

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء

رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي



مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع و طاقة

من إعداد: قادري شهرة

الموضوع

دراسة مقارنة تجريبية وعددية لانتقال الحرارة في المجفف الشمسي

نوقشت يوم 2019/06/19

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة

رئيسا

أستاذ محاضر "ب"

لبي عبد القادر

مناقشا

أستاذ التعليم العالي

فتحي بوراس

مؤطر

أستاذ محاضر "أ"

عطية محمد الهادي

الموسم الجامعي 2019/2018.

الإهداء

اهدي هذا التخرج إلى أبي الذي تمنيته بيننا في هذا اليوم الذي ينقضي وجوده
لكني وعلى ثقة انه فرح في قبره جداً بما أنجزت أهديه أيضاً إلى أمي الغالية إلى
من تعبت وسهرت على راحتي وكانت سبباً في ما أنا عليه الآن أهدي هذا التخرج
إلى عائلتي وأصدقائي وأقاربي كافة بدون استثناء ولا يسعني في هذه اللحظات
سوى تقديم الشكر إلى الهيئة التدريسية إلى من جدّو في إعطائنا العلم بحذافيره
بدون استثناء سنوات مضت بمرها وحلوها وكانت مرحلة لا تتجزأ من مراحل
حياتي الرائعة الحمد لله على ما أنا عليه الآن وأخراً وليس أخيراً أهدي هذا التخرج
إلى نفسي وأيضاً الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات.

شهرة قادري

شكر و عرفان

الحمد لله الذي أنار للبشرية درب العلم والمعرفة وأعانني على أداء هذا الواجب
ووفقتني في انجاز هذا العمل

أتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساعدني من قريب أو من بعيد على انجاز
هذا العمل وفي تذليل ما واجهته من صعوبات وكانوا عوناً لي ونوراً يضيء الظلمة
التي كانت تقف أحياناً في طريقي، وخص بالذكر الأستاذ المشرف عطية محمد
الهادي الذي لم يبخل علي بتوجيهاته ونصائحه القيمة التي ساعدتني في إتمام هذه
المذكرة.

ولا يفوتنا أن نشكر اللجنة المناقشة.

الأستاذ بوراس فتحي (مناقشاً)

الأستاذ لبي عبد القادر (رئيساً)

الأستاذ عطية محمد الهادي (مشرفاً)

فهرس المحتويات

I	الاهداء
II	شكر و عرفان
III	فهرس المحتويات
VII	فهرس الأشكال
IX	فهرس الجداول
X	فهرس الرموز
2	المقدمة العامة
6	مراجع المقدمة العامة
الفصل الأول: عموميات حول المجففات الشمسية	
8	1.1. المقدمة:
8	2.1. تعريف التجفيف:
8	3.1. تصنيف المجففات الشمسية:
8	3.1.2. المجففات الشمسية المباشرة:
9	3.1.1.1. سلبيات المجففات الشمسية المباشرة:
9	3.1.1.2. إيجابيات المجففات الشمسية المباشرة:
10	3.1.2. المجففات الشمسية الغير مباشرة:
10	3.1.2.1. سلبيات المجففات الشمسية الغير مباشرة:
10	3.1.2.2. إيجابيات المجففات الشمسية الغير المباشرة:
11	3.3.1. تعريف المجففات الشمسية المختلطة (متعددة الأنظمة):
12	3.3.4. تعريف المجففات الشمسية الهجينة:
12	3.3.4.1. سلبيات المجففات الشمسية الهجينة:
12	3.3.4.2. إيجابيات المجففات الشمسية الهجينة:
13	4.1. أهم الطرق الشائعة في التجفيف:
13	4.1.1. مجففات الشمسية الطبيعية (مجففات الهواء الطلق):
14	4.1.1.1. سلبيات المجففات الشمسية الطبيعية (مجففات الهواء الطلق):
14	4.1.1.2. إيجابيات المجففات الشمسية الطبيعية (مجففات الهواء الطلق):
14	4.1.2. المجففات الصناعية:
15	4.1.2.1. سلبيات المجففات الصناعية:
15	4.1.2.2. إيجابيات المجففات الصناعية:

16.....	I .4. 3. أنواع المجففات الصناعية:
16.....	I .4. 3. 1. مجففات الأنفاق:
17.....	I .4. 3. 2. مجففات الرذاذ:
18.....	I .4. 3. 3. المجففات الأسطوانية:
18.....	I .4. 3. 4. مجففات الضغط المنخفض:
18.....	I .4. 3. 5. مجففات تستعمل الطاقة الناتجة عن الموجات القصيرة:
18.....	I .5. أنظمة تدفق الهواء في مجففات الشمسية:
18.....	I .5. 1. مجففات الحمل الطبيعي (مجففات السلبية):
19.....	I .5. 2. مجففات الحمل القسري (مجففات النشطة):
20.....	I .6. طرق العناية بالمحاصيل والأغذية المجففة:
20.....	I .7. الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف:
20.....	I .8. تخزين الأغذية المجففة:
21.....	I .9. مجالات استخدام التجفيف:
21.....	I .10. الخاتمة:
22.....	مراجع الفصل الأول

الفصل الثاني:العلاقات الرياضية للمجففات الشمسية

25.....	II .1. المقدمة:
25.....	II .2. العوامل الأساسية التي تؤثر على عملية التجفيف:
25.....	II .2. 1. درجة الحرارة:
25.....	II .2. 1. 1. درجة الحرارة الجافة:
25.....	II .2. 1. 2. درجة الحرارة الرطبة:
25.....	II .2. 1. 3. درجة الحرارة الورد (الندى):
25.....	II .2. 2. رطوبة الهواء:
26.....	II .2. 2. 1. الرطوبة النسبية:
26.....	II .2. 2. 2. الرطوبة المطلقة:
26.....	II .2. 2. 3. درجة التشبع:
27.....	II .2. 3. الضغط:
27.....	II .2. 4. سرعة الهواء:
27.....	II .3. طرق الانتقال التي تحدث خلال عملية التجفيف:
27.....	II .3. 1. الانتقال الحراري:
27.....	II .3. 1. 1. الانتقال عن طريق التوصيل:
28.....	II .3. 1. 2. الانتقال عن طريق الإشعاع:

28.....	3.1.3.II. الانتقال عن طريق الحمل:
29.....	1.3.1.3.II. الحمل الطبيعي:
29.....	3.II. 1. 3. 2. الحمل القسري:
30.....	3. II. 2. الانتقال الكتلي:
30.....	3. II. 1. 2. 3. انتقال كتلة عن طريق الانتشار الجزيئي:
30.....	3. II. 1. 2. 3. قانون فيك الأول:
31.....	3. II. 2. 1. 2. قانون فيك الثاني:
32.....	4. II. سرعة التجفيف:
33.....	5. II. حركية التجفيف (فترة التجفيف):
33.....	5. II. 1. المرحلة (A-B) مرحلة التزايد:
34.....	5. II. 2. المرحلة (B-C) مرحلة السرعة الثابتة:
34.....	5. II. 3. المرحلة (C-E) مرحلة التباطؤ:
34.....	6. II. تأثير المعالم الرئيسية للهواء على حركية التجفيف:
35.....	7. II. توصيف مواد صلبة الرطبة:
35.....	7. II. 1. محتوى الماء الجاف:
35.....	7. II. 2. محتوى المائي:
35.....	8. II. نشاط الماء في المنتج:
36.....	9. II. متساوي الحرارة:
36.....	10. II. الزمن الكلي للتجفيف:
37.....	11. II. كفاءة التجفيف اليومية:
37.....	12. II. الكفاءة الجماعية للتجفيف:
38.....	13. II. كفاءة الطاقة للتجفيف:
38.....	14. II. الوسط المسامي:
38.....	14. II. 1. تعريفه:
39.....	14. II. 2. خصائص الوسط المسامي:
39.....	14. II. 1. 2. المسامية:
39.....	14. II. 2. 2. النفاذية:
39.....	15. II. الخاتمة:
40.....	مراجع الفصل الثاني
	الفصل الثالث: مقارنة الحسابات العددية مع القياسات التجريبية وتحليل النتائج
44.....	1. III. المقدمة:
44.....	2. III. وصف المجفف الشمسي المستعمل:

44.....	III.2.1. وحدة توليد الهواء الساخن (اللاقط المسطح):
44.....	III.2.2. غرفة التجفيف:
45.....	III.2.3. مروحة:
45.....	III.2.4. الخلية الشمسية:
45.....	III.3. مبدأ عمل المجفف:
46.....	III.4. وصف منطقة التجربة:
47.....	III.5. النتائج المتحصل عليها:
47.....	III.5.1. رسم توضيحي لغرفة المجفف الشمسي 2D:
47.....	III.5.2. رسم توضيحي لشبكة المجفف الشمسي:
49.....	III.5.3. توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل ($T=93^{\circ}\text{C}$):
50.....	III.5.4. توزيع درجة الحرارة على محور الفواصل ($T=99^{\circ}\text{C}$):
51.....	III.5.5. توزيع درجات الحرارة على محور التراتيب ($x=27.8, T=99^{\circ}\text{C}, T93^{\circ}\text{C}$):
52.....	III.6. توزيع سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي:
52.....	III.7. توزيع درجة الحرارة داخل المجفف الشمسي:
53.....	III.8. الخاتمة:
54.....	الخاتمة العامة
56.....	الملحق أ
57.....	أ. 1. مراحل صنع غرفة المجفف الشمسي:
60.....	أ. 2. الأجهزة المستخدمة في القياس:
60.....	أ. 2. 1. جهاز قياس درجة الحرارة:
60.....	أ. 3. الأحوال الجوية التي تمت فيها التجربة:

فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
	الفصل الأول	
9	صورة للمجفف الشمسي المباشر	: (1.I)
10	صورة للمجفف الشمسي الغير مباشر	: (2.I)
11	مجففات الطاقة الشمسية المختلطة مع الدوران القسري	: (3.I)
12	الطاقة الشمسية الهجينة	: (4.I)
13	صورة ومبدأ عمل المجففات التقليدية	: (5.I)
13	نماذج للمجففات التقليدية	: (6.I)
14	صورة للمجفف الصناعي.	: (7.I)
16	مجففات النفق المتوازية	: (8.I)
16	مجففات النفق المتعكسة الجريان	: (9.I)
17	مجففات النفق المزدوجة	: (10.I)
17	مجففات الرذاذ	: (11.I)
19	رسم تخطيطي وبياني للمجفف شمسي مباشر مع الحمل الطبيعي	: (12.I)
19	رسم تخطيطي للمجفف مباشر مع الحمل الحراري القسري	: (13.I)
	الفصل الثاني	
31	رسم تخطيطي لانتقال الحرارة والكتلي أثناء التجفيف	: (1.II)
32	تبادل الحرارة والكتلي في شريحة داخل غرفة التجفيف	: (2.II)
33	مخطط يوضح حركية التجفيف	: (3.II)
36	منحنى التساوي الحراري للمادة المجففة	: (4.II)
38	تطور الهواء أثناء التجفيف	: (5.II)
	الفصل الثالث	
44	صورة اللاقط الشمسي المسطح.	: (1.III)
44	رسم تخطيطي يوضح غرفة التجفيف بعد صنعها	: (2.III)
45	صورة المروحة	: (3.III)
45	صورة الخلية الشمسية	: (4.III)
45	التركيب التجريبي للمجفف الشمسي الغير مباشر	: (5.III)
46	مخطط للمواضع التي تقاس الحرارة عندها	: (6.III)
47	غرفة المجفف الشمسي بالثقب 2D	: (7.III)
48	شبكة المجفف الشمسي	: (8.III)
48	رسم توضيحي للشبكة المجفف الشمسي ومواضع القياس	: (9.III)

- 49 : (10.III) منحنى يوضح توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند الموضع $y=1$ cm وفي الشروط الابتدائية $V=3\text{m/s}$, $T_1=93^\circ\text{C}$
- 49 : (11.III) منحنى يوضح توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند موضع $y=22$ cm وفي الشروط الابتدائية $V=3\text{m/s}$, $T_1=93^\circ\text{C}$
- 50 : (12.III) منحنى يوضح توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند الموضع $y=1$ cm وفي الشروط الابتدائية $T_1=99^\circ\text{C}$, $V=3\text{m/s}$
- 50 : (13.III) منحنى يوضح توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند الموضع $y=22$ cm وفي الشروط الابتدائية $V=3\text{m/s}$, $T=99^\circ\text{C}$
- 51 : (14.III) منحنى يوضح توزيع درجات الحرارة على محور الترتيب عند موضع $x=27.8\text{cm}$ وفي الشروط الابتدائية $V=3$, $T_1=93^\circ\text{C}$
- 51 : (15.III) منحنى يوضح توزيع درجات الحرارة على محور الترتيب عند موضع $x=27.8$ وفي الشروط الابتدائية $V=3\text{m/s}$, $T_1=99^\circ\text{C}$
- 52 : (16.III) رسم تخطيطي يوضح توزيع سرعة الهواء داخل المجفف الشمسي.
- 52 : (17.III) رسم تخطيطي يوضح توزيع درجات الحرارة داخل المجفف الشمسي
- 60 : (أ. 1) صورة الجهاز الرقمي لقياس درجة الحرارة موصول بنموذج الحراري

فهرس الجداول

الصفحة		رقم الجدول
	الفصل الأول	
15	يوضح عملية المقارنة بين المجففات الصناعية والمجففات الطبيعية	: (1.I)
	الملحق أ	
57	يوضح الأدوات المستعملة في صنع غرفة المجفف	: (1.أ)
58	يوضح مراحل صنع غرفة المجفف الشمسي	: (2.أ)

فهرس الرموز

الرموز اللاتينية:

الرمز	
A	مساحة السطحية المعرضة للتجفيف (m^2).
A_w	نشاط الماء في المنتج.
C	حجم تركيز الماء ($Kgeau/m^3$).
C	ثابت التعديل التجريبي.
C_p	الحرارة النوعية للهواء ($KJ/Kg.K$).
D	قطر أو الطول (m).
D_e	انتشار الماء في المنتج مراد تجفيفه (m^2/s).
D_s	معامل الانتشار الجزئي (m^2/s).
D_x	رطوبة المنتج في نهاية وبداية عملية التجفيف.
D_t	زمن التجفيف (s).
F_{ij}	عامل معقد يأخذ بعين الاعتبار الوضع النسبي للمرسل والمنتج.
G	تسارع الجاذبية (m/s^2).
G_r	عدد غير شوف.
H	معامل التجفيف بالحمل ($W/m^2.K$).
H_r	الرطوبة النسبية (%).
H_a	الرطوبة المطلقة (Kg_v/Kg_{as-1}).
H_{as}	رطوبة الهواء المشبع.
$h(T)$	المحتوى الحراري للهواء.
K	معامل النفاذية (m/s).
L	البعد الخطي المميز لسطح التبادل (m).
L	سمك المادة المعدنية (m).
L_v	الحرارة الكامنة لتبخير الماء (J/Kg).
M_h	كتلة الهواء الرطب (Kg).
M_A	كتلة الهواء الجافة (Kg).
M_v	كتلة بخار الماء (Kg).
P	ضغط الهواء الرطب (Pa).
P_v	ضغط بخار الماء (Pa).
P_a	ضغط الهواء الجاف (Pa).
P_s	ضغط بخار التشبع (Pa).
P_r	عدد براندل.

تباين الحمولة بوحدة الطول $(\text{Pa}/\text{m}^2\text{s}^{-2})$.	$\Delta p/\Delta x$
كمية الحرارة المحمولة بالحمل الحراري في وحدة الزمن (W) .	Q
تدفق الحرارة بالتوصيل (W) .	Q
كثافة تدفق المواد $(\text{kg}/\text{m}^2\text{s})$.	Q_m
سرعة التجفيف $(\text{Kgeau}/\text{m}^2\text{s})$.	R
عدد رينولدز.	R_e
معدل التجفيف الثابت (Kg/Kgh_r) .	R_c
سطح التبادل الحراري بالتوصيل (m^2) .	S
سطح التبادل بالحمل الحراري (m^2) .	S
سطح الجسم المتلقي لإشعاع (m^2) .	S_i
مساحة المادة المجففة (m^2) .	S
سطح الجسم المرسل لأشعة تحت الحمراء (m^2) .	S_j
درجة حرارة مصدر الانبعاث (K) .	T_i
درجة حرارة المنتج (K) .	T_j
درجة الحرارة داخل غرفة التجفيف (K) .	T_d
درجة حرارة المادة الغذائية (K) .	T_f
فرق بين درجة حرارة هواء التجفيف ودرجة حرارة سطح المنتج مراد تجفيفه (K) .	(T_a-T_s)
التدرج في درجة الحرارة بين الهواء الساخن والمنتج.	dT/dx
التغير في درجة الحرارة.	ΔT
السرعة (m/s) .	V
رطوبة المنتج في نهاية التجفيف $(\text{Kgeau}/\text{KgMe})$.	X_e
رطوبة المنتج في بداية التجفيف $(\text{Kgeau}/\text{KgMs})$.	X_s
محتوى الماء الجاف.	X_a
المحتوى المائي $(\%)$.	X_r
المحتوى الرطوبي الأولي $(\text{Kg}_a/\text{Kg}_s)$.	X_1
المحتوى الرطوبي الحرج $(\text{Kg}_a/\text{Kg}_s)$.	X_c
المحتوى الرطوبي النهائي $(\text{Kg}_a/\text{Kg}_s)$.	X_2
المحتوى الرطوبي عند زمن معين $(\text{Kg}_a/\text{Kg}_s)$.	X_t
المحتوى الرطوبي المراد الوصول إليه $(\text{Kg}_a/\text{Kg}_s)$.	X_f
الرطوبة المطلقة للهواء عند درجة T_2 .	X_2
الرطوبة المطلقة للهواء عند درجة T_a .	X_a
الرطوبة المطلقة للهواء عند درجة T_{2a} .	X_{2a}
الرطوبة المطلقة للهواء $(\text{g}/\text{Kg}_{\text{gas}})$.	X_i
معدل التدفق (m^3/s) .	ϕ_a

الرموز اليونانية:

الموصلية الحرارية للمنتج (W/m.K).	λ
الطاقة الحرارية الكامنة.	λ_e
انبعاثية المنتج.	ϵ_i
انبعاثية المرسل.	ϵ_j
المسامية.	ϵ
المسامية الفعالة.	ϵ_c
كفاءة التجفيف اليومية (%).	η_d
المردودية الكتلية (%).	η_m
كفاءة الطاقة للتجفيف.	η_r
كفاءة الحرارية للعملية.	η_{th}
معامل إتساع حجم السوائل (K^{-1}).	β_d
الكتلة الحجمية للسائل (Kg/m^3).	ρ
اللزوجة الديناميكية ($Kg/m.s$).	μ

المقدمة العامة

يعد موضوع الطاقة من أكثر المواضيع اهتماما من قبل الأكاديميين وذوي الاختصاص وصانعي القرارات السياسية والاقتصادية وذلك لأهميته الكبيرة في الحياة. لهذا السبب أصبح يهتم الجميع مهما اختلفت مواقعهم الاجتماعية والوظيفية. وقد برز الاهتمام الكبير لهذا الموضوع في العقود الماضية غير انه لم يتخذ طابعه الشمولي سوى خلال عقد السبعينيات وتحديدًا عشية التطورات التي شهدتها وضع الطاقة العالمي في أواخر عام 1973م. وقد تأكد للجميع عقب تلك التطورات أن مسألة الطاقة ليست مرتبطة بتغيير أسعار النفط أو الغاز بل إنها تتعلق بقدرة المخزون الاحتياطي من هذه المصادر [1].

تقول الأسطورة اليونانية أن بروميثوس أول من اكتشف سر النار وأعطاه للإنسان وجزاء لفعلته مزال مصلوبا في صخرة. ومنذ تلك الفترة والإنسان يسعى إلى طلب المزيد من النار من أجل تلبية حاجاته اليومية منها الطبخ والتدفئة والتسخين، إلا أنها تعتبر في الواقع مصدر للطاقة، ومع إدراك الإنسان السر الأول للطاقة وأهميتها في حياته اليومية تفتحت أمامه آفاق جديدة كانت تزيد من قدرته على تطوير المعطيات الطبيعية وتسخيرها لمصلحته واستخدامها في شتى المجالات.

وتتضح أهمية الطاقة منذ استعمال الإنسان للفحم الحجري بدلا من الأخشاب، كما تعتبر الدول التي تمتلك كميات كبيرة من مخزون الفحم من أقوى دول العالم بداية ببريطانيا والتي كانت تبني إمبراطورية شاسعة في هذا المجال. إلا انه في نفس تلك الفترة اكتشف النفط من قبل الولايات المتحدة الأمريكية والذي يتميز بعدة مزايا مقارنة بالفحم الحجري مما ساهم في صعود الولايات المتحدة كقوى عظمى في العالم. أما في القرون القليلة الماضية شهد الإنسان عصر الذرة الذي ساهم في صعود الاتحاد السوفيتي كقوى أخرى في العالم.

فالمقصود بمصادر الطاقة تلك المصادر التي تزود البشر بالجزء الأساسي والكبير من حاجياته اليومية من الطاقة، كما يمكن تقسيم مصادر الطاقة في العالم إلى ثلاث أقسام رئيسية وهي:

- مصادر الطاقة الاحفورية (الفحم، النفط، والغاز).
- مصادر الطاقة المائية والمقصود بذلك مصادر الطاقة الكهربائية في مساقط الأنهار.
- الطاقة النووية ويقصد بها محطات توليد الكهرباء باستعمال الحرارة الناتجة عن عمليات الانشطار النووي في المفاعلات النووية [2].

لقد تزايد الاهتمام بالطاقات البديلة غير المتجددة والمتجددة منها بسبب خاصية نضوب مورد النفط، وكذا الارتفاع الشديد لأسعاره في السوق العالمية من خلال حقبة القرن الواحد والعشرين. خاصة عند فترة الأزمة المالية 2007 وقد زاد الوضع تفاقما مع أزمة فوكوشима النووية والأزمات العربية الراهنة.

تقول النظرية الشائعة حول المصادر الاحفورية في تفسيرها أنها تكونت جميعها من تحلل للكائنات الحية في بيئة معدومة الهواء. وتشارك مصادر الطاقة الاحفورية في أنها تتكون جميعا من مواد هيدروكربونية إضافة إلى نسب مختلفة من شوائب الأخرى كالماء والكبريت والأكسجين والنتروجين وأكسيد الكربون، وتختلف نسب الكربون من مصدر إلى آخر وتتكون مصادر الطاقة الاحفورية من المواد التالية (الفحم، النفط، والغاز الطبيعي) [3]. بالرغم من العيوب التي تسببها هذه المصادر من أكبرها التلوث البيئي إلا أن لها العديد من المزايا وهي:

- مساهمتها في حل المشاكل السياسية والاقتصادية بين الدول.
- توفرها في الكثير من مناطق حول العالم.
- تحرر طاقة كبيرة بمقارنتها مع الطاقات الأخرى.
- تعتبر من الطاقات الآمنة نسبيا.

الطاقة المتجددة هي عبارة عن مصادر طبيعية دائمة وغير محدودة ومتوفرة باستمرار، وتعتبر من الطاقات النظيفة لا ينتج عن استخدامها أي تلوث بيئي. كما أن للطاقات المتجددة العديد من الأنواع منها

طاقة الرياح (الطاقة الهوائية) وتمثل الطاقة المتولدة من تحريك الألواح الكبيرة مثبتة بأماكن مرتفعة بفعل الهواء، ويتم إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح بواسطة التوربينات ذات ثلاث أذرع دوارة تحمل على عمود تعمل على تحويل الطاقة الحركية للهواء إلى طاقة كهربائية، فعندما يمر الهواء إلى الأذرع تخلق دفعة هواء ديناميكية تتسبب في دورانها وهذا الدوران يشغل التوربينات فتنتج طاقة كهربائية، كما أن للطاقة الهوائية العديد من الإيجابيات منها:

- طاقة مجانية لا تحتاج إلى الصيانة المستمرة.
- طاقة نظيفة لا ينتج عنها مواد ملوثة ولا ضارة للبيئة.
- تستخدم في ضخ المياه وطحن الحبوب في توليد الكهرباء.
- تستخدم في تسيير المراكب والسفن الشراعية.

أما بالنسبة للطاقة المائية فتأتي انطلاقاً من طاقة تدفق المياه أو سقوطها في حالة الشلالات، أو من تلاطم الأمواج في البحار، حيث تنشأ الأمواج نتيجة لحركة الرياح وفعلها على المياه البحار والمحيطات والبحيرات، وانطلاقاً من هذه الحركة تنشأ طاقة يمكن استغلالها وتحويلها إلى طاقة كهربائية. وتتميز هذه الطاقة عن غيرها من الطاقات الأخرى في عدة خصائص منها:

- طاقة مجانية ومتوفرة بكثرة.
- تعتبر من أرخص أنواع في توليد الكهرباء.
- طاقة نظيفة وغير ملوثة للبيئة.
- تستعمل في توليد الكهرباء لجميع أنواع الصناعات [4،5].

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم الطاقات المتجددة النظيفة التي لا تنضب مادامت الشمس موجودة، وهذه الطاقة يمكن تحويلها بطرق مباشرة أو غير مباشرة إلى حرارة أو برودة أو كهرباء. وقد كانت الطاقة الحرارية الشمسية معروفة منذ القدم في المناطق الحارة، كما إن الأبحاث والتجارب تقوم على محاولة استغلال الطاقة الشمسية في إنتاج الطاقة الكهربائية وفي التدفئة وتكييف الهواء وصهر المعادن وغيرها. والطاقة الشمسية تختلف حسب حركة الشمس وبعدها عن الأرض، كما أنها تصل إلى الأرض عبارة على ضوء أو إشعاع [6].

تعتبر الطاقة الشمسية من أكبر الموارد المتجددة، فالأرض تستلم يوميا من طاقة الشمس ما يساوي 15 ألف مرة من الطاقة التي ينتجها الإنسان من الأنواع كافة، ومع ذلك فإن جزءا صغيرا جدا فقط منها يحول لإنتاج طاقة مفيدة [7].

تقوم الشمس بإمداد الأرض بطاقة تزيد عن إجمالي احتياجات واستهلاك العالم لمدة عام، حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة 105 دقيقة تكفي احتياجات واستهلاك لمدة طويلة، وتعود معظم مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة على سطح الأرض إلى الإشعاعات الشمسية فجميع أنواع الطاقات الغير متجددة تكونت بسبب أشعة الشمس وما تبع ذلك من حرارة وضغط عبر فترات زمنية طويلة، بالإضافة إلى مصادر الطاقة الثانوية طاقة الرياح وطاقة الأمواج والطاقة الكهرومائية [8]. تتميز الطاقة الشمسية بخصائص عدة منها:

- متوفرة في جميع أنحاء العالم.
- توفر فرص عمل في مجالات الصناعية ذات النمو المستدام.
- تقليل من الاعتماد على موارد الطاقة .
- صديقة للبيئة مقارنة بالطاقات الأخرى.

تستخدم الطاقة الشمسية في تجفيف العديد من المنتجات الزراعية، حيث تحتوي المواد الغذائية على نسب مختلفة من الماء في الحالة الطازجة، كما إنه يمكن تعرض المواد ذات الرطوبة العالية إلى التلف بسبب نمو الأحياء المجهرية في المحاليل المائية، فعند إزالتها من هذه المواد تضمن إمكانية حفظها من التلف لمدة أطول ويطلق على هذه العملية بالتجفيف.

التجفيف هو إحدى الطرائق القديمة المستعملة بشكل واسع لحفظ الغذاء وقد استعمل منذ العصور القديمة من قبل البابليون والمصريون والرومان واليونانيين في حفظ بعض أنواع الفاكهة والخضر والمحاصيل الحبوبية، حيث يعمل التجفيف على منع نمو الأحياء المجهرية والبكتيريا وكذلك التخمر الذي يتسبب في تلف الأغذية [9،10].

التجفيف الشمسي الطبيعي من أقدم الطرق المستعملة في تجفيف الأغذية حيث يوضع المنتج على الأرض مع تقلبيه على فترات زمنية حتى يجف، إلا أن لهذه العملية العديد من السلبيات من أهمها تعرض المنتج إلى الحشرات والتقلبات الجوية لهذا السبب تم اختراع مجففات صناعية تعمل على حفظ الغذاء وتجفيفه بطريقة نظيفة وآمنة.

هنالك طرائق عدة للتجفيف منها التجفيف المباشر و الغير مباشر، تعمل إما بالحمل الطبيعي أو بالحمل القسري والتي تعتمد على حركة الهواء. وهذا ما دفع بالعلماء إلى إجراء العديد من الأبحاث التي تسمح بمقارنة النتائج النظرية والتجريبية كما أنها تصنف هذه الأبحاث بحسب مجال توزيع درجات الحرارة في مجفف شمسي ونوعية المواد المطلوبة للتجفيف [11].

لذلك سيدرس هذا الموضوع مقارنة النتائج التجريبية و النظرية في المجفف الشمسي الغير مباشر.

فهل تتوافق النتائج النظرية والتجريبية في المجفف الشمسي الغير مباشر الذي يعمل بالحمل القسري؟
كما تتضمن هذه المذكرة ثلاث فصول وهي:

• الفصل الأول:

تطرق هذا الفصل إلى دراسة عموميات حول المجففات الشمسية وتعريف بعض المفاهيم لها، كما تم التطرق إلى أهم أنواع المجففات الشمسية الساكنة والنشطة منها المباشرة و غير المباشرة والمختلطة مع ذكر فوائد وعيوب كل نوع، ويعرف أيضا مجففات مستعملة منذ القدم وهي مجففات الطبيعية والمجففات المتطورة والتي تدعى بالمجففات الصناعية، مع تعريف أنظمة التجفيف حسب طبيعة حركة الهواء (الحمل الطبيعي، الحمل القسري)، وتم إعطاء أهم الطرق والشروط اللازمة من أجل حصول على منتج له قيمة غذائية كبيرة، ويختم بكيفية تخزين الأغذية بعد تجفيفها.

• الفصل الثاني:

تطرق هذا الفصل إلى ذكر بعض العلاقات الرياضية حول المجففات الشمسية، بداية بالعوامل الأساسية التي تؤثر على هذه المجففات، كما يعرف أهم ظاهرتين فيزيائيتين تحدثان خلال عملية التجفيف وهما الانتقال الحراري ويكون إما بالتوصيل أو بالإشعاع أو بالحمل والذي بدوره ينقسم إلى طريقتين وهما الحمل الطبيعي و القسري، أما الظاهرة الثانية هي الانتقال الكتلي. كما يبين هذا الفصل أن للتجفيف سرعة وحركية مع ذكر مراحلها خطوة بخطوة، وتطرق أيضا إلى دراسة خواص المواد الصلبة و الزمن الكلي اللازم للتجفيف، ويختم هذا الفصل بكيفية حساب الكفاءة الجماعية و الطاقوية للتجفيف.

• الفصل الثالث:

سيدرس هذا الفصل المحاكاة العددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD والتجريبية لتوزيع درجات الحرارة في مجفف شمسي الغير مباشر (رأسي ذو تهوية) يعمل بالحمل القسري. كما يقارن بين أهم النتائج المتحصل عليها بداية برسم شبكة المجفف الشمسي ذو البعدين باستخدام برنامج FLUENT-CFD، مع تغيير مواضع قياس درجة الحرارة ومن ثم تحليل النتائج ومناقشتها.

تختتم هذه المذكرة بخاتمة عامة تقدم فيها حوصلة حول أهم النتائج المستخلصة من هذه الدراسة. وفي الأخير الملحق الذي يوضح أهم الأدوات المستعملة في صنع غرفة تجفيف مع خطوات التي مرت بها. كما يشير إلى الأجهزة المستعملة في قياس درجة الحرارة مع ذكر الظروف الجوية التي تمت فيها التجربة.

مراجع المقدمة العامة

- [1] د.سعود يوسف عياش، تكنولوجيا الطاقة البديلة، الكويت، عالم المعرفة، 1981.
- [2] J.T McMullan, , R. Morgan, R. B. Murray. Energy Resource and Supply John Wiley and Sons. London England 1976, PP, 66- 93, 342-344.
- [3] أمينة مخلفي،"النفط و الطاقات البديلة المتجددة وغير المتجددة"، جامعة القاصدي مرباح ورقلة، العدد09، 2011، ص221.
- [4] تقرير الطاقات المتجددة بين الواقع و التحديات على الصعيدين الوطني والاقليمي، "اجتماع اللجنة الفرعية لسوق الطاقة المتكاملة في الجمعية البرلمانية الأسيوية"، تركيا، 2009، ص5.
- [5] عبد الغني جغبالة، "أهمية الموارد الطاقوية في تحقيق التنمية المستدامة"، مذكرة ليسانس تخصص اقتصاد وتسيير بتزولي ورقلة 2011-2012، ص29-32.
- [6] فروحات حدة، الطاقات المتجددة كمدخل لتحقيق التنمية المستدامة في الجزائر دراسة لواقع مشروع تطبيق الطاقة الشمسية في الجنوب الكبير بالجزائر، مجلة الباحث، العدد 11، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2012، ص150.
- [7] إدوارد كاسيدي، بيتر غروسمان، ترجمة صباح صديق الدمولوجي، مدخل إلى الطاقة: المصادر و التكنولوجيا والمجتمع، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التكنولوجيا والمنظمة العربية للترجمة، توزيع مركز دراسات الوحدة العربية، 2011، ص60.
- [8] اقتصاديات الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، تقرير من إعداد مركز الدراسات والبحوث بالغرفة الشرقية، المملكة العربية السعودية، ص04.
- [9] شماني وفاء، أوسرير منور، مستقبل الطاقة الخضراء كبديل للطاقة الاحفورية في الجزائر، مجلة الاقتصاد الجديد، المجلد01، العدد14، جامعة الجلاي بونعامة خميس مليانة، الجزائر، 2016، ص32.
- [10] د.اسعد الرحمان الحلفي، قسم علوم الأغذية-كلية الزراعة-جامعة البصرة، المحاضرة الثامنة، صفحة01.
- [11] Kreider, Jan F. Kreith, Frank.- Solar Heating and Cooling, McGraw- Hill BookCompany, Second Edition, New York, 1982, p 479.

الفصل الأول

عموميات حول المجففات
الشمسية

1.1. المقدمة:

يستخدم التجفيف لإزالة الماء من الأغذية لمنع نشاط الأحياء المجهرية ولحفظ الغذاء مدة أطول، كما تساعد هذه العملية على تقليل من وزن وكثافة الغذاء لتسهيل عمليات النقل والتخزين [1]. يعتبر التجفيف الشمسي التقليدي من أكثر الطرق شيوعاً في حفظ المنتجات الزراعية في مناطق الاستوائية وشبه استوائية وهي طريقة غير مكلفة، حيث تتم هذه العملية بنشر الفواكه أو الخضروات على شكل طبقة واحدة على الأرض مع ترك مسافة بين كل قطعة ومن ثم يتم تعريضها إلى أشعة الشمس والرياح بصورة مباشرة. ويحدث في هذه الطريقة تلوث للأغذية بالغيبار والأتربة وبعض المواد الغريبة بسبب العديد من التأثيرات مثل العواصف والقوارض والأمطار [2،3،4].

التجفيف بالطاقة الشمسية هو عبارة على آلية لتحويل الطاقة الشمسية الساقطة إلى طاقة حرارية تساهم في رفع درجة حرارة المنتج داخل غرفة التجفيف وتبخّر رطوبته، وتتم هذه العملية بواسطة مجمعات شمسية ذات الحمل الطبيعي أو الحمل القسري سواء كانت مباشرة أو غير مباشرة [5]. وفي ظل العديد من المساوئ التي تسببها المجففات الشمسية تم اختراع مجففات صناعية تستعمل الطاقة الكهربائية من أجل التجفيف والتي تعطي منتجات مجففة ذات قيمة غذائية أفضل مقارنة بالمجففات الأخرى.

لذلك سيتناول هذا الفصل عموميات شاملة حول المجففات الشمسية مع ذكر أنواعها بسليباتها وإيجابياتها.

2.1. تعريف التجفيف:

التجفيف هو عبارة على عملية داخلية الهدف منها القضاء جزئياً أو كلياً على الماء الموجود في الجسم الرطب عن طريق تبخر هذا الماء، تنطوي هذه العملية على نقل للحرارة (إمداد حراري) ونقل للكتلة (السائل الموجود في المادة الصلبة يتحول إلى حالة بخار في هواء التجفيف) [6].

3.1. تصنيف المجففات الشمسية:

تصنف أنظمة التجفيف الشمسي تبعاً لأسلوب التسخين الهواء وكيفية الاستفادة من حرارة الشمس، وتنقسم أنظمة التجفيف الشمسي إلى مجموعتين: [7،8]

- أنظمة التجفيف بالطاقة الشمسية النشطة (تمثل أغلب المجففات الهجينة).
- أنظمة التجفيف بالطاقة الشمسية الساكنة (تدعى بأنظمة التجفيف ذات الحركة الطبيعية للهواء الساخن).

و بسبب الاختلاف الموجود بين الأنظمة النشطة والأنظمة الساكنة نميز ثلاث فئات فرعية لأنظمة التجفيف الشمسي والتي تختلف تماماً من ناحية تصميم مكونات النظام وطريقة استغلال أشعة الشمس وهي:

- المجففات الشمسية المباشرة.
- المجففات الشمسية الغير مباشرة.
- المجففات الشمسية المختلطة.

3.2. المجففات الشمسية المباشرة:

المجفف الشمسي المباشر ذو تجهيز بسيط وسهل، يتكون من جزء واحد يلعب دور مجمع الأشعة الشمسية وغرفة تجفيف في نفس الوقت، مغطى من الأعلى بطبقة من الزجاج تسمح بمرور الأشعة

الشمسية ومن الأسفل بصفيحة معدنية (غالبا ما تكون من الألمنيوم) مطلية بالأسود [9]، حيث تمتص الحرارة بواسطة أسطح المنتجات التي يتم تجفيفها ثم عبر الأسطح الداخلية لها، تؤدي الحرارة الممتصة إلى تسخين الهواء الداخل إلى المجفف نتيجة لحركة الهواء البارد ليدفع الهواء الساخن تحت تأثير فرق الكثافات إلى الأعلى حاملا معه بخار الماء الناتج عن التجفيف، ثم يخرج من الفتحات العلوية بالغرفة. فكلما كانت فتحات تصريف الهواء مرتفعة تكون حركة الهواء أكثر فاعلية نتيجة لزيادة قدرة السحب لوجود فرق بين الكتلة وعمود الهواء البارد خارج المجفف وعمود الساخن داخله [10]. كما هو موضح في الشكل (1.I):



الشكل (1.I): صورة للمجفف الشمسي المباشر [11،12].

I. 3. 1. 1. سلبيات المجففات الشمسية المباشرة:

للمجففات الشمسية المباشرة عددا من سلبيات ومساوي نذكر منها: [9،13،14]

- ارتفاع درجات الحرارة في نهاية التجفيف.
- القضاء على الفيتامينات A وC بأشعة الشمس فوق البنفسجية.
- تغير لون الخضروات إلى اللون الأصفر.
- انخفاض دوران الهواء الذي يتسبب في تباطؤ سرعة التجفيف.

I. 3. 1. 2. إيجابيات المجففات الشمسية المباشرة:

- حماية أفضل من الغبار والحشرات والبكتيريا مقارنة مع التجفيف الطبيعي.
- لا تحتاج هذه المجففات إلى اليد العاملة والماهرة.
- قصر مدة التجفيف بالمقارنة بالمجففات الطبيعية.
- سهولة تركيبها وغير مكلفة كثيرا.
- طاقة مجانية عكس المجففات الصناعية.

I. 3. 2. المجففات الشمسية الغير مباشرة:

هذا النوع من المجففات يتكون من جزئين مجمع الأشعة الشمسية مغطى من الأعلى بطبقة من الزجاج، ومن الأسفل بصفحة معدنية مطلية بالأسود تسمح بتزويد غرفة التجفيف بالحرارة اللازمة للتجفيف. حيث يسخن الهواء بواسطة المجمع الشمسي ويدفع إلى غرفة التجفيف ومنها إلى الجو حاملا معه جزءا من رطوبة المادة [10]. كما هو موضح في الشكل (2.I):



الشكل (2.I): صورة للمجفف الشمسي الغير مباشر [15].

I. 3. 2. 1. سلبيات المجففات الشمسية الغير مباشرة:

- بالرغم من ايجابيات المجففات غير المباشرة إلا انه لها بعض السلبيات نذكر منها: [13,14]
- تكلفتها المادية كبيرة مقارنة بالتجفيف المباشر.
 - سرعة الجفاف متذبذبة جدا وفقا للحالة الجو وتصميم المجفف.
 - ضعف مقاومة هذا النوع من المجففات للزجاج وهذا ما يحتم تبديلها دوريا.

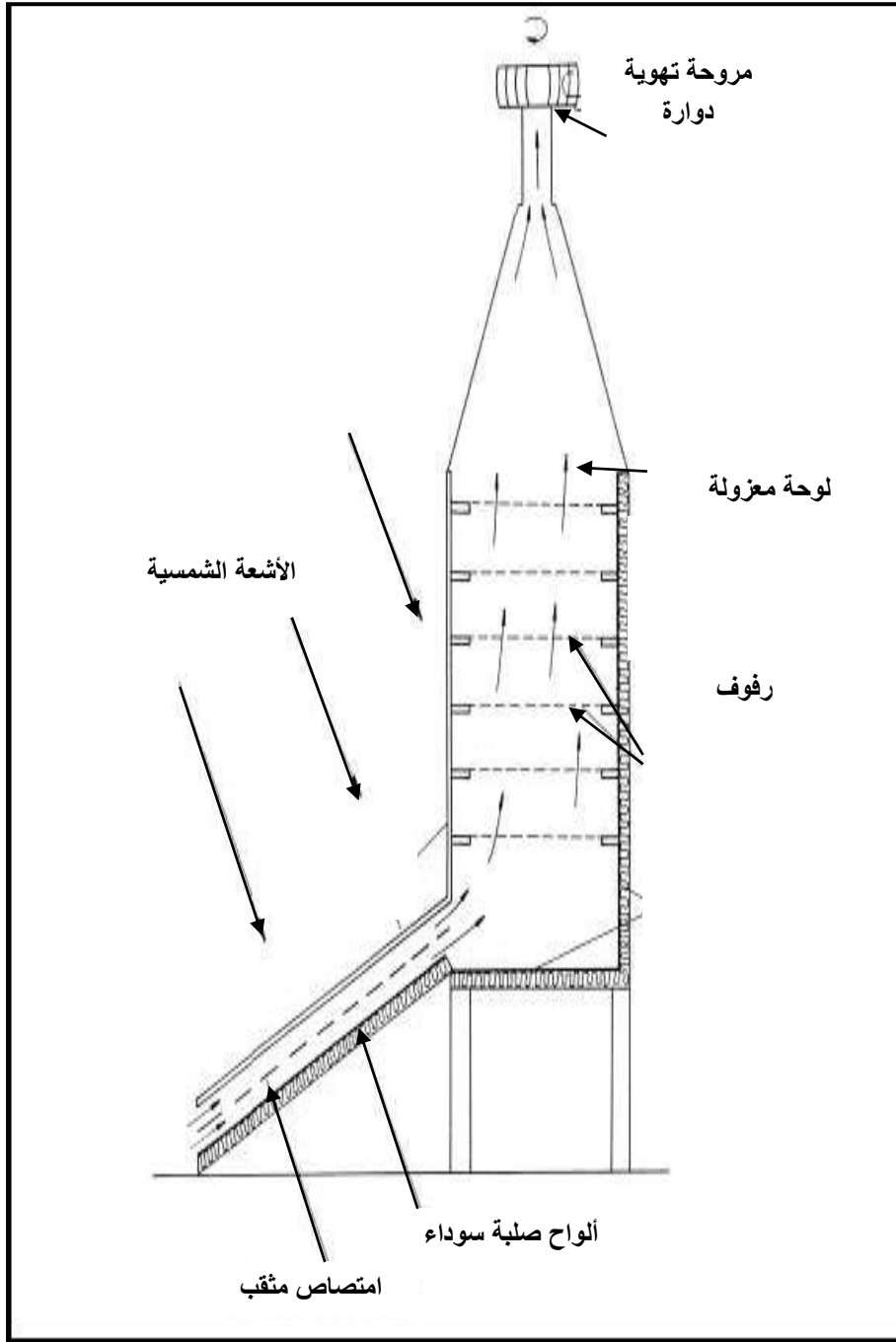
I. 3. 2. 2. إيجابيات المجففات الشمسية الغير المباشرة:

تعتبر المجففات الغير مباشرة من الأنواع التي لها عدة مزايا من ناحية التركيب وسير عملية التجفيف نذكر منها:

- لا يتم تعريض المنتج مباشرة إلى أشعة الشمس.
- حفاظ على جودة ولون المنتج المجفف وقيمتة الغذائية.
- محدودة درجة الحرارة (55 درجة مئوية).

I.3.3. تعريف المجففات الشمسية المختلطة (متعددة الأنظمة):

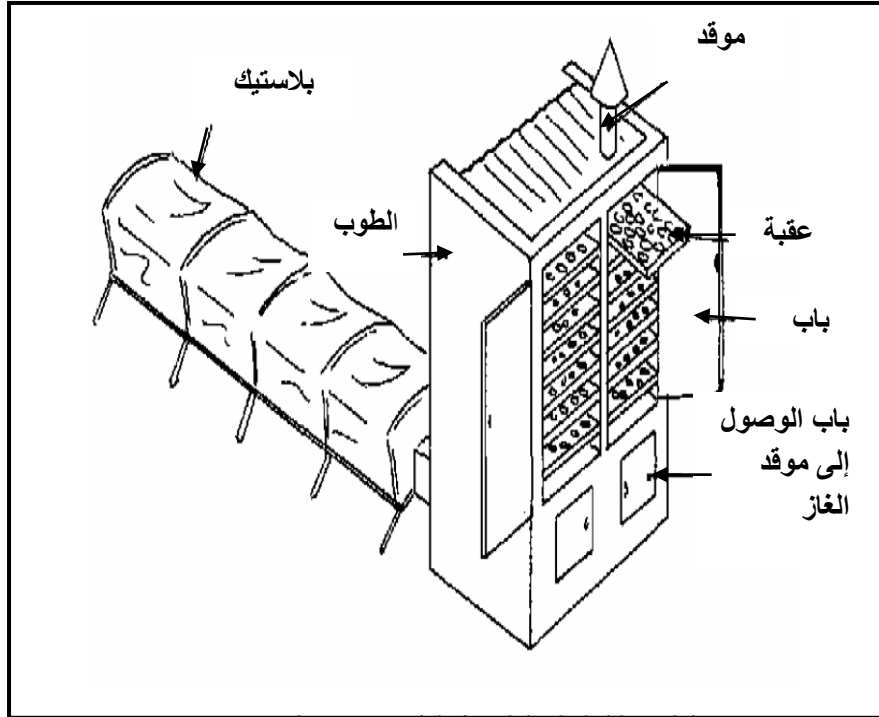
هذا التركيب عبارة عن مجفف مباشر وغير مباشر في نفس الوقت، فالهواء يسخن بواسطة المجمع الشمسي وعندما يدخل غرفة التجفيف تزداد سخونته فهو يساعد في رفع درجة الهواء بالنسبة للمجفف الغير مباشر [9]، لهذه المجففات نفس تركيبة المجففات الغير مباشرة (مجمع شمسي، غرفة التجفيف، مدخنة) [16]. ولكن لها نفس سليات المجففات المباشرة لتعرض المنتج إلى الإشعاعات الشمسية المباشرة والتي تؤثر على القيمة الغذائية [9]. كما هو موضح في الشكل (3.I):



الشكل (3.I) : مجففات الطاقة الشمسية المختلطة مع الدوران
القسري [14،13].

I. 3. 4. تعريف المجففات الشمسية الهجينة:

- تستخدم أنظمة التجفيف النشطة (الهجينة) أنظمة تسخين الطاقة الشمسية أو الكهربائية أو الوقود الأحفوري والمراوح أو المضخات بمحركات لتدوير الهواء، مدخلات الطاقة الإضافية يمكن إن تكون:
- الطاقة الإضافية تساعد في الحفاظ على درجة الحرارة ثابتة داخل المجفف مهما كانت الظروف الجوية فتصبح الطاقة الشمسية ثانوية فهي تتيح تسخين الهواء.
 - تضمن المروحة دوران الهواء داخل المجفف. وتظل الطاقة الشمسية المصدر الوحيد للحرارة ولكن للمجفف قدرة تبخر أكبر بفضل مهم لتحسين التهوية [13،14].



الشكل (4.I): الطاقة الشمسية الهجينة مجفف الغاز [17].

I. 3. 4. 1. سلبيات المجففات الشمسية الهجينة:

- ولكن لهذه المجففات عديد من السلبيات في التركيب وتسيير منها: [9]
- تكلفة الإنتاج والاستثمار مرتفعة جدا.
 - الحاجة إلى تزويد المحلي بالوقود والكهرباء.
 - اليد العاملة مؤهلة للصيانة.

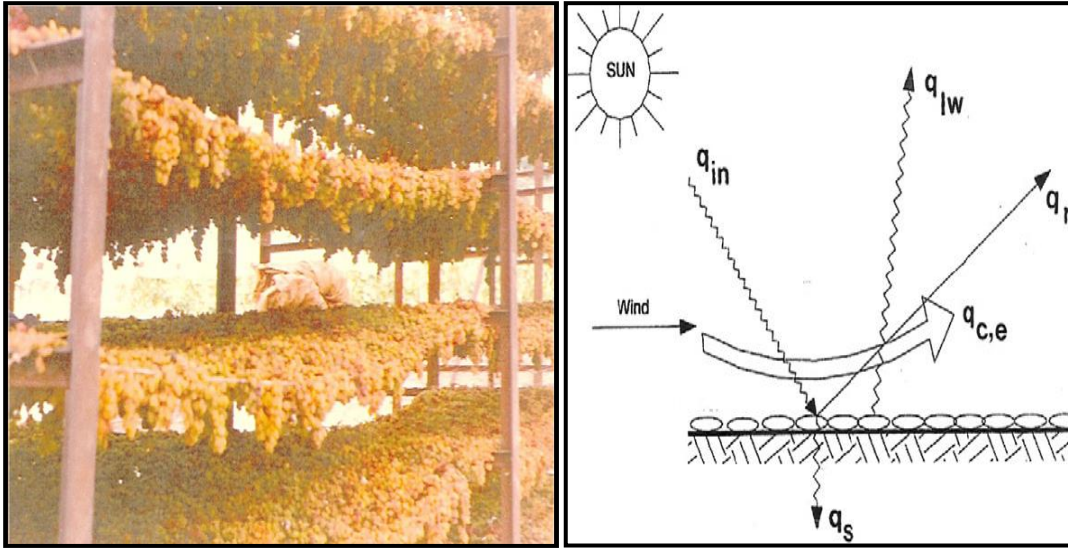
I. 3. 4. 2. إيجابيات المجففات الشمسية الهجينة:

- لهذا نوع من المجففات العديداً من الفوائد مقارنة بالمجففات الأخرى:
- زيادة نسبة إنتاج مقارنة بالمجفف الشمسي.
 - استهلاك منخفض للطاقة مقارنة بالمجفف الصناعي.
 - التحكم الجيد في درجة الحرارة وسرعة التجفيف داخل المجفف.

I.4. أهم الطرق الشائعة في التجفيف:

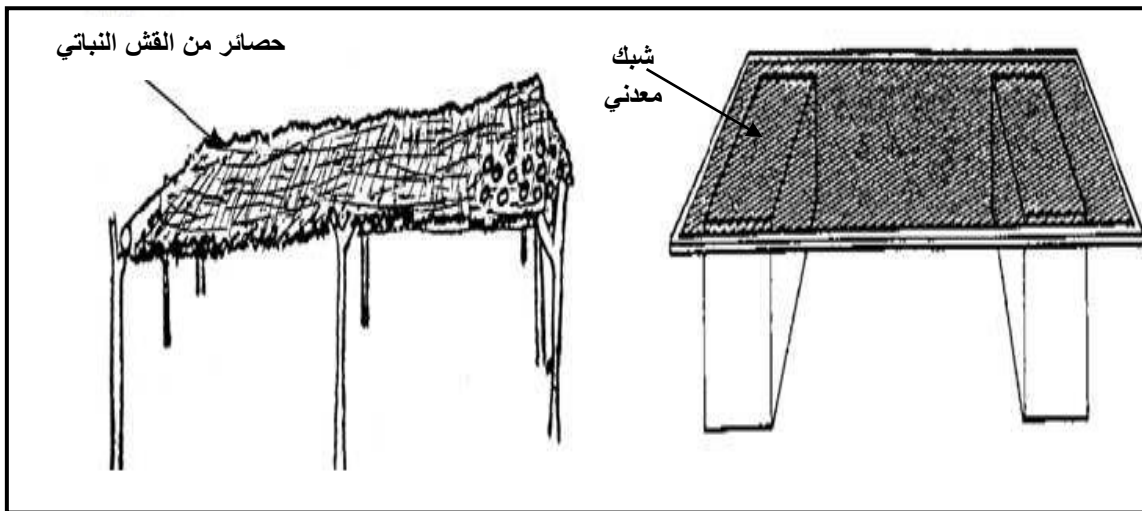
I.4.1. مجففات الشمسية الطبيعية (مجففات الهواء الطلق):

تعتبر المجففات الشمسية الطبيعية من أقدم الطرق المستعملة في حفظ الغذاء. ولا زالت تستخدم حتى الآن في تجفيف العنب والشمش وغيرها من المحاصيل الزراعية، حيث تحتاج لوضع الثمار في الشمس على ألواح وتركها لتجف. ولكن نمو الكائنات الدقيقة وعدم ارتفاع درجة الحرارة بالدرجة الكافية يحد من استخدام هذه المجففات، وذلك لإمكانية حدوث فساد أو تلف وتعرض الثمار للرياح والطيور وبعض التغيرات الكيميائية المؤثرة على لون ونكهة المنتج [18]. كما يوضح الشكل (5.I):



الشكل (5.I) : صورة و مبدأ عمل مجففات التقليدية [19].

يمكن عمل مجففات بسيطة تقليدية باستخدام شبك معدني أو حصائر من القش النباتي محملة على مكعبات حجرية أو أعمدة خشبية، من أجل مرور الهواء فوق وتحت المحصول مما يسمح بزيادة سرعة التجفيف. مع فحص المحصول يوميا على فترات زمنية مختلفة و مراعاة نقله إلى مكان مغلق أو تحت سقف إذا حدثت أمطار كما يمثل الشكل بعض التصاميم للمجففات التقليدية [9].



الشكل (6.I) : نماذج لمجففات التقليدية.

I. 4. 1. 1. سلبيات المجففات الشمسية الطبيعية (مجففات الهواء الطلق):

- للمجففات الشمسية الطبيعية العديد من العيوب والسلبيات نذكر منها: [18]
- تلوث المحاصيل بالأتربة وملوثات الجو.
- مهاجمة الطيور والقوارض والحشرات.
- درجة حرارة الشمس المباشرة لا تكفي للقضاء على كل الكائنات الدقيقة.
- بطء عملية التجفيف وذلك لتعرض المباشر لأشعة الشمس.

I. 4. 1. 2. إيجابيات المجففات الشمسية الطبيعية (مجففات الهواء الطلق):

- تتميز المجففات الطبيعية بعدة مزايا نذكر منها: [17]
- لا يتطلب معدات أو العمالة الماهرة.
- مصدر مجاني وغير ملوث للطاقة الشمسية.
- لا توجد أي نفقات للطاقة.
- تجفيف لطيف بفضل التناوب ليلا ونهارا.
- تغيير اللون قليلا.
- عملية بسيطة وغير مكلفة.

I. 4. 2. المجففات الصناعية:

في هذا النوع من المجففات يتم ملامسة الهواء الساخن مع الماد الرطبة لتسهيل انتقال الحرارة [20]. حيث يوضع المحصول فوق أرضية مثقوبة للسماح بمرور الهواء الساخن من خلالها [9]، كما تعطي هذه المجففات منتجات ذات نوعية أفضل وبذلك تعتبر الطريقة الأكثر شيوعا. فهي تمنح قدرا اكبر من المرونة مقارنة بالتجفيف التقليدي والمجففات الأخرى. وبالرغم من توافر العديد من المجففات الصناعية في السوق إلا أنها تشترك جميعها على مصدر للحرارة، ومنظم للحرارة، ونظام لتدفق الهواء [21].



الشكل (7.I) : صورة للمجفف صناعي [20].

I.4.2.1. سلبيات المجففات الصناعية:

- للمجففات الصناعية كثير من سلبيات مقارنة بالمجففات الطبيعية: [9]
- التكلفة العالية لاعتمادها على تسخين الهواء انطلاقاً من طاقة كهربائية.
- بعد مناطق الريفية على شبكات الكهرباء.

I.4.2.2. إيجابيات المجففات الصناعية:

- بالرغم من عيوبها إلا إن لها العديد من الإيجابيات:
 - إمكانية استمرارية عملية تجفيف ليلاً لأنها لا تحتاج إلى شمس من أجل التجفيف.
 - إعطاء منتجات مجففة خالية من كل الملوثات.
 - التحكم الجيد في سير عملية التجفيف.
 - الحفاظ على المنتج من عوامل التلوث.
 - التجفيف السريع بالمقارنة مع المجففات الشمسية.
- كما يوضح الجدول أهم الاختلافات بين المجففات الصناعية والمجففات الطبيعية.
- الجدول (1.I):** يوضح عملية المقارنة بين المجففات الصناعية والمجففات الطبيعية [18].

أساس المقارنة	نظام المجففات الطبيعية	نظام المجففات الصناعية
مصدر الحرارة	الشمس	مصدر حراري صناعي
المساحة	مساحات كبيرة	لا يحتاج مساحات كبيرة
المدة	مدة زمنية طويلة	مدة زمنية قصيرة
اليد العاملة	يحتاج يد عاملة كثيرة	اليد العاملة قليلة
التكلفة	تكلفة المنخفضة	تكلفة مرتفعة
العوامل الجوية	تعرض المنتج إلى الأتربة	لا يتعرض المنتج إلى الأتربة

I. 4. 3. أنواع المجففات الصناعية:

هناك العديد من أنواع المجففات الصناعية نذكر منها:

I. 4. 3. 1. مجففات الأنفاق:

في هذه الطريقة يستبدل الإشعاع الشمسي بالهواء الساخن الجاف المتقدم بسرعة كبيرة في كل اتجاهات مختلفة حول المادة المراد تجفيفها المحملة على ألواح خاصة داخل النفق، ويتم التحكم في درجة حرارة الهواء وسرعته ورطوبته النسبية حسب متطلبات التجفيف وتستغرق العملية حوالي 6-8 ساعات، ويكون زمن التجفيف القصير في هذه الحالة لا يعطي أي فرصة لحدوث فقد كبير في قيمة الغذائية، بالمقارنة مع التجفيف الشمسي. كما أنه يمكن تصنيف مجففات الأنفاق حسب اتجاه حركة الهواء نذكر منها:

• مجففات النفق المتوازية:

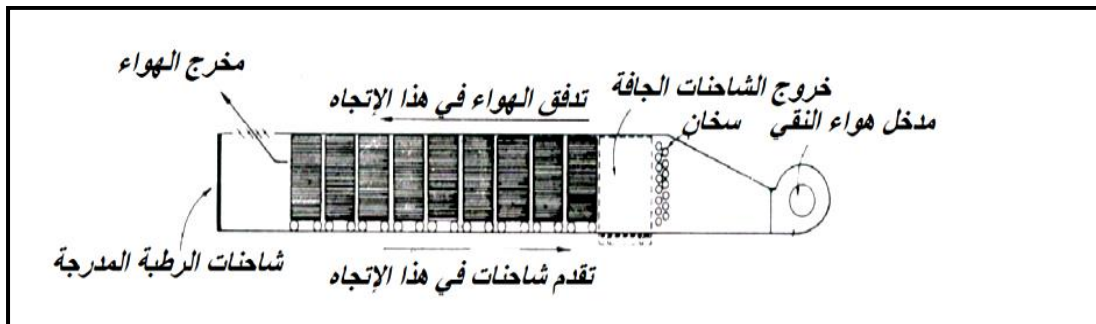
من مميزات هذه المجففات أن الهواء والغذاء يدخل من نفس الجانب ويخرج من الجانب الآخر، مع وجود تلامس بين الغذاء والهواء الساخن لاستكمال عملية التجفيف. كما هو موضح الشكل (8.I):



الشكل (8.I) : مجففات النفق المتوازية.

• مجففات النفق المتعكسة الجريان:

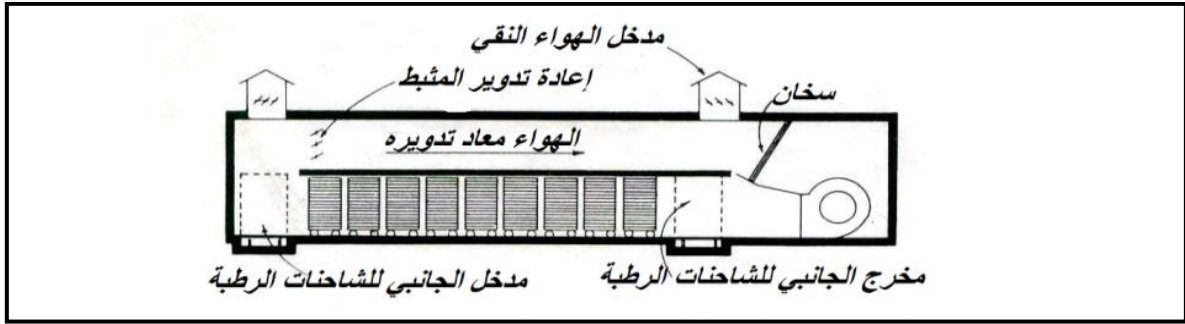
يدخل الهواء في هذه المجففات من جانب والغذاء من الجانب المعاكس، وخلال عملية التجفيف يتحرك الغذاء والهواء بدرجة حرارة تتراوح بين 37.8-48.9 مئوي في بداية التجفيف ثم ينتهي بدرجات حرارة أعلى بحدود 65.6-76.7 مئوي قرب النهاية في خط التجفيف. من مميزات هذا النوع كفاءته العالية في التجفيف، ولكن إذا لم تراعى السيطرة على هذه العملية فإنه يؤدي إلى الحرق المراد تجفيفها. كما يوضح الشكل (9.I):



الشكل (9.I) : مجففات النفق المتعكسة الجريان.

• مجففات النفق المزدوجة:

تعتمد هذه المجففات على مزج المتوازي (تسري المادة المجففة والهواء في نفس الاتجاه) مع المتعاكس (تسري المادة المجففة والهواء عكس الاتجاه) أو المتعاكس مع المتوازي في عملية التجفيف واحدة، ففي التجفيف المتوازي/ المتعاكس الشائع الاستعمال تتم الاستفادة من السرعة العالية للتجفيف في البداية بواسطة المتوازي ومن ثم ضمان الحصول على غذاء جاف من الجانب الآخر بواسطة المتعاكس. كما هو موضح في الشكل (10.I):



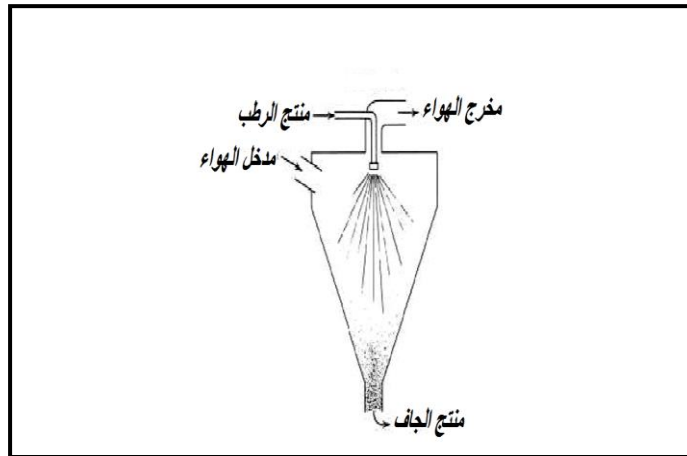
الشكل (10.I): مجففات النفق المزدوجة.

I. 4. 3. 2. مجففات الرذاذ:

تستعمل هذه الطريقة في تجفيف الأغذية السائلة مثل اللبن والشاي، حيث ترش المادة المراد تجفيفها على هيئة رذاذ بقرب من بعضها البعض مع الهواء الساخن ذي السرعة العالية داخل غرفة التجفيف حيث تتعرض أجزاء المادة الغذائية إلى الهواء الساخن فيتم التبادل الحراري بين أجزاء المادة الغذائية والهواء الساخن مؤدياً إلى تبخر الماء ومن ثم يرتفع إلى الأعلى حيث ينقل مع الهواء الساخن إلى الخارج وذلك بواسطة أجهزة خاصة موضوعة فيها لإزالة الأبخرة وتستغرق هذه العملية ثواني قليلة مما يؤدي إلى قلة

الفقد في العناصر الغذائية. وللمجففات الرذاذ ثلاثة أنواع:

- المجففات الأفقية ذات التيار المستقيم.
- المجففات العمودية ذات التيار المستقيم.
- المجففات ذات التيار الدوار.



الشكل (11.I) : مجففات الرذاذ.

I. 4. 3. المجففات الأسطوانية:

تستخدم هذه المجففات مع المواد التي يصعب دفعها بالرداذ مثل البطاطس المهروسة وغيرها، وتتم هذه العملية بسكب الغذاء على السطح الخارجي للأسطوانة الدوارة والبطيئة ويجفف الغذاء بدورة واحدة فقط بعدها يشفط الغذاء المجفف بواسطة سكين خاصة تسمى blade docter.

تسخن الأسطوانة بواسطة بخار من الداخل ويمتاز سطحها الخارجي بالسرعة في التوصيل الحراري. كما تستغرق عملية التجفيف 2-3 دقائق تقريبا. ومن مزايا هذه المجففات تكلفتها المنخفضة مقارنة بالتجفيف بالرداذ، إلا إن الفقد في عناصر الغذائية يكون كبير ولكنه يظل اقل من الفقد الذي ينجر عن التجفيف الشمسي أو التجفيف بالنفق. توجد نوعين من المجففات الاسطوانة وهي:

- المجففة الأسطوانية المنفردة.
- المجففة الأسطوانية المزدوجة.

I. 4. 3. 4. مجففات الضغط المنخفض:

تتميز هذه نوعية من المجففات بإعطاء منتجات غذائية مجففة ذات جودة أفضل، وبسبب تكلفتها الكبيرة تستعمل فقط لأغذية التي تكون أسعارها مرتفعة، إما سرعة ورطوبة المادة مراد تجفيفها فتحدد بمقدار التفرغ ودرجة الحرارة الموجودة داخل المجفف، وتنقسم مجففات الضغط المنخفض إلى ثلاث أنواع:

- مجففات الرفوف المفرغة.
- مجففات الحزام المستمر المفرغة.
- مجففات النقش المفرغة.

I. 4. 3. 5. مجففات تستعمل الطاقة الناتجة عن الموجات القصيرة:

يكمن مبدأ عمل هذا النوع من المجففات على جزئيات الماء وما تحمله من شحنة. يمكن اعتبارها مثل المغناطيس الذي يتميز بقطبين متعاكسين، حيث تنتشر هذه الموجات داخل الغذاء سواء كان جافا أو رطبا، فعند تغلغلها الغذاء فإنها تخلق مجالاً كهربائياً داخله مما يؤدي إلى تحرك جزئيات الماء بسرعة في اتجاه المتعاكس لشحنة المجال الكهربائي المتولد، وكلما تحركت جزئيات الماء بسرعة كبيرة نتج عنها طاقة تؤدي إلى رفع درجة حرارة الغذاء، فعند وجود تيار من الهواء الذي يعمل على تبخر جزئيات الماء التي تساهم في جعل الغذاء أخف [18، 22].

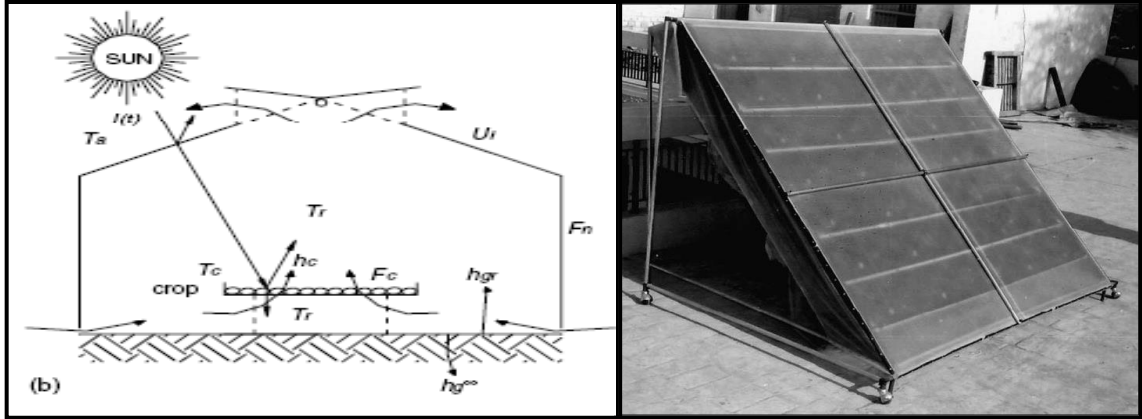
I. 5. أنظمة تدفق الهواء في مجففات الشمسية:

تصنف مجففات الشمسية اعتمادا على طريقة تدوير الهواء مثل مجففات الحمل الطبيعي ومجففات دوران الحمل القسري.

I. 5. 1. مجففات الحمل الطبيعي (مجففات السلبية):

وتعتمد حركة الهواء الساخن ضمن غرفة التجفيف على الحمل الطبيعي بمعنى آخر يسخن الهواء فتتخفف كثافته فيتحرك نحو الأعلى مجففا المنتجات المراد تجفيفها وعندما يمتص منها رطوبتها ويبرد يتم طرده إلى الوسط الخارجي [23] من خلال المدخنة. ولهذه المجففات عيوب منها خطر تجاوز الحد

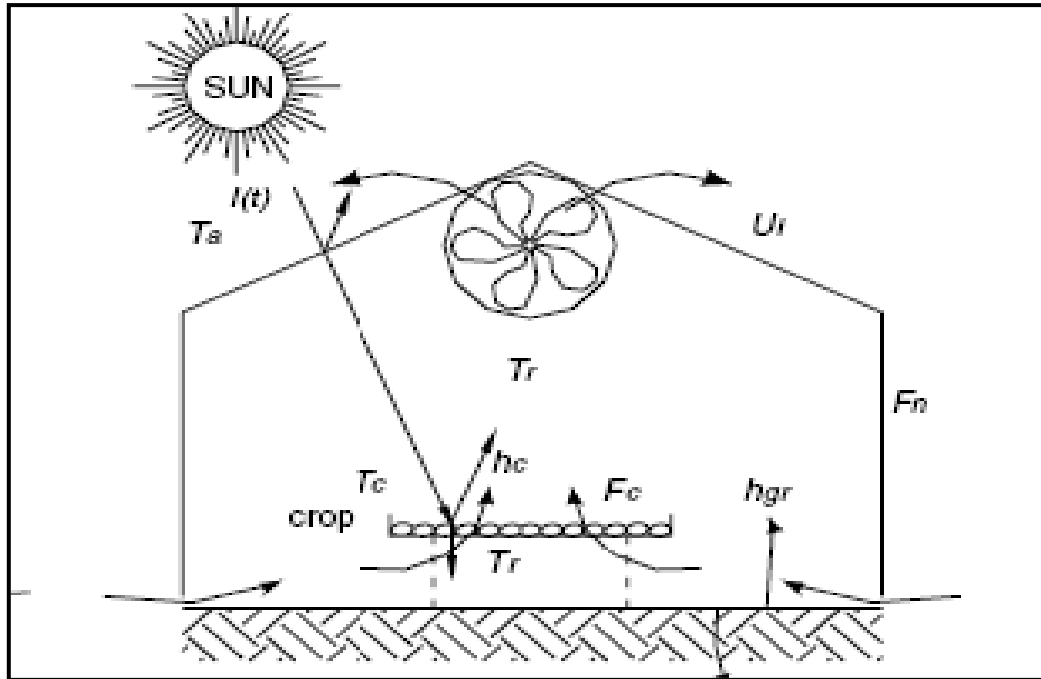
الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بها من قبل المنتج في الكثير من الأحيان بسبب ضعف دوران الهواء شائع في هذه المجففات [17].



الشكل (12.I): رسم تخطيطي وبياني للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل الطبيعي [24،25].

I. 2.5. مجففات الحمل القسري (مجففات النشطة):

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 وسرعته المطلوبة [23]، وتسمح هذه الفئة من المجففات الشمسية بالتحكم الجيد في عملية التجفيف وذلك بسبب سرعة واستمرارية الهواء الساخن. ولهذا النوع من المجففات عيوب كغيره من المجففات منها تكلفته العالية بالنسبة لإنتاج والاستثمار مقارنة بالمجففات الحمل الطبيعي، كما يتطلب الإمدادات المحلية من الكهرباء التقليدية أو نظام الضوئية لتشغيل المروحة [17]. ويمكن اعتبار هذا الصنف من المجففات الهجينة لاستعماله مصدر آخر للطاقة غير الطاقة الشمسية [9].



الشكل (13.I): رسم تخطيطي للمجفف مباشر مع الحمل الحراري القسري [25].

6.I. طرق العناية بالمحاصيل والأغذية المجففة:

يمكن حفظ الأغذية المجففة في مكان التجفيف لفترة قبل تسليمها للمصنع الذي يقوم بتصنيعها أو يتم تخزينها لحين طلبها، وأثناء فترة حفظ هذه الأغذية المجففة يجب العناية بها للمحافظة على جودتها، وتمر عملية العناية بالأغذية بثلاث خطوات وهي:

• التبخر:

في فترة تخزين الأغذية المجففة حتى تصنيعها يجب تبخيرها لفترات زمنية متتالية للقضاء على الإصابة الحشرية حيث يستخدم بروميد الميثيل في صناعة الفاكهة المجففة كمادة تبخير، كذلك توجد مواد تبخير أخرى استخدمت في تبخير الأغذية المجففة، وتتم عملية التبخير كل مرة في الشهر أو أكثر حسب درجة حرارة تخزين الأغذية المجففة.

• الاستلام:

يتم اخذ الأغذية المجففة من مصانع التجفيف إلى مصانع التصنيع حيث توزن العينات لتحديد درجة الجودة ونسبة الرطوبة في المنتج.

• التخزين بعد التصنيع:

يمكن إن تخزين الأغذية المجففة لعدة شهور قبل التصنيع، في هذه فترة يجب اتخاذ بعض الخطوات لاستبعاد التلف الذي يتسبب في تعفن المنتجات الغذائية وذلك بخفض درجة حرارة تخزين الأغذية المجففة [26].

7.I. الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف:

- من أجل الحصول على منتج ذو قيمة غذائية أفضل يجب تحقق بعض الشروط منها: [27]
- تجنب التبييض المفرط.
- يجب أن تتم عملية التجفيف في أقصر مدة زمنية دون زيادة في درجة حرارة.
- عدم وضع كميات كبيرة من مادة مراد تجفيفها داخل مجفف.
- وضع قطع غذاء على صواني تجفيف مع ترك مسافة بين كل قطعة.
- محافظة على تدفق جيد للهواء في مجفف.
- إجراء عملية تجفيف عندما تكون الرطوبة النسبية للهواء منخفضة.
- فحص غذاء في كل فترة لتأكد من أنه جف.
- تخزين المواد التي تم تجفيفها في علب لا تسمح بوصول الرطوبة أو أكسجين إلى داخل.
- يتم وضع غذاء مجفف في مكان بارد، جاف، مظلم.

8.I. تخزين الأغذية المجففة:

- تعتمد فترة التخزين غذاء بعد انتهاء من عملية التجفيف على عديد من شروط منها: [28]
- نوع الغذاء.
- عوامل ذات علاقة بعملية التجفيف.
- طريقة التعبئة و تغليف الغذاء.
- مكان التخزين.

9.I. مجالات استخدام التجفيف:

- إذا كانت عملية التجفيف تستهلك الكثير من الطاقة فتعتبر هذه العملية متورطة في العديد من الصناعات، ففي الكثير من الأحيان ما تلامس المنتجات المعنية دورا وثيقا في الحياة اليومية، ويمكن إجراء اختيار عملية التجفيف لأسباب مختلفة:
- الحفاظ على المنتج الرطب الضعيف.
 - يجب إزالة السائل لاستمرارية عملية التجفيف.
 - يكتسب المنتج ملمسا وبنية نهائية جيدة جراء إزالة الماء.
 - أغلب المنتجات التي نستهلكها تخضع إلى عملية التجفيف على سبيل مثال نذكر منها:
 - صناعة الغذاء مثل اللحوم المدخنة، الجبن، الخضروات.
 - صناعة اللب والورق ففي هذا النوع من الصناعة يتم الحصول على الورق عن طريق التجفيف اللب إلى بكرات دوارة ساخنة.
 - صناعة الخشب الذي يحتوي درجة حرارة عالية من الرطوبة خلال قطعه.
 - مواد البناء وصناعة السيراميك مثل الطوب، البلاط.
 - التكنولوجيا الحيوية وصناعة الأدوية [20].

10.I. الخاتمة:

تم في هذا الفصل تعريف بعض المفاهيم حول المجففات الشمسية مع ذكر أنواعها على حسب تصنيف منها النشطة و الساكنة. فتنقسم مجففات الساكنة إلى ثلاث أقسام معروفة وهي مباشرة وغير مباشرة والمختلطة مع مميزاتا و عيوبها، كما تطرق إلى تعريف المجففات الشمسية التقليدية التي يستعملها الإنسان لليوم بالرغم من التطورات التي يشهدها العصر خاصة في مناطق النائية، وبسبب تعرض المواد المجففة إلى الكثير من مخاطر تم اختراع مجففات صناعية تتميز بالسرعة العالية في التجفيف ونظافة المواد. ويعرف هذا الفصل أيضا أنظمة تدفق هواء داخل المجففات إلى نوعين أساسيين هما الحمل الطبيعي والحمل القسري، كما تم ذكر أهم الطرق من أجل العناية بالمحاصيل المجففة مع شروط اللازمة للحصول على غذاء مجفف ذو قيمة غذائية مرتفعة. وفي أخير يوضح تدخل التجفيف في عديد من الأغذية التي نستهلكها يوميا.

مراجع الفصل الأول

- [1] I. T. D. C. (2004). <http://www.mdg.org>.
- [2] K. Lutz, W. Muhlbauer, J. Muller & G. Reisinger . Solar Wind Technology.4: 17-24(1987).
- [3] M. A. Basunia& T. Abe. J. of Food Eng., Great Britain, V.47,pp.295-301.(2001).
- [4] S. Aboul-Enein, M. R. A. Ramadan & H. G. El-Gohary. Energy conversion&Mangment 43:2251-2266. (2002).
- [5] O. V. Ekedukuwa , & B. Norton. Review of solar energy drying system II .An over view of solar drying technology – energy conservation and management . 3 , pp. 615-655 . (1999).
- [6] J.P Nadeau , J.R.Puiggali, Séchage: des processus physiques aux procédés industriels. Tec & Doc- Lavoisier, 1995.
- [7] Atul Sharma, C.R.Chen and Nguyen Vu Lan. Solar Energy Drying System: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13 (6/7), 1185-1210, 2009.
- [8] بن صديق عبد الوهاب، أهمية التجفيف بالطاقة الشمسية للمنتجات الزراعية في التنمية الاقتصادية للجزائر، نشرة الطاقة المتجددة، مركز تنمية الطاقات المتجددة، مطبعة النخلة، العاشور، الجزائر، 2016، ص03
- [9] عاتي مختار، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2011، ص 39-45.
- [10] إبراهيم حسن إدريس آدم، النزير عثمان الطيب، تصميم مجفف شمسي خشبي يعمل بالخلايا الشمسية، بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، 2016م، ص10.
- [11] Sebbgh KHadidja, CHERfaoui Iman, Etude du séchage de produite agricoles dans un séchoir solaire-cas de poivionroug, Diplôme de Mastre, Universite M'hamed Bougara Boumerdes, 2017, p38.
- [12] R.J. Fuller, Solar Energy Conversion And Photoenergy Systems - Vol. III - Solar Drying - A Technology for Sustainable Agriculture and Food Production .
- [13] P. Dudez. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : expériences et procédés, Edition du Greth. France (1999).
- [14] O. V. Ekechukwu, B. Norton, Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, Energy Conversion, Management. 40, 1999, 615-655.
- [15] R. Miri, O. Mokrani , F. Siad et M. Belhamel. Etude Expérimentale d'un Séchoir Solaire.Rev. Energ. Ren.: Zones Arides(2002) 41-48.
- [16] O. V. Ekecjukwn, B. Norton, " Review of solar energy II".

- [17] Slimane Boughali, Etude et optimisation du séchage solaire des produits agro alimentaires dans les zones arides et desertiques, diplôme de Doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, 2010, p 44-46.
- [18] بن أعمار نصر الدين، هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية ودورها في التنمية الزراعية المستدامة في الجزائر – مجففات الشمسية أنموذجاً-، جامعة ريان عاشور بالجلفة، مجلة الحقوق والعلوم الإنسانية، العدد الاقتصادي 35(01)، ص 55-56.
- [19] V. Belessiotis, E. Delyannis. Solar Energy 85 (2011) 1665–1691
- [20] Vasseur, 2009 : "Séchage: principes et calcul d'appareils-Séchage convectif par air chaud (partie 1)."
- [21] أ. د. محمد سليم علي أشتية و رنا ماجد جاموس، التجفيف الشمسي للفواكه والخضراوات : خبرات من فلسطين، مركز أبحاث التنوع الحيوي والبيئة (بيرك) ، تل ، نابلس ، فلسطين، ص 696ب. نابلس فلسطين، 2010م.
- [22] د. اسعد رحمن سعيد الحلفي، التجفيف، قسم علوم الأغذية كلية الزراعة جامعة البصرة، المحاضرة الثامنة.
- [23] د. السيد مصطفى محمد، د. فتحي قدرى أحمد، د. مجاهد إبراهيم السيد، النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية، مركز النشر العلمي في جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية 2000، صفحة 757.
- [24] Sukhmeet Singh, Parm Pal Singh, S.S. Dhaliwal, (2004) Multi-shelf portable solar dryer Renewable energy, 29, 753-765.
- [25] Yves Jannot, (2007) Thermique solaire.
- [26] عماد الدين شعشع، تجفيف الفاكهة، نشرة صادرة عن معهد بحوث تكنولوجيا الأغذية، جمهورية مصر العربية، 2003.
- [27] C. I. Speirs, & H. C. Coote, (1986). Solar drying: practical methods of food preservation. Geneva: International Labor Organization.
- [28] M. Green, & D. Schwarz, (2001). Solar drying technology for food preservation. Eschbom, Germany: Gate Information Service info gate GTZ.

الفصل الثاني

العلاقات الرياضية للمجففات

الشمسية

II.1. المقدمة:

لقد لجأ الإنسان إلى عملية التجفيف من أجل الحفاظ على المحاصيل الزراعية مدة أطول، وذلك عن طريق خفض نشاط الماء ورطوبة المنتج. مما يؤدي إلى إيقاف نمو الأحياء المجهرية وبالتالي عدم حدوث أي تلف للمنتجات التي يتم تجفيفها. لذلك سنهتم في هذا الفصل بدراسة العلاقات الرياضية التي تختص بها المجففات الشمسية الغير مباشرة والتي تعتمد على الهواء الساخن في عملية التجفيف، الذي يتسبب في حدوث الكثير من الظواهر الفيزيائية التي تحدث داخل غرفة التجفيف.

II.2. العوامل الأساسية التي تؤثر على عملية التجفيف:

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على عملية التجفيف نذكر منها: [1-3]

II.2.1. درجة الحرارة:

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر على المجففات الشمسية و يمثل هذا عامل ثلاث عوامل أساسية وهي:

II.2.1.1. درجة الحرارة الجافة:

وتمثل درجة الحرارة الجافة للغاز وهي درجة حرارة مشار إليها في ميزان الحرارة، كما انه يجب وضع مقياس حرارة في هواء الطلق من أجل الحصول على هذه الحرارة.

II.2.1.2. درجة الحرارة الرطبة:

تمثل درجة توازن كتلة الماء والتي تتبخر في الهواء، وفي هذه حالة تؤخذ الحرارة اللازمة لتبخير من الهواء بطريقة عملية وهي تشير أيضا إلى درجة الحرارة في مقياس الحرارة، الذي يكون مضمن في فتيل يوضع في تيار غازي مع ترطيب الدائم بواسطة ماء النقي، ويجب الأخذ بعين الاعتبار إن درجة الحرارة الرطبة هي درجة الحرارة التي تؤخذ عن طريق مادة الصلبة المبللة في فترة السرعة الثابتة من عملية التجفيف، ويتم وضع هذا مقياس في هواء تدفقه سريع نسبيا.

II.2.1.3. درجة الحرارة الورد (الندى):

إذا تم تبريد الهواء إلى ضغط مستمر، سوف ترتفع رطوبته نسبية إلى القيمة 100%. مما يؤدي إلى توازن بخار السائل وظهور أول قطرات من الماء المكثف، حيث يرمز إلى درجة حرارة الندى بالرمز T_r . لذلك تعتبر درجة حرارة الندى درجة حرارة اللازمة لتبريد هواء الرطب من أجل الوصول إلى التشبع.

II.2.2. رطوبة الهواء:

يمثل هذا المتغير النسبة بين الضغط الجزئي (P_v) وضغط بخار التشبع [4]. وتكون الرطوبة النسبية للهواء 100% عندما يكون الهواء متشبعًا تمامًا، وبالنظر إلى كتلة الهواء الرطب التي تحتل حجم V في درجة حرارة T وتحت ضغط P .

• M_h تمثل كتلة الهواء الرطب و تساوي مجموع واحد كتلة من الهواء الجاف M_a و M_v كتلة بخار الماء.

$$M_h = M_v + M_a \quad (1.II)$$

• P يمثل ضغط الهواء الرطب و يساوي مجموع الضغوط الجزئية للهواء جاف و ضغط بخار الماء.

$$P = P_v + P_a \quad (2.II)$$

للحواء عديد من خصائص رئيسية وهي:

II. 2. 2. 1. الرطوبة النسبية:

الرطوبة النسبية أو كما تسمى أيضا بدرجة الرطوبة هي النسبة بين الضغط الجزئي لبخار الماء الموجود في الحواء على ضغط الحواء في حالة التشبع [2]. وتعطى بالعلاقة:

$$H_r = \frac{P_v}{P_s(T)} 100 \quad 0\% \leq H_r \leq 100 \quad (3.II)$$

حيث:

H_r : الرطوبة النسبية (%).

P_v : الضغط الجزئي للبخار (Pa).

P_s : ضغط تشبع البخار (Pa).

II. 2. 2. 2. الرطوبة المطلقة:

تمثل الرطوبة المطلقة النسبة بين كتلة بخار الماء محتواه في حجم من الحواء الرطب على كتلة الحواء الجافة واردة في هذا حجم، و يطلق على الرطوبة المطلقة في الكثير من الأحيان بنسبة الخلط. ويرمز لها بالرمز (H_a) وتعطى بالعلاقة التالية [2]:

$$H_a = \frac{M_v}{M_a} [Kg_v / Kg_a] \quad (4.II)$$

حيث:

M_v : كتلة بخار ماء (Kg_v).

M_a : كتلة حواء جافة (Kg_a).

H_a : الرطوبة المطلقة (Kg_v/Kg_a).

يمكن أن تكتب الرطوبة المطلقة بدلالة الضغط كما يلي [5]:

$$H_a = 0.622 \cdot \frac{P_v}{P - P_v} \quad (5.II)$$

II. 2. 2. 3. درجة التشبع:

وتمثل النسبة بين الرطوبة المحددة للحواء و رطوبة الحواء المشبع في نفس درجة الحرارة. وتعطى درجة التشبع بالعلاقة التالية [2]:

$$\phi = \frac{H_a}{H_{as}} [\%] \quad (6.II)$$

حيث:

ϕ : درجة تشبع (%).

H_a : الرطوبة المطلقة.

Has: رطوبة الهواء المشبع.

II. 2. 3. الضغط:

يحتوي الهواء الرطب على مزيج من الهواء الجاف وبخار الماء، فعند احتواء هواء الرطب على كمية كبيرة من بخار الماء عند درجة حرارة معينة ففي هذه الحالة يتم استخدام ضغط بخار المشبع الذي يرمز إليه (Pv-sat). حيث يكون البخار قريب من سطح المنتج الذي تتم عليه عملية التجفيف [4].

II. 2. 4. سرعة الهواء:

تتميز سرعة الهواء بتشريد الكتلة الهوائية التي تنتج بواسطة قوى تدرج الضغط، بالنسبة لكل القيم الثابتة التي تأخذها درجة الحرارة أو الرطوبة النسبية. وكلما ازدادت سرعة الهواء على سطح المنتج كلما كانت عملية التجفيف أسرع، كما تؤدي سرعة الهواء منخفضة تبخرًا منخفضًا، الذي يتسبب في عدم وجود إي حركة حول المنتج المراد تجفيفه [6].

II. 3. طرق الانتقال التي تحدث خلال عملية التجفيف:

التجفيف عبارة على تداخل ظاهرتين فيزيائيتين. تقوم هذه الظاهرتين على مبدأ نقل الطاقة في نفس الوقت.

- نقل حراري إلى منتج مصدره حرارة.
- نقل كتلة الرطوبة من داخل المنتج إلى سطحه ومن سطحه إلى الهواء [7].

II. 3. 1. الانتقال الحراري:

يعتبر التجفيف الحراري من أكثر الطرق شيوعًا خاصة في صناعة مواد الكيماوية. وفي هذه العملية يتم إرسال تيار غازي ساخن الذي يتسبب في توفير الحرارة اللازمة لتبخير السائل مما يؤدي إلى تشكيل البخار، مع ملاحظة تباطؤ لدرجة حرارة الغاز بين الدخول والخروج وعكس صحيح في حالة المادة الصلبة [8]. هناك ثلاث طرائق للتجفيف الحراري هي:

II. 3. 1. 1. الانتقال عن طريق التوصيل:

في هذا النوع من التجفيف لا يتم توفير الطاقة الحرارية اللازمة لتجفيف المنتج عن طريق غاز الذي يدور حول المنتج. ولكن عن طريق التلامس المباشر بين المنتج وجدار الساخن [9]، الذي سوف يتسبب في نقل حرارة من مناطق الساخنة إلى مناطق الباردة وذلك عن طريق آليات المجهرية الذرية أو الجزيئية. تكتب عبارة تدفق الحرارة في هذا التجفيف انطلاقًا من قانون النقل للفورييه في كل نقطة من جسم التي تربط بين تدفق الحرارة ودرجة الحرارة [10].

تعطى علاقة التجفيف بالتوصيل بالعلاقة التالية:

$$Q = -\lambda S \frac{dT}{dx} \quad (7.II)$$

حيث:

Q: تدفق الحرارة بالتوصيل (W).

S: سطح التبادل الحراري بالتوصيل (m²).

λ : الموصلية الحرارية للمنتج (W/m.K).

$\frac{dT}{dX}$: التدرج في درجة الحرارة بين الجدار الساخن والمنتج .

تدل الإشارة (-) على أن تدفق الحرارة يحدث في اتجاه تناقص درجات الحرارة من الساخنة إلى الباردة.

II. 3. 1. 2. الانتقال عن طريق الإشعاع:

في هذه الحالة يتم جلب الطاقة إلى منتجات التي يتم تجفيفها بواسطة موجات الكهرومغناطيسية التي تنتج انطلاقاً من ارتفاع درجة حرارة جهاز الباعث للأشعة تحت الحمراء، تعطى كمية الحرارة المنقولة إلى المنتج لكل وحدة من الزمن حسب طريقة النقل بهذه العلاقة [11]:

$$Q_r = \frac{\delta(T_i^2 + T_j^2)(T_i + T_j)}{\frac{1-\epsilon_i}{S_i \epsilon_i} + \frac{1-\epsilon_j}{S_j \epsilon_j} + \frac{1}{S_i F_{ij}}} (T_i - T_j) \quad (8.II)$$

حيث:

Q_r : تدفق الحرارة بالإشعاع (W).

T_i : درجة حرارة مصدر الانبعاث (K).

T_j : درجة حرارة المنتج (K).

S_i : سطح الجسم المتلقي للإشعاع (m^2).

S_j : السطح المرسل للأشعة تحت الحمراء (m^2).

F_{ij} : عامل معقد يأخذ بعين الاعتبار الوضع النسبي للمرسل والمنتج.

ϵ_i : انبعاثية للمنتج.

ϵ_j : انبعاثية للمرسل.

II. 3. 1. 3. الانتقال عن طريق الحمل:

التجفيف بواسطة الحمل الحراري يعتمد على طريقة اتصال بالغاز، حيث يتدفق هذا الغاز في نظام المضطرب بشكل عام حول الجسم حتى تتم عملية تجفيفه والذي يكون في شكل جسيمات أو قطرات. يتم معرفة هواء التجفيف بواسطة معاملات التحويل على السطح والتي تعتمد على المميزات الرئيسية للهواء، ففي حالة الحمل الحراري يتم نقل الحرارة بطريقة مباشرة عن طريق السائل الذي يخزن حرارة قد يكون هواء ساخن، ماء، بخار مثلاً، فالحمل يعرف بالنقل سريع للحرارة [9].

تعطى علاقة التدفق الحراري عن طريق الحمل انطلاقاً من قانون نيوتن بالعلاقة التالية:

$$Q = h.S. (T_a - T_s) \quad (9.II)$$

حيث:

Q : كمية الحرارة المحولة بالحمل الحراري في وحدة الزمن (W).

S : سطح التبادل الحراري بالحمل (m^2).

h : معامل التجفيف بالحمل ($W/m^2.K$).

$(T_a - T_s)$: فرق بين درجة حرارة هواء التجفيف ودرجة حرارة سطح المنتج مراد تجفيفه (K).

في هذه الحالة نميز طريقتين للحمل هما:

II. 3. 1. 3. 1. الحمل الطبيعي:

إذا كانت حركة المائع تنتج انطلاقاً من الاختلافات في الكثافة الناتجة عن الاختلافات في درجة الحرارة فيتم التدفق بشكل طبيعي، ومن المتوقع عليه عند وجود اختلافات في كثافة في مناطق مختلفة من السائل فإنه تحدث عملية الحمل الحراري الطبيعي [9].

• عدد غير شوف Gr:

$$Gr = \frac{g \cdot \rho^2 \cdot L^3 \cdot \Delta T \cdot \beta d}{\mu^2} \quad (10.II)$$

حيث:

L: البعد الخطي مميز لسطح تبادل (m).

βd : معامل اتساع حجم سوائل (k^{-1}).

g: تسارع جاذبية (m/s^2).

ΔT : التغير في درجة حرارة.

ρ : الكتلة الحجمية لسائل (kg/m^3).

μ : اللزوجة الديناميكية ($kg/m.s$).

عدد Gr في الحمل الطبيعي نفسه عدد Re في الحمل القسري.

• يعطى عدد نوسالت في حالة الحمل الطبيعي بالعلاقة:

$$Nu = X \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad (11.II)$$

حيث:

Gr: عدد كيرشوف.

n=1/4: في حالة حمل حراري الصفحي.

n=1/3: في حالة الحمل الحراري مضطرب.

Pr: عدد براندل.

$$Pr = \frac{\mu \cdot cp}{\lambda} \quad (12.II)$$

يعتمد معامل X على هندسة الجهاز ونظام الحمل الحراري.

II. 3. 1. 3. 2. الحمل القسري:

تحدث عملية الحمل الحراري القسري إذا تم ضبط السائل بواسطة الحركة الخارجية مثل مروحة أو رياح وغيرها، ويعبر عن قيمة الانتقال الحراري بأنها دالة للطبيعة السائل ودرجة حرارته وسرعته والخصائص الهندسية لسطح التلامس إما صلب أو سائل [9].

• يعطى عدد نوسالت في الحمل الحراري القسري:

$$Nu = \frac{h \cdot d}{\lambda} \quad (13.II)$$

$$Nu = Pr^n Re^m \quad (14.II)$$

حيث:

λ : الموصلية الحرارية للهواء ($W/m.K$).

Pr: عدد براندل.

C: ثابت تعديل تجريبي.
m: قريبة من 0.8 و n من 0.5.
Re: رقم رينولدز.

$$Re = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} \quad (15.II)$$

حيث:

ρ : الكتلة الحجمية للمائع (kg/m^3).
v: السرعة (m/s).
d: قد تكون طول أو قطر (m).
 μ : اللزوجة الديناميكية ($kg/m.s$).

اعتمادا على هذا العدد نميز ثلاث حالات للتدفق هي [12]:

- إذا كان $Re \leq 2100$ يكون نظام الجريان انسيابيا (صفائحي) أي أن سرعته تكون منخفضة و معدل التدفق منخفضا.
- إذا كان $Re \geq 3000$ يكون نظام الجريان مضطرباً يظهر عندما تزداد السرعة وتظهر دوامات ويكون فيه معدل التدفق عاليا.
- إذا كان $2100 < Re < 3000$ يكون نظام الجريان غير مستقر (انتقاليا).

II. 3. 2. الانتقال الكتلي:

إن نقل احد مكونات المحلول السائل من منطقة إلى أخرى ذات تراكيز مختلفة (منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة ذات تركيز منخفض)، تسمى بظاهرة نقل الكتلة. يمكن فهم آلية انتقال كتلة عن طريق مفرانتها مع انتقال الحراري، حيث تنتقل الحرارة في نفس اتجاه تدرج الحرارة بينما تنتقل الكتلة في اتجاه تدرج التركيز في نفس الوقت [13، 14].

II. 3. 1. انتقال كتلة عن طريق الانتشار الجزيئي:

الانتشار الجزيئي هو عبارة على ظاهرة تحريض في الواقع. حيث يوجد الانتشار الجزيئي بين نقطتين من السائل مع وجود فرق في تركيز بين كل نقطة، ويحدث التثريد العشوائي لجزي من اجل توحيد تركيز في الوسط، ويكون انتقال الكتلة عن طريق انتشار الجزيئي مشابه تماما لانتقال بواسطة التوصيل الحراري.

II. 3. 1. 1. قانون فيك الأول:

ينص قانون فيك الأول على أن تدفق الكتلة في اتجاه واحد يتناسب طرديا مع تدرج التركيز الذي تسبب في الحركة (نظريا). ويتم تعبير عن قانون فيك بالعلاقة التالية:

$$\dot{m} = -D_s \frac{\partial c}{\partial n} ds \quad (16.II)$$

حيث:

D_s : معامل انتشار جزيئي (m^2/s).
يتم تعبير عن قانون فيك في ثلاث أبعاد:

$$\vec{Q}_m = -De \vec{\text{grad}} c \quad (17.II)$$

حيث:

Q_m : كثافة تدفق المواد ($\text{Kg}/\text{m}^2.\text{s}$).

De : انتشار الماء في منتج مراد تجفيفه (m^2/s).

C : حجم تركيز الماء (Kgeau/m^3).

II. 3. 2. 1. قانون فيك الثاني:

يتم استخدام قانون فيك الثاني في حالة الغير ثابتة فقط لأنه في كل نقطة هناك اختلاف لتدفق مع مرور وقت. ويمكن كتابة معادلة انتقال الكتلة في بعد واحد ويكون شكلها مشابه لمعادلة نقل الحرارة لفورييه [13،14].

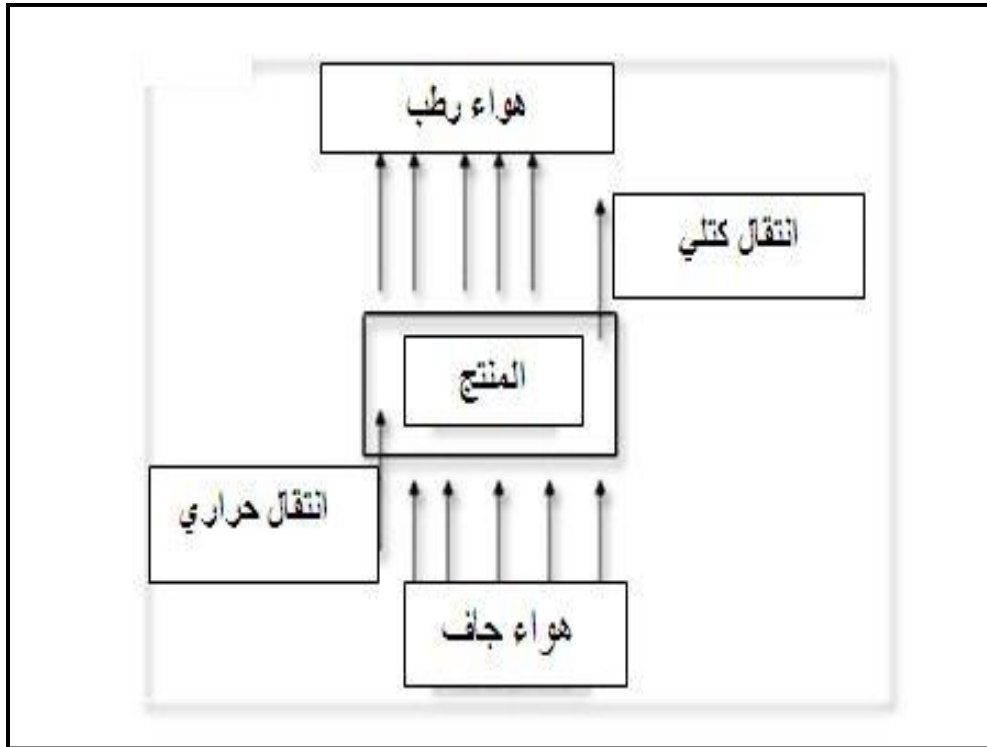
$$\frac{\partial C}{\partial T} = Ds \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (18.II)$$

II. 3. 2. قانون دارسي:

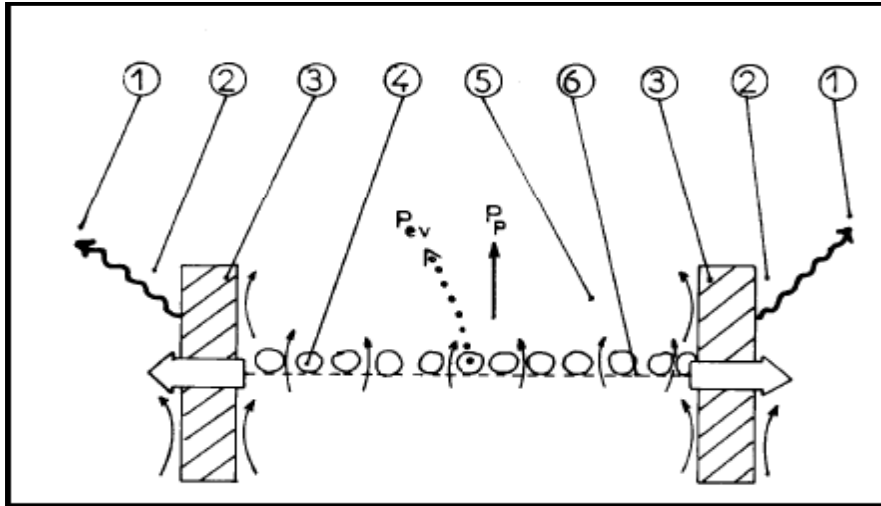
يتميز قانون دارسي الانتشار الكلي لسائل الذي يتميز بالكثافة الحجمية واللزوجة الديناميكية له في وسط مسامي. ويعبر عن تدفق كتلة السطح ذات صلة بالنفاذية الجوهرية بالعلاقة التالية:

$$J_s = -\rho_f \frac{K_f}{\mu_f} \frac{dp}{dx} \quad (19.II)$$

المخطط يوضح عمليات الانتقال التي تحدث للمادة داخل المجفف من انتقال حراري وانتقال كتلي في وقت واحد.



الشكل (1.II): رسم تخطيطي لانتقال الحرارة والكتلة أثناء التجفيف [15].



الشكل (2.11) : تبادل الحراري والكتلي في شريحة داخل غرفة المجفف [15].

1. القبو السماوي.
2. البيئة المحيطة.
3. الجدار.
4. المنتج.
5. تجفيف الهواء.
6. عقبة.

4.11. سرعة التجفيف:

تعرف سرعة التجفيف على أنها النسبة بين كمية ماء المتبخر من مادة صلبة المجففة في وحدة الزمن وكتلة مادة صلبة الجافة [16]، أو مجرد حد من حاصل اختلاف (Δm) محتوى مع فاصل زمني (Δt) هو الحجم الذي يميز نسبيا وعمليا مرحلة النقل. تعتمد سرعة التجفيف على:

- طبيعة و مسامية و شكل و رطوبة المنتج.
- درجة الحرارة و رطوبة و سرعة الهواء.

و تكتب عبارة سرعة التجفيف بالعلاقة التالية:

$$R = \frac{-dM_v}{S \cdot dt} = \frac{M_s \cdot dx}{S \cdot dt} \quad (20.II)$$

$$M_v = M_s \cdot dx \quad (21.II)$$

$$dx = x_e - x_s \quad (22.II)$$

حيث:

R: سرعة التجفيف ($\text{kg d'eau/m}^2 \cdot \text{s}$).

M_v : كتلة الماء المتبخر (Kg).

M_s : كتلة المادة وهي جافة (Kg).

dx: رطوبة المنتج في بداية ونهاية عملية التجفيف.

x_e : رطوبة المنتج في نهاية التجفيف ($\text{Kg d'eau/Kg } M_s$).

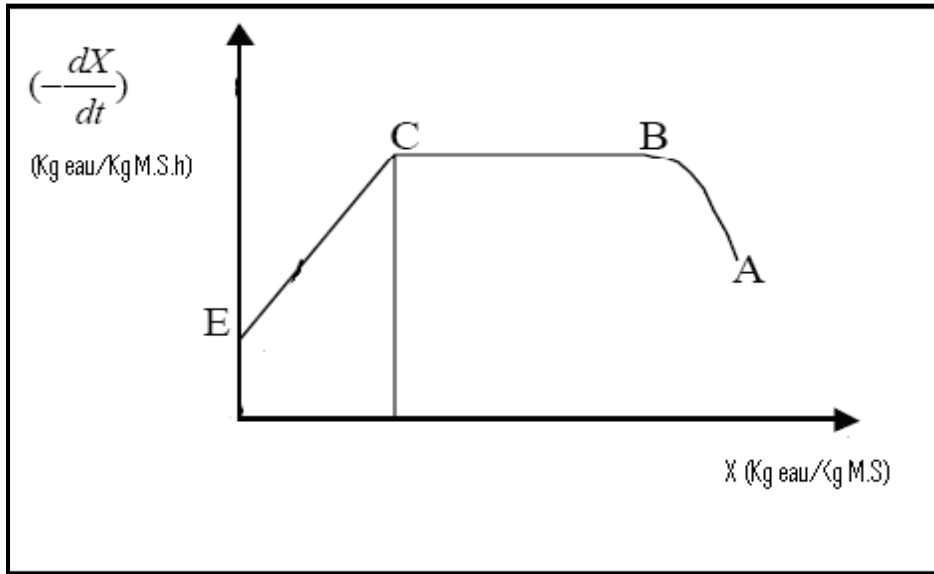
x_s : رطوبة المنتج في بداية التجفيف ($\text{Kg d'eau/Kg } M_s$).

S: مساحة المادة المجففة (m^2).

dt: زمن التجفيف (s).

II.5. حركية التجفيف (فترة التجفيف):

يتم دراسة حركية التجفيف المنتجات من خلال منحنيات تدرس تطور سرعة التجفيف كدالة للزمن مما يعطي سرعة التجفيف $\left(-\frac{dx}{dt}\right)$ ، ويتم تبخر الماء على سطح المنتج الذي تتم عليه عملية التجفيف بحيث ينتقل الماء من الداخل نحو سطح المنتج بقوة سرعة التجفيف، ومن أجل إدراك ظاهرة هجرة المياه في المنتجات المبتلة يجب الأخذ بعين الاعتبار انتقال كتلة وانتقال حرارة في آن واحد التي لها دورا كبيرا [18،17].



الشكل (3.II): مخطط يوضح حركية التجفيف [5].

يمكن تمييز ثلاث مراحل أساسية من خلال الشكل وهي:

- مرحلة التزايد (A-B).
- مرحلة السرعة الثابتة (B-C).
- مرحلة التباطؤ (C-E).

II.5.1. المرحلة (A-B) مرحلة التزايد:

في هذه الفترة يتم تحريك المنتج بواسطة الهواء الساخن، حيث يحدث تبادل للحرارة بين المنتج والهواء الجاف والذي يكون على شكل بخار، الذي يسبب اختلاف في رطوبة المنتج ولكن ليس بالدرجة الكبيرة. مما يؤدي إلى نشوء اختلاف في درجة حرارة المنتج على فترات زمنية معينة (ترتفع أو تنخفض)، الحرارة زائدة التي يوفرها الهواء الساخن تتسبب في جعل المنتج أكثر دفئا الذي يساهم في عملية التوازن. تعرف هذه فترة بفترة الإحماء ما يميزها أنها قصيرة جدا، وتظهر في الواقع إذا كانت المنتجات ذات حجم كبير، وبسبب وجود فرق في درجة الحرارة بين الهواء والمنتج هذا ما أدى بالعلماء إلى عدم الاهتمام بهذه الفترة [19].

II. 5. 2. المرحلة (B-C) مرحلة السرعة الثابتة:

تتميز هذه المرحلة بثبوت معدل التجفيف لمعظم المنتجات، حيث تنتقل الرطوبة إلى سطح المنتج، ويكون نشاط الماء على سطحه يساوي 1. مع توافق درجة حرارة سطح المنتج مع درجة الحرارة الرطبة لتجفيف الهواء، وهذه هي درجة الحرارة التي تتساوى عندها درجة حرارة الهواء مع درجة الحرارة اللازمة لتبخر الماء. ولا تتدخل طبيعة المنتج في هذه فترة ولكن لشكله تأثير كبير على تدفق الماء المتبخر.

II. 5. 3. المرحلة (C-E) مرحلة التباطؤ:

تسمى هذه مرحلة بمرحلة التباطؤ لعدم وجود قوى كافية لنقل الماء إلى سطح المنتج ويستحيل أن تبقى سرعة التجفيف ثابتة والتي تبدأ بالانخفاض تدريجياً، نتيجة لهذا الانخفاض يتناقص معدل التجفيف. وهناك العديد من الظواهر التي تحدث في هذه الفترة يمكن أخذها بعين الاعتبار وهي [20]:

• اختفاء الماء الحر في سطح المنتج:

تحدث هذه الظاهرة في بداية مرحلة التباطؤ، فمن الضروري الأخذ بعين الاعتبار تبخر الذي يتخلل داخل المنتج عبر فترات زمنية معينة.

• سمك المنتج:

كلما كان سمك المنتج أكبر وجب على الماء أن يعبر مسار أطولاً، الأمر الذي يتسبب في تباطؤ عملية التجفيف.

• انتشارية الماء في المنتج:

فهي تختلف مع محتوى المنتج في ماء وكلما زادت درجة الجفاف تقابلها زيادة في قابلية نفاذ الماء.

• مقاومة الميكانيكية لجدران خلايا السليمة:

تمنع الجدران مرور كميات معتبرة من بخار الماء نحو المنتج.

• القشرة:

توجد الكثير من المركبات قابلة للذوبان مثل السكريات المرافقة للماء الصادر خلال فترة الأولى من التجفيف، مما يؤدي إلى تبلور جزئيات على السطح وتسمى هذه الظاهرة بعملية الطحن.

II. 6. 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 جداً في حالة المنتجات التي يتم فيها التحكم في حركية التجفيف انطلاقاً من الهجرة الداخلية للمياه.

• تأثير رطوبة الهواء:

للمحتوى المائي للهواء دور كبير وجد مهم في سلوك حركية التجفيف لبعض المنتجات، ويعتبر هذا التأثير مهم جداً 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.

II.7. توصيف مواد صلبة الرطبة:

II.7.1. محتوى الماء الجاف:

محتوى الماء الجاف للمادة الصلبة يطلق عليه أيضا بالرطوبة المطلقة، ويعبر عن كتلة السائل الواردة في المنتج مع مقارنتها بالكتلة الجافة. تعطى علاقة محتوى الماء الجاف بالعلاقة التالية [21]:

$$X_a = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (23.II)$$

حيث:

X_a : محتوى ماء جاف.

M_h : كتلة سائل واردة (Kg).

M_s : كتلة جافة للمنتج (Kg).

II.7.2. محتوى المائي:

يطلق على محتوى المائي للمادة الصلبة أيضا بالرطوبة النسبية. وتعبّر عن كتلة السائل الوارد في المنتج بالنسبة لكتلته الرطبة.

$$X_r = \frac{M_h - M_s}{M_h} \quad (24.II)$$

حيث:

M_h : كتلة الرطبة للمنتج (Kg).

X_r : محتوى مائي (%).

II.8. نشاط الماء في المنتج:

يرمز إلى نشاط الماء في المنتج بالرمز (A_w). ويتعلق برطوبة المنتج، حيث يعبر نشاط الماء في المنتج بأنه النسبة بين ضغط الجزئي لبخار الماء على سطح المنتج (P_{vp}) عند ضغط بخار التشبع (P_{vs}). وتكتب علاقة نشاط الماء في المنتج بالشكل [22-24]:

$$A_w = \frac{P_{vp}}{P_{vs}} \quad (25.II)$$

حيث:

A_w : نشاط الماء في المنتج.

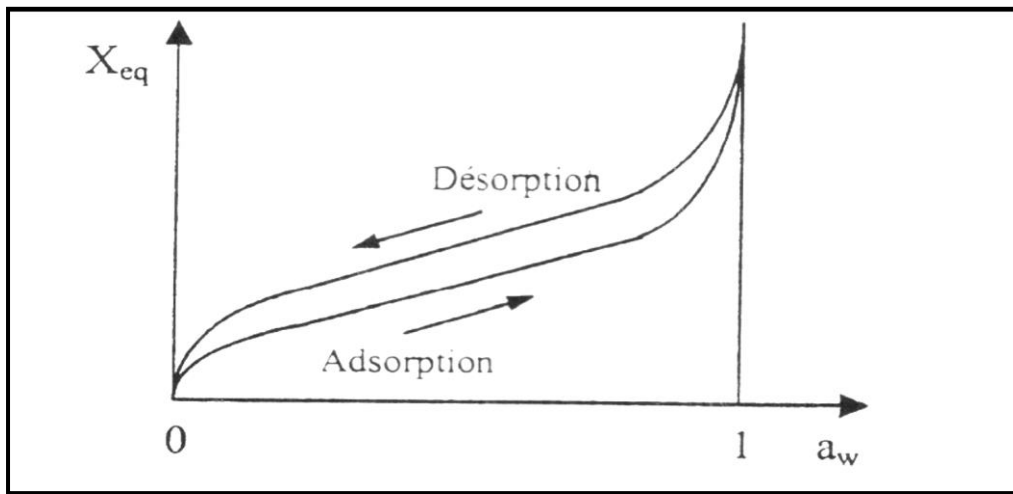
P_{vs} : ضغط بخار ماء في هواء مشبع (Pa).

P_{vp} : ضغط بخار ماء على سطح منتج (Pa).

في حالة توازن ضغط بخار الماء للمنتج والهواء فانه لا يوجد انتقال للكتلة، أما في حالة توازن درجات الحرارة للمنتج والهواء سوف يسبب هذا توازن في عدم انتقال الحراري، وبالتالي يمكن القول أن نشاط الماء في المنتج يعبر عن الرطوبة النسبية للهواء في حالة توازن مع المنتج فقط [25].

II.9. متساوي الحرارة:

في كل عملية تجفيف يحدث توازن لرطوبة بين المنتج والهواء، الذي يجب أن يؤخذ بالاعتبار فيحدد التوازن انطلاقا من وضع المادة في حالة توازن مع الهواء الرطب ثم تقاس رطوبة المادة ورطوبة النسبية للهواء الرطب المحيط بهذه المادة، ويتم التعبير عن الامتزاز في غالب الأحيان بمنحنى يعبر عن تطور محتوى الماء للمنتج في حالة التوازن (X_{eq}) كدالة لنشاط الماء، لذلك يوفر هذا منحنى موضح في شكل (4.II) عديد من معلومات حول التوازن [26،27].



الشكل (4.II) : منحنى التساوي الحراري للمادة المجففة [5].

يمكن رسم المنحنى الموضح في الشكل (4.II) كما يلي:

- التساوي الحراري لمنحنى (Absorption) يعين تجريبيا عندما تكون مادة جافة.
- التساوي حراري لمنحنى (Dèsorption) يعين تجريبيا عندما تكون مادة مشبعة بالماء.

II.10. الزمن الكلي للتجفيف:

يمثل الزمن الكلي لتجفيف زمن التجفيف لمرحلة المعدل الثابت والمتناقص ويعطى بالعلاقة [28]:

$$t = \frac{X_1 - X_c}{R_c} + \frac{X_c}{R_c} \ln \left(\frac{X_c}{X_2} \right) \quad (26.II)$$

حيث:

X_1 : المحتوى الرطوبي الأولي (Kga/Kgs).

X_c : المحتوى الرطوبي الحرج (Kga/Kgs).

X_2 : المحتوى الرطوبي النهائي (Kga/Kgs).

R_c : معدل التجفيف الثابت (Kg/Kghr).

$$\frac{dx}{dt} = R_c = \frac{h(T_d - T_f)}{\lambda} \cdot \frac{A}{M_s} \quad (27.II)$$

حيث:

A: مساحة السطحية معرضة للتجفيف (m^2).

Ms: كتلة مادة الصلبة الجافة (Kg).

h: معامل الانتقال الحراري ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

λ_e : طاقة الحرارة الكامنة (Kg/Kg).

• يمكن حساب معدل الانتقال الحراري بالعلاقة التالية [29]:

$$h = \left[2 + 0.6 \left(\frac{C_p \mu}{K} \right)^{1/3} \left[\frac{2g(T_d - T_f)L^3 \rho^2}{(T_d + T_f)\mu^2} \right]^{1/4} \right] \frac{K}{L} \quad (28.II)$$

حيث:

Td: درجة الحرارة داخل غرفة التجفيف (k).

Tf: درجة حرارة المادة الغذائية (k).

g: الجاذبية الأرضية (m^2/s).

ρ : كثافة الهواء (Kg/m^3).

μ : اللزوجة ($N.S/m^2$).

K: الموصلية الحرارية للهواء ($w/m.k$).

L: سمك المادة الغذائية (m).

Cp: الحرارة النوعية للهواء ($Kj/Kg.k$).

11.II. كفاءة التجفيف اليومية:

وتحسب من خلال معادلة الآتية [30]:

$$\eta_d = \frac{(X_t - X_f)w\lambda(X_1 + 1)}{I_t A_c t} \cdot 100 \quad (29.II)$$

حيث:

η_d : كفاءة التجفيف اليومية (%).

Xt: المحتوى الرطوبي عند زمن معين (Kga/Kgs).

Xf: المحتوى الرطوبي المراد الوصول إليه (Kga/Kgs).

12.II. الكفاءة الجماعية للتجفيف:

تعطى علاقة الكفاءة الجماعية للتجفيف بالعلاقة التالية:

$$\eta_m = \frac{X_2 - X_a}{X_{2e} - X_a} \quad (30.II)$$

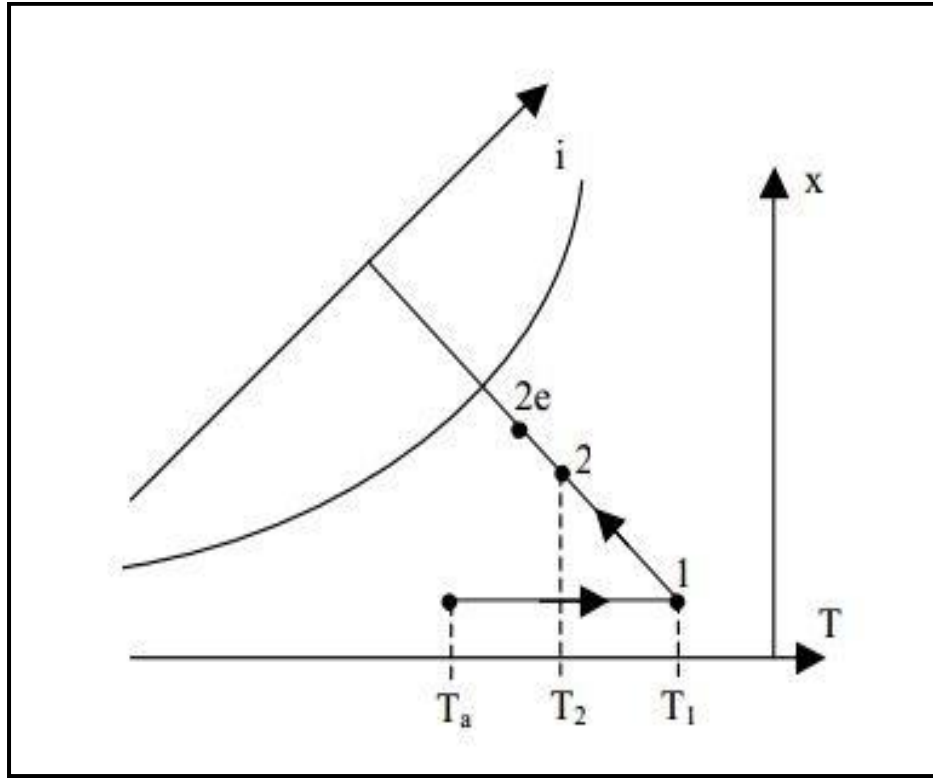
حيث:

η_m : المردودية الكتلية (%).

X_2 : الرطوبة المطلقة للهواء عند درجة الحرارة T_2 .

X_a : الرطوبة المطلقة للهواء عند درجة الحرارة T_a .

X_{2e} : الرطوبة المطلقة للهواء عند درجة الحرارة T_{2e} .



الشكل(5.II) : تطور الهواء أثناء عملية التجفيف.

II.13. كفاءة الطاقة للتجفيف:

تعرف كفاءة الطاقة على أنها نسبة الطاقة. حيث تستهلك الكمية الإجمالية من الماء المتبخر في دورة التجفيف على استهلاك الطاقة للنظام [31]، تكتب عبارة كفاءة الطاقة للمجفف بالعلاقة التالية:

$$\eta_r = \frac{\dot{m}_{air}}{1+X_a} \cdot \frac{L_v}{Q} \quad (31.II)$$

$$\eta_{th\grave{e}o} = \frac{(X_2 - X_s)L_v}{h(T_s) - h(T_a)} \quad (32.II)$$

حيث:

L_v : حرارة كامنة لتبخر الماء (J/Kg).

$h(T)$: المحتوى الحراري للهواء.

X_i : الرطوبة المطلقة للهواء (g/Kgas).

$\eta_{th\grave{e}o}$: الكفاءة الحرارية للعملية.

II.14. الوسط المسامي:

II.14.1. تعريفه:

يعرف الجسم المسامي بأنه كل جسم صلب يحتوي على فراغات تدعى بالمسامات ومن مزايا هذه المسامات أنها متصلة بعضها البعض وتحتوي على مائع داخلها، أما الجزء الصلب فيطلق عليه باسم مصفوفة ويوجد شكلين [5]:

- شكل غير مدعم: المصفوفة الصلبة مشكلة من حبيبات غير متصلة بعضها البعض.

- شكل مدعم: المصفوفة الصلبة ملتحمة مع بعضها البعض بحيث لا يتم ملاحظة أي شقوق بين الحبيبات.

II. 14. 2. خصائص الوسط المسامي:

II. 14. 2. 1. المسامية:

إجمالي المسامية هو نسبة حجم الفراغ إلى حجم الكلي للوسط.

$$\varepsilon = \text{حجم الكلي} / \text{حجم الفراغ} \quad (33.II)$$

يعبر عن المسامية الفعالة أو ما يطلق عليها بالمسامية الحركية، هي نسبة حجم الماء المحمول بواسطة معارضة للماء مرتبطة بالمصفوفة من قبل قوى الجذب الجزئي، تكتب علاقة المسامية الفعالية بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_c = \text{حجم الكلي} / \text{حجم الماء المتحرك} \quad (34.II)$$

II. 14. 2. 2. النفاذية:

النفاذية الجوهرية هي خاصية مميزة للوسط المسامي بشكل مستقل عن خصائص السائل، أنها تميز قدرة البيئة على السماح لنفسها لعبور السائل تحت تأثير تدرج الحمل [32]، وتكتب عبارتها بالعلاقة التالية:

$$k = \frac{\varphi_a \mu}{s(\Delta p / \Delta x)} \quad (35.II)$$

حيث:

φ_a : معدل التدفق (m^3/s).

μ : اللزوجة الديناميكية للسائل (Pa/m^1s^{-1}).

S : منطقة المقطع العرضي للسائل (m^2).

$\Delta p / \Delta x$: تباين الحمولة بوحددة الطول ($Pa/m^2.s^{-2}$).

k : معامل النفاذية (m/s).

II. 15. الخاتمة:

قد تطرق هذا الفصل إلى ذكر أهم العلاقات الرياضية للمجففات الشمسية. وكذلك العوامل الأساسية التي تؤثر على هذه المجففات من درجات حرارة ورطوبة وسرعة الهواء وضغط، كما يوضح هذا الفصل أهم ظاهرتين تحدثان خلال عملية التجفيف وهما الانتقال الحراري ويكون إما بالتوصيل أو بالإشعاع أو بالحمل والذي بدوره ينقسم إلى طريقتين الحمل الطبيعي أو الحمل القسري. وظاهرة الثانية هي الانتقال الكتلي (النقل الجماعي) التي بسببها تفسر ظهور بخار الماء. مع ذكر أهم القوانين التي تشرح هذه الظاهرة. كما يتبين أن للتجفيف سرعة وحركية مع ذكر أهم المراحل تجفيف المنتج، والعوامل التي تؤثر عليها.

وفي الأخير تطرق هذا الفصل إلى تعريف خواص المواد الصلبة، ويعرف أيضا كفاءة الطاقة وجماعية للمجفف و خصائص الوسط المسامي.

مراجع الفصل الثاني

- [1] Khadija Kabidi ,Expérimentation et modélisation du comportement énergétique et thermique d'un séchoir solaire sous le climat de la région de Rabat, Thèse de doctorat, Université Mohammed V – Agdal (2014).
- [2] M. Duminil, Air Humide, Techniques de l'ingénieur. B 2230, 1993.
- [3] W. Belachi, Application du séchage solaire pour la conservation des produits Agroalimentaires. Mémoire de magister. Université KasdiMerbah-Ouargla (2009).
- [4] A. Villiere, Séchage des bois, Sixième Edition, Dunod-Paris. 409 p, 1966.
- [5] عاتي مختار، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، ص 28-38.
- [6] N. Bekkioui, « Séchage solaire du bois : Modélisation simplifiée du séchage d'une pile de bois dans un séchoir solaire à parois vitrées », thèse de doctorat, Décembre 2009.
- [7] K. Benamrane, Utilisation des capteurs solaires sous vide pour le fonctionnement du système de climatisation (Région de Ouargla), Mémoire de magistère, Université de Ouargla, 2004.
- [8] J. J. Bimbenet, Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires, CPCIA, 1978.
- [9] Technique de l'ingénieur-génie des procédés séchage , Théorique et calcul.
- [10] A. Bouvenot , Transferts de chaleur, Masson, Paris , 1981.
- [11] A. Charreau, R. Cavaille. (1991) Séchage théorique et pratique, technique de l'ingénieur , génie des procédés, 2480-1 ; 2480-23.
- [12] يوسف جواد، صفاء عبد الغني، "جريان موائع"، دبلوم فني تشغيل وسيطرة، معاهد التدريب النفطي، (2008).
- [13] J. F. Sacadura, Initiation aux Transferts Thermiques, Technique et Documentation, 1978.
- [14] R. E. Treybai, Mass-Transfer Operations, McGraw-Hill International Edition, 1981.
- [15] Slimane Boughali, " etude et optimisation du sechage solaire des produits agroalimentaires dans les zones arides et desertiques", Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, Algerie, (2010).
- [16] N. Nadir, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire. Mémoire de magister, Université KasdiMerbah Ouargla (2009).
- [17] H. Amadou, Modélisation du séchage solaire sous serre des boues des stations d'épuration urbaines, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, 2007.

- [18] A. Mouafki, Modélisation- Simulation du procédé de séchage solaire des feuilles de menthe, Mémoire de magistère, Université de Ouargla, 2004.
- [19] O. Kricher & K. Kroll, 1963, Technique de sechage, 2e edition de « Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstecnik, Springer Verlag (1956) » Traduite par CETIAT, Orsay.
- [20] M. El Hisse, 1987, Modelisation, identification et simulation d'un sechoir solaire agroalimentaire, These de Doctorat, Universite de Perpignan , p 125.
- [21] D. Mennouche, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, Mémoire de magistère, Université KasdiMerbah Ouargla. 2006.
- [22] G. Lewis & M. Randall, 1923, Thermodynamics, New-York, Addition-Wesley PublishingCompany.
- [23] W. Scott, 1957, Water relations of foods spoilage microorganisms, Advances in Food Reseach, 7, pp. 83-127.
- [24] M. Loncin, 1961, Les operations unitaires du genie chimique, Edition Dunod, Paris, France,
- [25] M. Daguene, Les séchoirs solaires : théorie et pratique, Publications de l'unsco. Paris, France. (1985).
- [26] S. Lahsasni, M. Kouhila, M. Mahrouz et M. Fliyou, Moisture adsorption - desorption isotherms of prickly pear cladode (opuntiaficusindica) at different temperatures, Energy Conversion and Management, 44, 2001, 923 - 936.
- [27] A. Ferradji, A. Malek. Isothermes d'adsorption des abricots secs à 25°C et 45°C. Rev. Eng. Ren, CDER Alger, 8, 2005, 39 - 48.
- [28] R. P. Singh, & D.R. Heldman, (1993). Introduction to food Engineering . Academic press , Inc., California.
- [29] الحلفي، اسعد رحمن (2006). تطوير مجفف الشمسي ودراسة كفاءته في تجفيف بعض الفواكه و الخضر. أطروحة دكتوراه، كلية الزراعة، جامعة البصرة.
- [30] A. A. EL-Sebaï , S. Abaul-Eneïn , M.R. Ramadan , & H. EL – Gohary , (2002) . Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer . Energy convection and management. Vol. 43 , pp. 2251-2266 .
- [31] S. Jacque, (2017). Thermodynamique. Retrieved 25 March 2017, from http://nte.minesalbi.fr/Thermo/co/uc_PresentationCalculateur.html.
- [32] C. H. Danquigny, Etude expérimentale du transfert de masse en milieu poreux hétérogène, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, 2003.

الفصل الثالث

مقارنة الحسابات العددية مع
القياسات التجريبية
وتحليل النتائج

III.1. المقدمة:

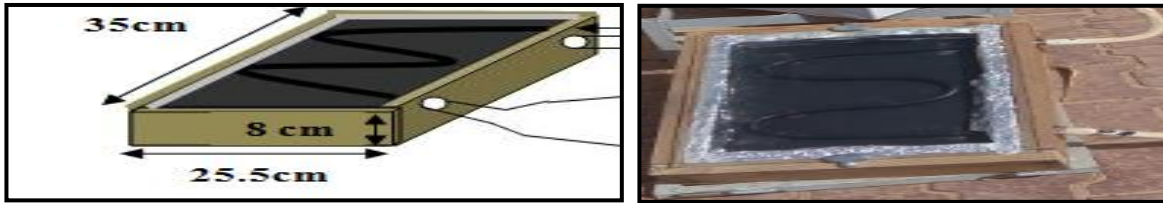
ضمن هذا الفصل سندرس المحاكاة العددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD والتجريبية لتوزيع درجات الحرارة في المجفف الشمسي الغير المباشر (رأسي ذو تهوية) يعمل بالحمل القسري. حيث فصلت الغرفة التجفيف إلى قسمين؛ قصد التحسين في توزيع الحرارة بواسطة لوح من البوليستيران المغلف بالألمنيوم ذو ثقوب تسمح بمرور الحرارة للجزء العلوي لها. كما تم وصف جميع عناصر المجفف الشمسي ودور كل عنصر في عملية التجفيف. ويظهر هذا الفصل أيضا التركيب التجريبي المستعمل والنتائج المتحصل عليها مع تحليلها و تفسيرها.

III.2. وصف المجفف الشمسي المستعمل:

التركيب التجريبي المستعمل عبارة عن مجفف شمسي غير مباشر يعمل بالحمل القسري (أي باستعمال مروحة) حيث يتكون من عدة عناصر وهي :

III.2.1. وحدة توليد الهواء الساخن (اللاقط المسطح):

اللاقط الشمسي المستعمل مصنوع من صندوق خشبي أبعاده $8 \times 25.5 \times 35$ سم معزول من كل الجهات بالبوليستيران المغلف بالألمنيوم يوجد بداخله صفيحة معدنية مصبوغة باللون الأسود غير اللامع مثبت عليه أنبوب نحاسي مصبوغ بالأسود لمرور الهواء الذي يتم تسخينه، ويغطي سقف الصندوق بزجاج ذو سمك 3مم. كما نرى في الشكل (III.1) :



الشكل (III.1) : صورة اللاقط الشمسي المسطح.

III.2.2. غرفة التجفيف:

إن صنع غرفة التجفيف يتطلب توفر الأدوات المبينة في الملحق كما أن صنعها يمر بعدة مراحل و هذا ما يوضحه الملحق. بعد الانتهاء من صنع غرفة التجفيف الشمسي نحصل على (III.2) الذي يظهر النموذج النهائي لها بجميع الأبعاد.



الشكل (III.2) : رسم تخطيطي يوضح غرفة التجفيف بعد صنعها.

III. 2. 3. مروحة:

المروحة المستعملة في التجربة كما يوضح الشكل (III.3) صغيرة الحجم تعمل بتيار شدته A 0.13 و جهد 12 V، يصل بينها وبين اللاقط الشمسي أنبوب حيث تسحب الهواء إلى داخل اللاقط الشمسي.



الشكل (III.3) : صورة المروحة المستخدمة.

III. 2. 4. الخلية الشمسية:

خلية شمسية بأبعاد 26×16 سم توصل بالمروحة لتزويدها بالتيار الكهربائي الذي تنتجه من الإشعاع الشمسي، و جهدها يقدر ب 9 V. أنظر الشكل (III.4) :



الشكل (III.4) : صورة الخلية الشمسية.

III. 3. مبدأ عمل المجفف:

يبدأ عمل المجفف الشمسي بسحب المروحة للهواء من الوسط الخارجي لتدفعه إلى اللاقط الشمسي (حمل قسري) عبر أنبوب، فيتم تسخينه عن طريق تحويل الإشعاع الشمسي الساقط على سطح اللاقط إلى طاقة حرارية، مما يمنح الهواء حرارة عالية للانتقال للغرفة عبر أنبوب طوله 9 سم و قطره 1.5 سم فيتوزع الهواء الساخن في القسم السفلي من الغرفة. يصعد الهواء الساخن من خلال الثقوب الموزعة في اللوح إلى القسم العلوي الذي يحوي المنتج الرطب المراد تجفيفه، لينتج فرق في درجة الحرارة بين الهواء و المنتج فيؤدي للتبادل الحراري بينهما، ليخرج الهواء من الغرفة حاملا معه الرطوبة (هواء رطب). كما هو موضح في الشكل (III.5) :

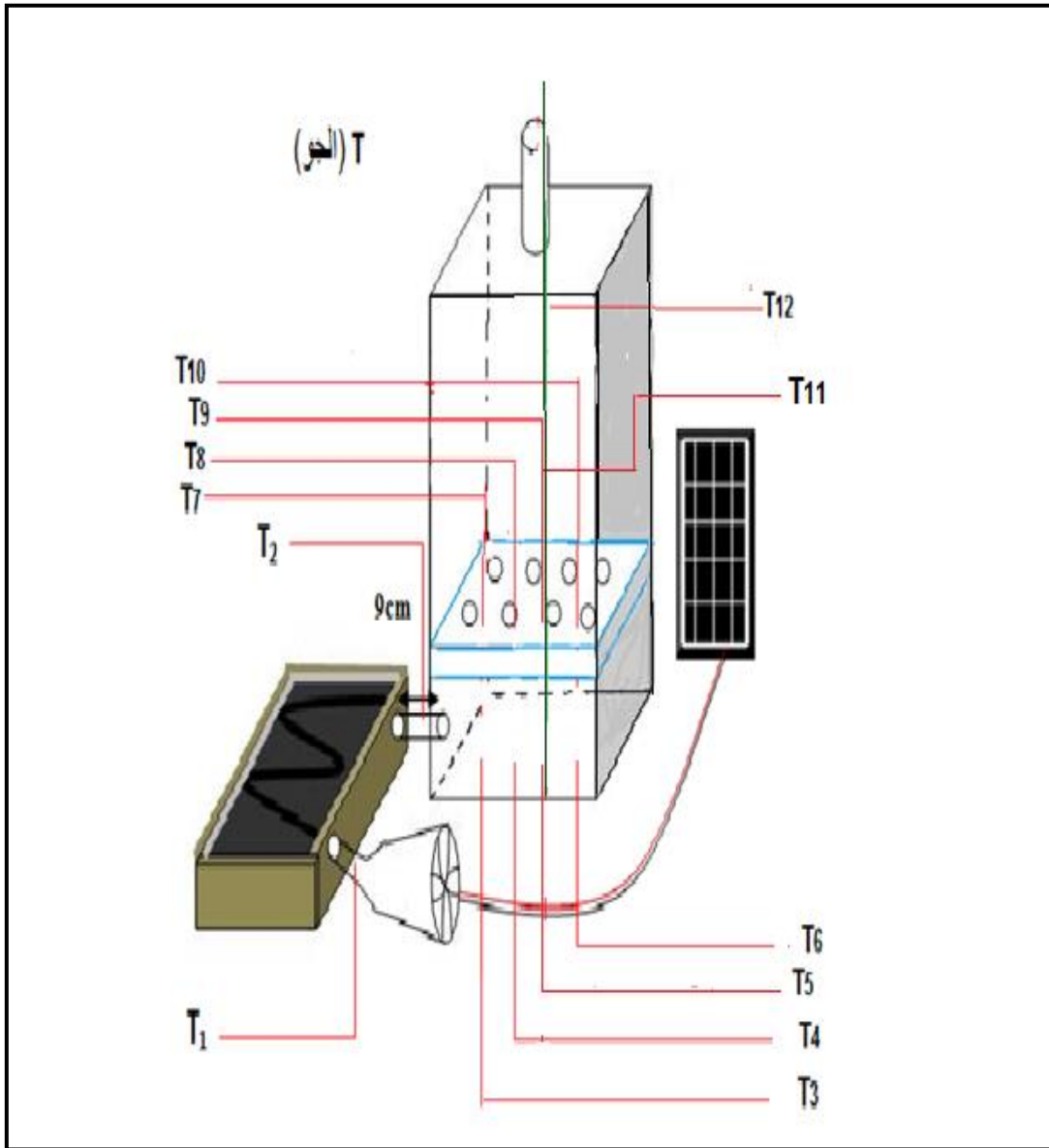


الشكل (III.5) : التركيب التجريبي للمجفف الشمسي الغير مباشر.

III.4. وصف منطقة التجربة:

أجريت الدراسة التجريبية في ولاية واد سوف الواقعة في الجنوب الشرقي للجزائر، تمتد أراضيها بين خطي طول 6° - 8° شرقا ودائرتي عرض 31° - 34° شمالا، تتميز بطابع صحراوي جاف حار صيفا وبارد شتاء حيث يصل المتوسط الحراري في فصل الصيف إلى 34°C وقد يتعدى في بعض الأحيان 50°C ، وفي فصل الشتاء يكون المتوسط الحراري 10°C ، وقد تصل أحيانا إلى مادون الصفر ليلا، التيارات الهوائية نشطة على مدار السنة في الوادي، فتهب رياح شمالية وشمالية شرقية من فيفري إلى أفريل، وتهب رياح شرقية من أوت إلى أكتوبر، وتهب رياح جنوبية حارة خلال الصيف، ونظرا لقلّة هطول الأمطار بسبب بعد المنطقة عن البحر (يصل المتوسط السنوي للتساقط بالمنطقة إلى 80.3 ملم) فإن أغلب أيام السنة تكون مشمسة وهذا ما يجعلها منطقة غنية بالطاقة الشمسية.

نثبت المزدوجات الحرارية داخل الغرفة كما في الشكل (III.6)، ثم نغلقها و نبدأ بقياس درجة الحرارة كل 15 دقيقة.

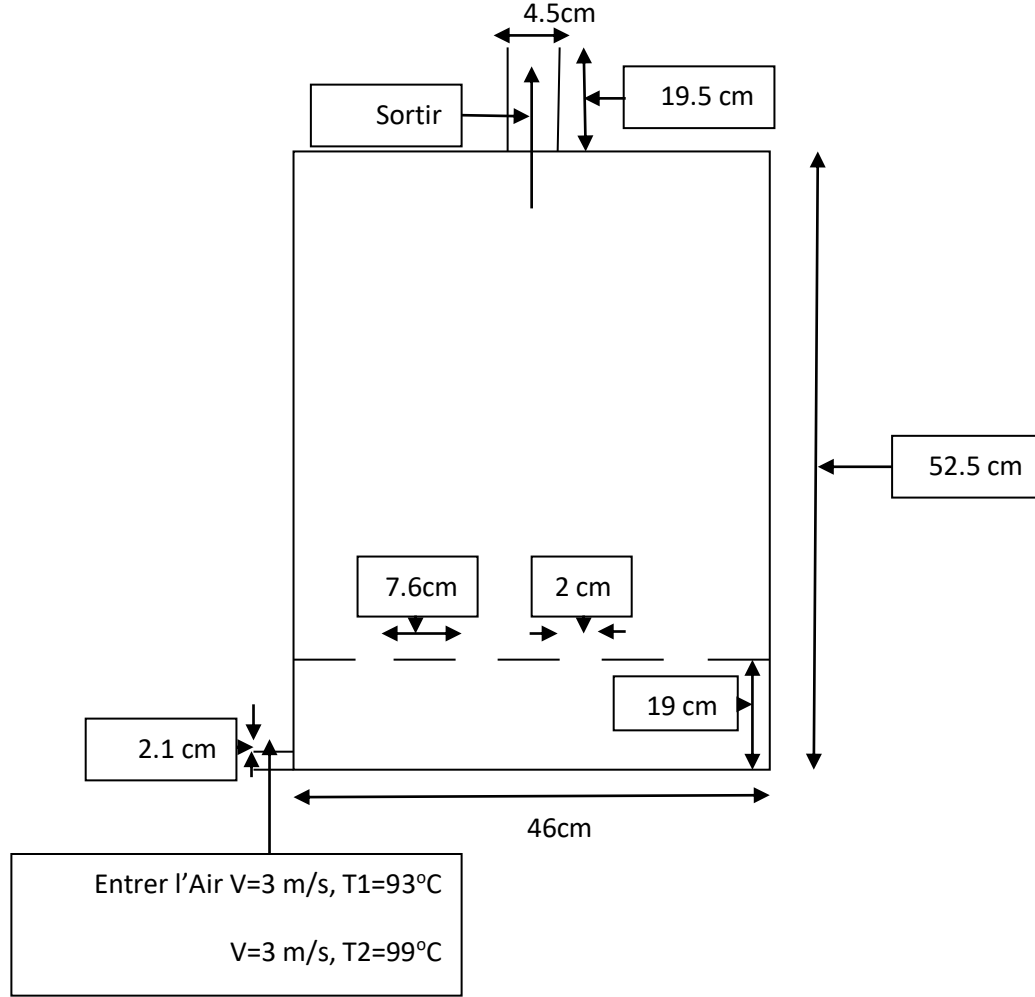


الشكل (III.6) : مخطط للمواضع التي تقاس عندها الحرارة.

III. 5. النتائج المتحصل عليها:

III. 5. 1. رسم توضيحي لغرفة المجفف الشمسي 2D:

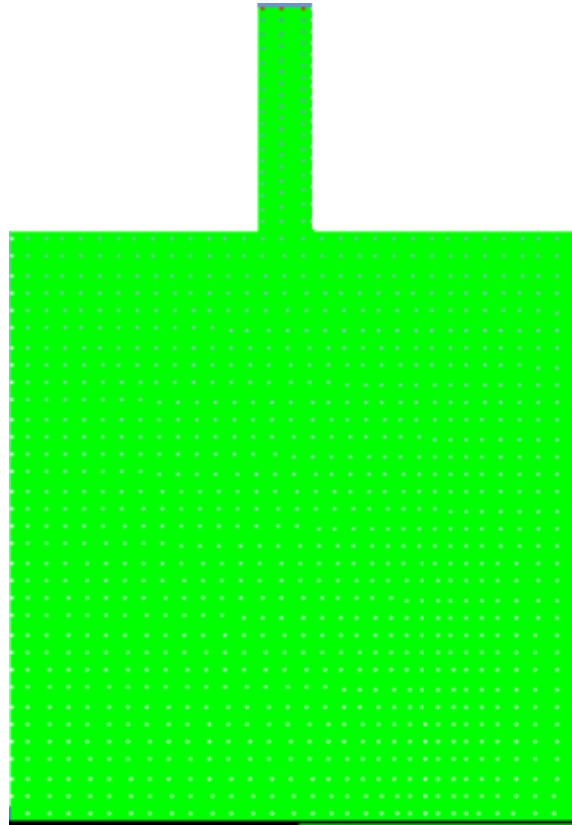
يمثل الرسم التوضيحي (7.III) شكل المجفف الشمسي ذو البعدين (2D) والمقسم إلى جزئين علوي وسفلي. يرسم هذا الشكل باستخدام برنامج FLUENT-CFD وهذا من أجل دراسة المحاكاة العددية. ويعطي كل الأبعاد والشروط الابتدائية للسرعة ودرجة الحرارة لدخول الهواء من اللاقط الشمسي.



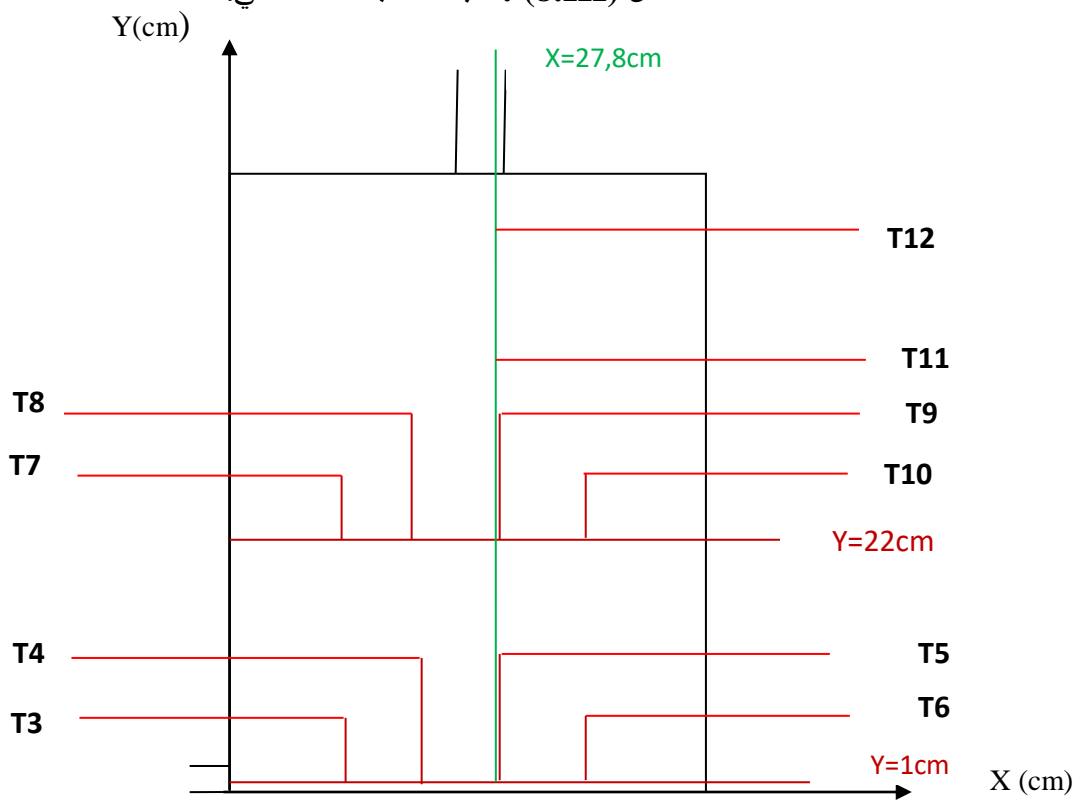
الشكل (7.III) : غرفة المجفف الشمسي بالثقب 2D.

III. 5. 2. رسم توضيحي لشبكة المجفف الشمسي:

يمثل الرسم التوضيحي (8.III) شبكة للمجفف الشمسي ذو البعدين 2D والمقسم إلى حلقات (1026 حلقة). رسمت هذه الشبكة باستخدام برنامج FLUENT-CFD وهذا من أجل دراسة المحاكاة العددية. من أجل ذلك سنحل معادلات النظام بطريقة volume finie لإيجاد عند كل عقدة (1110 عقدة) قيمة المحاكاة للوسائط التي نبحث عنها كدرجة الحرارة مثلا .



الشكل (8.III) : شبكة المجفف الشمسي.

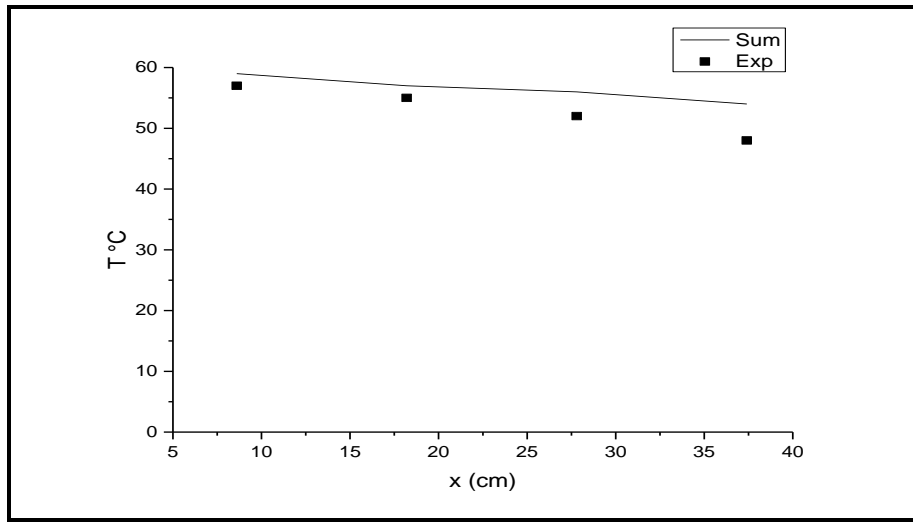


الشكل (9.III) : رسم توضيحي لشبكة المجفف الشمسي ومواقع القياس.

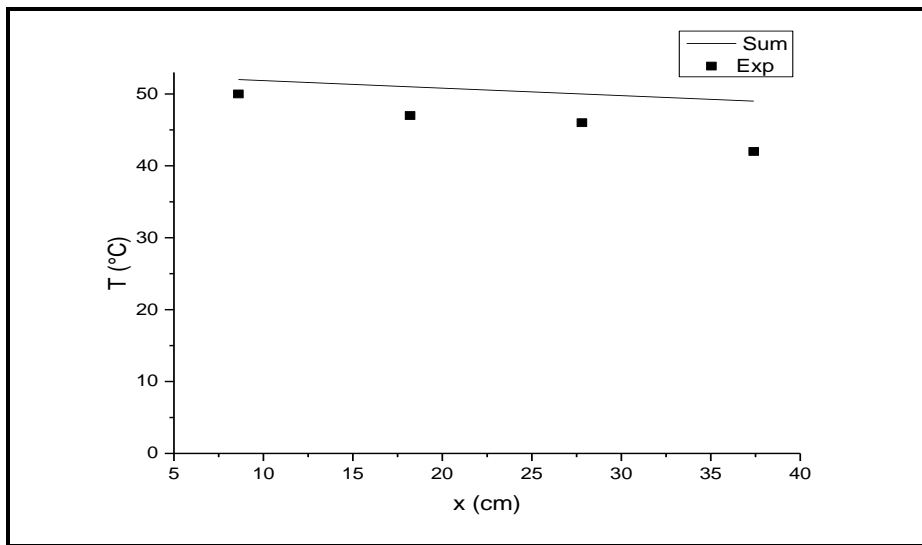
III. 5. 3. توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل ($T=93^{\circ}\text{C}$):

توضح الأشكال (10.III) (11.III) مقارنة لدرجة الحرارة المحورية التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة العددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD والبيانات التجريبية في الموضعين $y=1\text{cm}$, $y=22\text{cm}$.

في الواقع، فإن النتائج العددية تصل بشكل كبير إلى اتفاق جيد مع البيانات التجريبية. ونتيجة لذلك، إن الاختلاف الطفيف بين الحسابات العددية والقيم التجريبية يرجع إلى أن الحسابات العددية حسب على أساس أن المحاكاة 2D وان القياسات التجريبية قيست في غرفة مجفف شمسي 3D، مع أن الشروط الابتدائية لدخول الهواء $T_1=93^{\circ}\text{C}$, $V=3\text{m/s}$ تؤثر على النتائج. وأخيرا أجهزة القياس (thermocouple) تؤثر على القياسات التجريبية. يمكن إعطاء متوسط الارتياح المطلق بين الحساب العددي والتجريبي بقيمة 10%.



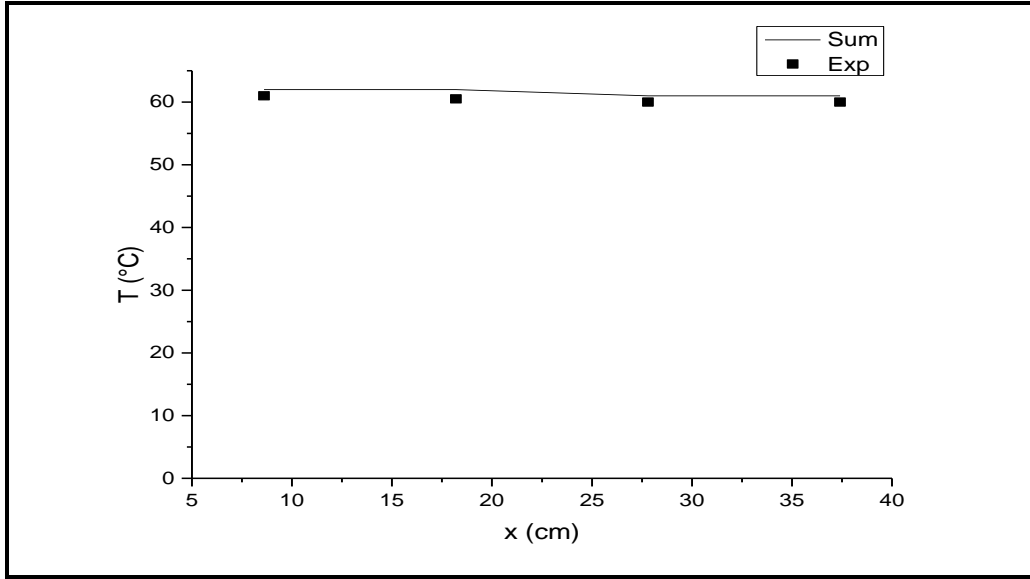
الشكل (10.III) : منحنى توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند الموضع $y=1\text{ cm}$ وفي الشروط الابتدائية $T_1=93^{\circ}\text{C}$, $V=3\text{m/s}$.



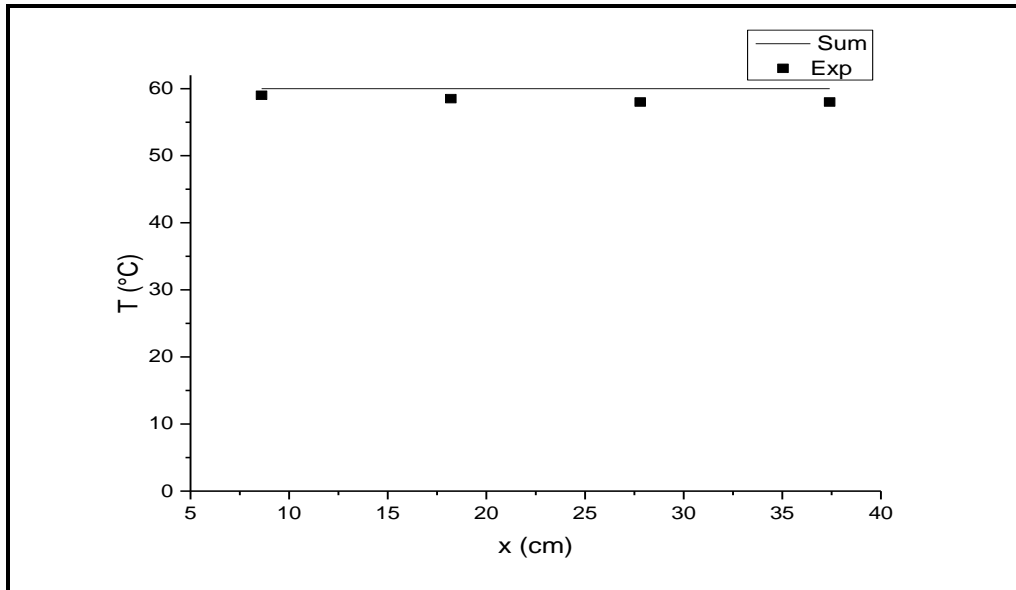
الشكل (11.III) : منحنى توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند موضع $y=22\text{cm}$ وفي الشروط الابتدائية $T_1=93^{\circ}\text{C}$, $V=3\text{m/s}$.

III. 5. 4. توزيع درجة الحرارة على محور الفواصل ($T=99^{\circ}\text{C}$):

توضح الأشكال (12.III) (13.III) مقارنة البيانات لمتوسط درجة الحرارة في المحطات المختلفة ($y=22\text{cm}, y=1\text{cm}$) في المجفف الشمسي للحسابات العددية والقياسات التجريبية. البيانات العددية والتجريبية تبدو متشابهة إلى حد ما. يعود الاختلاف إلى أن الحسابات العددية حسبت عند الشروط الابتدائية لدخول الهواء $T_1=99^{\circ}\text{C}$, $V=3\text{m/s}$ وأبعاد المجفف الشمسي $2D$ والارتفاعات المرتكبة عند القياسات التجريبية. يتم إعطاء متوسط الارتفاع المطلق بين المحاكاة العددية والتجربة بقيمة 1% .



الشكل (12.III) : منحنى توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند الموضع $y=1\text{cm}$ وفي الشروط الابتدائية $T_1=99^{\circ}\text{C}$, $V=3\text{m/s}$.

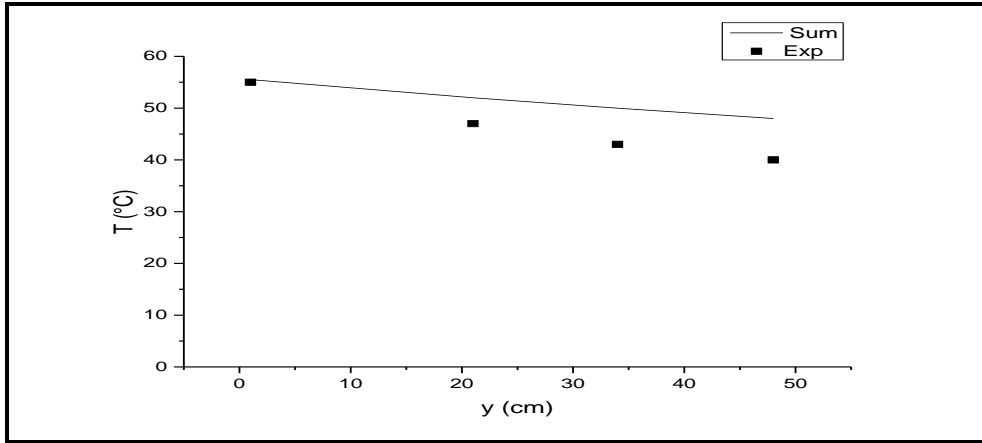


الشكل (13.III) : منحنى توزيع درجات الحرارة على محور الفواصل عند الموضع $y=22\text{cm}$ وفي الشروط الابتدائية $T_1=99^{\circ}\text{C}$, $V=3\text{m/s}$.

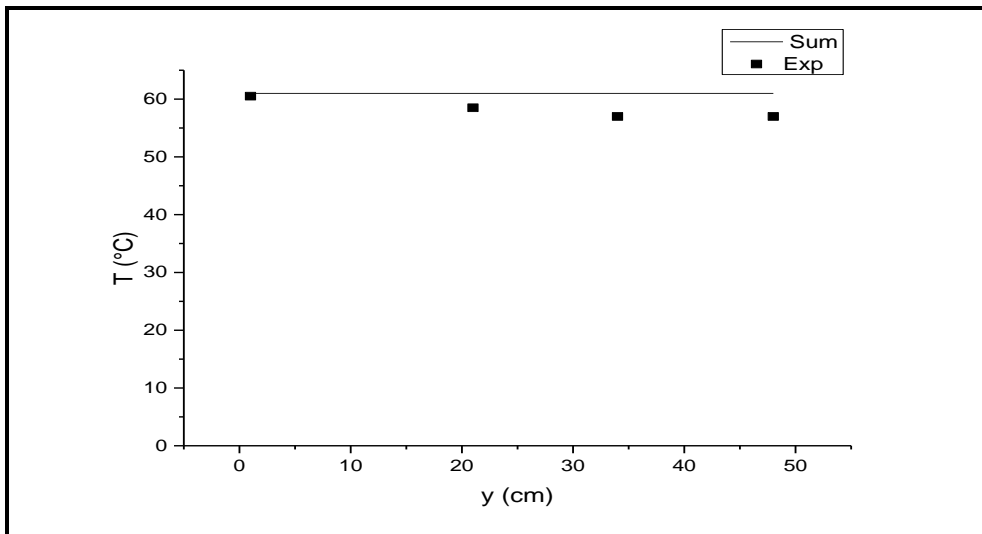
III. 5. 5. توزيع درجات الحرارة على محور الترتيب ($x=27.8, T=99^{\circ}c, T93^{\circ}c$):

توضح الأشكال (14.III) (15.III) مقارنة لدرجة الحرارة المحورية المحسوبة على المحور الترتيب التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة العددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD والقياسات التجريبية في الموضع $x=27.8\text{ cm}$.

في الواقع، فإن النتائج العددية تتوافق جيد مع القياسات التجريبية. ونتيجة لذلك، إن الاختلاف الطفيف بين الحسابات العددية والقيم التجريبية يرجع إلى أن الحسابات العددية حسبت على أساس أن المحاكاة 2D وان القياسات التجريبية قيست في غرفة مجفف شمسي 3D، مع أن الشروط الابتدائية لدخول الهواء $T1=93^{\circ}C$ و $V=3\text{m/s}$ و المنحنى الثاني حسب الشروط الابتدائية التالية $V=3\text{m/s}$, $T1=99^{\circ}C$ تؤثر على النتائج. وأخيرا أجهزة القياس (thermocouple) لها تأثير على القياسات التجريبية. يمكن إعطاء متوسط الارتياح المطلق للمنحنى الأول بين الحساب العددي والتجربي بقيمة 6%. أما الارتياح للمنحنى الثاني يساوي 5%.



الشكل (14.III): منحنى توزيع درجات الحرارة على محور الترتيب عند موضع $x=27.8\text{cm}$ وفي الشروط الابتدائية $T1=93^{\circ}C$, $V=3\text{m/s}$.



الشكل (15.III): منحنى توزيع درجات الحرارة على محور الترتيب عند موضع $x=27.8$ وفي الشروط الابتدائية $T1=99^{\circ}C$, $V=3\text{m/s}$.

8.III. الخاتمة:

لقد تم التعرف في هذا الفصل على كيفية صنع غرفة مجفف شمسي و تجهيز التركيب التجريبي، وقمنا بدراسة تجريبية ومحاكاة عددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD لتوزيع درجات الحرارة داخل غرفة المجفف الشمسي الغير مباشر يعمل بالحمل القسري. والعمل على تحسين توزيع درجة الحرارة في غرفة المجفف الشمسي، لهذا قارنا نتائج القياسات التجريبية و العددية. أثبتت الدراسة أن النتائج العددية تتفق جيد مع المعطيات التجريبية وأن اللوح الفاصل ساعد على تحسين توزيع درجة الحرارة داخل المجفف الشمسي، حيث استغرق انتظام توزيع الحرارة في الجزء العلوي وهو الجزء الأهم مدة زمنية قصيرة رغم كبر حجمه مقارنة بالجزء السفلي الذي استغرق مدة أطول في توزيع الحرارة.

الخاتمة العامة

في هذا العمل قمنا بدراسة التجريبية ومحاكاة العددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD لتوزيع درجات الحرارة داخل غرفة المجفف الشمسي الغير مباشر يعمل بالحمل القسري (مروحة تعمل بالطاقة الشمسية). وذلك باستعمال غرفة المجفف ذات أبعاد الخارجية $34 \times 46 \times 52.5$ سم، المحاطة من كل الجهات بألواح بوليستيران (عازل حراري) سمكها 2 سم مغلقة بالألمنيوم، مع ثقب مدخل للهواء الساخن في أسفل الغرفة قطره 2.1 سم و مخرج في الأعلى قطره 4.5 سم. أما بالنسبة إلى اللاقط الشمسي المستعمل فهو مصنوع من صندوق خشبي أبعاده $8 \times 25.5 \times 35$ سم معزول من كل الجهات بالبوليستيران المغلف بالألمنيوم يحتوي بداخله على صفيحة معدنية مصبوغة باللون الأسود غير اللامع مثبت عليه أنبوب نحاسي مصبوغ بالأسود لمرور الهواء الذي يتم تسخينه، ويغطي سقف الصندوق بزجاج ذو سمك 3م.

قمنا بدراسة مقارنة بين العمل التجريبي و العددي وهذا لتحسين توزيع درجة الحرارة في غرفة المجفف الشمسي، ولهذا قسمت الغرفة إلى قسمين بلوح من البوليستيران المغلف بالألمنيوم به ثمانية ثقوب قطر كل منها 2 سم، موزعة بانتظام على كامل اللوح. فيصبح للغرفة قسمين القسم العلوي والقسم السفلي. يتم تركيب جميع أجزاء المجفف الشمسي (الغرفة، اللاقط، المروحة، الخلية الشمسية)، وتثبت أجهزة قياس درجة الحرارة (Thermocouples) في مناطق مختلفة من الغرفة، ثم تسجل درجات الحرارة المتحصل عليها. وهذا بالنسبة للقياسات التجريبية، أما بالنسبة للحسابات العددية فحسبت على أساس المحاكاة العددية في بعدين (2D) وذلك باستخدام برنامج FLUENT-CFD. كما قمنا برسم منحنيات بين النتائج التجريبية والحسابات العددية ببرنامج FLUENT-CFD في محطات مختلفة من المجفف الشمسي، ثم نحلل ونقارن المنحنيات المتحصل عليها. أظهرت النتائج ما يلي:

- التوافق جيد بين النتائج التجريبية والقياسات العددية.
 - وجود ارتياب طفيف جدا وذلك راجع إلى أن الحسابات العددية حسبت على أساس المحاكاة 2D والقياسات التجريبية قيست في غرفة مجفف الشمسي 3D.
 - تأثير الشروط الابتدائية لدخول الهواء في غرفة المجفف على النتائج.
 - تأثير أجهزة قياس درجة الحرارة على النتائج التجريبية.
 - توزيع الحرارة في الجزء السفلي استغرق مدة زمنية طويلة رغم صغر حجمه.
 - مساهمة اللاقط في رفع درجة حرارة الغرفة.
 - التوزيع المنتظم للحرارة في القسم العلوي رغم كبر حجمه بمقارنة مع القسم السفلي.
 - درجة حرارة المخرج تتناقص مقارنة بالقسم العلوي.
 - مساهمة اللوح الفاصل في تحسين توزيع درجة الحرارة بشكل جيد داخل غرفة التجفيف.
- أثبتت الدراسة أن النتائج العددية تتفق جيد مع المعطيات التجريبية بالرغم من وجود الارتياحات الطفيفة، كما ساهم اللوح الفاصل في تحسين توزيع درجة الحرارة داخل المجفف الشمسي. وفي الأخير نقترح زيادة عدد الثقوب الموزعة على سطح الفاصل مع إمكانية تغيير أقطابها، وخفض مستوى ارتفاع اللوح لأجل الحصول على نتائج أفضل.

المحقق أ

أ. 1. مراحل صنع غرفة المجفف الشمسي:

الجدول (أ.1): يوضح الأدوات المستعملة في صنع غرفة المجفف.

<p>علبة مكعبة الشكل أبعادها 52.5×34×46 سم.</p>	
<p>ألواح بوليستيران (عازل حراري) سمكها 2 سم.</p>	
<p>ورق ألومنيوم (لحفظ الحرارة).</p>	
<p>أدوات أولية (شريط لاصق، أنبوب معدني قطره 2 سم، مشرط).</p>	

الجدول (أ.2): يوضح مراحل صنع غرفة المجفف الشمسي.

<p>تؤخذ قياسات العلبة و بواسطة مشرط تقص ألواح البوليستيران حسب الأبعاد المتحصل عليها.</p>	
<p>تُقب الجانب السفلي لإحداث مدخل للـهواء الساخن قطره 1.5 سم و مخرج للهواء الرطب في أعلى الغرفة ذو شكل أسطواني ارتفاعه 19 سم وقطره 4.5 سم.</p>	
<p>تغليف جميع ألواح البوليستيران المشكلة بالألمنيوم والحرص على إخراج الهواء الموجود بينهما وخاصة الثقوب التي يعتمد تغليفها على الدقة.</p>	

صنع لوح من البوليستيران واخذ قياساته بدقة لإحداث ثمانية ثقوب موزعة بانتظام على سطحه قطر كل ثقب 2 سم، ويغلف بالألومنيوم.



إحاطة كل الجهات (الجوانب، الأعلى و الأسفل) الداخلية للعلبة بالألواح المغلفة، و يوضع اللوح المثقوب في الغرفة حيث يقسمها إلى قسمين قسم سفلي ارتفاعه 8 سم والذي يحوي المدخل، أما العلوي ارتفاعه 37.5 به مخرج؛ لتحسين توزيع درجات الحرارة داخل الغرفة.



تغليف العلبة من الخارج بغلاف أبيض يحفظها من العوامل الجوية.



أ. 2. الأجهزة المستخدمة في القياس:

أ. 2. 1. جهاز قياس درجة الحرارة:

هو جهاز رقمي لقياس درجة الحرارة موصول بمزدوج حراري (Thermocouples)، يعطي قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوع فيه المزدوج. تصف الصورة جهاز الرقمي لقياس درجة الحرارة موصول بمزدوج حراري (Thermocouples):



الشكل (أ.1): صورة جهاز رقمي لقياس درجة الحرارة موصول بمزدوج الحراري (Thermocouples).

أ. 3. الأحوال الجوية التي تمت فيها التجربة:

h5:45	شروق الشمس
18:47h	غروب الشمس
16 - 33 C°	درجة حرارة الجو
33 %	الرطوبة
13 km/h	الرياح

الملخص:

في هذه المذكرة، قمنا بدراسة تجريبية ومحاكاة عددية باستخدام برنامج FLUENT-CFD لتوزيع درجات الحرارة داخل غرفة المجفف الشمسي غير المباشر يعمل بالحمل القسري. الهدف الرئيسي من هذا العمل وهو مقارنة الدراسة التجريبية و العددية من جهة، والعمل على تحسين توزيع درجة الحرارة في غرفة المجفف الشمسي، ولهذا قمنا بقسمة الغرفة إلى جزئين بلوح من البوليستيران المغلف بالألمنيوم، يحوي ثمانية ثقب قطر كل منها 2 سم، موزعة بانتظام. فحصلنا على جزء علوي و جزء سفلي.

أثبتت الدراسة أن النتائج العددية تتفق جيد مع المعطيات التجريبية وأن اللوح الفاصل ساعد على تحسين توزيع درجة الحرارة داخل المجفف الشمسي، حيث استغرق انتظام توزيع الحرارة في الجزء العلوي وهو الجزء الأهم مدة زمنية قصيرة رغم كبر حجمه مقارنة بالجزء السفلي الذي استغرق مدة أطول في توزيع الحرارة.

الكلمات المفتاحية: المجفف الشمسي، الطاقة الشمسية، توزيع الحرارة، العازل الحراري، الحمل الحراري، FLUENT-CFD.

Résumé:

Dans cette mémoire, nous avons étudié expérimentalement et simulation numérique à l'aide du programme FLUENT-CFD pour la distribution de la température dans la chambre de convection solaire indirecte. la distribution de la température dans une chambre de séchoir solaire indirecte, fonctionnement en travail forcée. L'objectif principal de cette étude expérimentale est d'améliorer la distribution de la température dans une chambre de séché solar, et cela, nous avons devisé la chambre en deux parties par un panneau de polystyrène recouvert d'aluminium, contenant un de huit trous à diamètre 2 cm, distribué régulièrement. Nous avons eu la partie supérieure et inférieure.

Les résultats de l'étude ont démontré que les résultats numériques concordaient avec les données expérimentales, et le panneau du conseil d'administration a contribué à améliorer la distribution de la température à l'intérieur du séchoir solaire, où la régularité de la distribution de chaleur dans la partie supérieure, qui a pris une courte période et cette partie est la plus importante, malgré sa taille par rapport à la partie inférieure qui a la plus longue durée de la distribution de chaleur.

Mots clés: séchoir solaire, énergie solaire, distribution de chaleur, isolation thermique, convection, FLUENT-CFD