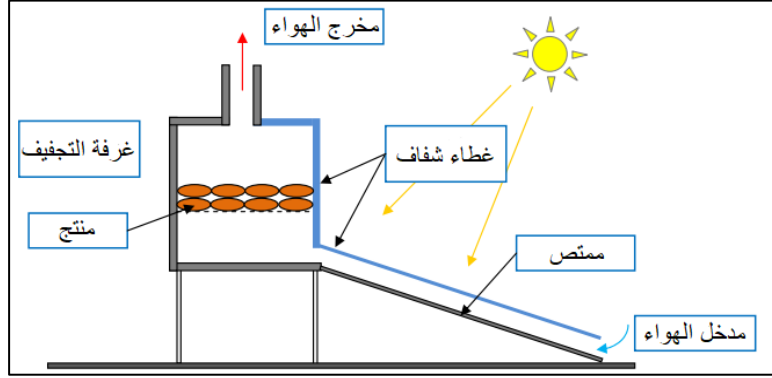
4.5.3 مجففات الطاقة الشمسية المختلطة

مبدأ عمل مجففات الطاقة الشمسية المختلطة:

تجمع مجففات الطاقة الشمسية المختلطة بين مبدأ التجفيف المباشر وغير مباشر. في هذه المجففات، يتعرض المنتج للتأثير المشترك بين الإشعاع الشمسي الذي يصيب المنتج مباشرة وبين الهواء المُسخن في جهاز استشعار شمسي يقع أسفل حجرة التجفيف. وتكون الأسطح العلوية لحجرة التجفيف وجهاز الاستشعار في المجففات المختلطة شفافة.

هذا يعني أن المنتج يستفيد من التأثير المباشر للإشعاع الشمسي وفي الوقت نفسه يتلقى تأثيرًا غير مباشرًا عن طريق الهواء المُسخن. يتم توفير حرارة الهواء المُسخن عن طريق الجهاز

الشمسي الكائن أسفل حجرة التجفيف، مما يعزز عملية التجفيف بفعالية ويساعد في الحفاظ على درجة حرارة مرتفعة داخل المجفف.



الشكل (17.1): مبدأ عمل مجفف مختلط [23]

4.5.4 مجففات الطاقة الشمسية الهجينة

مبدأ عمل مجففات الطاقة الشمسية الهجينة:

يستخدم مجففات الطاقة الشمسية الهجينة حرارة إضافية (من مصادر مثل الوقود، الكهرباء، الخشب، إلخ) لضمان تسخين الهواء بمستوى عالٍ أو لتوفير التهوية و يتم بالتالي تسريع عملية التجفيف، مما يقلل من وقت التجفيف.

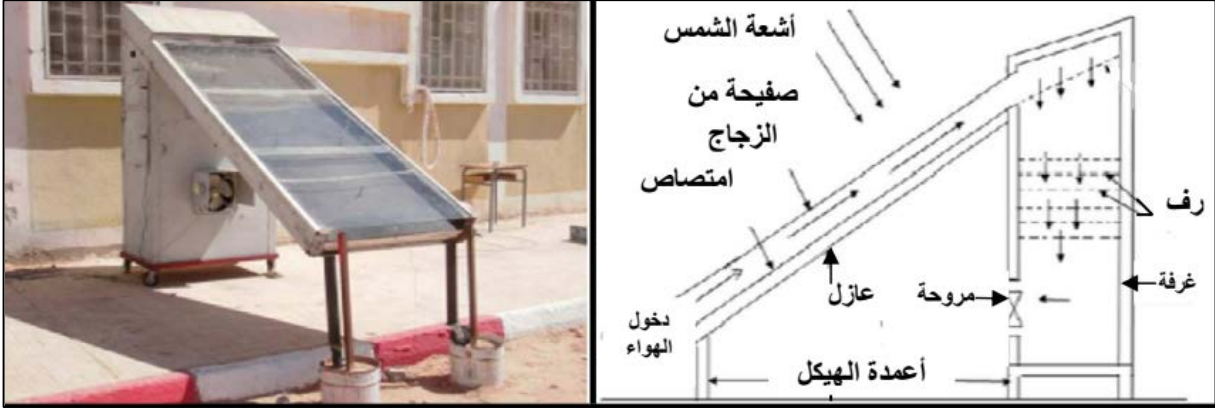
يمكن أن تأتي إضافة الطاقة من مصادر مختلفة في المجفف:

الحفاظ على درجة الحرارة:

يمكن استخدام مصادر مثل موقد الغاز، المقاومة الكهربائية، أو نار الخشب للحفاظ على درجة الحرارة في المجفف. في هذه الحالة، تصبح الطاقة الشمسية ثانوية.

زيادة التهوية:

يمكن زيادة تداول الهواء من خلال مراوح كهربائية، وفي هذه الحالة تظل الطاقة الشمسية مصدر الحرارة، و المجفف يكون لديه قدرة أكبر على التبخير بفضل تحسين التهوية.



الشكل (18.1): مجفف هجين يستعمل المروحة لتحريك الهواء داخل المجفف [24]

5. تطبيقات المجففات الشمسية:

تكنولوجيا المجففات الشمسية تستخدم الطاقة الشمسية لتجفيف المواد بشكل فعال. يمكن استخدام هذه التقنية في مجموعة متنوعة من التطبيقات، وفيما يلي بعض الأمثلة على استخدامات المجففات الشمسية:

تجفيف المحاصيل الزراعية: يمكن استخدام المجففات الشمسية لتجفيف المحاصيل الزراعية مثل الفواكه والخضروات، مما يساعد في تمديد فترة الاحتفاظ بها كالأرز والحبوب والذرة والبقوليات والفاول السوداني والبن.

- تجفيف الخضر: كالطماطم والفلفل
- تجفيف الفواكه: كاللوز والعنب والمشمش
- تجفيف الأعلاف: لإطعام الماشية

تجفيف الأغذية: يمكن استخدامها لتجفيف الأطعمة مثل الأعشاب والفواكه لتحسين مدى صلاحيتها لفترة طويلة. كالعجائن الغذائية والاجبان مسحوق الكاكاو [25]

تجفيف الأخشاب: تستخدم لتجفيف الأخشاب والألياف النباتية لاستخدامها في البناء أو الصناعات الأخرى.

تجفيف الأعشاب الطبية: تستخدم لتجفيف الأعشاب الطبية والنباتات الطبية لاستخدامها في صناعة الأدوية.

تجفيف الأسماك واللحوم: في بعض المناطق، تستخدم المجففات الشمسية لتجفيف الأسماك والحفاظ على جودتها.

تجفيف الوحل: يمكن استخدام المجففات الشمسية لتجفيف الوحل وتحضيره للاستخدام في الصناعات المختلفة.

تعتبر المجففات الشمسية حلاً مستدامًا وفعالاً في المناطق التي تتمتع بساعات طويلة من الشمس، وتساهم في توفير الطاقة وتقليل التكاليف المرتبطة بعمليات التجفيف.



الشكل (19.1): تطبيقات متنوعة المجففات الشمسية

6. المبادئ الأساسية في التجفيف:

تتكون عملية التجفيف من مجموعة من العمليات التقنية التي تهدف إلى إزالة الماء من المحاصيل الزراعية بشكل كامل وذلك للحد من نمو الأحياء الدقيقة والأنزيمات المسؤولة عن تلف المحاصيل. كما يتيح التجفيف تركيز المادة الزراعية بشكل كبير مما يسهل نقلها وتخزينها وتعبئتها وبيعها في غير موسمها دون الحاجة إلى استخدام مواد حافظة.

يمكن تنفيذ عملية التجفيف باستخدام مجفف شمسي مباشر أو الغير مباشر أو باستخدام فرن عادي. يعمل المجفف الشمسي على إدخال الهواء إلى الغرفة الموجود فيها المنتج المراد تجفيفه. يمر الهواء من خلال المادة المجففة بشكل منتظم ومتساوي في المقطع العرضي والطولي للمنتج المراد تجفيفه ليقوم بعملية التجفيف المطلوبة.

تحدث عملية التجفيف بفعل ظاهرتين فيزيائيتين وهما:

■ **الانتقال الحراري:** يشير إلى كمية الحرارة المتبادلة بين الهواء والمنتج المراد تجفيفه حيث يقوم الهواء الساخن برفع درجة حرارة المنتج.

■ **الانتقال الكتلي:** وهي كمية بخار الماء المنتقل من المنتج إلى هواء التجفيف.

عندما يصبح الهواء مشبعاً بالرطوبة يتم طرد قسم منه إلى الخارج لتخفيض الضغط داخل المجفف ثم يدخل هواء جديد إلى الداخل ليتلامس مباشرة مع المنتج وهكذا حتى يتم تجفيف المنتج بالكامل. [26]

1.6 خصائص هواء التجفيف:

1.1.6 الرطوبة:

الرطوبة عبارة عن السائل الموجود في الجسم الصلب أو السائل أو المعجون، ويجب التخلص منه أثناء عملية التجفيف.

2.1.6 الرطوبة النسبية:

الرطوبة النسبية H_r هي النسبة بين الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء p_v إلى الضغط الكلي p_s لبخار الماء عند نفس درجة الحرارة T . [27]. وتعطى بالعلاقة:

$$H_r = 100 \cdot \frac{p_v}{p_s} \quad 0\% \leq H_r \leq 100\%$$

3.1.6 الرطوبة المطلقة:

تسمى الرطوبة المطلقة أو محتوى الرطوبة، وهي كتلة الرطوبة الممزوجة بكيلو غرام واحد من الغاز الجاف. [28]

تعطى بالعلاقة:

$$H_a = \frac{m_v}{m_{as}}$$

حيث m_v و m_{as} هما كتلة بخار الماء والهواء الجاف المحتويتان في نفس الحجم من الهواء الرطب.

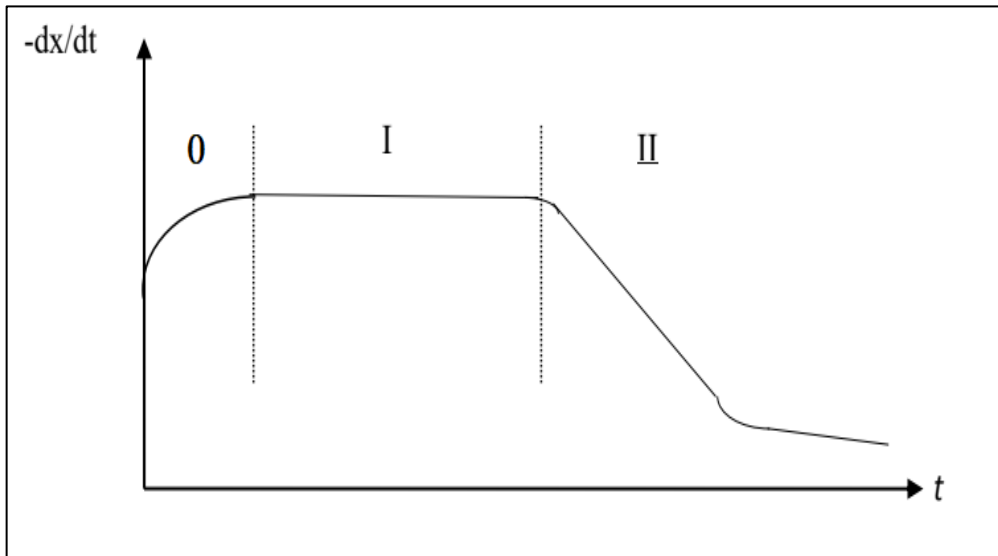
2.6 سرعة التجفيف:

تعرف سرعة التجفيف بالفرق في المحتوى الرطوبي للفاصل الزمني، وهو المقدار الذي يميز وتيرة التحول.

سرعة التجفيف دالة لعدة عوامل أهمها:

- الطبيعة، المسامية، الشكل والرطوبة للمنتج.
- درجة الحرارة، الرطوبة وسرعة الهواء [29].

يتم الحصول على منحنيات تمثل تطور سرعة التجفيف بدلالة الزمن عند إخضاع طبقة رقيقة من منتج ما لتيار الهواء ثابت درجة الحرارة والرطوبة والسرعة ثم قياس كتلة المنتج بدلالة الزمن.



الشكل (20.1): منحنى حركية التجفيف بدلالة الزمن [30]

المرحلة الأولى: مرحلة الاحماء(المنطقة 0)

عند تعريض المنتج لهواء التجفيف الساخن يحدث تبادل للحرارة والكتلة بين الهواء والمنتج وهذا يحدث عندما تكون الحرارة كافية للتبخير، فحرارة هواء التجفيف تؤدي الى زيادة حرارة المنتج حتى تصل الى درجة حرارة وسط التجفيف وعادة ما تكون هذه الفترة قصيرة مقارنة بالوقت الكلي للتجفيف.

المرحلة الثانية: مرحلة السرعة الثابتة (المنطقة I)

تتميز بثبات سرعة التجفيف يحدث انتقال الرطوبة إلى السطح في حالة سائلة بسبب القوة الشعرية حيث يحدث توازن بين الانتشار الغشائي وآلية انتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح، وتبقى درجة الحرارة ثابتة في أنحاء المادة لأن التدفق الحراري استعمل في تبخر الماء إلى السطح.

المرحلة الثالثة: مرحلة التباطؤ (المنطقة II)

خلالها لم يعد سطح المنتج مشبع ببخار الماء، ويتم التحكم في انتقال الكتلة من خلال آلية معقدة لحركة الماء من الداخل إلى السطح، هذه الفترة تمثل معظم فترة التجفيف، ويعود تباطؤ سرعة التجفيف إلى ما يلي: اختفاء الماء الحر من سطح المنتج - سمك المنتج - انتشار الماء داخل المنتج - القوة الميكانيكية لجدران الخلايا - التقشير.[31]

3.6 درجة الحرارة المثالية للتجفيف:

تستخدم طريقة التجفيف الشمسي الإشعاع الشمسي غير المباشر. المبدأ هو جمع الطاقة الشمسية لتسخين حجم الهواء باستخدام المجمعات وتوصيل الهواء الساخن من المجمع إلى غرفة التجفيف. هذا هو المكان الذي يتم فيه وضع المنتجات لتجف، من الناحية المثالية، يجب أن تكون درجة الحرارة المثالية داخل المجفف من 45 إلى 50 درجة مئوية. من المفيد التحقق من درجة الحرارة باستخدام مقياس الحرارة، لأن درجة الحرارة المرتفعة جداً تؤدي إلى حرق المحصول و المنخفضة جداً لن تجفف المحصول تجفيفاً تاماً وقد يتلف. [32]

6.4 تأثير المعالم الرئيسية للهواء على حركية التجفيف:

- **تأثير سرعة الهواء:** لسرعة الهواء تأثير ايجابي على حركية التجفيف خاصة في مرحلة الأولى من العملية، ويصبح معدل التجفيف منخفض جدا في حالة المنتجات التي يتم فيها التحكم في حركية التجفيف انطلاقا من الهجرة الداخلية للمياه.
- **تأثير رطوبة الهواء:** للمحتوى المائي للهواء دور كبير وجد مهم في سلوك حركية التجفيف لبعض المنتجات، ويعتبر هذا التأثير مهم جدا منذ بداية التجفيف ويتناقص عندما تزداد درجة حرارة الهواء.
- **تأثير درجة حرارة الهواء:** تؤثر درجة حرارة الهواء الجاف على سرعة التجفيف بشكل كبير وهذا التأثير راجع إلى إدخال حرارة المنتج التي تزداد مع زيادة درجة حرارة الهواء وينتج عن ذلك تزايد معدلات الانتشار الماء في المنتج وأيضا زيادة في درجة الحرارة. [33]

5.6 البحث الببليوغرافي:

المجففات الشمسية لها دور كبير وقد أجريت العديد من الدراسات حول توزيع الحرارة وتدفق الهواء الطبيعي داخل أنواع مختلفة منها، نذكر في ما يلي بعض البحوث و الدراسات السابقة التي تناولت هذا الموضوع.

[34] هذا العمل اعتمد إجراء دراسة تجريبية لاستكشاف سلوك عملية التجفيف الشمسي لثلاثة منتجات غذائية متنوعة، وذلك تحت تأثير الحمل الحراري باستخدام مجفف شمسي غير مباشر تم تصميمه وتصنيعه مسبقاً باستخدام مواد محلية. تركز هذه الدراسة على عملية تجفيف البطاطا والجزر والتفاح بواسطة طبقة رقيقة، حيث تم قطعها إلى شرائح دائرية بثلاثة سماكات مختلفة. تم استخدام البيانات التجريبية لاستخلاص نموذج رياضي لنسبة الرطوبة، وتمت مقارنته مع نماذج أخرى مثل النموذج اللوغاريتمي ونموذج نيوتن ونموذج بابيس وهيندرسون. فقد أظهرت النتائج أن حركيات عملية التجفيف تعتمد على سمك وحجم العينات، بالإضافة إلى أن النموذج اللوغاريتمي كان الأكثر فعالية في وصف سلوك عملية التجفيف هذه، بناءً على المقارنة مع النماذج الأخرى.

[35] يقدم هذا العمل نتائج دراسة تجريبية ونظرية للمجفف الشمسي المباشر، سواء كان مزوداً بتكامل مبادل حراري أم بدونه، والذي يتصل بجهاز محاكاة للمياه الحرارية الأرضية بدرجة حرارة عالية. يمكن استخدام هذا الجهاز كمصدر للحرارة لتشغيل المجفف الشمسي بعد غروب الشمس. يقوم الجهاز بزيادة درجة حرارة مكونات المجفف المباشر، مما يضمن استمرارية عملية التجفيف في الليل وخلال الطقس الغائم.

تمت عمليات محاكاة رقمية باستخدام برنامج فلونت لتوضيح تأثير التكامل الحراري على الأداء الحراري للمجفف الشمسي المباشر. أظهرت النتائج أن التبادل الحراري بين الهواء الساخن وهواء المجفف الشمسي يسهم في زيادة تجانس درجات حرارة مكونات المجفف الشمسي المباشر.

[36] تُقدّم هذه الأطروحة دراسة رقمية لمجفف شمسي مُخصص لعملية تجفيف المنتجات الزراعية، وتحديدًا المنتجات مثل التين. يعتمد هذا الجهاز على تحويل ضوء الشمس إلى طاقة حرارية لتسخين الهواء، الذي يُرسل بعد ذلك لتنفيذ عملية التجفيف (تجفيف شمسي غير مباشر). يعتمد المجفف على تدفق الهواء بشكل طبيعي (نظام سلبي).

تناول الجزء الأول من الأطروحة تحليل مجفف شمسي يتضمن غرفة للتجفيف متصلة بلوحة ماصة ومدخنة شمسية. تم تحليل وحل المعادلات التفاضلية القائمة على نموذج التدفق المضطرب باستخدام طريقة الحجوم المتناهية باستخدام برنامج Ansys-Fluent. أما الجزء الثاني، فيقوم بتحليل تأثير إضافة وحدة للتخزين الحراري على شكل سرير مملوء بالحصى إلى غرفة التجفيف. تم تصميم السرير كوسيط مسامي قابل للاختراق. بالإضافة إلى ذلك، تقترح هذه الدراسة استخدام مدخل ثاني للهواء في غرفة التجفيف لضمان توزيع حراري أكثر تجانساً على مستوى الرفوف وضمان تجفيف أكثر تناسقاً.

[37] تناولت هذه الأطروحة تحديد الفعالية المتوقعة بين أنواع معينة من مجموعات الألواح المسطحة الهوائية الشمسية، سواء كانت تتضمن ممراً واحداً أو مزدوج الممرات، والتي يتم استخدامها لتهوية غرفة التجفيف بشكل طبيعي. كما قامت الدراسة بفحص تأثير المقاسات الهندسية، مثل الطول والعرض، على حصول درجات حرارة مناسبة لتكييف نظام التجفيف وضمان تجانس درجات الحرارة داخل مجففات الطاقة الشمسية غير المباشرة.

تظهر النتائج التجريبية أن المستقطب الشمسي أحادي الممر الهوائي يتفوق على المستقطب الشمسي ثنائي الممر بنسبة 8% تحت ظروف تشغيل مشابهة. أما التحليل العددي باستخدام CFD، الذي تم إجراؤه باستناد إلى اختلافات في أبعاد المجمع الشمسي لظروف مناخية متغيرة، فكشف أيضاً عن تحسين في الأداء الحراري لنظام التجفيف وتمديد وقت التشغيل بمقدار ساعتين عند دمج مادة تغيير الطور (PCM) مع المجمع الشمسي، بهدف استمرار عملية التجفيف بعد غروب الشمس أو في الأيام الغائمة.

[38] في هذه الرسالة تم تسليط الضوء على عملية التجفيف بأخذ ثلاثة عوامل رئيسية في اعتبارنا، وهي درجة الحرارة، والرطوبة، وسرعة هواء التجفيف. تمت إجراء دراسة تجريبية لتقييم أداء مجفف الدفيئة الشمسية غير المباشر، حيث تم تسجيل وتسجيل البيانات المتعلقة بالإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة المحيطة، وسرعة الرياح، ودرجات حرارة مدخل ومخرج المستشعر، ودرجة حرارة غرفة الامتصاص والتجفيف، وكذلك الرطوبة النسبية. يظهر أن النتائج المحصلة تتفق بشكل ملحوظ مع النتائج النظرية المتوقعة، مما يبرز نجاح عملية التجفيف بشكل فعال

[39] في هذه الرسالة تمت دراسة الجوانب الحرارية والديناميكية لمجفف شمسي غير مباشر على مستوى مختبر (LENREZA) في جامعة ورقلة. تم السعي إلى تحسين توزيع الحرارة داخل غرفة التجفيف وزيادة كفاءته من خلال تحسين سرعة استخراج الهواء وتحديد درجة الحرارة المثلى لعملية التجفيف. تم اعتماد طريقة المخططات التجريبية MPE ومنهجية سطح الاستجابة MSR لدراسة مجموعة من العوامل المؤثرة. وبعد إجراء المحاكاة العددية للتجارب، أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في الاستجابات المدروسة مقارنة بأداء المجفف قبل التحسين.

[40] في هذا العمل تم إجراء دراسة رقمية للحمل الحراري الطبيعي في نظام مضطرب، حيث يتألف التجويف من هواء ثنائي الأبعاد يحتوي على مدخل سفلي للهواء ومخرج علوي لطرد الهواء. تم تسخين التجويف من الأعلى باستخدام مصدر حرارة من خلال زجاج مكشوف يتجه نحو أشعة الشمس. اختار الباحثون في دراستهم أن تكون درجة حرارة الشمس ثابتة، وأن تكون الجدران الجانبية مصنوعة من الفولاذ، بينما يظل الجدار الداخلي ثابت

الحرارة. تم حل المعادلات الحاكمة عدديًا باستخدام طريقة الحجوم المحدودة باستخدام البرنامج التجاري للديناميات الحرارية الحاسوبية (CFD). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن النظام المضطرب يتمتع بكفاءة أعلى من حيث التبريد.

[41] في هذه الرسالة كان الهدف من الدراسة تحسين الكفاءة الطاقية لمجفف شمسي مباشر يعمل بالحمل الحراري الطبيعي عبر دمج نوعين من مصادر الطاقة الإضافية. يتضمن النوع الأول مصدرًا للماء الساخن من مياه جوفية متصل بمبادل حراري، بينما يمثل النوع الثاني سخانًا مائيًا شمسيًا متصلًا بالمبادل الحراري السابق. أظهرت نتائج هذا البحث أن دمج الطاقة الإضافية في المجفف الشمسي المباشر يسهم في زيادة الكفاءة الطاقية خلال الأيام المشمسة والغائمة، بالإضافة إلى فترات الليل

[42] في هذه الرسالة، كانوا مهتمين بتصميم وتصنيع منضدة اختبار لتجفيف المنتجات الغذائية، وهو مجفف حراري يُستخدم لإزالة الرطوبة من المواد الصلبة. قمنا باختبار النموذج الأولي الذي تم تصنيعه من خلال إجراء دراسة تجريبية تهدف إلى فهم عمل المجفف الحراري ودراسة حركية التجفيف للمنتج المقصود. أجريت تجارب لقياس متغيرات مختلفة مثل درجة الحرارة والرطوبة ودوران الهواء لتجفيف عينات الطماطم.

تم الحصول على حركيات التجفيف كدالة لانخفاض الكتلة بمرور الوقت. أظهرت النتائج أن الحصول على المنتج المجفف يتم بفترة أقصر عندما تكون درجة حرارة التجفيف أعلى، وهذا يدعمه المنتج المراد تجفيفه. تتيح النتائج المحصلة تحسين عملية التجفيف وتقديم توصيات لتحسين مجفف الحمل الحراري

[43] في هذه الأطروحة تم إجراء تقييم تجريبي شامل لأداء نموذج جديد من مجفف الطاقة الشمسية بتدفق طبيعي (ISD) لتجفيف المنتجات في ظروف صيفية في المجر. يتضمن المجفف الجديد مكونات رئيسية ثلاثة: مجمع هواء شمسي وغرفة تجفيف ومدخنة شمسية. تم اختبار تأثير ارتفاع المدخنة وأسماك الهواء المختلفة على أداء المجفف، مع مقارنة مع المجفف التقليدي و ISD. جمعت البيانات في ظروف التحميل وعدم التحميل، وتضمنت إشعاع الشمس ودرجة الحرارة ونسبة الرطوبة وسرعة تدفق الهواء. استُخدمت معايير مثل تحليل الطاقة والفعالية وفقد المنتج وكفاءة التجفيف واستهلاك الطاقة الخاص لتقييم الأداء.

أظهرت النتائج أن تغيرات في إشعاع الشمس ودرجة الحرارة الجوية أثرت على أداء المجفف الجديد، وتم تحديد أن أفضل تكوين كان مع مدخنة SC ارتفاع 0.75 م وفجوة هواء بسماكة 50 مم.

[44] في هذه الأطروحة تمت دراسة تجريبية وديناميكية حول عملية التجفيف الشمسي باستخدام مجفف شمسي مختلط واسع النطاق، لخمسة منتجات مختلفة (الطماطم، المشمش، البطاطا، التين، والفلفل الأحمر الحلو). تهدف الدراسة إلى فهم حركية التجفيف والخصائص الديناميكية الحرارية للمنتجات خلال التجفيف. تم استخدام معادلة Fick لحساب معامل الانتشارية الفعال باستناد إلى البيانات التجريبية، ودرست سبع نماذج نظرية لتوصيف عملية تجفيف المنتجات، مع تأكيد دقة نموذجين بدون أبعاد. في جزء آخر من الدراسة، تم تحليل انتقال الحرارة في اللاقط الحراري الشمسي وحركة الهواء داخل الدفيئة باستخدام تقنيات محاكاة رقمية. هدف التحليل كان تحسين انتقال الحرارة باستخدام عقبات مثبتة على الجدران المعزولة. أظهرت النتائج أن العقبات بزواوية 45 درجة تؤثر إيجابياً على انتقال الحرارة وتدفق الهواء. كما تم اختيار مسافة بين الرفوف وسرعة الدخول كقيم أمثل، وأظهرت النتائج أن مسافة 20 سم بين الرفوف وسرعة 2 م/ثا هي الحالة الأمثل لحركة الهواء داخل المجفف الشمسي.

[45] تناول هذا العمل وفي إطار التحفيز لحماية البيئة واستغلال الفضلات الناتجة عن محطات تصفية المياه المستعملة، أجريت هذه الدراسة التجريبية التي تشمل إقامة نموذج بسيط لمجفف شمسي بحمل طبيعي واختبار شروط عمله من خلال دراسة العوامل الفيزيائية التالية: زمن احتجاز الوحل داخل المجفف، درجة حرارة الهواء المجفف، والرطوبة النسبية، بالإضافة إلى نسبة الماء في الوحل. تم التحقق من فعالية المجفف من خلال تحليل نتائج التجربة، حيث أظهرت النتائج ارتفاعاً ملحوظاً في درجة حرارة داخل المجفف، وتوحيداً ملموساً في عملية تجفيف الوحل.

[46] هذا العمل يقدم نتائج دراسة نظرية حول حركية تجفيف البطاطس في مجفف شمسي غير مباشر. تم تطوير نموذج رياضي يحاكي عملية التجفيف في نظام بالحمل الطبيعي. تم التحقق من صحة هذا النموذج من خلال عدة دراسات على البطاطس، حيث تُستخدم

البطاطس بعد تجفيفها وطحنها في صناعة الأغذية، خاصة في إنتاج الدقيق. تم استخدام طريقة الفروق المحدودة للحل العددي. خضعت النتائج لتأثير الكتلة وقطر المنتج ودرجة حرارة الهواء، وعلى وقت التجفيف.

[47] يهدف هذا العمل دراسة تأثير نموذج المجفف الشمسي من نوع الدفيئة بالحمل الطبيعي على سرعة تجفيف الأعشاب الطبية، مثل النعناع، والحفاظ على جودتها. تمت مقارنة عملية تجفيف أوراق النعناع الأخضر بطريقة طبيعية مع تجفيفها باستخدام مجفف الدفيئة، وأظهرت النتائج أن الفترة الزمنية المطلوبة لتجفيف أوراق النعناع الأخضر في يوم واحد، بمتوسط إشعاع شمسي قدره 680 واط/متر مربع، هي 6 ساعات في مجفف الدفيئة و9 ساعات في المجفف الطبيعي. يعتبر المجفف من نوع الدفيئة وسيلة فعالة حيث يقوم بتسريع

عملية التجفيف ويحافظ على سلامة المنتج من العوامل الطبيعية التي قد تؤثر في جودته [48] هدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية حول عملية تجفيف المحاصيل الزراعية، مثل الطماطم، في جهاز تجفيف شمسي غير مباشر بحمل طبيعي. يتناول الهدف الرئيسي في هذه الدراسة فحص حركية تجفيف الطماطم والمقارنة بين عملية نقل الحرارة أثناء تجفيف الطماطم تحت أشعة الشمس مباشرة وتجفيفها في جهاز تجفيف شمسي غير مباشر.

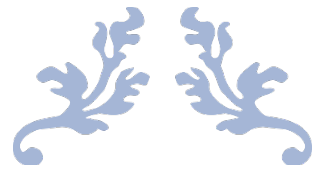
أظهرت النتائج التجريبية أن حركية تجفيف الطماطم تظهر وجود المرحلة الثالثة فقط (التباطؤ) كما أظهرت أن التجفيف غير المباشر يُخفِّض وقت تجفيف الطماطم مقارنةً بالتجفيف المباشر تحت أشعة الشمس.

[49] في هذا العمل يتم تقديم محاكاة نقل حراري رقمي لمجفف شمسي غير مباشر مع الحمل الحراري الطبيعي. يتكون المجفف الشمسي من مجمع هواء شمسي وغرفة تجفيف. يقارن الجزء الأول من هذا العمل الكفاءة الحرارية لأنوعين من اللواقط المسطحة والمسامية وتأثير المسامية على درجة الحرارة والسرعة عند نهاية المجمع. تم إجراء المحاكاة من أجل تحديد المجالات الديناميكية والحرارية لتدفق الهواء عبر المجفف الشمسي. يتم تحديد معادلات الحفظ القائمة على نموذج التدفق المضطرب k-e القياسي مع حلها بطريقة الحجم المحدود باستخدام Fluent. الجزء الثاني يحلل تأثير دمج وحدة تخزين حراري على سلوك التدفق في المجفف.

[50] في هذه الدراسة، تم القيام بعمل تجريبي لمجفف شمسي ذو الماص المقلوب لمعرفة مدى كفاءته في منطقة وادي سوف و التي تزخر بطاقة شمسية وفيرة. تمت الدراسة على مرحلتين تجربتين، الأولى خصصت لتجفيف محصول النعناع، فكانت النتائج جد مرضية حيث تم تجفيفه بشكل تام في غضون 3 ساعات فقد ونزع ما يقارب نسبة 74.73% من محتوى الرطوبة للمادة. أما في الثانية، تم تجفيف مادة البطاطا المعروفة بالإنتاج المحلي الوفير، حيث كذلك تمت عملية التجفيف في غضون 8 ساعات فقط، حيث نزع ما يقارب نسبة 72.31% من محتوى الرطوبة.

[51] في هذا العمل، تمت دراسة ميدانية الهدف منها تحسين أداء وكفاءة المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب تحت ظروف تشغيل حقيقة في جامعة الوادي وذلك بإدخال مواد حافظة وخازنة للحرارة الحصى الأسود والكربون على مستوى غرفتي التجفيف، كما تم عزل هذه الأخيرة بمادة بولسترين عن الوسط الخارجي لحفظ ضياع الحرارة وجودة البطاطا المجففة، تم وضع المجفف على محور دوار لاستقبال أقصى شدة للإشعاع. تم العمل التجريبي في يوم تميز بإشعاع شمسي معتبر وبتابع جملة من الخطوات التجريبية للحصول على أفضل النتائج، حيث كانت نتائج عمل المجفف المحسن مرضية ومقبولة خاصة دور المواد الخازنة للحرارة فبلغ متوسط الكفاءة اليومي للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب حتى 18 إلى 35% في النصف الأول من اختبار التجفيف، كما كانت كفاءة المجفف بمساعدة الكربون أعلى من كفاءة المجفف بمساعدة الحصى الأسود.

[52] تم إجراء هذه الدراسة على نوعين من معدات تجفيف قشور البرتقال بالطاقة الشمسية. الأولى هي مجفف شمسي غير مباشر مكون من مجمع شمسي مستوٍ متصل بغرفة تجفيف، والثانية تتكون من صندوق معزول جانبياً بواسطة صوف زجاجي. تغطي السطح الجانبي الداخلي بالمرايا، بينما يُغلق الجزء العلوي بواسطة زجاج. أظهر تحليل النتائج التجريبية للتقنيتين لتجفيف الطاقة الشمسية أن الإنتاجية هي 3 كجم/متر مربع في اليوم مع رطوبة نهائية تبلغ 43% للمجفف الشمسي غير المباشر. في هذا الأخير، يتم وضع المنتج على خمسة صواني متدرجة بينما يتم استخدام صينية واحدة أفقية في المجفف المباشر. الإنتاجية هي 2 كجم/متر مربع في اليوم ورطوبة نهائية تبلغ 35%.



الفصل الثاني

النمذجة الرياضية

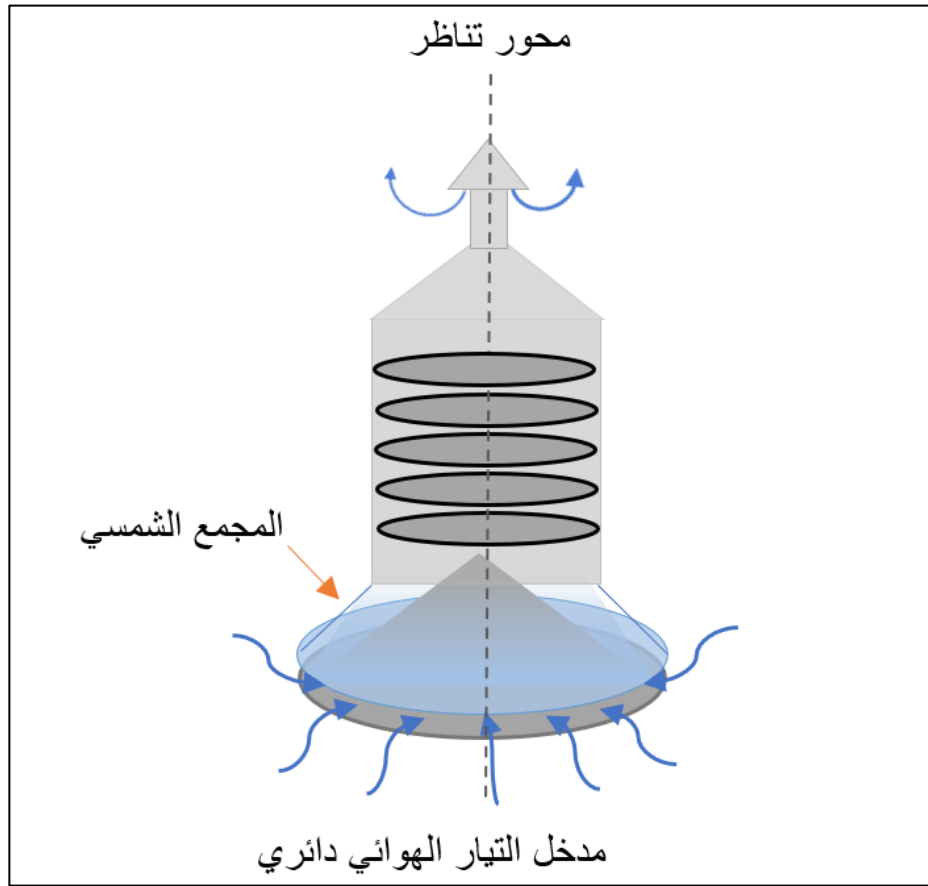


1.2 مقدمة:

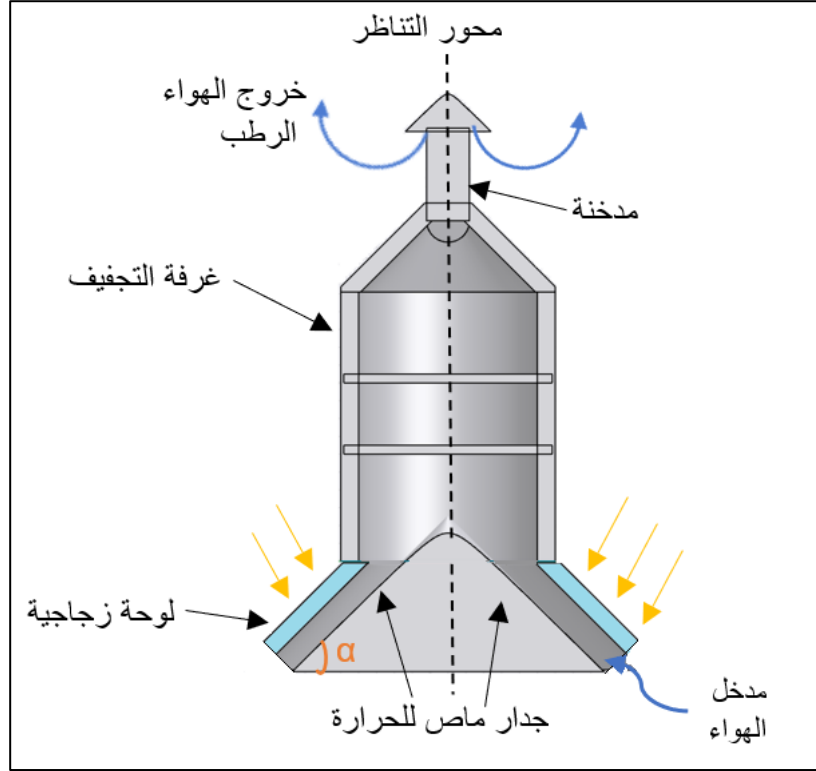
في هذا الفصل قمنا بإعداد صياغة المعادلات الفيزيائية بالاعتماد على الوصف الهندسي وكذلك المعادلات التفاضلية: الاستمرارية، الحركة، الطاقة وتقدم المعادلات لدينا في نظام الإحداثيات الاسطوانية.

2.2 طرح المشكلة:

نقوم بدراسة توزيع الحرارة بواسطة الحمل الحراري الطبيعي للهواء داخل مجفف شمسي المبين في الشكل (1) مع مراعاة الافتراضات المناسبة.



الشكل (1.2): شكل هندسي للمجفف الشمسي.



الشكل (2.2): مقطع عرضي للمجفف الشمسي.

2.3 الصياغة الرياضية:

يتم التعبير عن المعادلات للنموذج الرياضي في شكلها الشعاعي العام كما يلي:

◆ معادلة الاستمرارية:

$$(2.1) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{v}) = 0$$

ρ : كثافة المائع.

\vec{v} : مركبات سرعة المائع.

◆ معادلة انحفاظ كمية الحركة:

$$(2.2) \quad \rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right) = -\vec{\nabla} p + \rho \vec{g} + \mu \Delta \vec{k}$$

◆ معادلة الطاقة:

$$(2.3) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}) = \frac{\lambda}{\rho c_p} \Delta T$$

2.4 النموذج الرياضي في الإحداثيات الأسطوانية:

تُعرف المعادلات العامة في الإحداثيات الأسطوانية (r, θ, z) على النحو التالي:

◆ معادلة الاستمرارية:

$$(2.4) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (rv_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \left(v_r \frac{\partial \rho}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial \rho}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) = 0$$

◆ معادلة انحفاظ كمية الحركة:

على المحور r

$$(2.5) \quad \rho \left(\frac{\partial (v_r)}{\partial t} + \frac{\partial (v_r)}{\partial t} + \frac{(v_\theta)}{r} \frac{\partial (v_\theta)}{\partial \theta} - \frac{(v_\theta)^2}{r} + v_z \frac{\partial (v_r)}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r$$

$$+ \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right)$$

على المحور θ

$$(2.6) \quad \rho \left(\frac{\partial (v_\theta)}{\partial t} + (v_r) \frac{\partial (v_\theta)}{\partial r} + \frac{(v_\theta)}{r} \frac{\partial (v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{(v_\theta)}{r} \frac{\partial (v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{v_\theta v_r}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta$$

$$+ \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right) - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 (v_\theta)}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$$

على المحور z

$$(2.7) \quad \rho \left(\frac{\partial(v_z)}{\partial t} + v_r \frac{\partial(v_z)}{\partial r} + \frac{(v_\theta)}{r} \frac{\partial(v_z)}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z$$

$$+ \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2(v_z)}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$$

◆ معادلة الطاقة:

$$(2.8) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

5.2 فرضيات التبسيط:

من أجل تبسيط النموذج الرياضي، اخترنا بعض الفرضيات وهي كالتالي:

- المائع (الهواء) نيوتوني وغير قابل للضغط.
- التدفق ثنائي الأبعاد، دائم ولفي.
- نعتبر تبديد اللزوجة وعمل قوى الضغط مهملان في معادلة الطاقة.
- نفرض أن التدفق متناظر بالنسبة لمحور التناظر الهندسي.
- التوصيل والإشعاع الحراريين من خلال المجمع مهملين.
- يُستخدم تقريب بوسينيسك لتغيرات الكثافة في تأثير قوة الحجم، ويتربط مباشرة مع درجة الحرارة T . تحكم درجة الحرارة المرجعية T_0 في الخصائص الفيزيائية للسائل، والتي تظل ثابتة في المعادلات الأخرى $\rho = \rho_0(1 - \beta(T - T_0))$

$$\beta_T = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad \text{معامل التمدد:}$$

استناداً لفرضيات التبسيط المشار إليها سابقاً تصبح المعادلات على الشكل التالي:

◆ معادلة الاستمرارية:

$$(2.9) \quad \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

◆ معادلة انحفاظ الحركة:

$$(2.10) \quad \rho \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial (rv_r)}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right)$$

$$(2.11) \quad \rho \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + g_z \rho \beta_T (T - T_0) + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial (rv_z)}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$$

◆ معادلة الطاقة:

$$(2.12) \quad v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

2.6 الشروط الحدية:

• في مدخل الهواء: $T = T_c, v_r = 0, v_z = 0$

• في مخرج الهواء: $\frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{\partial (v_r)}{\partial z} = \frac{\partial (T)}{\partial z} = 0$

• بالنسبة للسطح المجمع: $T_{ground} = T_h, v_r = 0, v_z = 0$

• بالنسبة للأرضية: $T = T_c, v_r = 0, v_z = 0$

2.7 المعادلات اللابعديّة:

للحصول على المعادلات اللابعديّة يجب استعمال القيم اللابعديّة المعطاة بالعبارات التالية:

$$v_r^+ = \frac{v_r}{(\alpha/D)}, v_z^+ = \frac{v_z}{(\alpha/D)}, r^+ = \frac{r}{D}, z^+ = \frac{z}{D}, T^+ = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, P^+ = \frac{p}{\rho(\alpha/D)^2}$$

معادلة الاستمرارية:

$$(2.13) \quad \frac{1}{r^+} \frac{\partial (r^+ v_r^+)}{\partial r^+} + \frac{\partial v_z^+}{\partial z^+} = 0$$

معادلة الحركة:

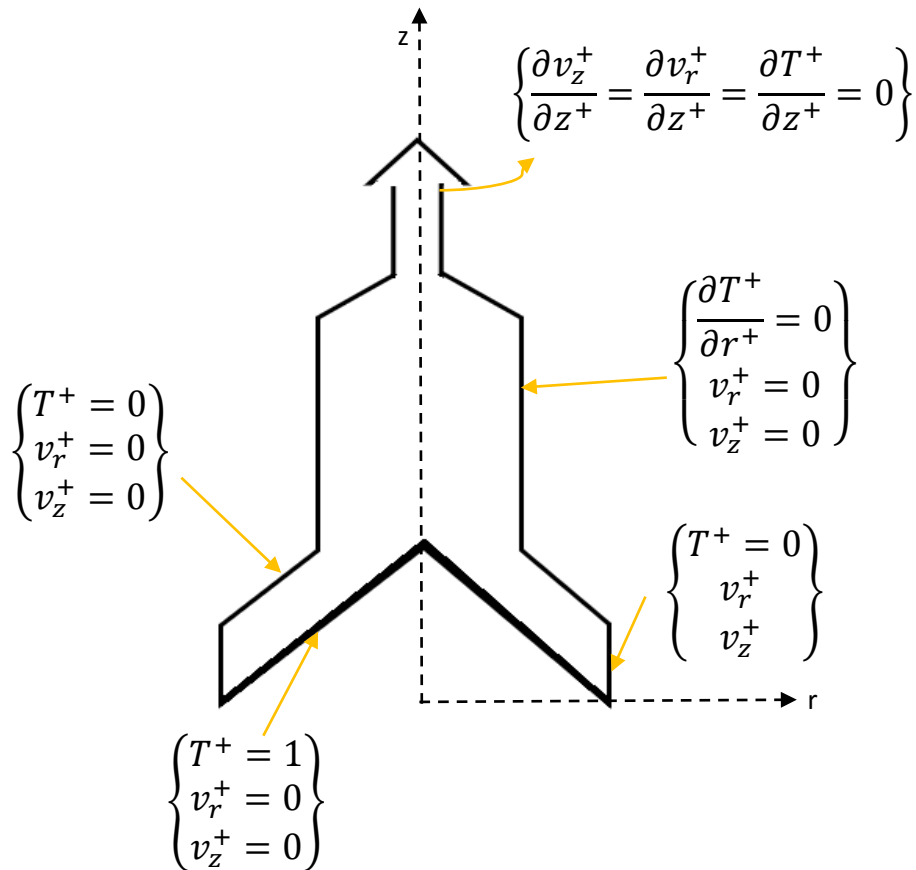
$$(2.14) \quad v_r^+ \frac{\partial v_r^+}{\partial r^+} + v_z^+ \frac{\partial v_r^+}{\partial z^+} = -\frac{\partial \rho^+}{\partial r^+} + p_r \left(\frac{1}{r^+} \frac{\partial}{\partial r^+} \frac{\partial (r^+ v_r^+)}{\partial r^+} - \frac{v_r^+}{r^{+2}} + \frac{\partial^2 v_r^+}{\partial z^{+2}} \right)$$

$$(2.15) \quad v_r^+ \frac{\partial v_z^+}{\partial r^+} + v_z^+ \frac{\partial v_z^+}{\partial z^+} = -\frac{\partial \rho^+}{\partial z^+} + p_r \left(\frac{1}{r^+} \frac{\partial}{\partial r^+} \frac{\partial (r^+ v_z^+)}{\partial r^+} + \frac{\partial^2 v_z^+}{\partial z^{+2}} \right) + R_\alpha \cdot p_r \cdot T^+$$

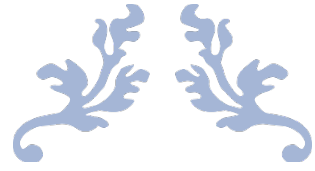
معادلة الطاقة:

$$(2.16) \quad v_r^+ \frac{\partial T^+}{\partial r^+} + v_z^+ \frac{\partial T^+}{\partial z^+} = \frac{1}{r^+} \frac{\partial T^+}{\partial r^+} + \frac{\partial^2 T^+}{\partial r^{+2}} + \frac{\partial^2 T^+}{\partial z^{+2}}$$

8.2 الشروط الحدية الالبعدية:



الشكل (2.3): الشروط الحدية الالبعدية



الفصل الثالث

المحاكاة العددية



1.3 المحاكاة العددية:

لحل المشاكل المتعلقة بالظواهر الفيزيائية التي يصعب حل معادلاتها تحليلياً نلجأ إلى استعمال المحاكاة العددية كحل تقريبي باستخدام البرمجة المباشرة أو أحد البرامج المتاحة والمستعملة في تطبيقات الموائع وحركتها مثل OpenFOAM، Ansys Fluent، و Comsol Multiphysics حيث استعملنا هذا الأخير لإجراء المحاكاة العددية لظاهرة الحمل الحراري الطبيعي للهواء داخل المجفف الشمسي.

2.3 نظرة عامة حول برنامج COMSOL :

1.2.3 التعريف ببرنامج COMSOL :

هو برنامج محاكاة عددية يعتمد على طريقة العناصر المنتهية (FEM) حيث يسمح بالمحاكاة للعديد من التطبيقات الفيزيائية والهندسية، ولا سيما الظواهر المقترنة أو المحاكاة متعددة الظواهر الفيزيائية.

هذا ما جعله يعد كبيئة تفاعلية قوية لنمذجة وحل جميع أنواع المشكلات العلمية والهندسية القائمة على المعادلات التفاضلية الجزئية (PDEs) من خلال تقسيم المجال إلى عدد كبير من العناصر لتتحول المعادلات التفاضلية إلى معادلات جبرية يسهل حلها بالطرق الحسابية عن طريق عدد كبير من التكرار يستخدم هذا البرنامج في عدة مجالات من بينها النقل الحراري، الجيوفيزياء، تدفق الوسائط المسامية، انتشار الموجات، ديناميكيات الموائع ... إلخ.

2.2.3 طريقة العناصر المنتهية : [53]

هي طريقة تحليل عددي لإيجاد الحلول التقريبية للمعادلات التفاضلية الجزئية بالإضافة إلى الحلول المتكاملة حيث يعتمد الحل إما على إلغاء المعادلات التفاضلية الجزئية نهائياً (في الحالات الساكنة أو تقريبها إلى معادلات تفاضلية نظامية والتي يكون من الممكن حلها باستخدام عدة طرق كطريقة أويلر Euler أو رونجي كوتا Runge-Kutta).

• مبدأ طريقة العناصر المنتهية:

تقوم استراتيجية العناصر المنتهية على تجزئة الوسط المستمر الذي يخضع للدراسة إلى مكونات ذات أبعاد محدودة، مما يسمح بتحليل وتوصيف سلوك كل جزء على نحو مستقل، لاستخلاص سلوك الوسط الكلي من خلال تجميع هذه الأجزاء معاً. يمكن تطبيق هذه الطريقة على أي نوع من الأوساط المستمرة، سواء كانت هياكل، أو مستويات، أو أحجام، أو حتى مائع، وكذلك على أي مشكلة فيزيائية يمكن وصفها بالمعادلات التفاضلية.

وقد تم تطوير أنواع مختلفة من العناصر المنتهية للتعامل مع المسائل الخطية والمستوية والثلاثية الأبعاد. يمكن ان تلخص تقنية العناصر المنتهية انها تقوم بتقطيع الهيكل إلى عدة عناصر (أجزاء)، ثم تعيد ربط العناصر عند "العقد" كما لو كانت العقد عبارة عن دبابيس أو قطرات من الغراء تربط العناصر معاً. تؤدي هذه العملية إلى مجموعة من المعادلات الجبرية المتزامنة.

يمكن التعبير على العديد من الظواهر الهندسية (تدفق مائع، مشاكل حرارية، ... الخ) من خلال:

• المعادلة التفاضلية:

$$(1.3) \quad L(u) + f = 0$$

• الشروط الحدية:

$$(2.3) \quad B(u) + g = 0$$

حيث: L و B عاملات: $\frac{d}{dx}$; $\left[\frac{d^2(.)}{dx^2} + \frac{d^2(.)}{dy^2} \right]$; $\frac{d^2(.)}{dx^2}$

• خطوات طريقة العناصر المحدودة:

الخطوة الأولى: التقسيم

يُقصد به تقسيم نطاق الحل إلى عناصر محددة. هذه العناصر قد تكون ذات بعد واحد أو بعدين أو ثلاثة اعتماداً على المسألة التي بأيدينا تُسمى النقاط التي تحد العنصر بالعقد.

يتم تكوين معادلات لافتراض شكل الحل لكل عنصر على حدى. هذا الإجراء يتم على مرحلتين هما: اختيار دالة تقريبية لها معاملات مجهولة القيم ثم تحديد قيم لهذه المعاملات لإيجاد الحل لعنصر واحد.

باستعمال تقريبات العناصر المنتهية فإن معادلات العناصر الناتجة تتكون من مجموعة معادلات جبرية خطية يمكن وضعها على هيئة معادلة مصفوفة كالآتي:

$$(3.3) \quad [K][U] = [F]$$

حيث:

$[K]$ هي مصفوفة الصلابة (أو مصفوفة الانتقال) ، وهي ترتبط بالخصائص الفيزيائية للنظام (التوصيل، اللزوجة، مرونة... إلخ)

$[U]$ هو متجه الإزاحة، ويمثل التغييرات أو السلوك (الازاحة، درجة الحرارة، السرعة...)

$[F]$ هو متجه القوى أو الأفعال المطبقة على النظام. (القوة، حرارة المصدر، قوة الجسم، الشحنة...)

الخطوة الثانية : التجميع

هي عملية لربط معادلات العناصر لتحديد السلوك الموحد للنظام ككل، ويراعي فيه مبدأ الاستمرار، أي أن نهاية عنصر هي بداية عنصر جديد تعرف إحداثيات عقد كل عنصر على حدة بالإحداثيات الموضعية وإحداثيات عقد النظام بالكامل بالإحداثيات [53].

بعد عملية التجميع يتم الحصول على معادلة المصفوفة كما يلي:

$$(4.3) \quad \sum K^e . U^e = \sum F^e \Rightarrow [K] [U'] = [F]$$

$[U']$ هي مصفوفة السلوك لكل النظام.

قبل حل المعادلة يجب تعديلها لتستوعب الشروط الحدية لنطاق الحل. هذه الشروط الحدية تُمثّل قيم الحل في بداية العنصر الأول ونهاية العنصر الأخير.

الخطوة الثالثة : حل المعادلة

لإيجاد قيم المجاهيل في المصفوفة [U'] هناك عدة طرق، منها تفكيك معادلة المصفوفة إلى معادلات آنية ثم حلها. تستخدم هذه الطريقة عندما يكون عدد العناصر بسيطاً ، أما في حالة أن يكون عدد العناصر كبيراً، فلا بد من استخدام الحاسوب في الحل. يستخدم الحاسوب لإيجاد مقلوب مصفوفة السلوك :

$$(5.3) \quad [K] [U']^{-1} = [F]$$

• أهم نقاط قوة طريقة العناصر المحدودة:

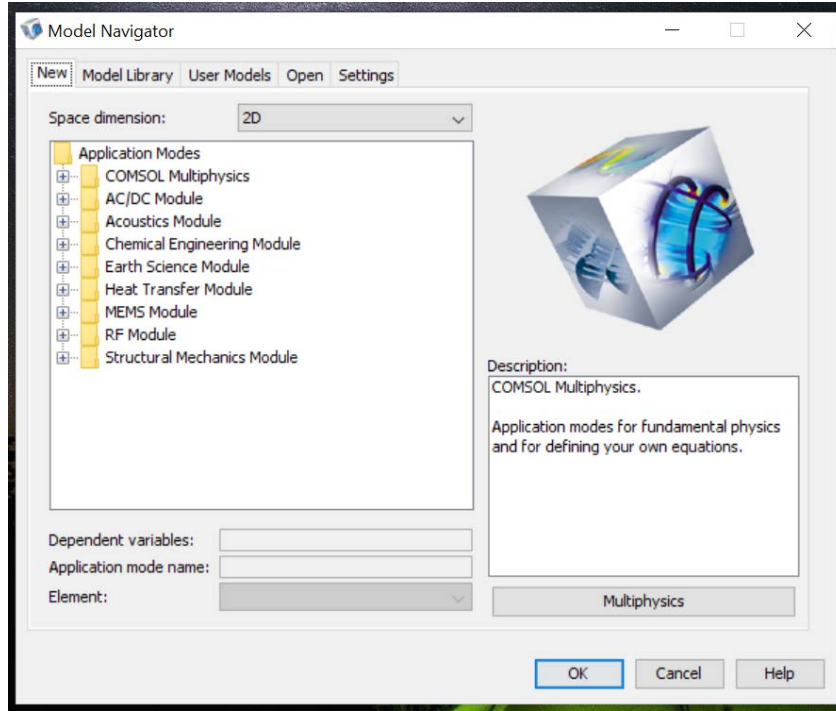
- ❖ سهولة التعامل مع أشكال هندسية معقدة للغاية.
- ❖ التعامل مع مجموعة واسعة من المتغيرات الهندسية و الفيزيائية (ميكانيك صلبة، موائع، ديناميك، مشاكل التسخين، مشاكل الكهرباء الساكنة).
- ❖ يمكن تحقيق دقة عالية في النتائج من خلال تحسين حجم الشبكة.
- ❖ تُستخدم في مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل التحليل الهيكلي، نقل الحرارة، تدفق السوائل، والإمكانات الكهرومغناطيسية...إلخ

3.2.3 ميزات برنامج COMSOL :

- حل الأنظمة الأحادية و الثنائية و الثلاثية الأبعاد.
- قدرته على جعل اقتران المجالات ذات الأبعاد المختلفة للمساحة في نفس المشكلة ممكن و هذه المرونة لا تبسط النمذجة فحسب بل تقلل من وقت التنفيذ كذلك.
- توسيع النماذج التقليدية لنوع واحد من الفيزياء إلى نماذج متعددة الفيزياء.
- البنية الرياضية الأساسية فيه هي نظام من المعادلات التفاضلية الجزئية.

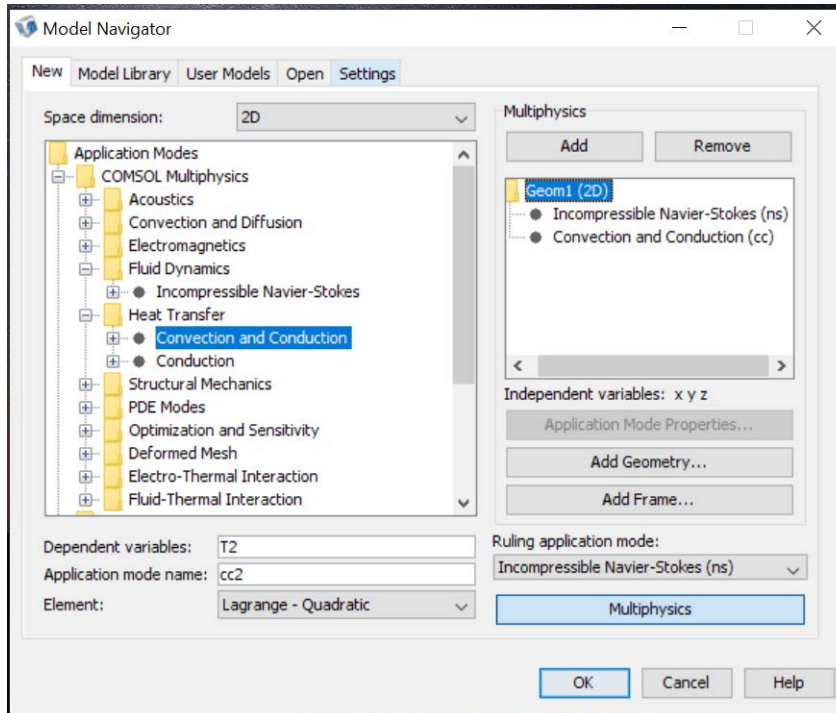
3.3 خطوات العمل على برنامج COMSOL :

الخطوة 01: تشغيل برنامج COMSOL حيث عند بدء تشغيله يتم الاستقبال بواسطة واجهة Model Navigator هنا تبدأ عملية النمذجة والتحكم في جميع إعدادات البرنامج، نتيج لنا تحديد البعد وأنماط التطبيق للبدء في العمل على نموذج جديد، أو فتح نموذج موجود سابقاً.



الشكل (1.3): الواجهة Model Navigator.

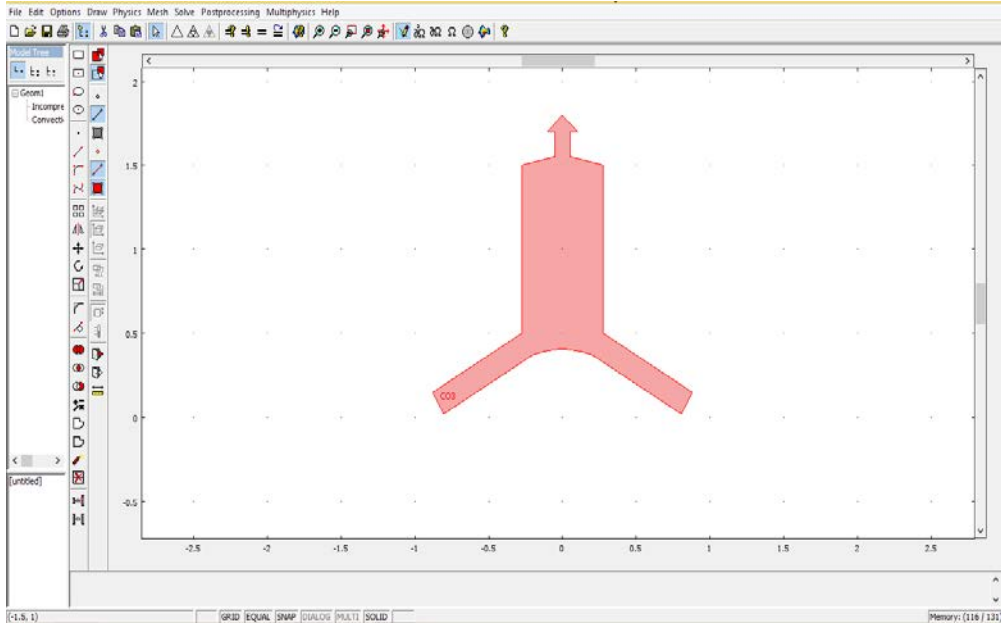
الخطوة 02: تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج و تتضمن هذه الخطوة اختيار الوضع المناسب وأبعاد الفضاء في حالتنا (2D) وتحديد المتغيرات من Multiphysics



الشكل (2.3): مراحل تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج .

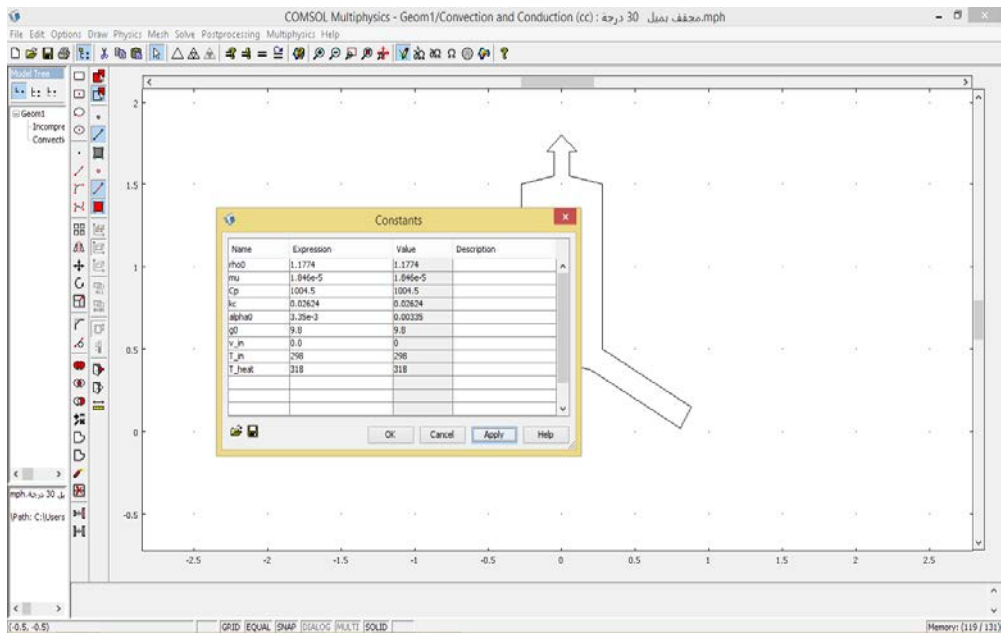
الخطوة 03: إنشاء الشكل الهندسي.

في هذه المرحلة، يتم إجراء التصميم الهندسي باستخدام الأدوات في قائمة الرسم، عن طريق اختيار نقاط ذات إحداثيات مناسبة، ثم ربطها بخطوط بحيث تشكل هندسة المجفف.



الشكل (3.3): هندسة المجال الفيزيائي.

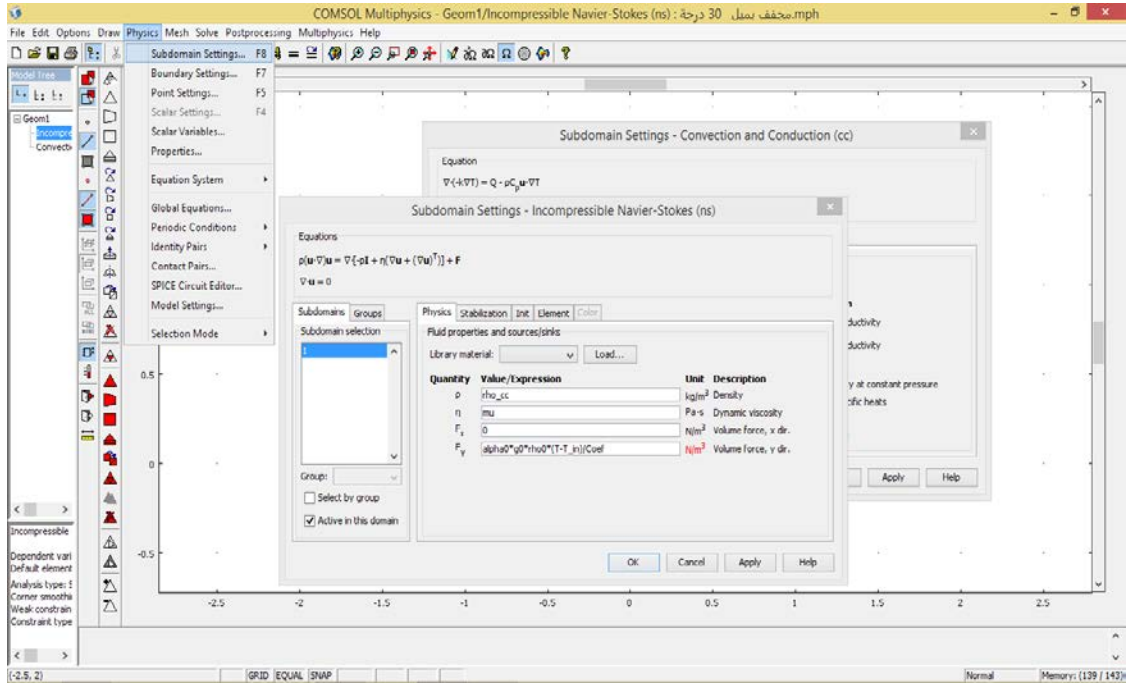
الخطوة 04: إدخال الثوابت الخاصة بالنموذج.



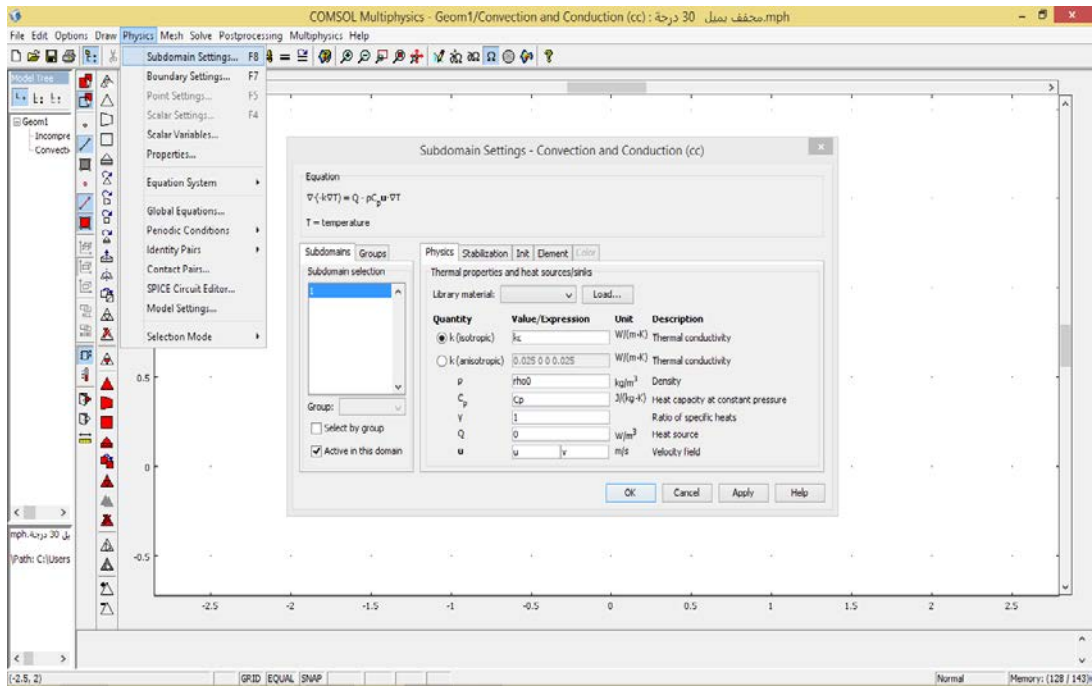
الشكل (4.3): أمر خاص بإدخال الثوابت.

الخطوة 05: تحديد المعلومات الخاصة بالمجال الفيزيائي لكل نمط.

هذه الخطوة تتضمن تعريف كافة الإعدادات والمعادلات الفيزيائية في النموذج.

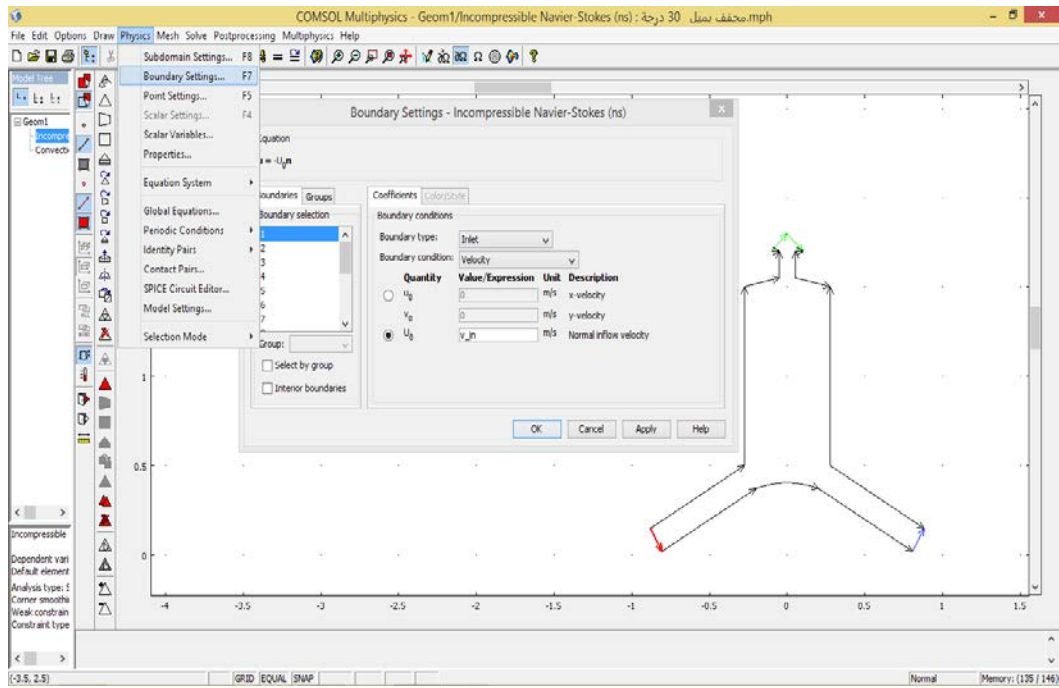


الشكل (5.3): نافذة إعدادات المجال الفرعي في وضع Navier-stocks.

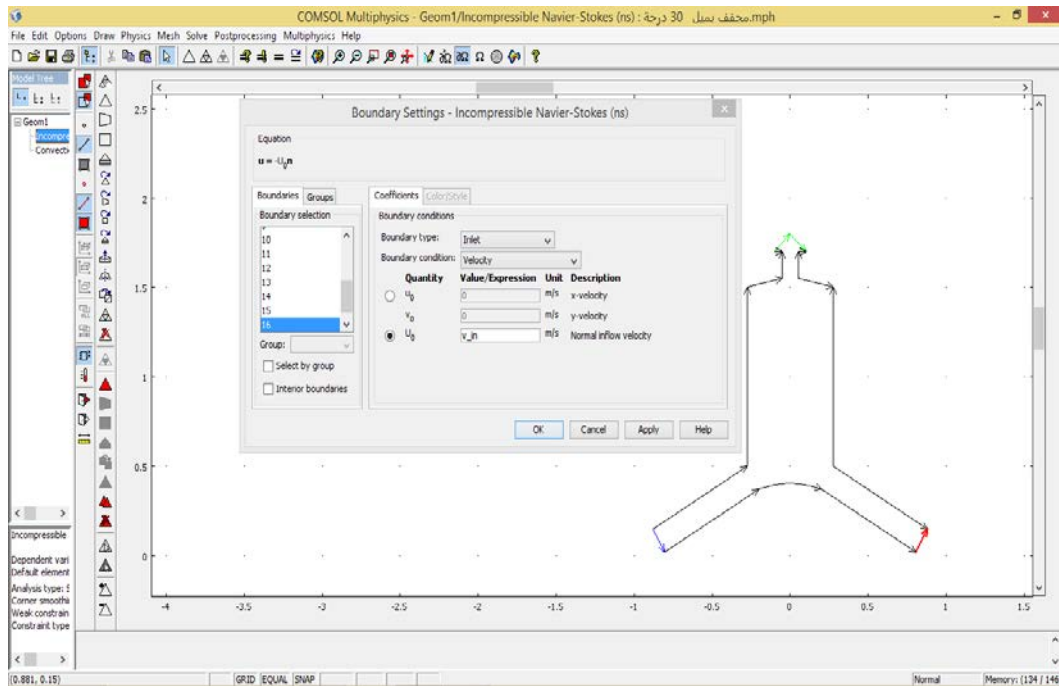


الشكل (6.3): نافذة إعدادات المجال الفرعي.

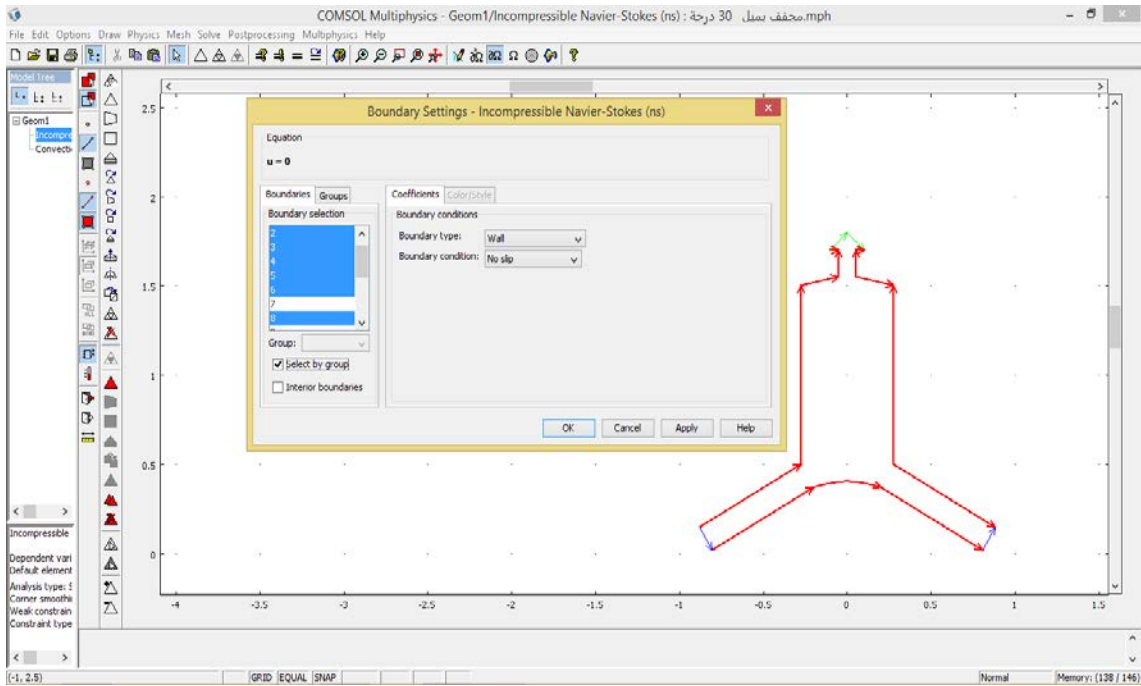
الخطوة 06: تحديد الشروط الحدية (تحديد وظيفة كل سطح وخصائصه) لكل نمط.



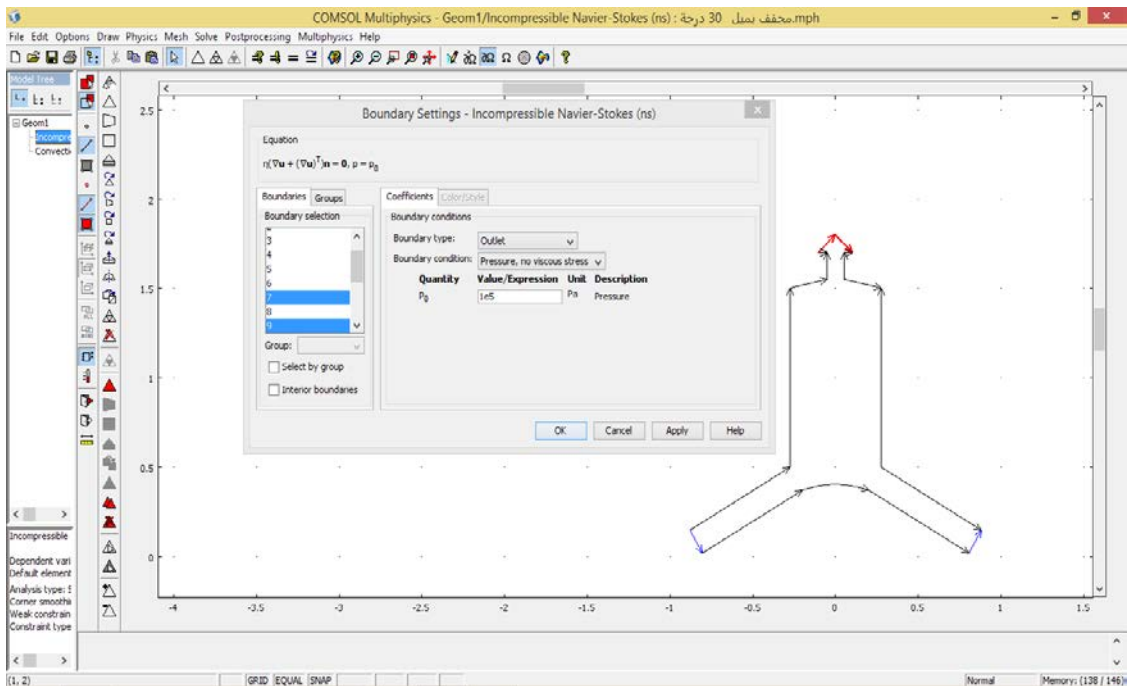
الشكل (7.3): تحديد الشروط الحدية للمدخل الأيسر.



الشكل (8.3): تحديد الشروط الحدية للمدخل الأيمن.

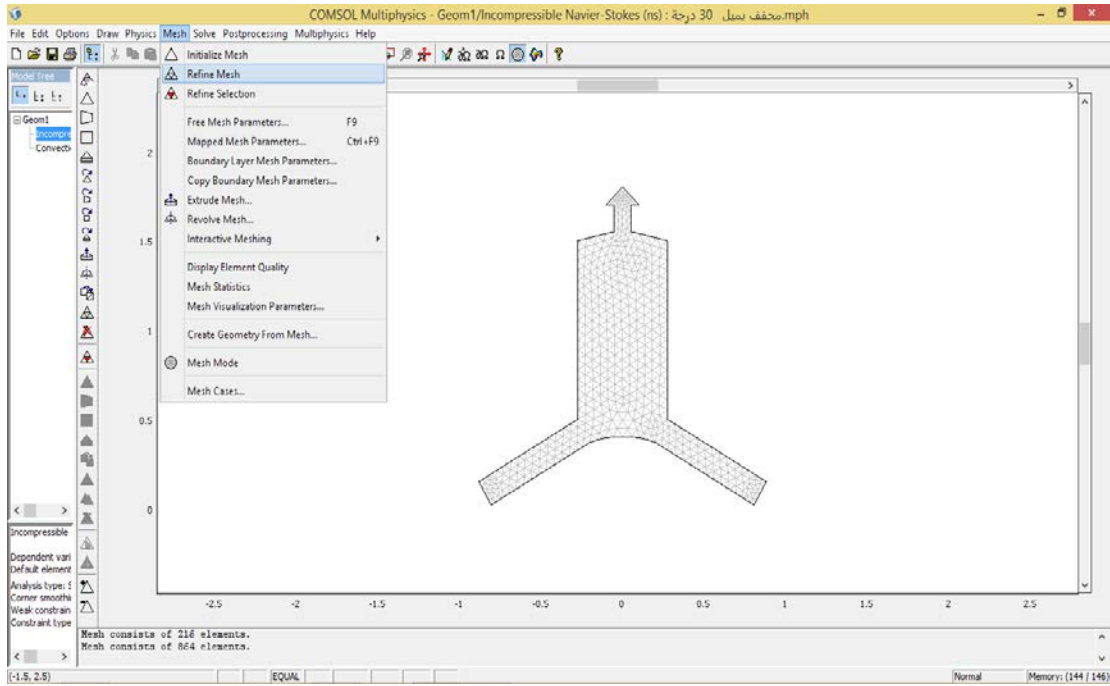


الشكل (9.3): تحديد الشروط الحدية لجدران المجفف.



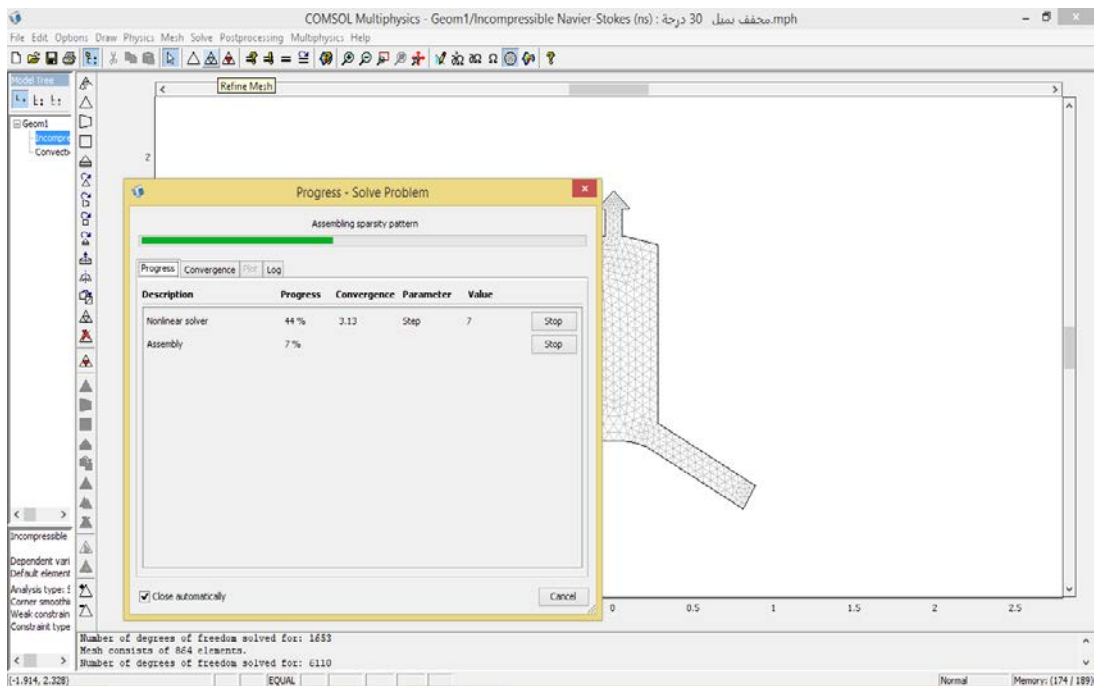
الشكل (10.3): تحديد الشروط الحدية للمخرج.

الخطوة 07: تقسيم الحيز الهندسي (Maillage).

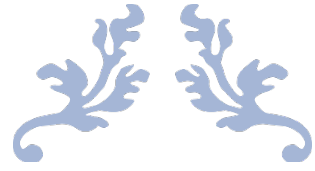


الشكل (11.3): إنشاء شبكة تقسيمات المجال الهندسي (Maillage).

الخطوة 08: حل النموذج الحساب والمعالجة..



الشكل (12.3): بداية الحساب والمعالجة



الفصل الرابع

النتائج و المناقشة



1.4 مقدمة:

نقوم في هذا الفصل بتقديم عرض ومناقشة لنتائج المحاكاة العددية المنجزة باستعمال برنامج Comsol Multiphysics داخل مجفف شمسي حيث ركزنا على دراسة التوزيع الحراري وتدفق الهواء داخل غرفة التجفيف على وجه الخصوص وهذا بغرض لتحقيق خصائص وسط مناسب لعملية تجفيف المنتجات الزراعية عن طريق توفير توزيع حراري متجانس وتدفق للهواء كاف و ملائم لعملية التجفيف و هما يعتمدان أساسا على على ظاهرة الإحتباس الحراري الذي يرفع درجة الحرارة داخل المجفف إلى المستويات المرغوبة و كذلك الحمل الحراري الذي يعمل على نقل هذه الكمية من الحرارة عبر غرفة التجفيف وتجديد الهواء داخلها.

2.4 الخصائص والأبعاد الهندسية للمجفف موضوع المحاكاة:

المجفف الشمسي المختار للدراسة ذو غرفة تجفيف أسطوانية الشكل ذات جدران عازلة للحرارة كما أنه مزود بغطاء لغرفة التجفيف تحتوي على مدخنة أسطوانية الشكل كذلك يخرج عبرها الهواء الرطب وكذا مجمع شمسي مخروطي الشكل يتميز بسطح خارجي زجاجي شفاف لضمان أقصى استفادة من الإشعاع الشمسي من جميع الجهات كما اعتبرنا قاعدته سطح ماص للحرارة.

1.2.4 الخصائص الهندسية للمجفف:

يتميز المجفف موضوع الدراسة بالأبعاد التي تم اختيارها بناء على معطيات حول المجففات الشمسية التجارية وكذا من خلال البحث البيبليوغرافي و من أجل إمكانية إنجاز نموذج أولي لإجراء دراسات تجريبية، و تتلخص هذه الأبعاد المبينة بالتفصيل في الملحق 1 كالتالي:

- ارتفاع غرفة التجفيف: 1 m
- قطر غرفة التجفيف: 0,55 m
- ارتفاع المدخنة: 0,25 m
- قطر المدخنة: 0,1 m

- طول المجمع الشمسي: 0,7 m
- المسافة بين المجمع الزجاجي و القاعدة الماصة (مدخل الهواء): 0,15 m
- ارتفاع المجمع الشمسي: 0,35 m

2.2.4 الخصائص الفيزيائية للمائع (الهواء):

تم اختيار قيم خصائص الهواء باعتباره جافا في ضغط ثابت يقدر ب 1 atm و درجة حرارة معتدلة تقدر ب 25 C° . [54]

الجدول (1.4): الخصائص الفيزيائية للهواء المستعمل في المحاكاة.

Pr	معامل التمدد الحراري [K ⁻¹]	الناقلية الحرارية [W/m. K]	السعة الحرارية [j/kg. K]	اللزوجة الديناميكية [Kg/m. s]	الكتلة الحجمية [Kg /m ³]	الخصائص المائع
0,7296	$3,38 \cdot 10^{-3}$	0.02551	1007	$1,849 \cdot 10^{-5}$	1,184	الهواء

اعتمدنا في هذا الفصل على عرض و مناقشة النتائج على ثلاثة مراحل، أولها يعتمد على دراسة تأثير الفارق في درجة الحرارة و كذا تأثير ميل المجمع في حالة الحمل الحراري الطبيعي دون هواء داخل من الخارج. بعدها انتقلنا إلى دراسة تأثير ميل المجمع للمجفف الشمسي مع اعتبار تيار هوائي داخل. و في المرحلة الأخيرة تمت مناقشة تأثير سرعات مختلفة للهواء الداخل إلى المجفف بالنسبة في حالة فارق في الحرارة و زاوية ميل ثابتين. كل هذا بهدف تحديد خصائص الهواء الملائمة لتجفيف مثالي بتحقيق توزيع حراري متجانس و تدفق هواء ملائم.

3.4 تأثير الفارق الحراري ΔT في حالة زاوية الميل $\alpha = 0^{\circ}$ بدون سرعة ابتدائية للهواء : $V_{in} = 0\text{ m/s}$

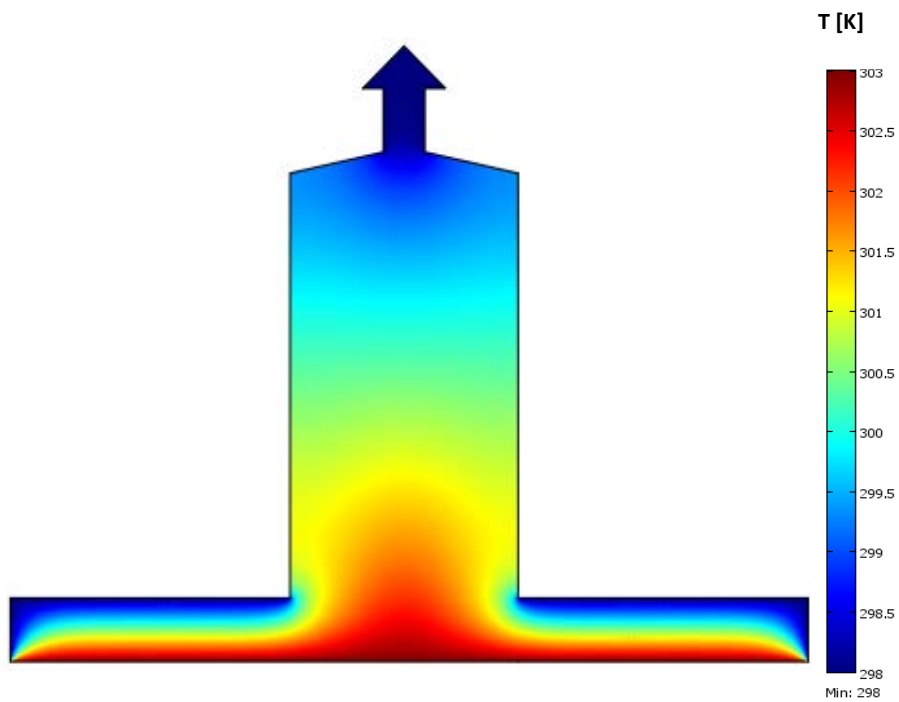
في هذه المرحلة الأولى قمنا بدراسة تأثير فارق درجة الحرارة على التوزيع الحراري وحقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة وضعية المجمع الشمسي الأفقية أين تكون

زاوية ميل $\alpha = 0^\circ$ مع انعدام للسرعة الابتدائية للهواء. أين تم اختيار فروق حرارية مختلفة هي 5°C ، 10°C ، 20°C ، مع اعتبار درجة الهواء الخارجي $T=25^\circ\text{C}$ ورغبة في بلوغ درجة حرارة مناسبة لعملية التجفيف داخل المجفف الشمسي.

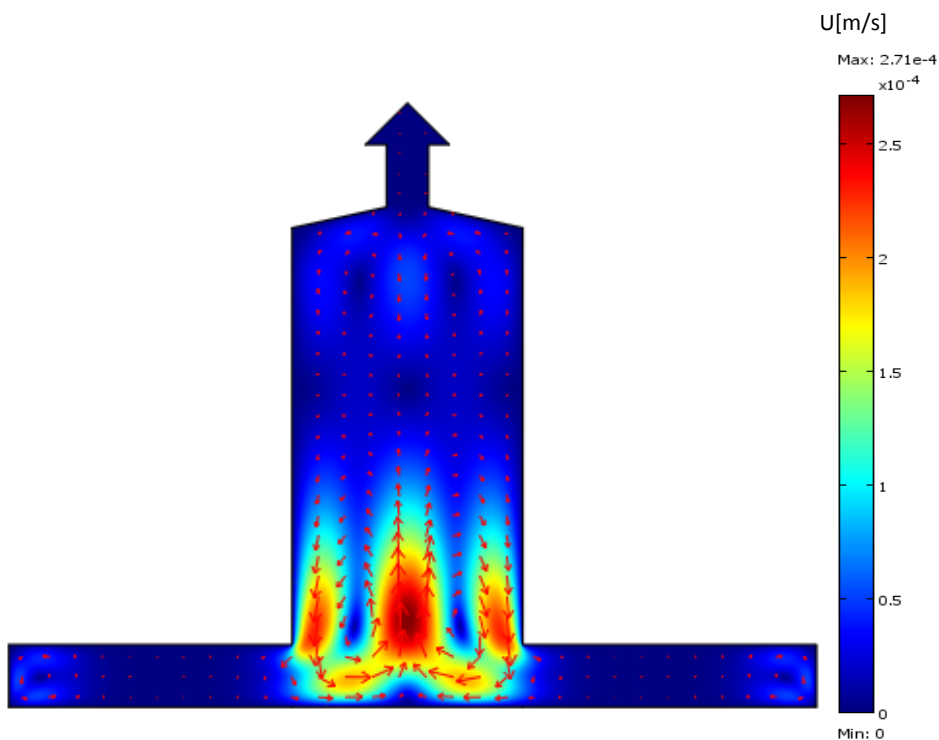
تظهر الأشكال (1.4)، (3.4)، (5.4) تدرجات لخطوط تساوي الحرارة داخل المجفف الشمسي بدلالة الفروق الحرارية 5°C ، 10°C ، 20°C على التوالي بينما تظهر الأشكال (2.4)، (4.4)، (6.3) حقل السرعات الموافقة لها. نلاحظ في الشكل (1.4) أن خطوط تساوي الحرارة تمثل صفائح متوازية في منطقة المجمع وتبدأ في التشوه داخل غرفة التجفيف وتنخفض درجة الحرارة تدريجيا كلما ابتعدنا عن الأرضية إلى سقف غرفة التجفيف ويتم انتقال الحرارة في هذه الحالة عبر ظاهرة شبه النقل الحراري لأن ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي الناتج ضعيفة جدا وغير نشطة مع انعدام تيارات الهواء خارجي.

أما بالنسبة للشكل (2.4) نلاحظ بالنسبة لتوزيع خطوط ومساحات السرعة بداية تشكل دوامتين متعاكستين في الاتجاه في الجزء السفلي الساخن للغرفة و التي تعتبر منطقة عدم استقرار تحدث فيها ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي. في الشكل (3.4) يزداد تشوه خطوط تساوي الحرارة أكثر داخل غرفة التجفيف مع ارتفاع خفيف لدرجة الحرارة والمحافظة على التدرج في توزيعها من الأرضية إلى سقف غرفة التجفيف. بالمقابل تزداد ظاهرة الحمل الحراري ناتجة عنها تيارات تزداد صعودا نحو المدخنة و لكنها تبقى ضئيلة الشدة و هذا ما يلاحظ في الشكل (4.4).

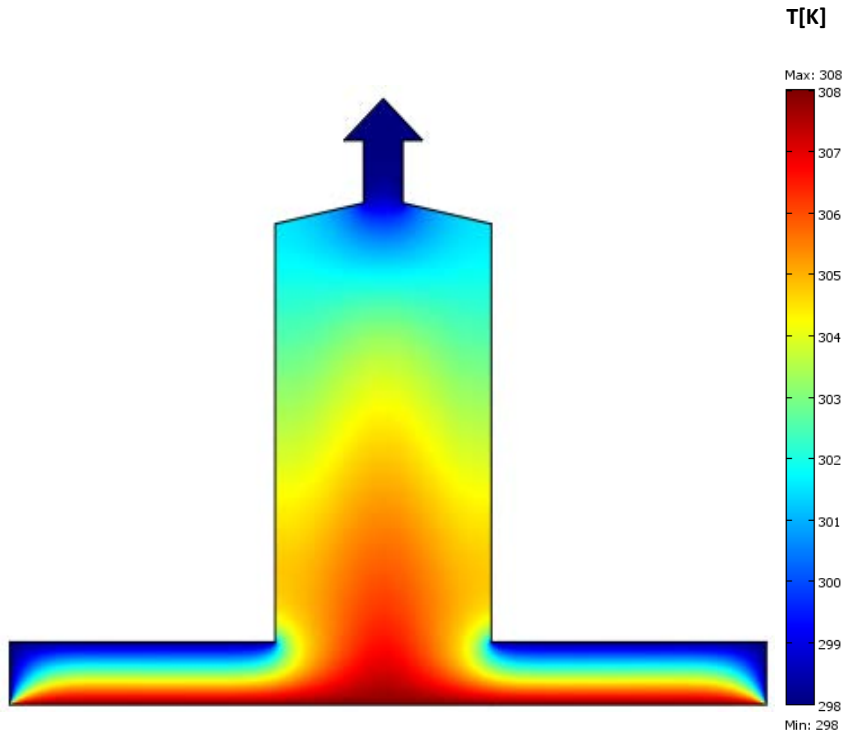
مع ارتفاع الفارق في الحرارة إلى 20 درجة مئوية، نلاحظ في الشكل (5.4) أن توزيع الحرارة ينقسم داخل غرفة التجفيف فيكون الجزء القريب من المجمع ساخن والبعيد عنه منخفض الحرارة. كما نلاحظ في الشكل (6.4) تشكل أربع حلقات متماثلة ومتعاكسة الاتجاه لتيارات الحمل الحراري الطبيعي، اثنتين في الجزء الساخن و اثنتين في الجزء البارد داخل غرفة التجفيف.



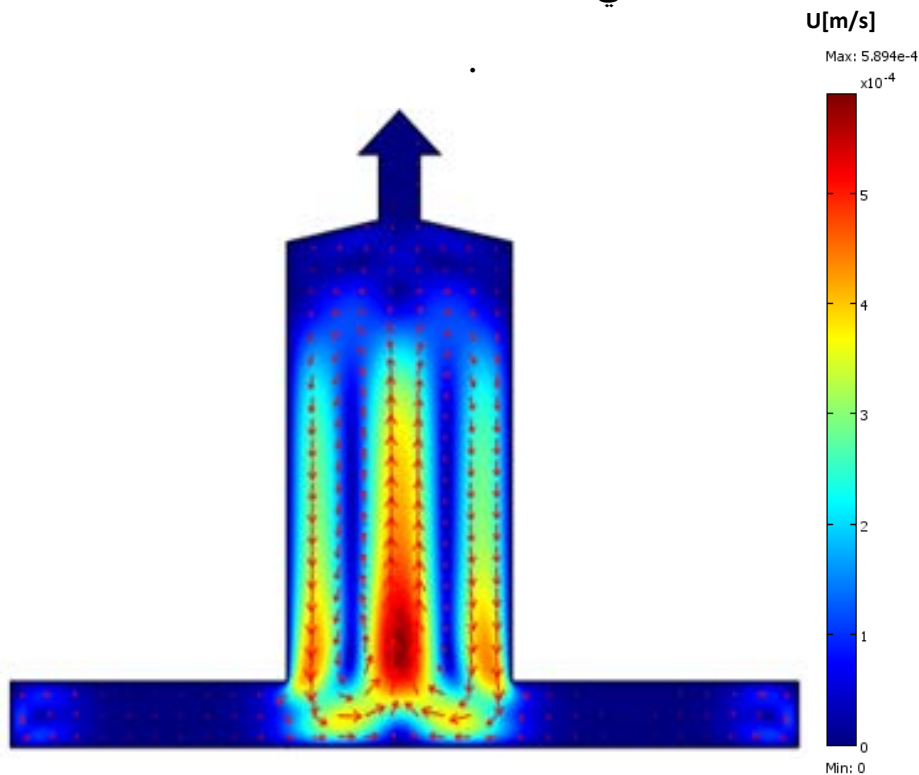
الشكل (1.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ في حالة $\Delta T = 5 \text{ C}^\circ$.



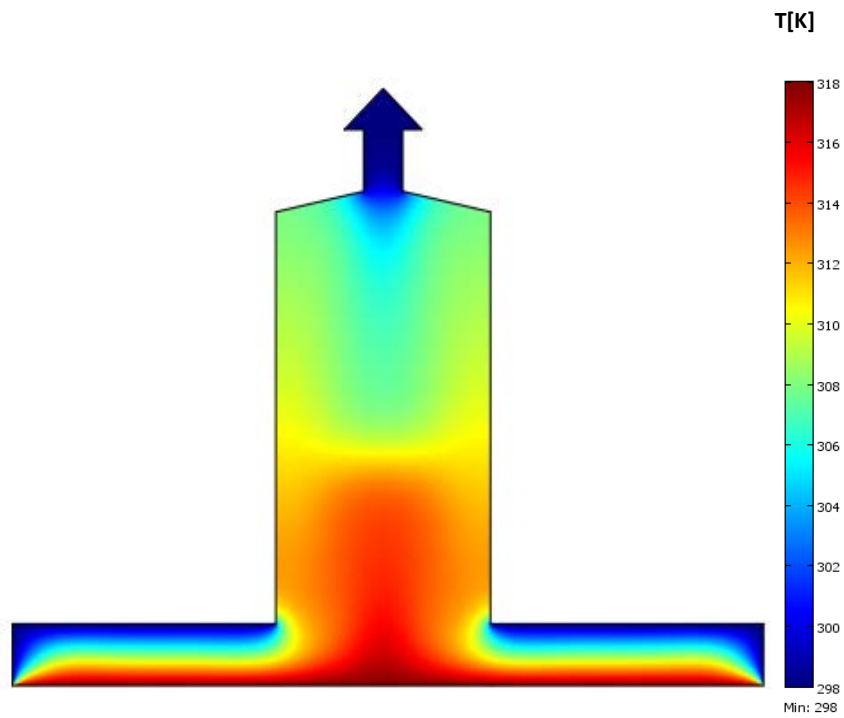
الشكل (2.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ في حالة $\Delta T = 5 \text{ C}^\circ$.



الشكل (3.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ في حالة $\Delta T = 10 \text{ C}^\circ$

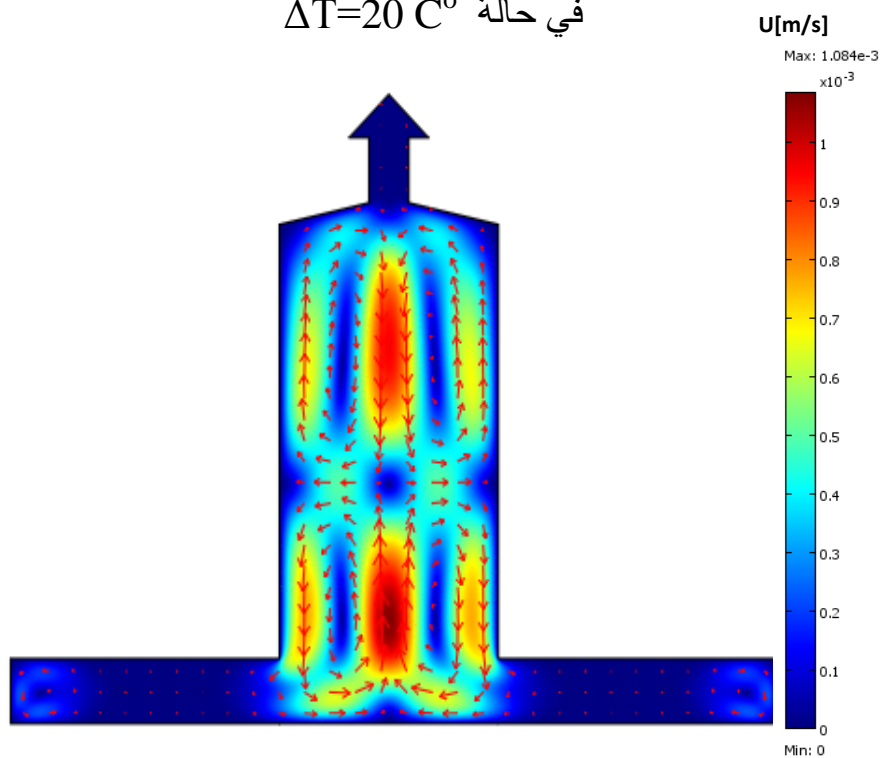


الشكل (4.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$ في حالة $\Delta T = 10 \text{ C}^\circ$



الشكل (5.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$

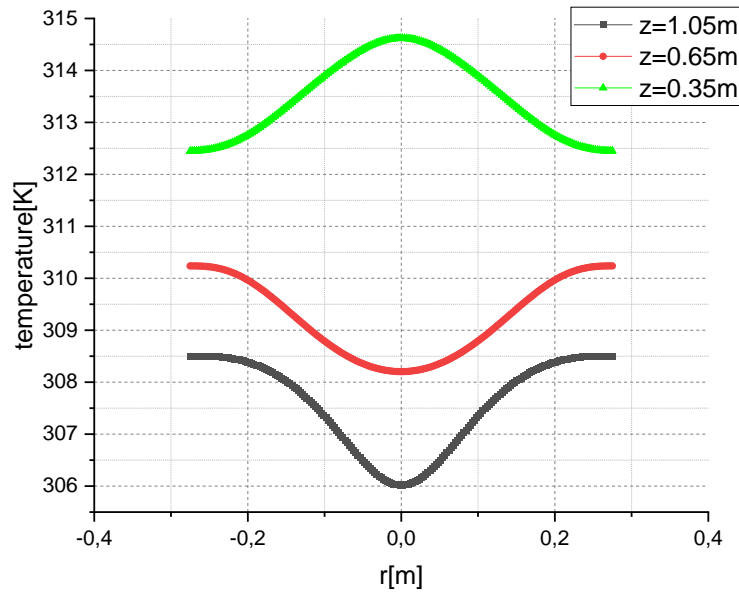
في حالة $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$



الشكل (6.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$

في حالة $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$

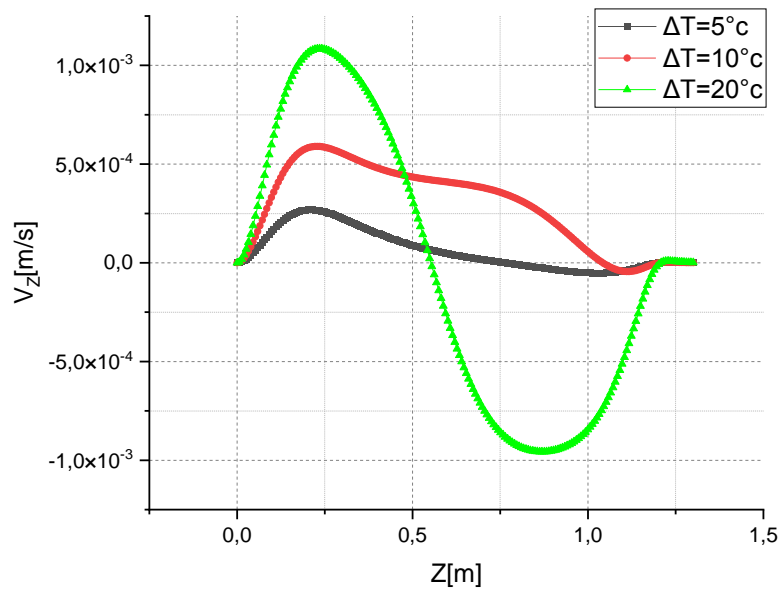
الشكل (7.4) يبين مقارنة تغير درجة الحرارة قطريا في أماكن مختلفة داخل غرفة المجفف في حالة فارق حراري ثابت يقدر ب 20 C° و في حالة الوضعية الأفقية للمجمع الشمسي بزاوية تقدر ب $\alpha = 0^\circ$ ، نلاحظ أن درجة الحرارة عند بداية غرفة التجفيف عند ارتفاع $Z=0.35\text{m}$ مرتفعة و قيمتها المتوسطة $40,5\text{ C}^\circ$ وكلما ابتعدنا في اتجاه المدخنة كلما تناقصت حرارة الهواء فعند المنطقة الثانية $Z=0.65\text{ m}$ التي تمثل منتصف الغرفة، فإن درجة الحرارة بلغت $36,2^\circ\text{C}$ أما عند منتهى غرفة المجفف الشمسي على ارتفاع $Z=1.05\text{ m}$ بلغت قيمة الحرارة $35,25\text{ C}^\circ$. هذا التراجع لدرجة الحرارة داخل الغرفة ناتج عن ضعف الحمل الحراري الطبيعي المتولد حيث أن تيارات الهواء لا تقوى على حمل الهواء الدافئ إلى وتوزيعه في مختلف أجزاء غرفة التجفيف.



الشكل (7.4): منحنى بياني لمقارنة تغير درجة الحرارة قطريا في أماكن مختلفة داخل غرفة

المجفف عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ ، $\alpha = 0^\circ$ و $V_{in} = 0\text{ m/s}$.

يوضح الشكل (8.4) أنه كلما زاد الفارق الحراري بين السطح الماص للحرارة و حرارة الهواء الخارجي تزيد حركة الهواء داخل غرفة التجفيف حيث بلغت $2,68 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ عند الفارق $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ و تصل لقيمة $5,89 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ عند $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$ و هي سرعات ضئيلة جدا حيث يكاد يكون تأثير الحمل الحراري غير ملموس بينما عند الفارق الحراري $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ تتأثر حركة الهواء داخل المجفف الشمسي بفعل الحمل الحراري الطبيعي بصفة واضحة حيث بلغت سرعة الهواء القصوى في هذه الحالة حوالى $v_{in}=0,001 \text{ m/s}$. لقد تبين من خلال هذه المرحلة الاولى من الدراسة أن للفارق الحراري ΔT دور أساسي في عملية نقل الحرارة من أسفل المجمع إلى غرفة التجفيف من خلال الهواء المتدفق بفعل الحمل الحراري ومنه سيتم اعتماده هذا الفارق $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ في المراحل المتبقية من الدراسة.



الشكل (8.4): منحنى بياني لمقارنة سرعة الهواء العمودية على محور التناظر داخل

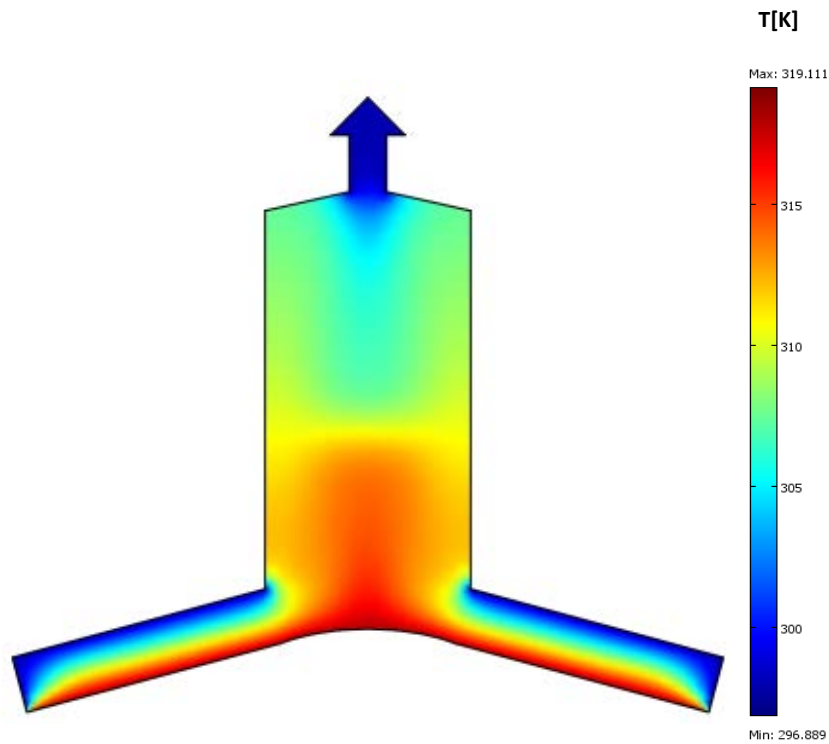
المجفف بدلالة الفرق في درجة الحرارة ΔT عند $\alpha = 0^{\circ}$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$.

4.4 تأثير زاوية الميل α على التوزيع الحراري و سرعة الهواء في حالة $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ بدون سرعة ابتدائية للهواء $V_{in}=0\text{ m/s}$:

بالنسبة للمجمع الشمسي ذو زاوية الميل $\alpha = 15^\circ$ ، فإن الشكل (9.4) يظهر في منطقة المجمع، توزيع متراس لخطوط تساوي الحرارة، أما التوزيع الحراري داخل غرفة التجفيف فينقسم إلى جزئين العلوي بارد والسفلي ساخن، أين نلاحظ توزيع غير المتجانس للحرارة داخل المجفف الشمسي. أما الشكل (10.4) فيبين حقل السرعات و الذي يتشكل في أربع حلقات متماثلة ومتعاكسة الاتجاه تميز الحمل الحراري الطبيعي داخل غرفة التجفيف وكذا في المجمع الشمسي ناتجة عن اختلاف درجة الحرارة الذي بدوره يؤثر في كثافة الهواء داخل المجفف الشمسي.

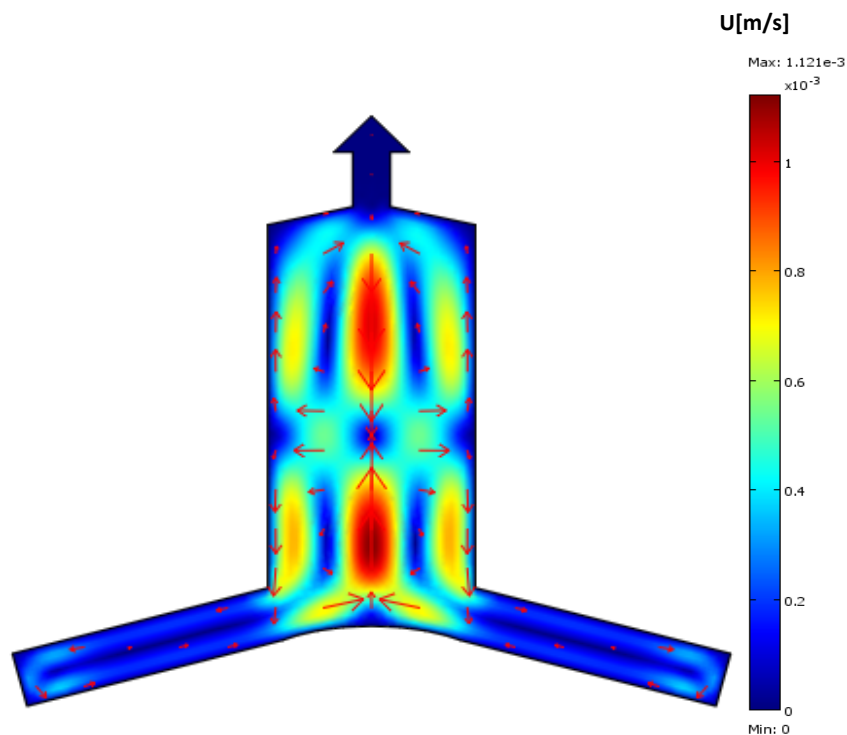
في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ ، نلاحظ في الشكل (11.4) تغير ضئيل جدا في توزيع الحرارة للجزء الساخن كما أن التوزيع غير متجانس للحرارة داخل المجفف الشمسي بقي دون تغيير بالنسبة للزاوية $\alpha = 15^\circ$. بالنسبة لحقل السرعة للهواء و المبين في الشكل (12.4) تتشكل حلقتان واضحتان متعاكستي الاتجاه داخل المجمع، متصلتان بالحلقتين الموجودتين سابقا في الجزء السفلي الساخن للمجفف. أما داخل غرفة التجفيف فلا نكاد نلاحظ تأثير تغير الزاوية على سرعة و توزيع الهواء الناشئ داخل المجفف الشمسي.

مع زيادة زاوية الميل لتبلغ $\alpha = 45^\circ$ في الشكل (13.4)، نلاحظ أن خطوط تساوي الحرارة في منطقة المجمع، وداخل غرفة التجفيف تحافظ على نفس التوزيع دون أي تغيير ملموس مقارنة بالزاويا السابقة. أما الشكل (14.4) فيبين زيادة في شدة الحمل الحراري من خلال تشكل الحلقات المتعاكسة الاتجاه لتيارات الهواء في داخل غرفة التجفيف وداخل المجمع الشمسي بشكل واضح أكثر و لكن يبقى ضئيل ولا يحدث تغييرا على مستوى التوزيع الحراري و قيمة سرعة الهواء القصوى التي تقارب $V_{max}= 1,0.10^{-3}\text{ m/s}$ ، حيث نلاحظ أن الهواء داخل غرفة التجفيف لا يتجدد في كل هذه الحالات.



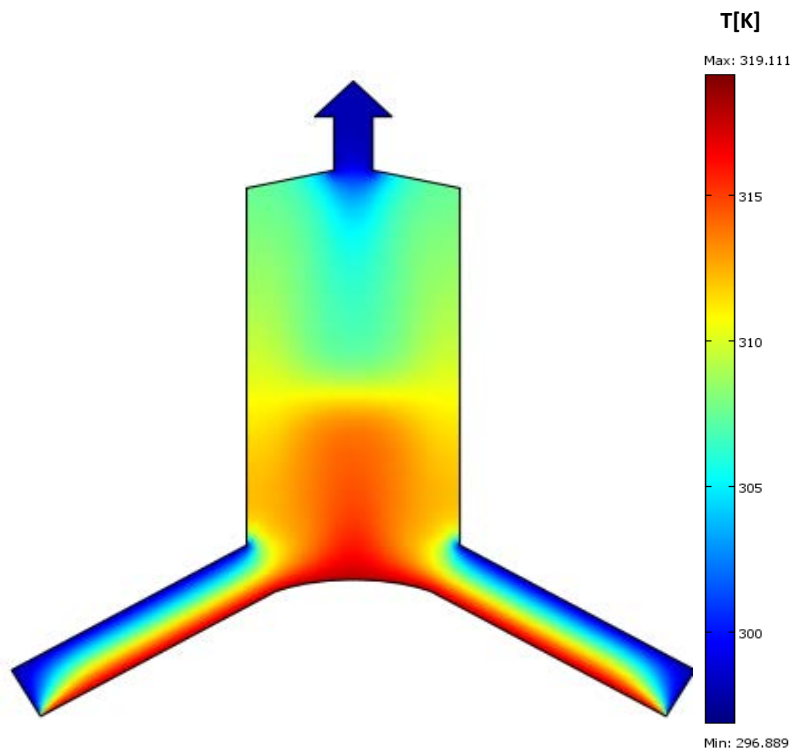
الشكل (9.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند

$$V_{in}=0 \text{ m/s و } \Delta T=20 \text{ C}^\circ$$



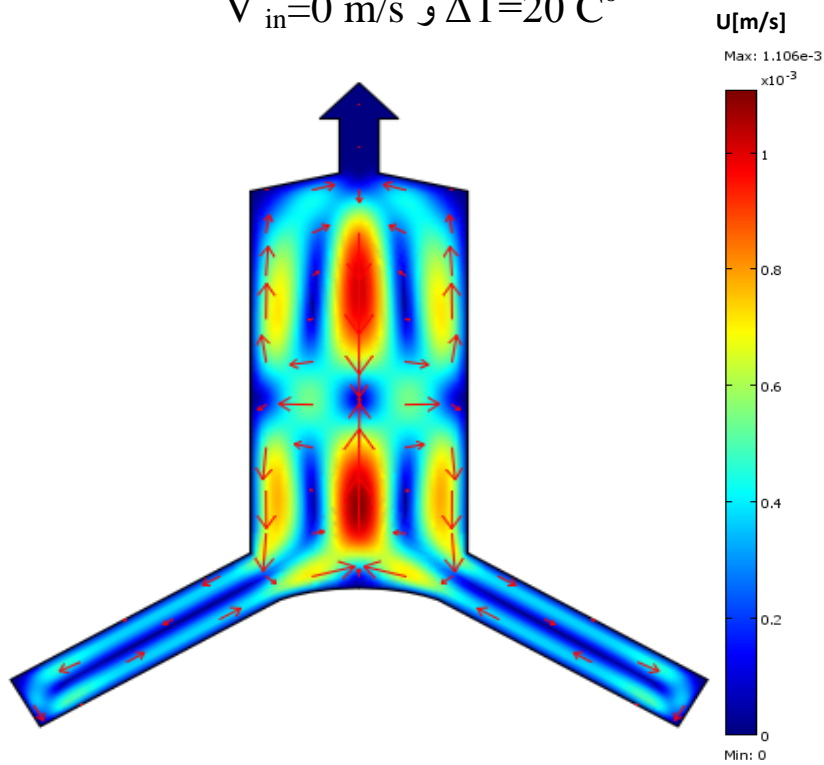
الشكل (10.4): حقل السرعات داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند

$$V_{in}=0 \text{ m/s و } \Delta T=20 \text{ C}^\circ$$



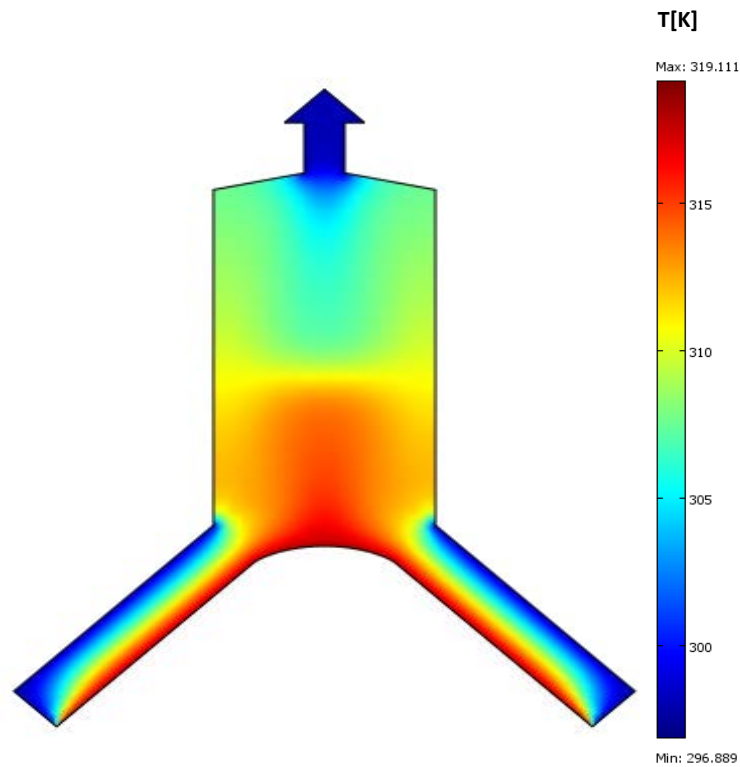
الشكل (11.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند

$$V_{in} = 0 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$



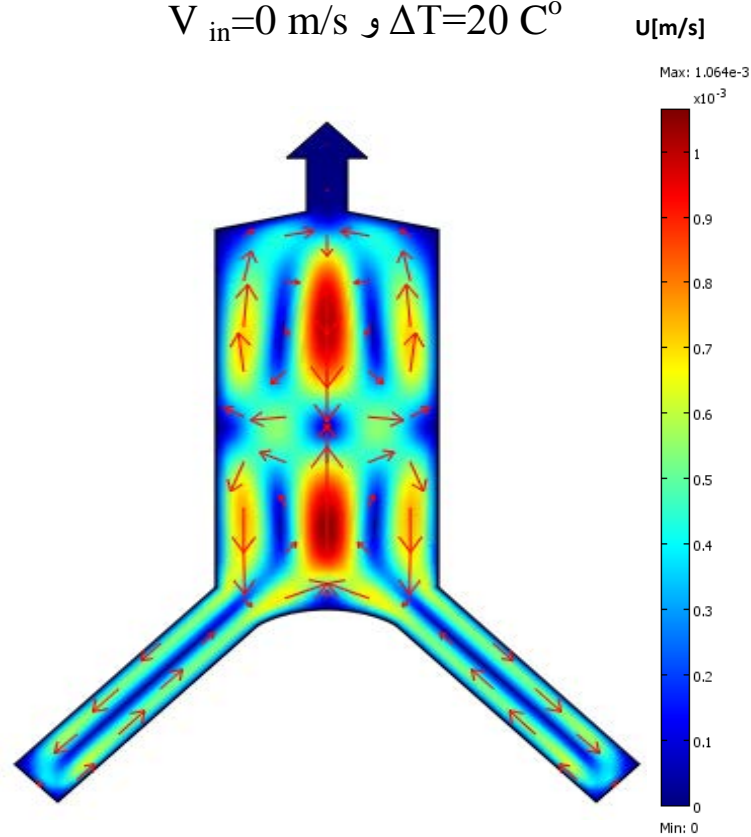
الشكل (12.4): حقل السرعات داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند

$$V_{in} = 0 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$



الشكل (13.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند

$$V_{in} = 0 \text{ m/s} \text{ و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$



الشكل (14.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند

$$V_{in} = 0 \text{ m/s} \text{ و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$

1.4.4 مقارنة نتائج درجات الحرارة و سرعة الهواء بدلالة زاوية ميل المجمع α في حالة

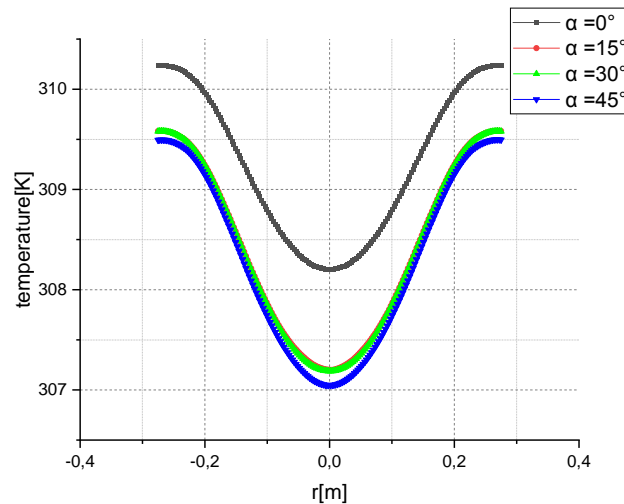
$$V_{in} = 0 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$

نأتي الآن إلى مقارنة نتائج المحاكاة العددية عند فارق حراري ثابت و في حالة انعدام تيارات الهواء الداخلة إلى المجفف الشمسي. من خلال التمثيل البياني في الشكل (15.4) الذي يبين درجة الحرارة المتوسطة عند منتصف غرفة المجفف $z = 0.65 \text{m}$ بدلالة زاوية ميل المجمع، حيث يتأكد لنا أن الفرق لا يتجاوز درجة مئوية واحدة على أقصى تقدير مبينا في الجدول (2.4) وهذا ما يجعل تأثير زاوية الميل غير معتبر في هذه الحالة. نفس الملاحظة بالنسبة لمقارنة السرعات في الشكل (16.4) حيث أن السرعة العمودية القصوى لم يطرأ عليها إلا تغيرا طفيفا مع تغير الزاوية كما هو مبين في الجدول (3.4).

الجدول (2.4): متوسط درجة الحرارة في منتصف غرفة التجفيف بدلالة زاوية الميل عند

$$V_{in} = 0 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$

زاوية ميل المجمع الشمسي α	درجة الحرارة المتوسطة في منتصف غرفة التجفيف T°
0°	36 C°
15°	35 C°
30°	35 C°
45°	35 C°



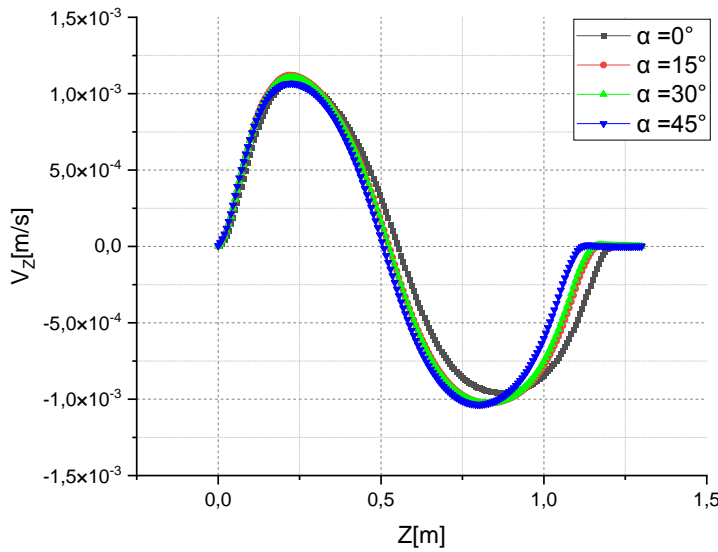
الشكل (15.4): منحنى بياني لمقارنة درجة الحرارة عند منتصف غرفة المجفف بدلالة

$$\text{زاوية الميل عند } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ \text{ و } V_{in} = 0 \text{ m/s}$$

الجدول (3.4): السرعة العمودية القصوى على محور تناظر المجفف بدلالة زاوية الميل

عند $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$

السرعة العمودية القصوى V_{max}	زاوية ميل المجمع الشمسي α
0,00108 m/s	0°
0,00112 m/s	15°
0,00110 m/s	30°
0,00106 m/s	45°



الشكل (16.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية على محور التناظر داخل المجفف

بدلالة زاوية الميل عند $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0 \text{ m/s}$.

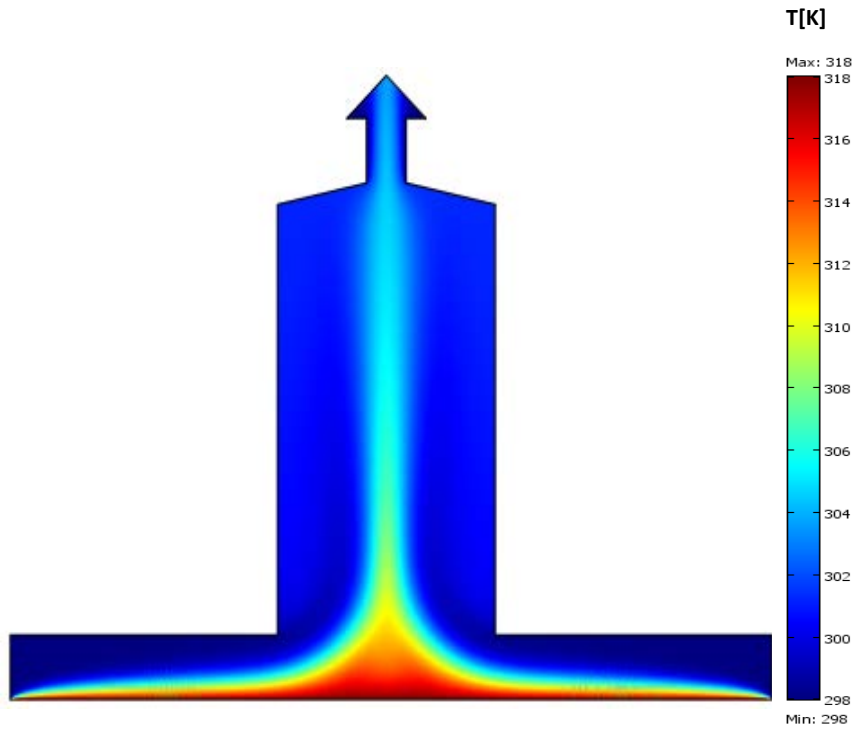
5.4 تأثير زاوية الميل α على التوزيع الحراري و سرعة الهواء في حالة $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ وسرعة ابتدائية للهواء تقدر ب $V_{in} = 0.01 \text{ m/s}$:

في هذه المرحلة الثانية يتم دراسة تأثير زاوية ميل المجمع الشمسي على كل من التوزيع الحراري وحقل سرعة الهواء داخل المجفف و لكن في هذه المرحلة أخذنا بعين الاعتبار سرعة الهواء الداخل إلى المجمع في حالة جو هادئ وحافظنا على فارق حراري ثابت يقدر ب $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$. كما اخترنا قيمة سرعة الهواء $V_{in} = 0.01 \text{ m/s}$ بناء على معطيات تم تفصيلها في الملحق 2.

نلاحظ في الشكل (17.4) في حالة زاوية ميل $\alpha = 0^\circ$ أن خطوط تساوي الحرارة تتمركز بشكل متقارب جدا من السطح الماص للحرارة كما تتخفض درجة الحرارة بشكل سريع كلما ابتعدنا عن المجمع نحو سقف غرفة التجفيف. تتركز جل كمية الهواء الدافئ في المنتصف داخل غرفة التجفيف و تتضائل تدريجيا كلما اقتربنا من مدخنة المجفف أين يتم خروج الهواء. بالنسبة للشكل (18.4) نلاحظ من خلال توزيع خطوط ومساحات السرعة غياب تشكل حلقات الحمل الحراري الطبيعي وهذا راجع لتيارات الهواء داخل المجفف شدتها أكبر نسبيا من شدة الحمل الحراري الطبيعي. كما يتبن جليا خروج الهواء عبر المدخنة و تجده باستمرار أين يبلغ أقصى قيمته في المدخنة و تقدر ب $V_{\max}=0.0398 \text{ m/s}$.

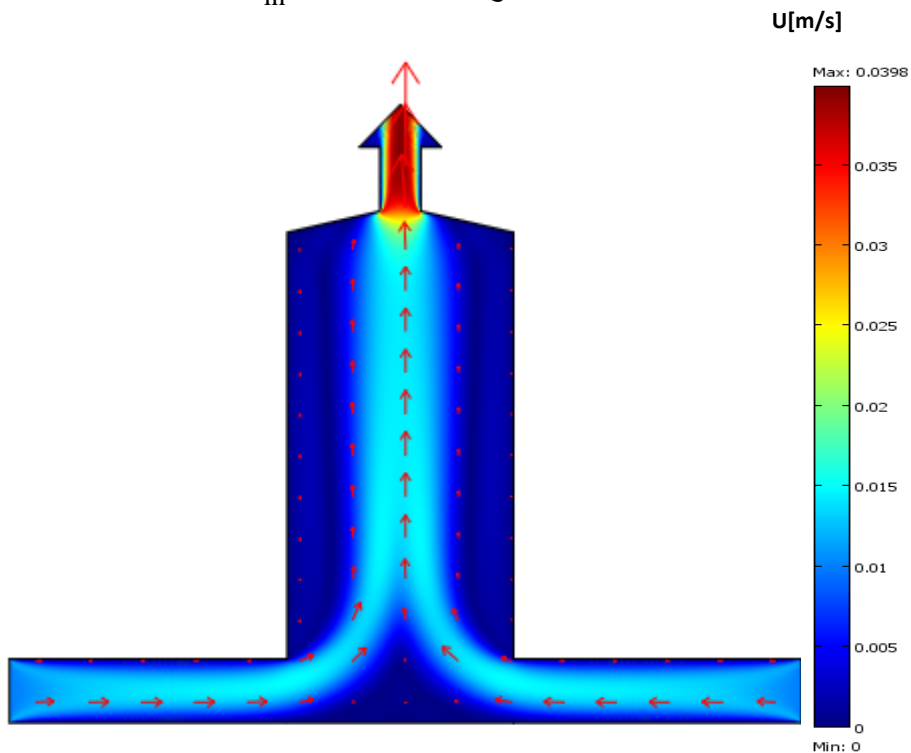
بالنسبة للمجمع الشمسي ذو الميل $\alpha = 15^\circ$ نلاحظ في الشكل (19.4) أن خطوط تساوي الحرارة في منطقة المجمع وداخل غرفة التجفيف لم تتغير كثيرا عن سابقتها و بقيت مركزة على مستوى الجدار الماص و في قلب المجفف على طول محور التناظر، كما يتبن زيادة في حدة الطبقة الحدية الحرارية. في الشكل (20.4) نلاحظ بالنسبة لحقل السرعات أنه لم يتأثر كثيرا بزيادة زاوية الميل حيث انخفضت السرعة القوى انخفاضاً ضئيلاً جداً و بلغت $V_{\max}=0.0391 \text{ m/s}$.

نفس الملاحظات في الحالتين $\alpha = 30^\circ$ و $\alpha = 45^\circ$ حيث يظهر من خلال التوزيع الحراري في الأشكال (21.4) و (23.4) أن خطوط تساوي الحرارة انحصرت على مستوى قاعدة المجمع و تتناقص عمودياً بصفة تدريجية في اتجاه مخرج الهواء، كما تتناقص أفقياً و بصفة فجائية بمجرد الابتعاد عن مركز المجفف الشمسي. في منطقة المجمع وداخل غرفة التجفيف أما بالنسبة للأشكال (22.4) و (24.4) حيث يبقى حقل السرعات مركز على محور التناظر صعوداً في اتجاه المدخنة مع تناقص السرعات تدريجياً بسبب الزيادة في زاوية الميل حيث ينتج عنها زيادة في اصطدام الهواء الداخل إلى المجفف.



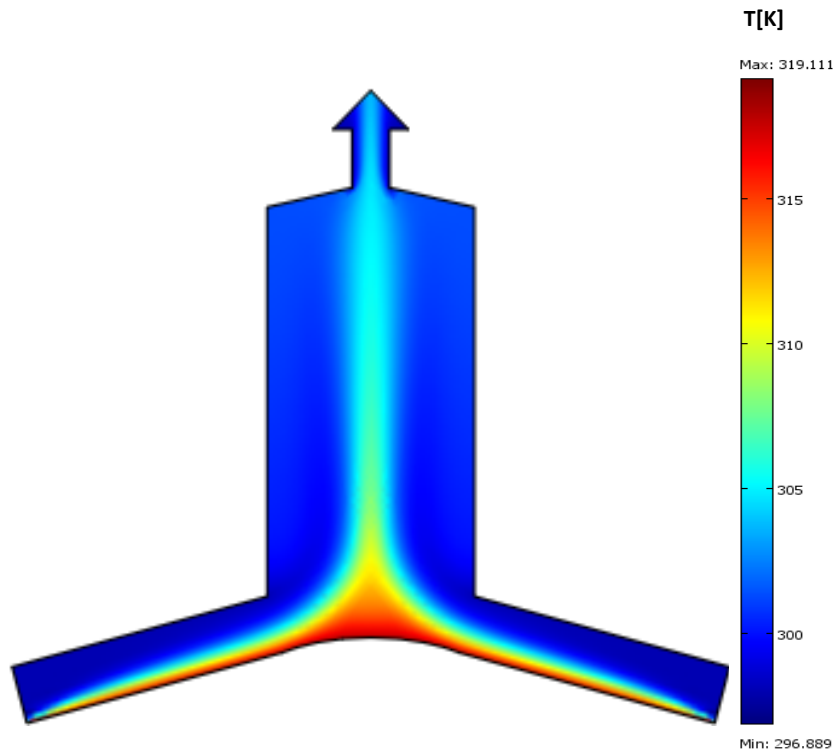
الشكل (17.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 0^\circ$ عند

$$.V_{in} = 0.01 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$

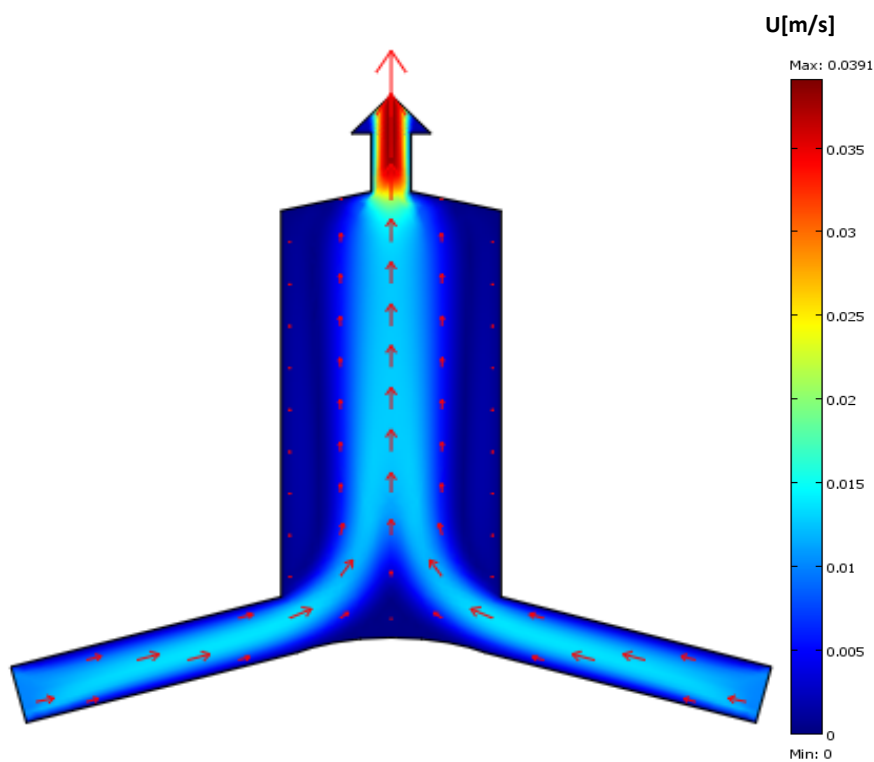


الشكل (18.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 0^\circ$ عند

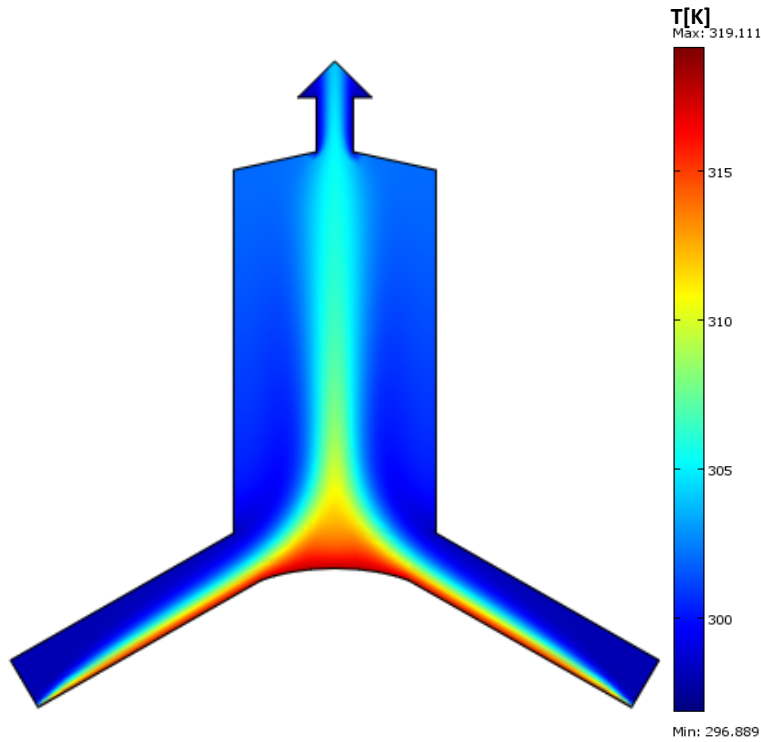
$$.V_{in} = 0.01 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$



الشكل (19.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند $V_{in} = 0.01 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$

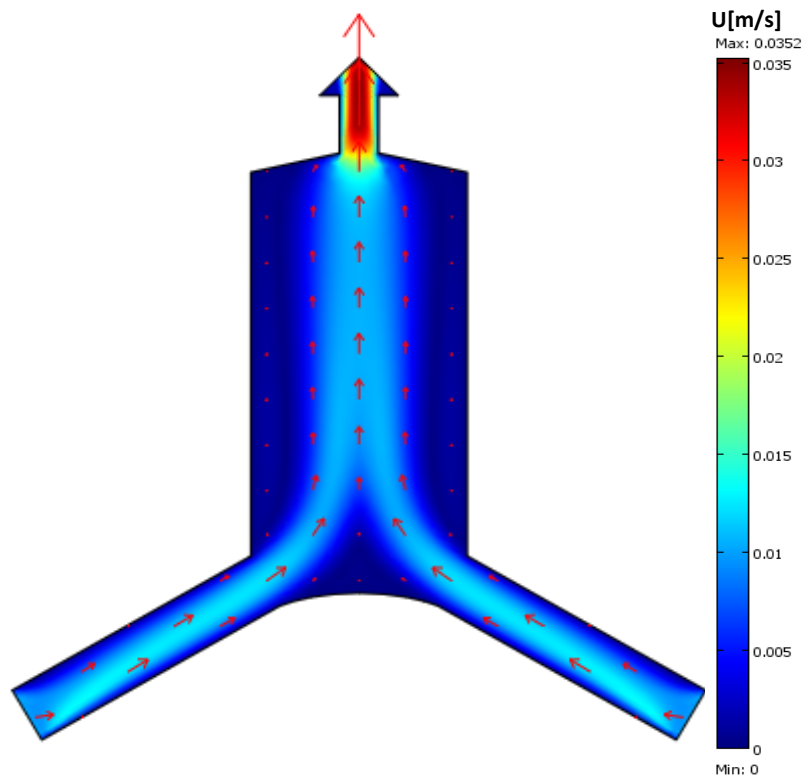


الشكل (20.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 15^\circ$ عند $V_{in} = 0.01 \text{ m/s}$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$



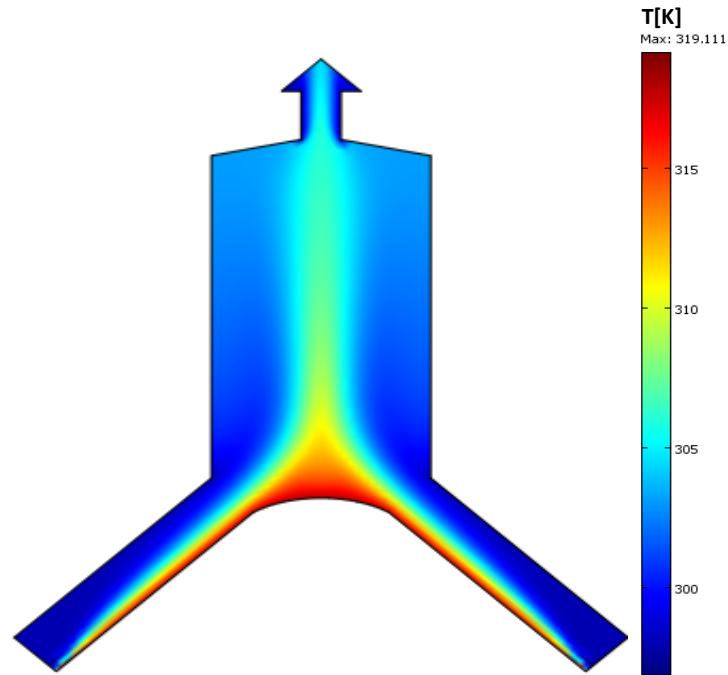
الشكل (21.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند

$$.V_{in} = 0.01 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$

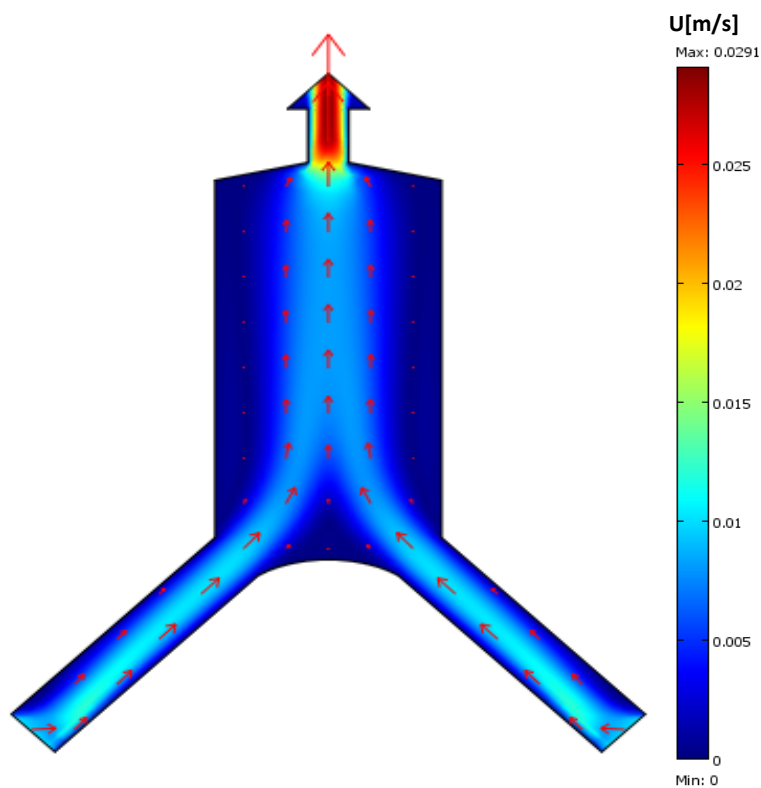


الشكل (22.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 30^\circ$ عند

$$.V_{in} = 0.01 \text{ m/s و } \Delta T = 20 \text{ C}^\circ$$



الشكل (23.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$.



الشكل (24.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة زاوية ميل $\alpha = 45^\circ$ عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0.01\text{ m/s}$.

1.5.4 مقارنة نتائج درجات الحرارة و سرعة الهواء بدلالة زاوية ميل المجمع α في حالة

$$v_{in} = 0.01 \text{ m/s} \text{ و } \Delta T = 20 \text{ C}^{\circ}$$

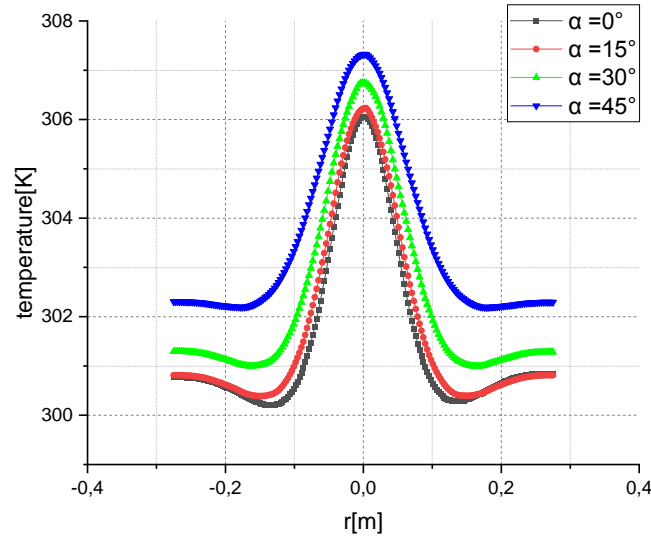
بعد تحليل النتائج في هذه المرحلة الثانية من الدراسة، يتسنى لنا مقارنة النتائج من خلال المنحنى البياني في الشكل (25.4) الذي يبين تغير القطري لدرجة الحرارة عند منتصف غرفة المجفف $z = 0.65 \text{ m}$ بدلالة زاوية ميل المجمع، حيث يتبين أن توزيع الحرارة داخل المجفف غير متجانس كما أن الحرارة القصوى لا تتعدى $T = 31 \text{ C}^{\circ}$ مبينا في الجدول (4.4) و تأثير زاوية الميل لا يكاد يحدث فارقاً في هذه الحالة كذلك.

أما بالنسبة لمقارنة السرعات العمودية في الشكل (26.4) حيث أن السرعة العمودية القصوى تتناقص كلما زادت زاوية ميل المجمع و هذا نتيجة زيادة الاحتكاك الذي يحدث بين تيار الهواء السرعة الداخل و سطح المجمع الشمسي وبالتالي فإن كلما زادت حدة الزاوية كلما انخفضت نسبياً سرعة الهواء في المجفف كما هو مبين في الجدول (5.4). نلاحظ كذلك أن جميع المنحنيات تتقاطع في نقطة واحدة عند الفاصلة $1,09 \text{ m}$ الذي يمثل عنق مدخنة خروج الهواء بعدها يندفع الهواء خارجاً بسرعات مختلفة عبر المدخنة تبعاً لزاوية ميل المجمع.

الجدول (4.4): درجة الحرارة في منتصف غرفة التجفيف $Z = 0.65 \text{ m}$ بدلالة زاوية الميل

$$\text{عند } \Delta T = 20 \text{ C}^{\circ} \text{ و } V_{in} = 0,01 \text{ m/s}$$

زاوية ميل المجمع الشمسي α	درجة الحرارة المتوسطة في منتصف غرفة التجفيف T°
0°	$30,1 \text{ C}^{\circ}$
15°	$30,2 \text{ C}^{\circ}$
30°	$30,6 \text{ C}^{\circ}$
45°	$30,8 \text{ C}^{\circ}$



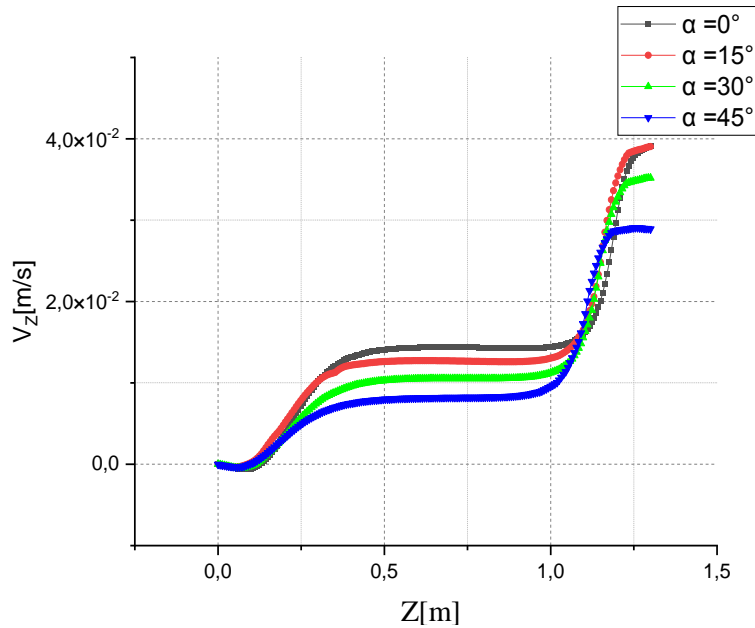
الشكل (25.4): منحنى بياني لمقارنة تغير الحرارة قطريا عند منتصف غرفة المجفف

بدلالة زاوية الميل عند $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0,01\text{ m/s}$ $z = 0.65\text{m}$

الجدول (5.4): السرعة العمودية القصوى على محور التناظر داخل المجفف بدلالة الفرق

في زاوية الميل في حالة $\Delta T = 20\text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0,01\text{ m/s}$

السرعة العمودية القصوى V_{max}	زاوية ميل المجمع الشمسي α
0,0398 m/s	0°
0,0391 m/s	15°
0,0352 m/s	30°
0,0291 m/s	45°



الشكل (26.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية على محور التناظر داخل المجفف

بدلالة زاوية الميل عند $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ و $V_{in} = 0,01 \text{ m/s}$.

6.4 تأثير السرعة الابتدائية V_{in} على التوزيع الحراري و زمن تجديد الهواء داخل غرفة التجفيف في حالة $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$:

في هذه المرحلة الأخيرة و نتيجة للنتائج المتحصل عليها في المرحلتين السابقتين لاحظنا أن تغير زاوية ميل المجمع الشمسي ليس له إلا تأثير ضئيل جدا على التوزيع الحراري وحقل السرعات للهواء المتولد داخل المجفف ومنه قمنا باختيار الزاوية اعتمادا على زاوية التي تعرض المجمع لأكبر قدر من الإشعاع الشمسي وهذا استنادا على الدراسات السابقة في مجال الألواح الشمسية الحرارية أو الكهروضوئية التي أجريت وجدت أن الميل الأمثل يكون محصورا بين 15° و 45° . [55]

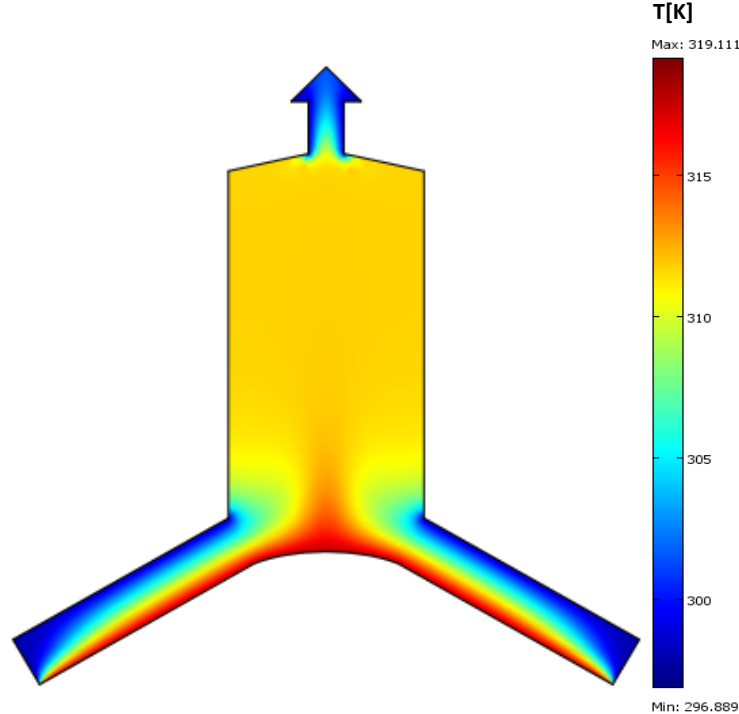
وقع اختيارنا على زاوية ميل 30° متوسطة لدراسة تأثير تغير السرعة الابتدائية أين نقوم بدراسة التوزيع الحراري وحقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي. كما اخترنا سرعات

ابتدائية أقل من $V_{in}=0,01 \text{ m/s}$ حيث تبين من خلال النتائج السابقة أن هذه السرعة تعتبر مرتفعة نسبياً.

1.6.4 نتائج السرعة الابتدائية $V_{in}=0,001 \text{ m/s}$:

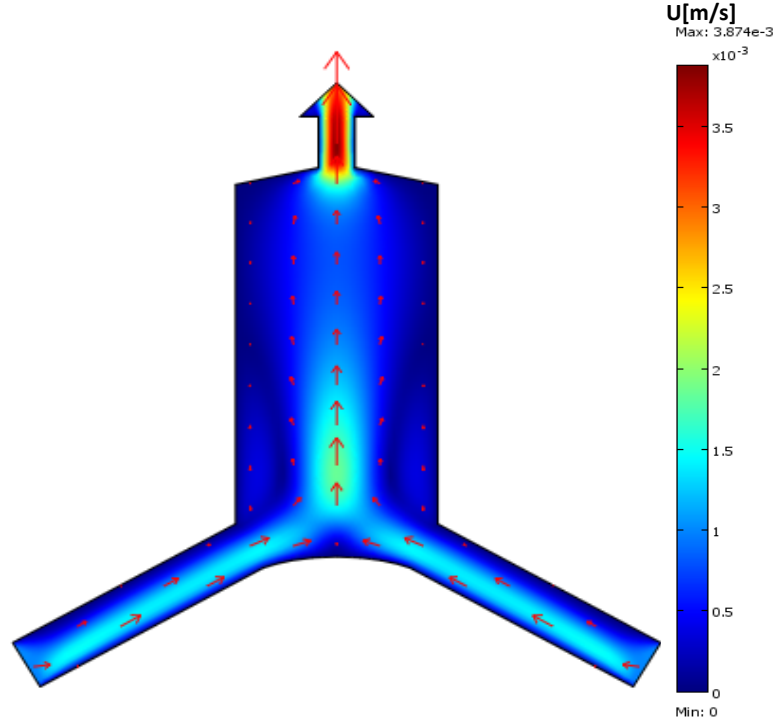
نلاحظ في الشكل (27.4) أن خطوط تساوي الحرارة متراصة متوازية في منطقة المجمع وتتوزع الحرارة في كامل غرفة التجفيف بشكل متساوي تقريباً وكما نلاحظ ارتفاع درجة الحرارة في غرفة التجفيف إلى ما يقارب 40 C° بسبب سرعة الهواء الابتدائية غير المرتفعة وموائمتها للخصائص الهندسية للمجفف الشمسي، أين يلاحظ يوجد توزع منتظم و متجانس للحرارة داخل كامل الغرفة.

أما بالنسبة للشكل (28.4) نلاحظ بالنسبة لتوزيع خطوط ومساحات السرعة أن التيار الهوائي الداخل إلى المجمع يتوزع بصفة منتظمة داخل كامل المجفف و تجدد خروجه عبر المدخنة أين يصل إلى أقصى سرعته و التي تقدر ب $V_{max}=0,00387 \text{ m/s}$.



الشكل (27.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي عند $V_{in}=0,001 \text{ m/s}$

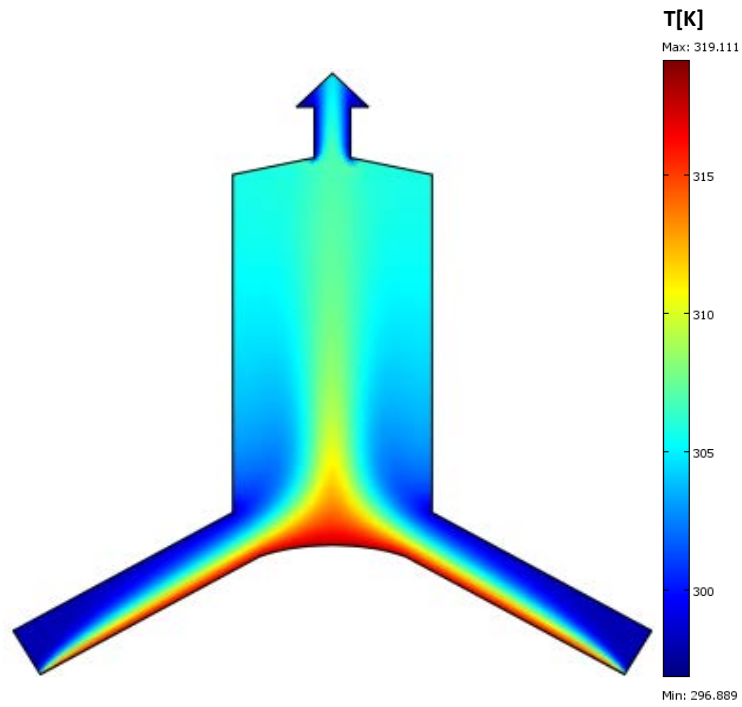
$$\alpha = 30^{\circ} \text{ و } \Delta T = 20 \text{ C}^{\circ}$$



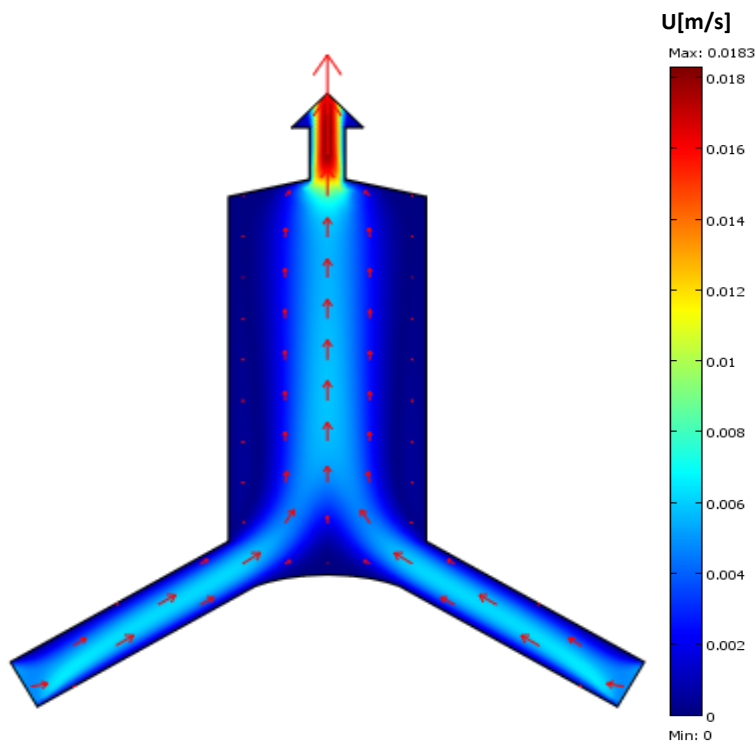
الشكل (28.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي عند $V_{in}=0,001 \text{ m/s}$ ،
 $\alpha = 30^\circ$ و $\Delta T = 20 \text{ C}^\circ$

2.6.4 نتائج تأثير السرعة الابتدائية $V_{in}=0,005 \text{ m/s}$:

نلاحظ في الشكل (29.4) أن خطوط تساوي الحرارة متوازية في منطقة المجمع وتتوزع الحرارة ولكن تحت تأثير هذه السرعة الابتدائية تنخفض درجة الحرارة تدريجياً كلما ابتعدنا عن قاعدة المجمع إلى سقف غرفة التجفيف كما تتركز الحرارة المرتفعة في مركز غرفة التجفيف و تنخفض على الجوانب و هذا نتيجة لسرعة الهواء العالية نسبياً حيث تم سحب الحرارة بسرعة أكبر من المعدل المطلوب. كما فقد التوزيع الحراري تجانسه و انخفض متوسط درجة حرارة داخل الغرفة إلى حوالي 33.5 C° مقارنة بالحالة السابقة. أما بالنسبة للشكل (30.4) نلاحظ بالنسبة لتوزيع خطوط ومساحات السرعة أن التيار الهوائي الداخل إلى المجمع متمركزة في مركز المجفف على طول محور التناظر و خروجه عبر المدخنة بشدة سرعة تضاعفت حوالي 5 مرات و بلغت أقصى سرعته تقدر ب $V_{max}=0,0183 \text{ m/s}$.



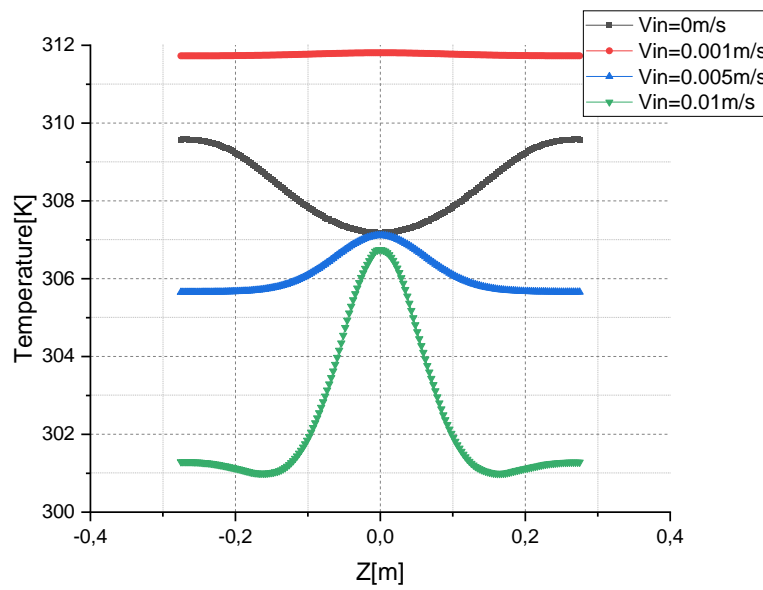
الشكل (29.4): التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي في حالة $V_{in}=0,005 \text{ m/s}$.



الشكل (30.4): حقل سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي في حالة $V_{in}=0,005 \text{ m/s}$.

7.4 مقارنة النتائج الخاصة بالتوزيع الحراري و زمن التهوية تحت تأثير السرعة الابتدائية للهواء في حالة فارق حراري و زاوية ميل ثابتين $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha=30^\circ$.

من خلال مقارنة توزيع الحرارة داخل غرفة التجفيف عند المنتصف $z=0.65\text{m}$ ، يتبين لنا في الشكل (31.4) أن السرعة الابتدائية $V_{in}=0,001\text{ m/s}$ هي السرعة المثالية لتحقيق أعلى درجة حرارة ممكنة داخل غرفة التجفيف كما هو مبين في الجدول (6.4). كما أنه من الأهمية بمكان المحافظة على توزيعها المتجانس في كامل الحيز المخصص للتجفيف.



الشكل (31.4): منحنى بياني لمقارنة درجة الحرارة عند منتصف غرفة المجفف

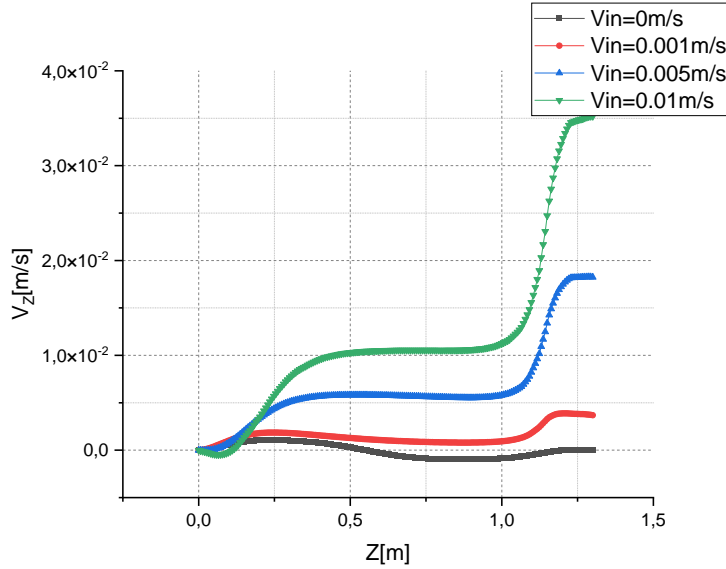
بدلالة السرعة الابتدائية V_{in} عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha=30^\circ$ عند $z=0.65\text{m}$

الجدول (6.4): درجة الحرارة المتوسطة في منتصف غرفة التجفيف بدلالة السرعة

الابتدائية للهواء V_{in} عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha=30^\circ$.

درجة الحرارة المتوسطة في منتصف غرفة التجفيف T°	السرعة الابتدائية للهواء V_{in}
35 C°	0 m/s
39 C°	0.001 m/s
33,5 C°	0.005 m/s
30.5 C°	0.01 m/s

تعد عملية التهوية ضرورية جدا أثناء التجفيف، و لهذا أجرينا هذه المقارنة بين مختلف الازمنة التي تستغرقها عملية تجديد الهواء داخل المجفف الشمسي تحت تأثير السرعات الابتدائية المختلفة. حيث نلاحظ من خلال الشكل (32.4) أن السرعة العمودية تتزايد نسبيا مع زيادة السرعة الابتدائية مما يجعل خروج الهواء من خلال المدخنة أسرع كلما زادت حركة الهواء العمودية.



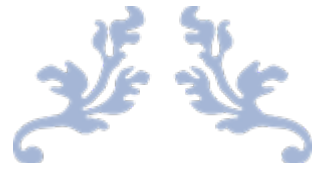
الشكل (32.4): منحني بياني لمقارنة السرعة العمودية على محور التناظر داخل المجفف بدلالة السرعة الابتدائية V_{in} عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha=30^\circ$.

يمكننا تقدير الزمن المستغرق في عملية تجديد الهواء داخل المجفف بدلالة السرعات الابتدائية اعتمادا على السرعة المتوسطة للهواء المتصاعد داخل المجفف.

يلخص الجدول (4.7) زمن تجديد الهواء حيث يتبين أن $V_{in}=0,001\text{ m/s}$ مثاليا لعملية التجفيف و يقدر بحوالي 5 دقائق تقريبا مقارنة بالازمنة الأخرى. أما بالنسبة لحالة إنعدام السرعة $V_{in}=0\text{ m/s}$ الابتدائية، فإن الحمل الحراري الطبيعي لا يولد حركة هواء كافية لتحقيق عملية التجفيف، فهي بطيئة جدا و قد تستغرق أكثر من أسابيع اعتمادا على قيم السرعة الضئيلة جدا على مستوى المدخنة .

الجدول (7.4): زمن تجديد الهواء داخل غرفة التجفيف بدلالة السرعة الابتدائية للهواء V_{in} عند $\Delta T=20\text{ C}^\circ$ و $\alpha =30^\circ$.

زمن تجديد الهواء المتوسط	السرعة الابتدائية V_{in}
∞	0 m/s
~5 min	0,001 m/s
< 2 min	0,005 m/s
< 45 s	0,01 m/s



الخاتمة



في عملنا هذا، أجرينا دراسة عددية لتوزيع الحرارة و تدفق الهواء داخل مجفف شمسي غير مباشر يعتمد على الحمل الحراري الطبيعي حيث يتميز بشكل هندسي متميز ، حيث تمت المحاكاة العددية باستخدام برنامج Comsol Multiphysics و الذي يستخدم طريقة العناصر المنتهية لحل المشكلات الفيزيائية التي تحكمها المعادلات التفاضلية الجزئية الواسفة للظاهرة الفيزيائية.

بما أن الشكل الهندسي للمجفف الشمسي المقترح أسطواني مخروطي فإنه يعتبر مستجدا في هذا الميدان و المقترح منا في هذا العمل لأول مرة . كما أنه لم يسبقنا له أحد في الدراسات السابقة و لا يوجد مثله في المجففات المسوقة لحد هذه الساعة و هذا بناء على بحثنا البيبليوغرافي. و لذلك تطلب منا دراسة معمقة لكل العوامل المساهمة أو التي قد تؤثر بشكل أو بآخر في مردودية عملية التجفيف.

يكمن الهدف الأساسي في توفير شروط مثالية داخل غرفة التجفيف و هذا ببلوغ درجة حرارة مرتفعة و مناسبة مع ضمان توزيع حراري متجانس دون إهمال عملية التهوية الضرورية لتجديد الهواء و طرح الرطوبة خارج المجفف. يتم الاعتماد بشكل أساسي في عمل المجفف المقترح على ظاهرتين و هما الاحتباس الحراري و الحمل الحراري الطبيعي. بعد الدراسة المعمقة لتأثير زاوية ميل المجمع وتأثير الفارق الحراري و كذلك تأثير السرعة الخارجية للهواء المساهم في عملية التهوية.

استنادا للنتائج المتحصل عليها من المحاكاة العددية المنجزة نستنتج ما يلي:

- تأثير الحمل الحراري الطبيعي الخالص و إن كان يحقق درجة حرارة مقبولة و لكنه يعتبر غير كاف لتحقيق عملية تجدد الهواء داخل المجفف.
- ليس لزوايا ميل للمجمع الشمسي تأثير محسوس على التوزيع الحراري وسرعة الهواء في المجفف الشمسي، بل يتم اختيارها على أساس الاستقبال الأمثل لكمية الإشعاع الشمسي و تكون غالبا محصورة بين 15° و 45° .
- يرتبط التوزيع الحراري داخل المجفف الشمسي بالسرعة الابتدائية للهواء الداخل ارتباطا وطيدا. فإن عملية تجديد الهواء مع المحافظة على درجة حرارة عالية

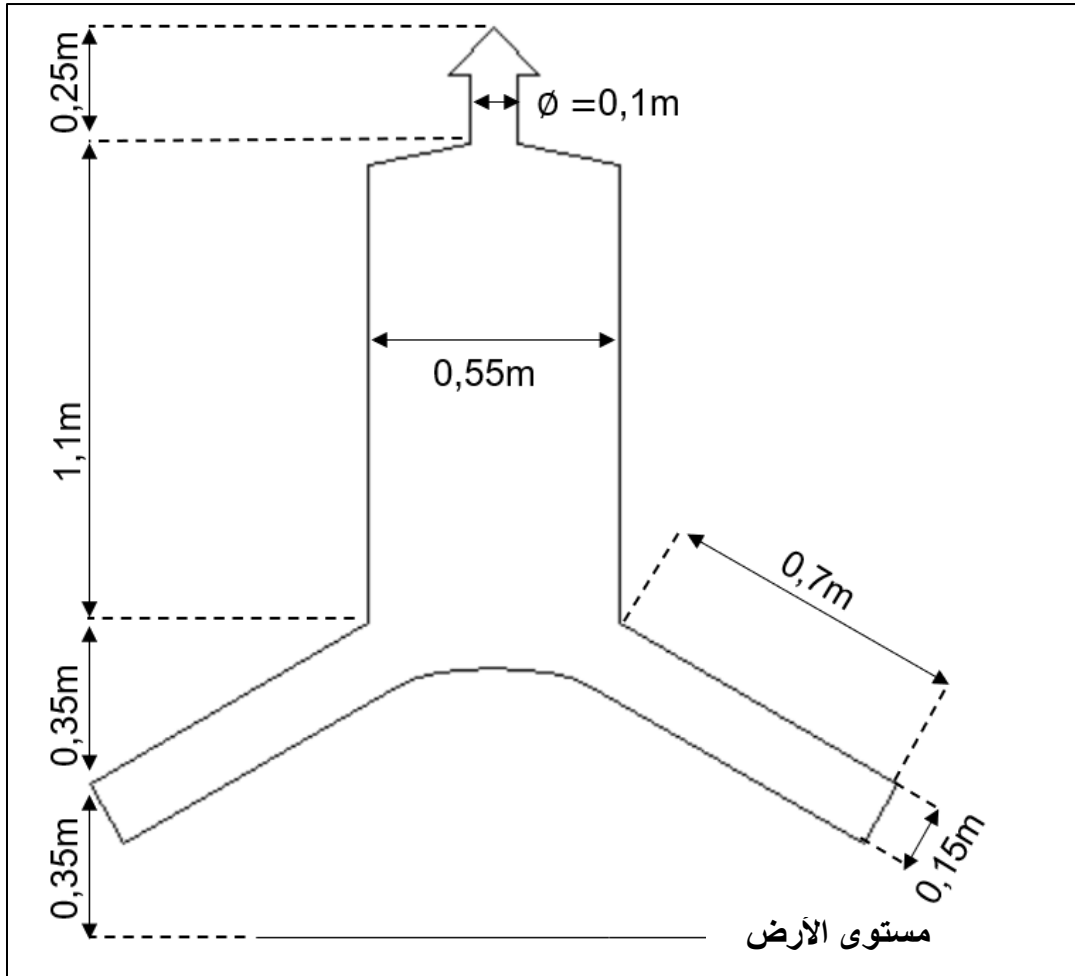
و متجانسة تحققها السرعة الابتدائية للهواء الداخل للمجفف الشمسي في حالتنا المدروسة و المقدرة ب $V_{in}=0,001 \text{ m/s}$.

- الشكل الهندسي المخروطي للمجمع يسمح بالتقاط أكبر قدر من أشعة الشمس و هذا ما يرفع درجات الحرارة في وقت وجيز. كما يمكنه استقبال تيارات الهواء من كل الاتجاهات في مجال 360° .
- الوقت المثالي لتجديد الهواء داخل غرفة التجفيف في هذه الحالة مقدر بحوالي 5 دقائق، مع تحقيق درجة حرارة مرتفعة ومثالية للتجفيف حوالي 40°C و بتوزع متجانس قطريا و طوليا للحرارة داخل حجم غرفة التجفيف.

من أجل توسيع هذه الدراسة و تحسين فعالية المجفف الشمسي المقترح من حيث نوعية المواد المجففة أو من حيث زمن التجفيف، يمكننا مستقبلا أن نعزز هذا العمل بدراسة تأثير الخصائص الهندسية للمجفف الشمسي و إمكانية التحكم بدرجة الحرارة و سرعة الهواء داخل غرفة التجفيف.

ملحق أ:

الخصائص الهندسية للمجفف الشمسي



ملحق ب:

السرعة الابتدائية للهواء الخارجي

يتم حساب سرعة ابتدائية أولية للهواء الخارجي بناء على حالة ظروف جوية ربيعية ، أين تم اختيار سرعة الهواء هذه حسب سلم بوفورت في حالة جو هادئ و التي تقدر ب 0.28m/s و التي تحسب على ارتفاع 10m.

كما بإمكاننا حساب سرعة الهواء الخارجي على ارتفاع مدخل الهواء في المجمع الشمسي للمجفف باستعمال العلاقة التالية [56]:

$$V_{air}^h = V_{air}^{h_B} \cdot \left(\frac{h}{h_B = 10} \right)^a$$

h: الارتفاع المطلوب.

V_{air}^h : سرعة الهواء على ارتفاع معين.

$V_{air}^{h_B}$: سرعة الهواء على ارتفاع 10 m حسب سلم بوفورت.

a: معامل خشونة المكان.

تم اختيار معامل الخشونة $a = 1$ وارتفاع مدخل الهواء في المجفف الشمسي في دراستنا يقدر ب $h=35$ cm.

$$V_{air} = 0,28 \cdot \left(\frac{0,35}{10} \right)^1 = 0,0098m/s$$

$$V_{in} \cong 0,01m/s$$

يتم اعتماد هذه السرعة للتيار الهوائي الخارجي كسرعة مرجعية في هذه الدراسة.

قائمة المراجع والمواقع الإلكترونية

- [1] Gasmi Nesrine, " Les ressources en énergies renouvelables", Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir L'Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj (2021).
- [2] Ghoul Kawther, " Modélisation et commande d'un système multi-sources Photovoltaïque – éolienne ", Mémoire de Master, université de Larbi Tebessi, tébessa (2022) .
- [3] <https://www.ecomena.org/wind-energy-ar/>,(17/12/2023).
- [4] <https://www.clemson.edu/cecas/departments/wec/>,(19/12/2023)
- [5] Meghellet Hanine, Hocine Lynda, " Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque " , Mémoire de Master, Université Colonel Akli Mohand-Oulhadj, Bouira (2018).
- [6] <https://www.ecomena.org/biomass-middleeast-ar/>,(19/12/2023)
- [7] Gaouas mehdi redha , Ibn Cherif Karim, " Etude d'une chaine de conversion de L'énergie solaire avec système De suiveur solaire " , Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi (2021).
- [8] Tebbane Ahmed, Laraba Said , " Conception et réalisation d'un séchoir solaire par un système aérovoltaique pour séchage des produits alimentaires " , Mémoire de Master, université Mohamed Boudiaf, M'sila (2022).
- [9] "solar water heating project analysis ", Clean Energy Project Analysis Course, RETScreen® Engineering & Cases Textbook, , Minister of Natural Resources Canada, 2001-2004.
- [10] هيبية إسماعيل، دلاش وليد، "دراسة التجريبية لتأثير تغير زاوية المقطر الشمسي على إنتاجية الماء النقي"، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة (2022).
- [11] فاطمة الزهرة رضواني، هادية معامير، " استعمال الطاقة الشمسية لتحلية المياه المالحة في المناطق الصحراوية"، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي (2017).
- [12] <https://guidesurvie.com/guide-survie/all-american-sun-oven-review-10-years-later/>,(19/12/2023).
- [13] Rasolomanana niry antsa, " sechage des produits agricoles", Mémoire de Licence, université d'Antananarivo, école supérieure polytechnique (2016).
- [14] محي الدين الهلالي، " التمور " دليل حقلي لتجفيف التمور، ايكاردا عجمان، الامارات العربية المتحدة، الصفحة 6.
- [15] المهندس خلف العقلة، "التجفيف الشمسي للمنتجات الفلاحية"، دراسات حول كيفية استغلال الطاقات المتجددة في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية وتطويرها، ع / 2020 / 21 / 014
- [16] محمد سليم علي اشتية، رنا ماجد جاموس، " التجفيف الشمسي للفواكه والخضراوات خبرات من فلسطين"، مركز أبحاث التنوع الحيوي والبيئة (2010).

[17] <https://www.dreamstime.com/convection-currents-vector-illustration-labeled-diagram-warm-cool-molecules-energy-movement-cycle-scheme-example-stove-image171540806>,

(19/12/2023).

[18] قادري شهرة، "دراسة مقارنة تجريبية وعددية انتقال الحرارة في المجفف الشمسي"، مذكرة ماستر جامعة حمه لخضر، الوادي (2019).

[19] Bafrouh Hesna, Debagh Malika, "Etude Expérimentale et Modélisation de la Cinétique de Séchage Solaire de la Pomme de Terre" Mémoire de master, Université Ahmed Draya, Adrar (2021).

[20] Ameri, Billal, et al., "Comparative approach to the performance of direct and indirect solar drying of sludge from sewage plants, experimental and theoretical evaluation." *Solar Energy* 159 (2018), pp.722-732.

[21] Ferhati Smail, Laiche Fatah, Nesrat Mohammed Seghir, "Synthèse et caractérisation de couches minces d'oxyde de nickel dopé au de cuivre par spray pyrolyse solaire", Mémoire de Master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued. (2023).

[22] Boulemtafes-Boukadoum, Amel, and Ahmed Benzaoui. "Energy and exergy analysis of solar drying process of Mint." *Energy Procedia* 6 (2011), pp. 583-591.

[23] Ben Djelloul Walid , Rehaïem Azzeddine, "Réalisation et Expérimentation d'un prototype séchoir solaire de type serre avec systèmes de stockage thermique par chaleur latente et sensible", Mémoire de Master, université Kasdi Merbah, Ouargla (2019).

[24] منصر لندة، العبيد سندس، "توزيع درجة الحرارة في مجفف شمسي"، مذكرة تخرج ماستر اكاديمي، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي (2018).

[25] العاتي مختار "المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية"، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح (2011).

[26] Hanitriniony, Harisoamahefa, "Étude de modalités de séchage de fruits et légumes au moyen du séchoir solaire BOARA ; qualité nutritionnelle et microbiologique des produits obtenu ", Mémoire d'études approfondies. Madagascar, Université d'Antananarivo (2013).

[27] Hadjer Djerifili, Abd Elwahab Cheikhi, " Conception et étude d'un capteur solaire thermique «portable» destiné au séchage ", Mémoire de Master , Université Ahmed Draïa, Adrar (2020).

[28] H, Ben Cheikch, M, Ould Sidi Med, Y, Draoui, " Conception et réalisation d'un séchoir solaire indirect opérant en mode convectif ", Mémoire d'ingénieur d'état en génie mécanique, Université Kasdi Merbah Ouargla (2011).

[29] Ahmed Bahadj, "Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre", Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla (2014).

- [30] Rezka Firdaws, Boukhallat Kaoutar, "Utilisation le plan d'expérience de Box-Behnken pour optimiser les différents facteurs influençant sur le séchage de la pomme de terre", Mémoire de Master ,université Kasdi-Merbah, Ouargla (2021).
- [31] داودي عبد العالي ، شوشاني محمد علي، " دراسة تحسين أداء المجفف الشمسي بمساعدة مواد تخزين الطاقة تحت شروط طقس مدينة الوادي -الجزائر- " ، جامعة حمه لخضر الوادي (2023).
- [32] <https://www.solarbrother.com/creation/fabriquer-un-sechoir-solaire/>, (08/03 /2024).
- [33] B. Touati, "Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe", Mémoire de Magistère, Centre Universitaire de Bechar, (2001)
- [34] Mounir Boukerche, "Etudes expérimentales du séchage solaire par convection naturelle", Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra (2019).
- [35] Bouguetit Mohammed, Bougoffa Sassi, "Etude expérimentale et théorique d'un séchoir solaire convectif direct", mémoire de master, Université Kasdi Merbah, Ouargla (2019).
- [36] Souheyla Yahiaoui Khaldi, "Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie", Thèse de Doctorat de l'université Bourgogne Franche-Comté, (2018).
- [37] Halassa Daoud, "Contribution à l'étude du transfert thermique dans un capteur solaire. Application au séchoir solaire pour produits agricoles", Thèse de Doctorat, universite Yahia Farés de Médéa (2020).
- [38] Bessa Mohamed Menaouar , Bakheti Djouadi, "Etude d'un séchoir solaire intégré au bâtiment", Mémoire de Master, université Mohamed Boudiaf, M'sila (2023).
- [39] Mecheri Ayoub , Kouici Abdessalam, "Etude d'amélioration de l'homogénéité du champ thermique dans un séchoir solaire en utilisant la méthode des plans d'expériences", Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla (2019).
- [40] Lakhdar Djaäroun, "conception et étude d'un séchoir solaire" , Mémoire de Master, Université Ziane Achour, Djelfa (2022).
- [41] Kanoune Brahim, Tritiba Abdeslam, "Etude et amélioration de l'efficacité énergétique d'un séchoir solaire direct à convection naturelle", Mémoire de Master, université Kasdi Merbah, Ouargla (2017).
- [42] Messali Amira, Sifou Amina, "Etude expérimental d'un séchoir à convection", Mémoire de Master, université Abdelhamid Ibn Badis, Mostganem (2023).
- [43] Gebre micheal , Gedion Habtay, " Performance evaluation of solar chimney applied for drying processes", PhD Thesis, Hungarian university of agriculture and life sciences (2022).

- [44] Ahmed Djebel, " Étude Numérique et Expérimentale d'un Séchoir Solaire Mixte. Application au Séchage des Produits Alimentaires", Thèse de Doctorat, université Yahia Farés de Médéa (2019).
- [45] Maatallah karimam, Terea Rokaya, " Etude et réalisation d'un séchoir solaire destiné pour le séchage des boues des stations d'épurations urbaines", Diplôme d'ingénieur d'État, université Kasdi Merbah, Ouargla (2019).
- [46] Boubeghal, A., et al. , "Etude numérique d'un séchoir solaire fonctionnant en convection naturelle." Revue des Energies Renouvelables ICRESO-07, Tlemcen (2007), pp.315-320.
- [47] كشيدة محمد، بكوش بشير، نصري عبد الحميد، "انجاز مجفف شمسي من اجل تحسين جودة المحاصيل الزراعية"، مذكرة ماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي (2023).
- [48] Mennouche, D. et al. , "Séchage solaire de la tomate dans un séchoir indirect à convection naturelle", conférence internationale sur le génie des procédés, Bejaia, 2007
- [49] Mazzouz Ismahan, Taourit Mohammed el Amine, "Modélisation et amélioration des performances d'un séchoir solaire indirect à convection naturelle", Mémoire de Master, université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen (2021).
- [50] خديجة زعبي ، هرمس اكرام، حوامد عفاف، دراسة كفاءة مجفف في منطقة الجنوب الجزائري -الوادي - ،مذكرة ماستر،جامعة الشهيد حم لخضر الوادي (2021).
- [51] داودي عبد العالي ، شوناني محمد علي، دراسة تحسين أداء المجفف الشمسي بمساعدة مواد التخزين الطاقة تحت شروط طقس مدينة الوادي - الجزائر - ،مذكرة ماستر ،جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي (2023).
- [52] Mechlouch, R. F et al. , "Etude comparative de deux installations de séchage solaire : séchoir direct et séchoir indirect". Séminaire Maghrébin sur les Sciences et Technologies de Séchage, (2010)
- [53] د. أسامة محمد المرضي سليمان خيال، التصميم بمساعدة الحاسوب، جامعة وادي النيل عطبرة السودان، الطبعة الثانية يناير (2019).
- [54] https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/Links/Table_A_9_CC_Properties_of_Air.pdf , (20/02/2024).
- [55] <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/inclinaison-panneau-solaire-orientation/> (20/02/2024).
- [56] <https://wind-data.ch/tools/profile.php>. (20/02/2024).

ملخص

عملنا المقدم يتعلق بدراسة التوزيع الحراري الأمثل داخل مجفف شمسي غير مباشر يعمل بالحمل الحراري الطبيعي. أين تم تقديم نمذجة رياضية لكل من معادلة الاستمرارية، الحركة و معادلة الطاقة في الإحداثيات الأسطوانية باستخدام تقريب بوسينسك. قمنا بدراسة تأثير ميل زاوية المجمع الشمسي والسرعة الابتدائية للهواء الداخل للمجفف الشمسي على التوزيع الحراري داخله بإجراء محاكاة عددية باستعمال برنامج Comsol Multiphysics. أين أظهرت النتائج المتحصل عليها أن أداء المجفف الشمسي يتعلق بشكل أساسي بالفارق في درجة الحرارة و بقيمة السرعة الابتدائية للهواء الداخل.

الكلمات المفتاحية: مجفف شمسي، التوزيع الحراري، الحمل الطبيعي، دراسة عددية.

Abstract

Our presented work concern a study of optimal thermal distribution inside an indirect solar dryer operating by natural convection. A mathematical model of the continuity, motion and energy equations in cylindrical coordinates was presented using the Boussinesq approximation. We studied the effect of the solar collector inclination angle and the initial air velocity entering the solar dryer on the thermal distribution by using the Comsol Multiphysics software. The results obtained showed that the performance of the solar dryer is mainly related to the temperature difference and the entering air velocity.

Keywords: Solar dryer, Thermal distribution, Natural convection, Numerical study.

Résumé

Notre travail présenté concerne l'étude de la distribution thermique optimale à l'intérieur d'un séchoir solaire indirect fonctionnant par convection naturelle. Une modélisation mathématique des équations de continuité, de mouvement et d'énergie en coordonnées cylindriques a été présentée en utilisant l'approximation de Boussinesq. Nous avons étudié l'effet de l'inclinaison de l'angle du collecteur solaire et de la vitesse initiale de l'air entrant sur la distribution thermique à l'intérieur en utilisant le logiciel Comsol Multiphysics. Les résultats obtenus ont montré que la performance du séchoir solaire est principalement liée à l'écart de température et la valeur de la vitesse initiale de l'air entrant.

Mots clés : Séchoir solaire, Distribution thermique, Convection naturelle, Étude numérique.