

الرقم الترتيبي:
الرقم التسلسلي:

جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية العلوم و التكنولوجيا و علوم المادة
قسم هندسة الطرائق



مذكرة

لنيل شهادة

الماجستير

في هندسة الطرائق

تخصص: طاقة وأساليب

من إعداد:

العاتي مختار

الموضوع:

المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل
الزراعية

يوم: 2011/06/08

لجنة المناقشة المتكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	خلفاوي فتحي
ممتحنا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	بوشكيممة بشير
ممتحنا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر	بوبكري عبد الغني
مساعد مؤطر	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر	بوغالي سليمان
مؤطرا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	بوقطاية حمزة

شكر و عرفان

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد المبعوث رحمة للعالمين ومنار هداية ودليل رشاد للناس أجمعين .

الشكر والفضل لله الذي أعانني ووفقني إلى إتمام هذه المذكرة ، ثم إلى والدي الكريمين وكل أفراد عائلتي .

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ المشرف على هذه المذكرة "بوقطاية حمزة" ومساعدته الأستاذ الفاضل "بوغالي سليمان"، على كل المساعدات المادية والمعنوية والنصائح القيمة التي قدمها لي .

وأتقدم أيضا بالشكر الجزيل إلى المخبرين "حوتي أحمد" و "الحاج يعقوب" , وكذلك الأستاذ المحترم "منوش جمال" , و كل طاقم مصلحة الصيانة للكلية على كل ما قدموه لي في الجزء العملي .

وأخص كذلك شكري و عرفاني للأستاذة الكرام الذين قبلوا مناقشة مذكرتي وهم:

- الأستاذ خلفاوي فتحي من جامعة ورقلة (رئيس لجنة المناقشة)

- الأستاذ بوشكيمة بشير من جامعة ورقلة .

- الأستاذ بوبكري عبد الغني من جامعة ورقلة .

كما لا أنسى كل من كان له يد مساعدة من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل .

فهرس الأشكال

الصفحة	رقم الشكل
الفصل الأول	
4	(1 -I) زاوية كل من الميلان الشمسي والساعة الزاوية.....
5	(2 -I) زوايا الشمس المختلفة.....
6	(3 -I) زاوية كل من السمات الرأسية و السمت الشمسي وزاوية الارتفاع.....
8	(4-I) تأثير غازات الجو على الطيف الشمسي.....
10	(5 -I) تغيرات الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي.....
10	(6 -I) كيفية توجيه اللاقط الشمسي.....
11	(7 -I) كيفية اختيار زاوية ميل اللاقط الشمسي.....
12	(8 -I) المسافة الدنيا بين اللاواقظ لتفادي التظليل.....
13	(9 -I) خريطة الإشعاع الإجمالي الشمسي اليومي لشهر جويلية.....
20	(10 -I) أجزاء اللاقط الشمسي المسطح.....
21	(11 -I) مخطط الموازنة الحرارية لللاقط.....
الفصل الثاني	
29	(1 -II) الكمية القصوى لبخار الماء الذي يمكن أن يحتويه الهواء حسب درجة حرارته.....
31	(2 -II) توزيع الماء داخل الجسم الصلب المسامي.....
31	(3 -II) منظر تحت المجهر يوضح المسامية.....
33	(4 -II) منحني سرعة التجفيف (منحني Krische).....
34	(5 -II) منحني Adsorption-Désorption للمادة المجففة.....
36	(6 -II) مخطط سرعة تغير المادة الحية بدلالة فعالية الماء.....
39	(7 -II) تجفيف مباشر للمحاصيل الزراعية (تجفيف تقليدي).....
40	(8 -II) نماذج لمجففات تقليدية.....
41	(9 -II) نموذج لمجفف صناعي.....
44	(10 -I) أهم أنواع المجففات الشمسية.....
الفصل الثالث	
45	(1-III) اللاقط A: مسرى الهواء من تحت الماص الحراري (بين الماص الحراري والعازل الحراري).....
45	(2-III) اللاقط B: الماص الحراري مائل يدخل الهواء من فوق الماص الحراري وخروج من تحته عبر ثقب مستطيل طوله 0.6m وعرضه 0.15m.....

- 46 (3-III) اللاقط C: مسرى الهواء من فوق الماص الحراري (بين الغطاء الزجاجي و الماص الحراري).....
- 46 (4-III) تغيرات درجة الحرارة الخارجة للاواقط (C.B.A) بالحمل القسري ليوم 29 ماي 2010.....
- 46 (5-III) تغيرات درجة الحرارة الخارجة للاواقط (C.B.A) بالحمل الطبيعي ليوم 25 ماي 2010.....
- 48 (6-III) مكونات اللاواقط (C.B.A).....
- 48 (7-III) مكونات اللاقط B'.....
- 48 (8-III) اللاقط A: مدخل ومخرج الهواء على شكل ثقب دائري في أسفل المجمع.....
- 48 (9-III) اللاقط B و B': مدخل الهواء على شكل سلسلة ثقب مستطيلة في الجهة الأمامية (السفلى)، ومخرجه يكون عبر ثقب واحد مستطيل يقع في أعلى اللاقط.....
- 48 (10-III) اللاقط C: مدخل الهواء على شكل سلسلة ثقب مستديرة في الجهة الأمامية (السفلى)، ومخرجه يكون عبر ثقب واحد مستدير يقع في أسفل المجمع من الجهة العلوية.....
- 49 (11-III) النموذج الأول: ركبت هذه الحواجز على عرض اللاقط بحث الحواجز الكبيرة تمثل 75% من العرض الكلي للاقط والصغرى نصف الكبيرة، في نفس النموذج نقوم بتغيير النسبة (h/d) من 50% ، 70% ، 80% إلى 100%.....
- 49 (12-III) النموذج الثاني A يحتوي على ستة حواجز، بحيث: $75\% = h/d$ و $75\% = L/l$
- 49 (13-III) النموذج الثاني B يحتوي على سبعة حواجز، بحيث: $72\% = h/d$ و $60\% = L/l$
- 49 (14-III) النموذج الثالث: يكون توزيع الحواجز فيه غير منظم (مبعثر)، أما أطوالها فتتراوح من 0.3، 0.4، 0.5 إلى 0.6 m بحيث: $72\% = h/d$
- 49 (15-III) النموذج الرابع: توضع الحواجز على شكل متاهة، بحيث: $100\% = h/d$
- 52 (16-III) مكونات اللاقط الشمسي المسطح.....
- 53 (17-III) أشكال الزعانف قبل انحنائها.....
- 53 (18-III) شكل الزعانف بعد انحنائها.....
- 53 (19-III) شكل الزعانف عمودية و مائلة.....
- 53 (20-III) شكل القطع الأنبوبية.....
- 54 (21-III) اللاقط A: مجمع بسيط التركيب أحادي المسلك يجتاز الهواء من أسفل الماص الحراري فقط.....
- 56 (22-III) اللاقط B: مجمع أحادي المسلك مضاف إليه عوائق من الألمنيوم متوازية ملحومة أسفل الماص من جهة مسلك الهواء.....
- 56 (23-III) اللاقط C: المجمع ذو مسلك مزدوج للهواء بحيث الهواء يمر من فوق ومن تحت الماص الحراري في نفس الوقت.....
- 56 (24-III)

- 57 (25-III) منحني تغيير درجة الحرارة بدلالة الإشعاع عند (2005) Ahmed KHOUYA et al .
- 58 (26-III) اللاقط A : لاقط ذو مسلك مزدوج للهواء بحيث يدخل الهواء من فوق الماص الحراري ويخرج من تحته.....
- 58 (27-III) اللاقط B: لاقط ذو مسلك مزدوج مثبتة من الجهة العليا فقط حواجز من الألمنيوم بحيث طول الحاجز L و سمكه e و البعد بين كل حاجزين متتاليين P
- 59 (28-III) اللاقط C: لاقط مزدوج المسلك بحيث يدخل الهواء من فوق ومن تحت الماص في نفس الوقت وكذلك يخرج من فوق ومن تحت الماص في نفس الوقت.....
- 60 (29-III) مكونات اللاقط الشمسي المسطح المستعمل عند (2008) K. Aoues 1 et al
- 60 (30-III) أبعاد العوائق المستعملة عند (2008) K. Aoues 1 et al
- 60 (31-III) توزيع العوائق على شكل تخميسه.....
- 60 (32-III) توزيع العوائق على شكل صفوف مستقيمة.....
- 61 (33-III) مكونات اللاقط الشمسي المسطح المستعمل عند (2009) K. Aoues 1 et al
- 61 (34-III) شكل زاوية ميلان العوائق المستعملة عند (2009) K. Aoues 1 et al
- 63 (35-III) حواجز طولية و عرضية معا.....

الفصل الرابع

- 67 (1-IV) أجزاء اللاقط الشمسي المستعمل في التجربة.....
- 69 (2-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 21 أبريل 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 0.4 m/s
- 69 (3-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 22 أبريل 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 0.8 m/s
- 70 (4-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 26 أبريل 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 1.2 m/s
- 70 (5-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 27 أبريل 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 1.6 m/s
- 71 (6-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 28 أبريل 2010، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 2 m/s

- 71 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 29 أبريل 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 2.5 m/s (7-IV)
- 74 رسم تخطيطي للاقط المزود بالعوائق..... (8-IV)
- 74 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 19 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 0.4 m/s (9-IV)
- 75 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 19 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 0.8 m/s (10-IV)
- 75 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 13 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 1.2 m/s (11-IV)
- 76 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 11 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 1.6 m/s (12-IV)
- 76 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 24 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 2 m/s (13-IV)
- 77 تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 12 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجففV= 2.5 m/s (14-IV)
- 78 رسم بياني مقرن بين فرق حرارة الاقط بالنسبة لوحدة الإشعاع بدلالة تغير سرعة الهواء لكل من المجفف قبل وبعد التحسين..... (15-IV)
- 79 تغيرات الفرق في درجة حرارة الاقط بدون عوائق بالنسبة للاقط المزود بالعوائق، مع سرعة خروج الهواء V= 0.4 m/s (16-IV)
- 79 تغيرات الفرق في درجة حرارة الاقط بدون حواجز بالنسبة للاقط المزود بالحواجز، مع سرعة خروج الهواء V=0.8m/s (17-IV)
- 80 تغيرات الفرق في درجة حرارة الاقط بدون عوائق بالنسبة للاقط المزود بالعوائق، مع سرعة خروج الهواء V= 1.2 m/s (18-IV)
- 80 تغيرات الفرق في درجة حرارة الاقط بدون عوائق بالنسبة للاقط المزود بالعوائق، مع سرعة خروج الهواء V= 1.6 m/s (19-IV)

81	تغيرات الفرق في درجة حرارة اللاقط بدون عوائق بالنسبة للاقط المزود بالعوائق، مع سرعة خروج الهواء $V=2\text{ m/s}$	(20-IV)
81	تغيرات الفرق في درجة حرارة اللاقط بدون عوائق بالنسبة للاقط المزود بالعوائق، مع سرعة خروج الهواء $V=2.5\text{ m/s}$	(21-IV)
85	منحنى تغير نسبة الماء بدلالة الزمن للاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة.....	(22-IV)
85	منحنى تغير نسبة الماء بدلالة الزمن للاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية.....	(23-IV)
86	تغير فرق حرارة اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية بدلالة الزمن.....	(24-IV)
87	تغير فرق حرارة اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية بدلالة الزمن (لليوم الأول).....	(25-IV)
87	تغير فرق حرارة اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية بدلالة الزمن (لليوم الثاني).....	(26-IV)
91	منحنى تغير نسبة الماء بدلالة الزمن(اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية) ..	(27-IV)
92	تغير فرق حرارة اللاقط بدلالة الزمن(اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية)	(28-IV)
94	رسم بياني مقارنة بين نسب الطاقة الشمسي و الطاقة الكهربائية خلال المراحل التجريبية الثلاث.....	(29-IV)

الملحق (C)

105	ترتيب الولايات حسب إنتاج البطاطس لسنة 2006.....	(1-C)
-----	---	-------

الفصل الأول

5	الكمية القصوى لبخار الماء الذي يمكن أن يحتويه الهواء حسب درجة حرارته.....	(1 -I)
7	توزيع الماء داخل الجسم الصلب المسامي.....	(2 -I)
7	منظر تحت المجهر يوضح المسامية.....	(3 -I)
9	منحنى سرعة التجفيف (منحنى Krische).....	(4 -I)
10	منحنى Adsorption-Désorption للمادة المجففة.....	(5 -I)
12	مخطط سرعة تغير المادة الحية بدلالة فعالية الماء.....	(6 -I)
15	تجفيف مباشر للمحاصيل الزراعية(تجفيف تقليدي).....	(7 -I)
16	نماذج لمجففات تقليدية.....	(8 -I)
17	نموذج لمجفف صناعي.....	(9 -I)
20	أهم أنواع المجففات الشمسية.....	(10 -I)

فهرس الجداول

الصفحة	الفصل الأول	الرقم
6	طاقة الإضاءة لمختلف أطياف الإشعاع الشمسي خارج المجال الجوي.....	(1-I)
9	عاكسية بعض المواد.....	(2-I)
12	الإشعاع الشمسي في مختلف مناطق الوطن.....	(3-I)
16	تأثير لون الجسم على معامل امتصاصه.....	(4-I)
الفصل الثاني		
38	نسبة الرطوبة القصوى لتخزين بعض الخضراوات والفواكه.....	(1-II)
الفصل الثالث		
51	تغير المردود بدلالة التدفق و h/d للمجمع B عند A. ABENE 1 et al (2003).....	(1.III)
54	أهم مميزات الزعانف المستعملة.....	(2.III)
55	النتائج المتحصل عليها عند A. Abene 2 et al (2004).....	(3.III)
58	النتائج المتحصل عليها Irfan KURTBAS and Emre TURGUT (2006).....	(4.III)
62	النتائج المتحصل عليها عند K. Aoues 2 et al (2009).....	(5.III)
64	ملخص أهم النتائج المتوصل إليها من الدراسات السابقة.....	(6.III)
الفصل الرابع		
73	تغير فرق درجة حرارة اللاقط بالنسبة لوحدة الإشعاع الشمسي وقت الذروة بدلالة سرعة هواء المروحة في اللاقط الشمسي المسطح بدون عوائق.....	(1.IV)
77	تغير فرق درجة حرارة اللاقط بالنسبة لوحدة الإشعاع الشمسي وقت الذروة بدلالة سرعة هواء المروحة في اللاقط الشمسي المسطح المزود بعوائق.....	(2.IV)
82	تغير نسبة الزيادة الحرارية اليومية لللاقظ المزود بالعوائق مقارنة باللاقظ بدون عوائق بدلالة سرعة الهواء.....	(3.IV)
88	الطاقة الشمسية المنتجة من طرف اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقظ المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني).....	(4.IV)
88	الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة في حالة اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقظ المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني).....	(5.IV)
88	الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومتين الكهربائيتين لللاقظ بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقظ المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني).....	(6.IV)
89	الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجفيف لللاقظ بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقظ المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني).....	(7.IV)
89	النسب الطاقوية المستهلكة خلال عملية التجفيف لكل من المصدرين (للاقظ بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقظ المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)).....	(8.IV)

90	تحديد نسبة الماء الابتدائية خلال أيام التجارب (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية) .	(9.IV)
92	الطاقة الشمسية المنتجة من طرف اللاقط المزود بالعوائق و باستعمال المقاومة الكهربائية.....	(10.IV)
93	الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية)...	(11.IV)
93	الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومتين الكهربائيتين في اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية.....	(12.IV)
93	الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجفيف (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية).....	(13.IV)
94	النسب الطاقوية المستهلكة خلال عملية التجفيف لكل من المصدرين (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية).....	(14.IV)
الملحق (A)		
105	الأرقام الالبعديية.....	(1.A)
الملحق (B)		
106	خصائص مختلف الأغلفة الزجاجية.....	(1-B)
107	خصائص المواد المستعملة كماص حراري.....	(2 -B)
107	خصائص المواد المستعملة كعازل حراري.....	(3 -B)
الملحق (C)		
108	ترتيب الدول المنتجة للتمر حسب الانتاج العالمي.....	(1-C)
109	توزيع إنتاج التمر في الوطن (2000/2001) بالقنطار.....	(2 -C)
الملحق (C)		
110	تقسيم العمال حسب نشاط الوحدات لقطاع البطاطس في الجزائر.....	(1-D)
111	ارتفاع إنتاج البطاطس للفترة (2007-2000) بالمقارنة بالفترة (1991-2000).....	(2 -D)
112	ارتفاع إنتاج البطاطس لولاية الوادي من سنة 1991 إلى سنة 2008.....	(3 -D)
14	نسبة الرطوبة القصوى لتخزين بعض الخضر والفواكه.....	(1 -I)

فهرس الصور

الصفحة		رقم الصورة
الفصل الثالث		
52	..... المنحنية. الأضلاع و مستقيم	(III- 1)
52	..... المنحنية. مقوس الأضلاع و	(III- 2)
53	..... وعمودي. مقوس الأضلاع و	(III- 3)
53	..... ومائلة. مقوس الأضلاع و	(III- 4)
53	..... أنبوية. من قطع	(III- 5)
57	..... عوائق $m(0.8 \times 0.06)$	(III- 6)
57	..... عوائق $m(0.2 \times 0.06)$	(III- 7)
63	..... عرضية فقط. حركة الهواء في حواجز	(III- 8)
الملحق (D)		
114	..... الشمسي. المجفف	(D- 1)
114	..... غرفة التحفيف. وضعية الميزان في الجهة الخلفية	(D- 2)
114	..... الكهربائية. المروحة	(D- 3)
114	..... المقاومة الكهربائية. المقاومة	(D- 4)
114	..... الإماهة (50%). التمر بعد	(D- 5)
114	..... التحفيف (35%). التمر بعد	(D- 6)
114	..... البطاطس قبل التحفيف. شرائح	(D- 7)
114	..... التحفيف (13%). شرائح البطاطس بعد	(D- 8)
115	..... الرطوبي. جهاز التحليل	(D- 9)
115	..... الشمسي. جهاز قياس الإشعاع	(D- 10)
115	..... الحرارة. جهاز قياس درجة	(D- 11)
115	..... الهواء. جهاز قياس سرعة حركة	(D- 12)
115	..... الجوية. جهاز قياس الرطوبة	(D- 13)
115	..... المجفف. جهاز قياس الرطوبة داخل	(D- 14)
115	..... كهربائي. عداد كهربائي	(D- 15)

فهرس العناوون

I	.....	شكر وعرفان
II	.....	الملخص
III	.....	فهرس العناوون
VII	.....	رموز ومصطلحات
XI	.....	فهرس الأشكال
XVI	.....	فهرس الصور
XVII	.....	فهرس
	.....	الجداول
1	.....	المقدمة
الفصل الأول: الطاقة الشمسية والظواهر الفيزيائية		
3	.....	1.I الطاقة المتجددة
3	.....	1.1.I مقدمة
3	.....	2.1.I أنواع الطاقة المتجددة
3	.....	2.I الطاقة الشمسية
3	.....	1.2.I مصدرها
4	.....	2.2.I مميزات الطاقة الشمسية
4	.....	3.2.I زوايا الشمس
6	.....	3.I الأشعة الشمسية
10	.....	4.I الاعترارات الفنية لوضع المجمعات الشمسية
10	.....	1.4.I توجيه اللاقط
11	.....	2.4.I زاوية ميل اللاقط
12	.....	3.4.I المسافة الفاصلة بين صفوف اللاواقط
12	.....	5.I الطاقة الشمسية في الجزائر
13	.....	6.I الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التحفيف
13	.....	1.6.I طرق انتقال الحرارة
13	.....	1.1.6.I التوصيل
14	.....	2.1.6.I الحمل
15	.....	3.1.6.I الإشعاع
18	.....	2.6.I طرق انتقال الكتلة

18	..... الانتشار الجزئي	1.2.6.I
19	..... الحمل الكتلي	2.2.6.I
19	..... تعريف اللاقط الشمسي	1.7.I
20	..... تركيب اللاقط الشمسي المسطح	2.7.I
21	..... الموازنة الحرارية للاقط	8.I
25	..... مردود اللاقط	9.I
الفصل الثاني: مفاهيم عامة و أنواع المجففات		
27	..... تعريف التجفيف	1.II
27	..... الخصائص الأساسية للهواء الرطب	2.II
30	..... الجسم المسامي	3.II
30	..... تعريف	1.3.II
30	..... توزيع شكل الماء داخل الجسم المسامي	2.3.II
31	..... خصائص الجسم المسامي	3.3.II
32	..... سرعة التجفيف	4.II
33	..... حركية التجفيف	5.II
34	..... التساوي الحراري	6.II
35	..... تأثير عوامل الهواء على حركية التجفيف	7.II
35	..... العوامل المؤثرة في عملية التجفيف المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها	8.II
35	..... تأثير عملية التجفيف على المادة المجففة	9.II
36	..... علاقة فعالية الماء بالآثار الجانبية للمادة المجففة	10.II
37	..... أساليب التجفيف	11.II
37	..... مجالات استعمال التجفيف الشمسي	12.II
37	..... التجفيف في الصناعات الغذائية	13.II
38	..... أضرار الرطوبة الزائدة على الثمار	14.II
38	..... كيفية إزالة الماء في المنتجات الغذائية	15.II
39	..... أسباب و فوائد تجفيف الثمار	16.II
39	..... التجفيف الشمسي التقليدي	17.II
39	..... مقدمة	1.17.II
40	..... فوائد ومساوى التجفيف التقليدي	2.17.II
40	..... أضرار تعرض المنتج لأشعة الشمس مباشرة	3.17.II
41	..... المجففات الصناعية	18.II
41	..... تركيب المجففات الصناعية	1.18.II
41	..... إيجابيات وسلبيات المجففات الصناعية	2.18.II

41	التجفيف باستعمال المجففات الشمسية.....	.19.II
41	مكونات المجفف الشمسي.....	.1.19.II
42	أنواع المجففات الشمسية حسب طريقة تسخين الهواء.....	.2.19.II
42	مجففات شمسية مباشرة.....	.1.2.19.II
42	مجففات شمسية غير مباشرة.....	.2.2.19.II
43	مجففات شمسية متعددة الأنظمة (مختلط).....	.3.2.19.II
43	مجففات شمسية هجينة.....	.4.2.19.II
43	أنواع المجففات حسب طبيعة حركة الهواء.....	.20.II
44	تنقية المجفف.....	.21.II
الفصل الثالث: الدراسة المرجعية		
45	الإشكالية المطروحة.....	.1.III
45	عمل (2001) F. Mokhtari et D. Semmar.....	.2.III
47	عمل (2003) A. ABENE 1 et al.....	.3.III
52	عمل (2004) A. Abene 2 et al.....	.4.III
56	عمل (2005) Ahmed KHOUYA et al.....	.5.III
57	عمل (2006) Irfan KURTBAS and Emre TURGUT.....	.6.III
58	عمل (2007) Ahmed KHOUYA et al.....	.7.III
59	عمل (2008) K. Aoues 1 et al.....	.8.III
60	عمل (2009) K. Aoues 2 et al.....	.9.III
63	عمل (2009) R. Ben Slama.....	.10.III
64	مقارنة الأعمال السابقة.....	.11.III
64	الشروط الواجب توفرها في النموذج المقترح.....	.12.III
الفصل الرابع : الدراسة التجريبية		
66	مقدمة.....	.1.IV
66	وصف منطقة التجربة.....	.2.IV
66	وصف المجفف الشمسي المستعمل.....	.3.IV
67	المقادير المقاسة خلال التجارب.....	.4.IV
68	الأجهزة المستعملة في القياس.....	.5.IV
69	الجزء الأول(تحسين اللاقط الشمسي المسطح).....	.6.IV
69	المرحلة الأولى: (قبل إجراء التحسين).....	.A.6.IV
70	منحنيات القياسات التجريبية لللاقط بدون عوائق.....	.1. A.6.IV
72	مناقشة نتائج اللاقط بدون عوائق.....	.2. A.6.IV
73	المرحلة الثانية: (بعد إجراء التحسين).....	.B.6.IV

74	..... مميزات العوائق المستعملة	.1. B.6.IV
74	..... منحنيات القياسات التجريبية للاقط المزود عوائق	.2. B.6.IV
77	..... مناقشة نتائج اللاقط المزود عوائق	.3. B.6.IV
78	..... مقارنة بين فرق حرارة اللاقط قبل وبعد التحسين وقت الذروة	.C.6.IV
79	..... مقارنة فرق الحرارة الناتج عن اللاقط المزود بالعوائق بالمجمع بدون عوائق	.D.6.IV
82	..... نسبة الزيادة الحرارية اليومية للاقط المزود بالعوائق مقارنة باللاقط بدون عوائق	.E.6.IV
83	..... الجزء الثاني (حساب المقدار الطاقوي لكل من المصدرين)	.7.IV
83	..... هدف الجزء الثاني	.A.7.IV
83	..... مميزات المقاومة والمروحة	.B.7.IV
83	..... طريقة العمل	.C.7.IV
84	..... المرحلة الأولى (لاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية)	.D.7.IV
85	..... المرحلة الثانية (لاقط مزود عوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية)	.E.7.IV
90	..... المرحلة الثالثة (لاقط مزود عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية)	.F.7.IV
94	..... مقارنة نتائج المراحل الثلاثة السابقة	.G.7.IV
95	..... الخلاصة	
97	..... المراجع	
الملاحق		
103	..... الأرقام اللاحقة	(A) الملحق
104	..... خصائص مكونات لاقط شمسي المسطح	(B) الملحق
106	..... التمر	(C) الملحق
108	..... البطاطس	(D) الملحق
112	..... صور المجفف وأجهزة القياس	(E) الملحق
114	..... المصطلحات العلمية	(F) الملحق

الملخص

إستعمال المجففات الشمسية الغير مباشرة الهجينة التي تعمل على الحمل القسري في تجفيف المحاصيل الزراعية بكلفة أقل من المجففات الصناعية التي تعتمد عموما على الطاقة التقليدية. و ذلك لإعتماد المجففات الشمسية البسيطة التركيب بنسبة كبيرة على الإشعاع الشمسي الذي تزخر به الجزائر وخاصة في المناطق الصحراوية. وللمساهمة في تحسين المعدل الحراري اليومي للاقط الشمسي المسطح، قمنا بدراسة تجريبية و التي تتمثل في إجراء تحسين على مستوى الصفيحة الماصة باستعمال عوائق معدنية لها نفس خصائصها. هذه العوائق المضافة مطلية بالأسود و بإرتفاع مساوي لمسلك تدفق الهواء الذي يجري بين الزجاج والصفيحة الماصة . فالهواء يجتاز في المنطقة الخالية من العائق التي تقدر ب 25% من العرض الكلي للاقط الذي يساوي 0.86 m. أما المسافة الفاصلة بين كل عائقين متتاليين تساوي 0.20 m . وعند إضافة هذه العوائق تحصلنا على زيادة في الطاقة الحرارية الناتجة وصلت إلى حوالي 200% بالمقارنة بالطاقة الحرارية المتحصل عليها بواسطة اللاقط قبل إضافة العوائق. وفي اللاقط الشمسي المحسن وصل الاعتماد على الطاقة الشمسية إلى 95% و 5% فقط للطاقة الكهربائية، فيما كان الاعتماد على 46.79% فقط من الطاقة الشمسية و 53.21% للطاقة الكهربائية قبل إجراء التحسين.

الكلمات الدالة: التجفيف، الطاقة الشمسية، المجفف الشمسي، العوائق.

RESUME

L'utilisation des séchoirs solaires indirects hybrides à convection forcée pour le séchage des produits agricoles est moins coûteuse que les séchoirs industriels qui utilisent généralement de l'énergie conventionnelle. Vu le gisement solaire très important dans le Sud Algérien, l'utilisation de séchoir solaire de conception simple et non coûteuse s'avère utile. Dans le but d'améliorer le rendement du capteur solaire, des chicane ont été placées sur ce dernier. Les chicanes peintes en noir de hauteur égale à la hauteur de la veine dynamique du capteur (distance entre le verre et la plaque absorbante). L'air passe en contournant ces chicanes par la zone libre représentant 25% de la largeur totale du capteur solaire qui est estimée à 0.86m. La distance entre deux rangées successives de chicanes est de 0.20m. L'introduction de ces obstacles permet l'augmentation de l'énergie solaire captée d'environ 200% par rapport au système sans chicanes. Dans le capteur solaire hybride amélioré, la part de l'énergie solaire captée représente 95% et celle de l'énergie électrique 5% seulement, tandis que la part d'énergie solaire captée représente 46.79% seulement, et celle de l'énergie électrique 53.21% avant l'amélioration.

Mots clés: le séchage, l'énergie solaire, le séchoir solaire, les obstacles.

المقدمة

التجفيف هو احد طرق الحفظ المستعملة في المحاصيل الزراعية، ومن بين الطرق الأخرى: الحفظ بالتبريد و المعالجة الوراثية ، لكن هذه التقنيات تتطلب تكلفة باهظة وتقنيات عالية ، و المعالجة الوراثية تتسبب بالعديد من الأمراض، أما فيما يخص التبريد فيتميز باستهلاكه للطاقة هذا ما ينعكس على تكلفة الكلية للمحصول.[1]

ومن أنواع التجفيف المستخدمة في أنحاء العالم منذ آلاف السنين التجفيف الشمسي التقليدي المباشر حيث استعمل في تجفيف الحبوب والخضر والفاكهة، إلا أنه دائما يؤدي إلي ناتج ذي صفات منخفضة، وذلك لتعرض المنتج إلي عوامل عدة منها الحشرات ، القوارض ، الطيور والأتربة [2]. ولطول عملية التجفيف واستعمال حرارة متوسطة واعتماده في تحريك الهواء علي التيارات الهوائية والرياح وارتفاع الرطوبة النسبية فإن كثيرا من الفطريات والبكتيريا تنمو خاصة في الفترات الأولى لعملية التجفيف، كما يزداد نشاط الإنزيمات مما يؤدي إلي استمرار بعض الأنشطة غير المرغوب فيها الأمر الذي يؤثر علي اللون ويؤكسد الفيتامينات[3].

ومع بداية التطور الصناعي بدأ استعمال المجففات الصناعية غير أنها مكلفة للغاية[4]، لاعتمادها في تسخين الهواء على الطاقات (كهرباء, غاز...) ذات المصدر البترولي، الذي يعتبر من أهم عوامل في تلويث البيئة[5]، وطرق التجفيف الشمسية التقليدية تؤدي إلي إنتاج منتجات ذات نوعية منخفضة ، ومن هنا بدأ التفكير في تصميم مجفف يتميز بمواصفات المجففات الصناعية إلا انه يعتمد في تسخين الهواء على الطاقة الشمسية، التي تزخر بها الجزائر حيث يصل معدل ساعات الإشعاع السنوي في المناطق الصحراوية التي تشكل 86% من المساحة الكلية للوطن الى 3500 ساعة في السنة[6]، وهذا ما يجعلها مصدر طاقتي لا يستهان به.

لكن من مشاكل المجففات الشمسية التي تؤثر على زمن التجفيف التغير الحراري مقارنة بالمجففات الصناعية التي نستطيع التحكم في درجة تجفيف مستقرة(ثابتة) ، حيث أن الحرارة تزداد تدريجيا حتى تبلغ الذروة القصوى عند منتصف النهار ثم تنخفض بعد ذلك. وهذا ما اضطرنا لزيادة مصدر آخر للطاقة (طاقة تقليدية) للحفاظ على الاستقرار الحراري، وهكذا ظهر لنا مجفف هجين يعمل على مصدرين طاقتين متجدد(مصدر رئيسي) و تقليدي (مصدر ثانوي).

ولزيادة نسبة كمية الحرارة المكتسبة من طرف الهواء بواسطة الطاقة الشمسية (المتجددة) مقارنة بالطاقة التقليدية ، للقول بأنه مجفف شمسي نسبتا للمصدر الطاقتي الأكثر إنتاجا للحرارة، ألا وهي الطاقة الشمسية ، لذلك نقوم بهذه الدراسة التجريبية على مستوى وحدة توليد الهواء الساخن . الصفيحة الماصة . .

وتهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في تحسين فرق الحرارة للاقط الشمسي المسطح وذلك بإجراء تحسينات على مستوى الصفيحة الماصة نظرا لعدم كفاية تبادل الحرارة بين الهواء (وسيلة التجفيف) و السطح الماص الحراري. وهو ما يضطرنا لزيادة مصدر آخر للطاقة مقاومة كهربائية مثلا التي تشتغل بالطاقة التقليدية ذات المصدر البترولي ، والسؤال المطروح ما هي التحسينات المنجزة على مستوى الصفيحة الماصة لزيادة درجة حرارة اللاقط الشمسي المسطح. وقد تمت هذه الدراسة على مستوى مخبر الطاقات

الجديدة و المتحددة للمناطق الصحراوية (LENREZA) التابع لقسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا وعلوم المادة ، جامعة قاصدي مرياح . ورقلة، على مدار أربعة أشهر (أفريل – جويلية 2010).

تنقسم هذه المذكرة إلى أربعة فصول :

الفصل الأول فتحدث فيه عن أنواع الطاقة المتحددة ونركز فيه على الطاقة الشمسية محل الدراسة، مع ذكر مختلف زوايا الشمس وتغيرات الأشعة الشمسية خلال عبورها للغلاف الجوي، ثم نتطرق لبعض الاعتبارات الفنية التي يجب احترامها للاستفادة القصوى من هذه الأشعة الشمسية التي تصل إلى كوكبنا و بالأخص الجزائر التي تتميز بساعات مشمسة، ومن ثم نتعرض إلى مختلف الظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التحفيف والتي تعطي تفسيرات لما يحدث أثناء العملية ومن تلك الظواهر نجد : انتقال الحرارة ، وانتقال الكتلة ، بالإضافة إلى موازنة حرارية للاقط وذلك بمعرفة مختلف الانتقالات والتدفقات الحرارية الحادثة بفعل ورود الإشعاع الشمسي داخل وخارج اللاقط الشمسي المسطح.

أما الفصل الثاني نسرده فيه الخصائص الأساسية للهواء الرطب، و الخصائص الأساسية للجسم المسامي الذي يحتوي الهواء الرطب، كذلك شكل توزيع الماء داخله، بعد ذلك نتطرق لعملية التحفيف، كذلك العوامل المؤثرة على هذه العملية المتعلقة بجو التحفيف أو المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها و التغيرات التي تطرأ عليها خلال هذه العملية، ثم نبين أهم مجالات و أسباب القيام بعملية التحفيف ، في نهاية هذا الفصل نذكر أنواع المجففات من تقليدي، صناعي و شمسي (مباشر، غير مباشر ومختلط) إلى أن نصل المجفف الهجين مع ذكر محاسن ومساوئ كل منهم.

وتطرقنا في الفصل الثالث إلى الإشكالية المطروحة ، مع ذكر بعض الأعمال البحثية التي أجريت سابقا من أجل تحسين مردود اللاقط، وبعد مقارنتها فيما بينها اقترحنا نموذج للتطبيق .

و الفصل الرابع ينقسم إلى جزئين: فالجزء الأول يشمل النتائج التجريبية ما قبل وبعد إجراء التحسين ومعرفة مقدار التحسين، والجزء الثاني الهدف منه معرفة المقدار الطاقوي لكل من المصدرين (الطاقة الشمسية و الطاقة الكهربائية). وفي النهاية نستخلص خلاصة للعمل المنجز.

كما زدنا عملنا بستة ملاحق توضيحية.

الطاقة الشمسية والظواهر الفيزيائية

1.I الطاقة المتجددة:

1.1.I مقدمة:

لقد أدى استنزاف الموارد الطبيعية مثل الطاقات الأحفورية وبعض المعادن خلال القرن العشرين إلى وضع مأساوي جعل المنظمات العالمية والدول تطلق صيحة فرع تمثلت في تنظيم قمة الأرض جويلية 1992 ، وهي القمة التي تم التأكيد فيها على حق الأجيال القادمة في الموارد الطبيعية مثل الطاقة، وحققها في بيئة سليمة.

2.1.I أصناف الطاقة المتجددة:

يمكن تصنيف الطاقة حسب مصدرها كالتالي:

- **الطاقة الشمسية:** ويمكن استعمالها عدة أغراض إما لإنتاج الكهرباء وإما لتسخين المياه أو التحفيف.
- **طاقة الرياح:** تعتمد على توليد الحركة الميكانيكية نتيجة تحريك الرياح لريش التوربينات.
- **طاقة الكتلة الحيوية:** تشمل الحصول على طاقة من حرق مخلفات الورق، و بعض مخلفات المهضم العضوية وكذلك الحصول على الكحول أو البيوغاز من تخمير الحبوب والمواد النشوية..
- **الطاقة المائية:** خاصة في السدود ، الأنهار والوديان، ويتم ذلك بوضع توربينات لإنتاج الكهرباء، وتتوقف الطاقة المولدة على الارتفاع الموجودة بالأنهار أو بارتفاع السد المقام عليه.
- **طاقة حرارة باطن الأرض:** هي الحرارة المخزونة بين الصخور نتيجة الانتقال الحراري الطبيعي في المناطق البركانية والمناطق الغنية بأحواض الصخور البركانية، وأخيرا مناطق الجرانيت.
- **طاقة المد والجزر:** الناتجة عن قوى جذب الشمس و القمر للماء على الكرة الأرضية، حيث يتم استغل حركة البحر لتدوير العجلات المتصلة بماكينات تستخدم كما هو الحال بالنسبة للأنهار لطحن الحبوب.

2.I الطاقة الشمسية:

1.2.I مصدرها:

الطاقة الشمسية هي ناتج التفاعلات النووية التي تحدث في الشمس، وتصل طاقتها الحرارية إلى الأرض على شكل طاقة إشعاعية مكونة من الأشعة فوق البنفسجية - التي يتم حجب كمية كبيرة منها بواسطة الغلاف الجوي - والأشعة المرئية و الأشعة تحت الحمراء (الأشعة الحرارية). والشمس هي نجم نصف قطره 109 مرة من قطر الأرض (696 000 km)، أما كتلتها 333 000 مرة منها . وتقع على بعد 150 مليون كيلومتر من الأرض [7]. وتتكون أساسا من غازي الهيدروجين والهيليوم. وتعد الشمس مصدر جميع الطاقات على الأرض، فطاقة البترول و الغاز الطبيعي والفحم (ناتج التحلل الهوائي للبقايا الحيوانية والنباتية) هي في الأصل طاقة شمسية مخزونة تحت الأرض نتيجة لامتصاص أشعة الشمس منذ ملايين السنين تحت الأرض. حتى الطاقة النووية فاليورانيوم المستعمل نتيجة انفجار نجم يدعى نوبا. [8]

2.2.I مميزات الطاقة الشمسية:

- ومن أهم المصادر المتجددة للطاقة والتي يمكن استغلالها بدرجة كبيرة هي الطاقة الشمسية لما تتميز من:
- ✓ طاقة لا تنضب متوفرة على مدار العام (تبدو أكثر ديمومة من الوقود الأحفوري أو النووي).
 - ✓ طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة (لا يصدر عن استخدامها ثاني أكسيد الكربون).
 - ✓ طاقة التكنولوجيا المستخدمة فيها غير معقدة ويمكن تصنيعها محلياً.
 - ✓ إنها هبة من الله و لا تكلف شيئاً عدا أجهزة التجميع.

3.2.I زوايا الشمس:

1.3.2.I الميلان الشمسي (δ_s):

الميلان الشمسي هي الزاوية التي يصنعها الأشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض مع دائرة خط الاستواء، تتراوح قيمة هذه الزاوية بين $+23.45^\circ$ و -23.45° كما في الشكل (1.II).

و يمكن حساب هذه الزاوية بالعلاقة التالية: [11,10, 9]

$$(1-I) \quad \delta_s = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad [^\circ]$$

حيث: n يمثل رقم اليوم في السنة من 1 الى 366.

او: [9]

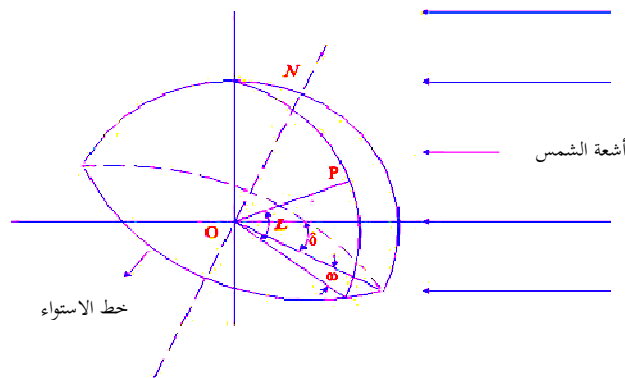
$$(2-I) \quad \delta_s = 23.45 \cdot \cos(30m + j - 202) \quad [^\circ]$$

حيث:

- m: يمثل رقم الشهر في السنة من 1 إلى 12.
- j: يمثل رقم اليوم في الشهر من 1 إلى 31.

2.3.2.I الساعة الزاوية (ω):

الساعة الزاوية هي وحدة قياس الوقت بدلالة الزاوية، بحيث كل 1 ساعة = 15° ، أو 24 ساعة = 360° ، أي $\omega = 0 = [10,9]h$ ، وتقاس من وقت الظهر الشمسي، حيث تكون سالبة قبل الظهر وموجبة بعد الظهر.



الشكل (1.I): زاوية كل من الميلان الشمسي والساعة الزاوية [10]

يمكن تحديد نقطة ما على الأرض بالنسبة لإشعاع شمسي في أية لحظة، إذا علم كل من خط العرض (L)، الساعة الزاوية (ω) وزاوية الميلان الشمسي (δ).

3.3.2.I زاوية السميت الرأسية (θ_z):

زاوية السميت الرأسية هي الزاوية التي يصنعها عمود على سطح جسم ما مع الإشعاع الشمسي الساقط عليه، ويمكن

حسابها بالعلاقة [10]: (3-I)

$$\cos \theta_z = \cos \delta_s \cdot \cos L \cdot \cos \omega + \sin \delta_s \sin L \quad [10] \quad (3-I)$$

حيث:

- L: خط العرض للمنطقة. (°)
- δ_s: زاوية ميلان الشمس. (°)
- ω: الساعة الزاوية. (°)

4.3.2.I زاوية ارتفاع الشمس (α_s):

زاوية ارتفاع الشمس هي زاوية بعد الشمس عن الأفق وتحسب بالعلاقة [10] (4-I)

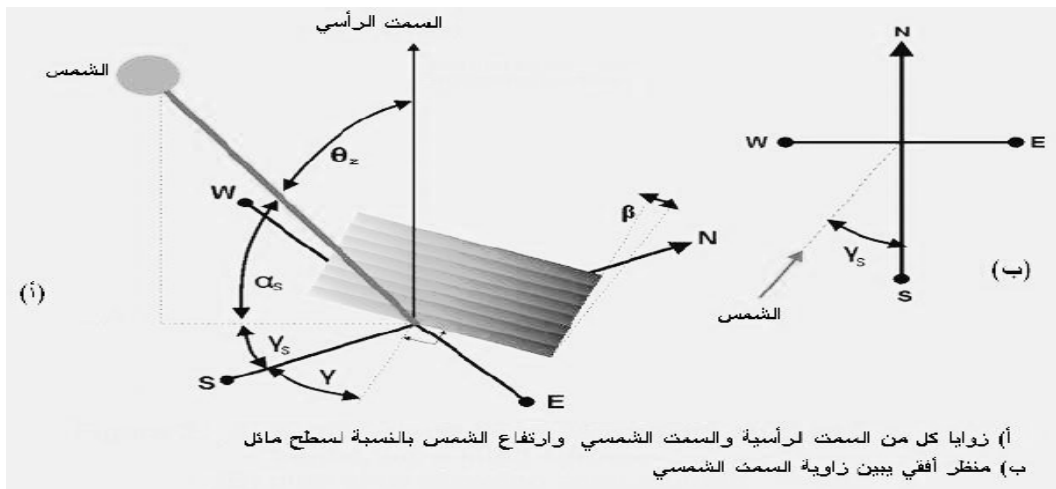
$$\alpha_s = 90 - \theta_z \quad [10] \quad (4-I)$$

أو: [44]

$$\sin \alpha_s = \cos L \cdot \cos \delta_s \cdot \cos \omega + \sin L \cdot \sin \delta_s \quad [44] \quad (5-I)$$

5.3.2.I زاوية السميت للشمس (γ_s):

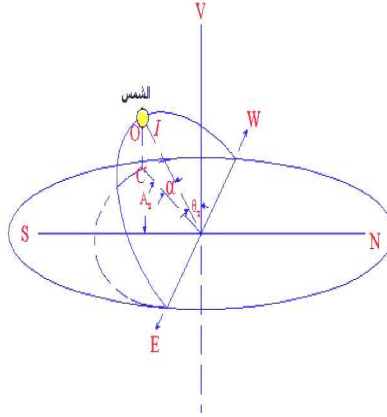
زاوية السميت للشمس هي زاوية انحراف المسقط الهندسي على مستوي افقي لعمود ساقط من الشمس في وقت معين بحيث يكون قياس الزاوية بدأ من الجنوب (الصفير) ، وتكون موجبة باتجاه الغرب وسالبة باتجاه الشرق كما هو موضح في الشكل (2.I):



الشكل (2.I): زوايا الشمس المختلفة [10]

ويمكن حساب زاوية السمت بالعلاقة (6-1) : [11,10]

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta_s \cdot \sin \omega}{\cos \alpha_s} \quad [-] \quad (6-1)$$



الشكل (3.1): زاوية كل من السمت الرأسية و السمت الشمسي وزاوية الارتفاع [10]

3.1 الأشعة الشمسية:

1.3.1 مجالات الإشعاع الشمسي :

الطاقة الصادرة عن الشمس تصل إلى الأرض في شكل أشعة كهرومغناطيسية (rayonnements Electromagnétiques) بسرعة الضوء بزمن قدره 499 ثانية (8 دقائق و 19 ثانية)، وهذه الأشعة مقسمة كما في الجدول (1.1):

منطقة الطيف	طول الموجة (μm)	طاقة الإضاءة (W/m ²)	نسبة الطيف (%)
تحت الحمراء (IR)	0.70 <	695	50.8
المرئية (V)	0.70-0.40	559	40.9
فوق البنفسجية (UV)	0.40 >	113	8.3

الجدول (1.1) طاقة الإضاءة لمختلف أطيف الإشعاع الشمسي خارج المجال الجوي [7]

2.3.1 تأثير العوامل الجوية وموقع المجمع على الإشعاع الشمسي:

- صفاء الجو: إن الغازات المحيطة بالأرض و ذرات الغبار والأبخرة المتعلقة بالجو تعمل على بعثرة الطاقة الشمسية أثناء مرورها عبر الغلاف الجوي، كذلك السحب قد تحجب [10] 50% من الإشعاع الكلي (المباشر والمنتشر).
- المسافة بين الأرض والشمس: وهي متغيرة لأن الأرض تدور حول الشمس على شكل إهليجي، وتبلغ اقرب مسافة 147.1 مليون كيلومتر (3 ديسمبر) وابتعد مسافة 152.1 مليون كيلومتر (أول جوان) [10].

- ميلان محور دوران الأرض: يميل محور الأرض 23.5° عن مدارها حول الشمس، والذي بدوره يعمل على توزيع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض، وبسببه يتغير الليل والنهار (وقت الظهيرة يكون الإشعاع الشمسي عند الذروة)، وتتغير الفصول الأربعة (الإشعاع الشمسي في فصل الصيف أكثر من غيره من الفصول لطول نهاره وقصر ليله) [10].
- الموقع الجغرافي: يمكن القول بأن المناطق الواقعة على خطوط عرض قريبة من خط الإستواء يتوافر فيها الإشعاع الشمسي أكثر من غيرها.
- موقع اللاقط: إن تواجد اللاقط الشمسي في مكان مزدحم بالعمران والأشجار قد يحول دون وصول الإشعاع المباشر.

3.3.I استنزاف الإشعاع الشمسي لمروبه بالغللاف الجوي:

ينقسم الإشعاع الشمسي في العادة إلى ثلاثة أقسام:

- الإشعاع الشمسي المباشر: وهو الإشعاع الساقط على سطح ما مباشرة من قرص الشمس.
- الإشعاع الشمسي المنتشر أو المشتت: وهو الإشعاع الساقط على سطح ما بعد أن تشتت خلال مروره بطبقات الجو، أو هو الإشعاع الذي انعكس وسقط على ذلك سطح.
- الإشعاع الشمسي الكلي: وهو مجموع الإشعاع الشمسي المباشر و الإشعاع المشتت.

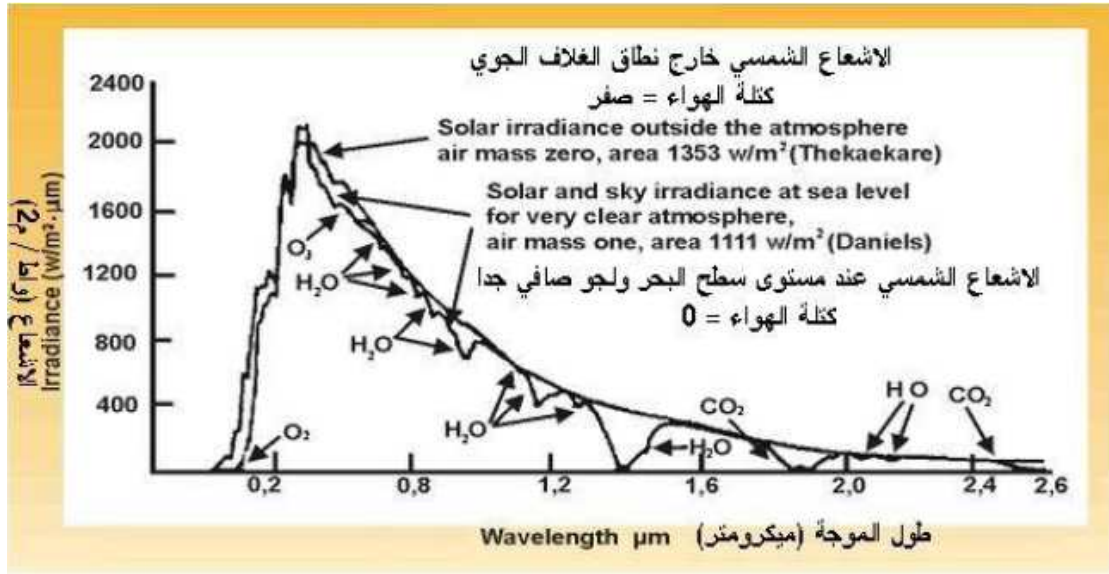
يتكون الجو شكليا من أربع طبقات، الطبقة الجوية السفلى التي تمتد من سطح الأرض إلى ارتفاع يتراوح بين 10 و 15 كلم، وتليها طبقة السكاك وهي تمتد إلى 100 كلم ويوجد بعدها الجو المؤين ثم الجو الخارجي الأقصى الذي يفتح على الفضاء. [10]:

يحتوي الجو على النتروجين (N_2) بنسبة 78%، الأكسجين (O_2) بنسبة 20.9%، الأرجون (Ar) بنسبة 0.9%، غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) بنسبة 0.03%، وقليل من الغازات الأخرى مثل: النيون، الهليوم، الهيدروجين و الأوزون... [12]، كما يتواجد بخار الماء بالقرب من سطح الأرض، أما طبقة الأوزون التي تلعب دورا هاما في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية فتوجد على علو 20 كلم تقريبا. وتقع أهم التغيرات التي تتطرا على الإشعاع الشمسي في الطبقة الجوية السفلية. ويقدر سمك طبقة الغازات التي يعبر من خلالها ضوء الشمس بما يقارب 7.8 كلم إذا اعتبرنا الجو في حالة عادية (ضغط جوي = 1 بار و درجة حرارة = صفر مئوية).

4.3.I استنزاف الإشعاع الشمسي في حالة صفاء الجو:

عندما يكون الجو صافيا يتم استنزاف الإشعاع الشمسي بالأشكال التالية:

- ❖ الإمتصاص: امتصاص الإشعاع الشمسي من طرف بخار الماء، جزيئات الأكسجين، غاز الأوزون وثاني أكسيد الكربون حسب أطوال أمواج معينة، كما هو موضح في المنحنى (4.I):



الشكل (4.I): تأثير غازات الجو على الطيف الشمسي [10]

❖ **التشتيت:** يتكون الجو من العديد من الجزيئات الغازية مثل: الغبار وقطرات الماء، ولكن حجم الفراغ الكائن بين الجزيئات أكبر من الجزيئات نفسها، وكل جزيئة تعمل كعائق أمام سير الإشعاع الذي يجوب الجو، تماما كالحجارة أمام أمواج الماء، وكذلك فإن الجزيئات في الجو تعيق تقدم أمواج الإشعاع وتغير اتجاهه إلى ناحية أخرى، وهذا ما يسمى بالتشتيت، وهو نوعان:

▪ **تشتيت Rayleigh:** ويتكون بواسطة جزيئات الهواء أو الغازات التي أحجامها صغيرة جدا مقارنة مع أطوال موجات الإشعاع.

▪ **تشتيت Mie:** ويتكون بواسطة جزيئات أكبر من طول موجة الإشعاع، مثل جزيئات الغبار التي هي أكبر من جزيئات الهواء ويختلف تركيزها من مكان إلى آخر وحسب ارتفاعها من وقت إلى آخر، ولذلك فإنه من الصعب حساب مقدار تشتت ما يرياضيا.

عندما يضم الهواء كميات كبيرة من القطرات والغبار يصبح التشتيت غير انتقائي، أي أنها تشتت جميع الأمواج وهكذا تصبح السماء أقل زرقة وأكثر بيضا كلون الحليب. وبالإجمال فإن حوالي 12% [10] من الإشعاع المتوجه نحو الأرض يتشتت، وان نصف الإشعاع المبعثر يعود إلى الفضاء الخارجي.

5.3.I استنزاف الإشعاع الشمسي في الجو الغائم:

يواجه الإشعاع عائقا آخر في طريقه إلى سطح الأرض، ألا وهو السحاب. ويكون استنزاف الإشعاع الشمسي في حالة الجو الغائم بمقدار أكبر، حيث إن معظم الإشعاع ينعكس للخارج نحو الفضاء وجزء منه تمتصه السحب وينبعث الجزء المتبقي للأسفل نحو الأرض على شكل إشعاع.

إن معظم أنواع السحب ذات عاكسيه جيدة وامتصاصية قليلة للإشعاع. وان قدرة السحاب على عكس الإشعاع تعتمد على كثافة السحب وعلى حجم جزيئاتها، هل هي قطرات ماء أو ثلج. وإن انعكاسية السحب قد تقل عن 50% وقد تزيد وتصل إلى 80%. ولا يزيد ما تمتصه السحب من الإشعاع الواصل إليها عن 10% وان معظم ما لا تعكسه.

6.3.I الانعكاس وعاكسيه الأرض:

عندما يصل الإشعاع إلى الأرض يتأثر بها أيضا، وسطح الأرض عاكس درئ وتعتمد عاكسية الأرض على نوع التربة، ويستقبل المجمع الشمسي الإشعاع الكلي من السماء(المباشر والمنتشيت)، وكذلك يستقبل الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض(Albedo). والجدول (2.I) يحتوي على بعض المواد التي توجد على الأرض وقدرتها على عكس الإشعاع الشمسي.

المادة	العاكسية(%)
المزروعات الخضراء	5-15
الرمال الأبيض	34-40
الثلج الحديث	75-90
الماء	5 ويعتمد على اتجاه الشمس
أنواع الغيوم	50-55

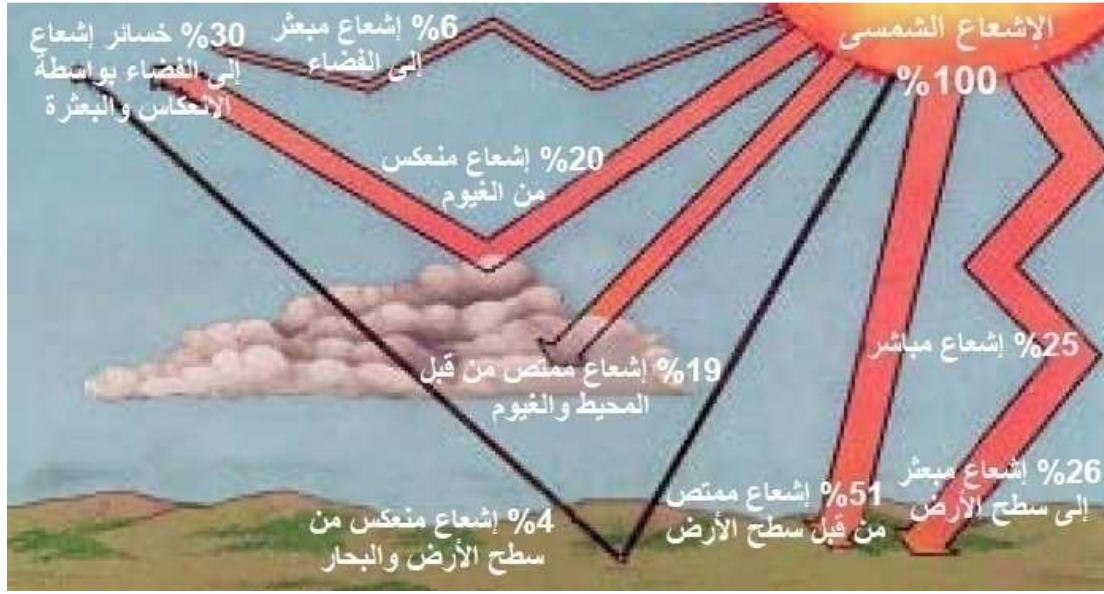
الجدول(2.I) عاكسية بعض المواد[10]

7.3.I تغيرات الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي:

عندما يدخل الشعاع الشمسي إلى طبقة الجو الأرضي ينقسم إلى عدة أجزاء:

- ❖ 51% يمتص من طرف الأرض ويخزن في باطنها كطاقة، هو الجزء الأكبر، منه 25% في شكل إشعاع مباشر و 26% إشعاع مبعثر.
- ❖ 20% يعكس في الفضاء الخارجي بسبب الغيوم وجزيئات الجو المختلفة (غازات، غبار و بخار الماء).
- ❖ 19% يمتص من طرف الغيوم والهواء المحيط.
- ❖ 6% يتبعثر في الفضاء ولا يصل إلى الأرض .
- ❖ 4% يعكس من على سطح الأرض (تربة، أشجار، مباني...) والماء(محيطات، بحار...)، وذلك تابع لمعامل الانعكاس لكل مادة كما هو موضح سابقا.

تقدر خسائر الإشعاع (المنعكس و المبعثر) 30% من الإشعاع الكلي للشمس.



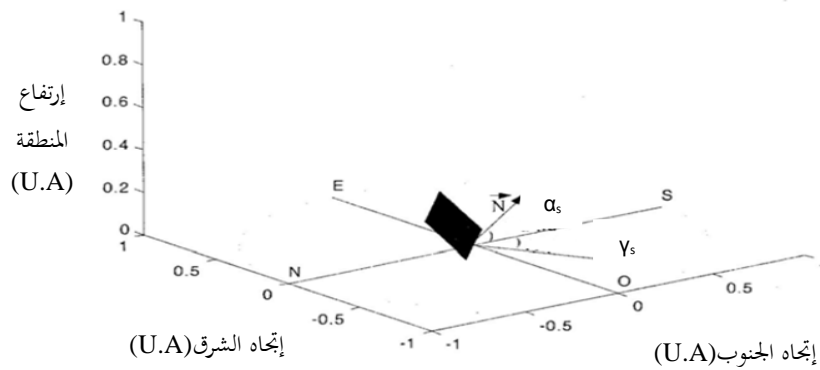
الشكل (5.I): تغيرات الإشعاع الشمسي داخل الغلاف الجوي. [10]

4.I الاعتبارات الفنية لوضع اللاواقط الشمسية:

1.4.I توجيه اللاقط:

لنفرض أن اللاقط موضوع في مبدأ المعلم O، لاستقبال الإشعاع الشمسية. إذا كانت المنطقة في النصف الشمالي فيجب توجيه اللاقط ناحية الجنوب، أما إذا كانت في النصف الجنوب فيوجه اللاقط ناحية الشمال. فموضع اللاقط في النقطة O فيعرف حسب شعاع التوجيه (\vec{N}) الذي تعطى مركباته بالعلاقة (7-I): [13]

$$(7-I) \quad \vec{N} \begin{bmatrix} \cos \alpha_s \cdot \cos \gamma_s \\ \cos \alpha_s \cdot \sin \gamma_s \end{bmatrix} \quad [-]$$



الشكل (6.I): كيفية توجيه اللاقط الشمسي [13]

حيث:

- U.A: وحدة قياس فلكية (U.A=149 597 890 km).
- α_s : الزاوية بين شعاع التوجيه (\vec{N}) و مسقطه على سطح الأفق.
- γ_s : الزاوية بين مسقط شعاع التوجيه (\vec{N}) على سطح الأفق و إتجاه الجنوب.

2.4.I زاوية ميل اللاقط: (β_c)

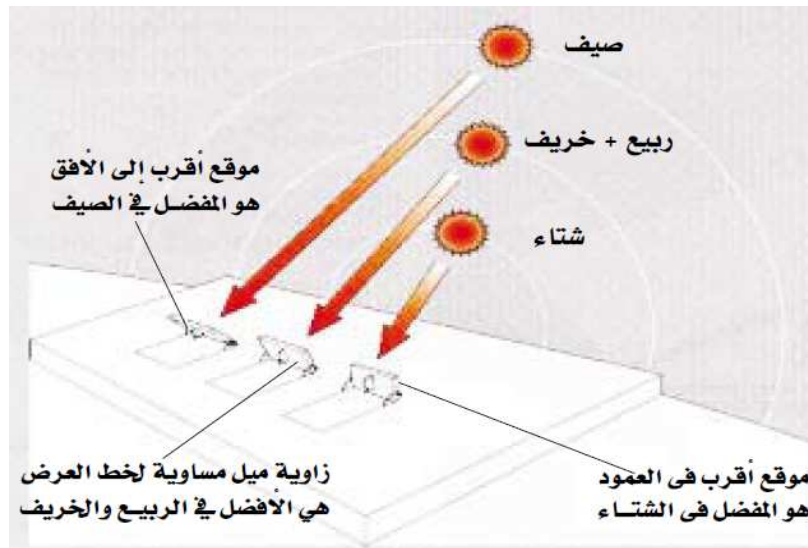
لكي نحصل على أقصى فائدة من اللاقط الشمسي يجب أن ندرك أنه بالنسبة للمكان الواحد سيتغير ميل أشعة الشمس بالنسبة لليوم الواحد تبعاً للتوقيت، وبينما تكون الشمس متعامدة على الأفق أما في الظهيرة لا تكون كذلك قبل أو بعد ذلك الوقت. ولكي يستقبل سطح اللاقط أقصى إشعاع من الشمس طيلة سطوعها ينبغي أن يغير اللاقط زاوية ميله بالنسبة لفترة سطوع الشمس. ولكن فترة سطوع الشمس أيضاً ليست ثابتة بالنسبة للشهور المختلفة من السنة، فمصر النهار أو طوله يتغير من شهر لشهر آخر ومدة التعرض للشمس في اليوم الواحد ثم الأسبوع ثم الشهر تختلف من فصل لفصل على مدار السنة، ومعنى هذا الحاجة إلى نظام تحكم وتوجيه يحرك اللاقط الشمسي طوال العام طبقاً لحركة الشمس، و يسبب ذلك بالنسبة لتطبيق المحففات الشمسية زيادة كبيرة جداً في التكلفة، بالإضافة إلى تعقد عمليات التركيب و التشغيل والصيانة. والاحتياجات قد تبلغ ذروتها في فترات معينة من اليوم لذا فقد وجد أن أفضل حل اقتصادي و هندسي بالنسبة للمحفات الشمسية هو توجيه اللاقط ناحية الجنوب لكي يكون مواجهها للشمس في حالة أن يكون الموقع في نصف الكرة الشمالي. ويولي هذا تثبيت اللاقط بزاوية ميل محددة طبقاً للموقع بحيث يستقبل أفضل إشعاع شمسي في فترة الشتاء فيكون ضبط الزاوية (زاوية ميل اللاقط الشمسي) هي متوسط القيمة لشهور الشتاء من السنة. وتقدر قيمة هذه الزاوية عادة بالعلاقة (8-I).

$$\beta_c = L + 15^\circ \quad [^\circ] \quad (8-I)$$

أما إذا كان المطلوب هو الحصول على أفضل إشعاع خلال فترة الصيف، فإننا نلاحظ ارتفاع الشمس أثناء حركتها بالمقارنة بفترة الشتاء، مما يعنى الحاجة إلى خفض زاوية الميل لاستقبال أفضل الأشعة، وتقدر قيمة هذه الزاوية عادة بالعلاقة (9-I).

$$\beta_c = L - 15^\circ \quad [^\circ] \quad (9-I)$$

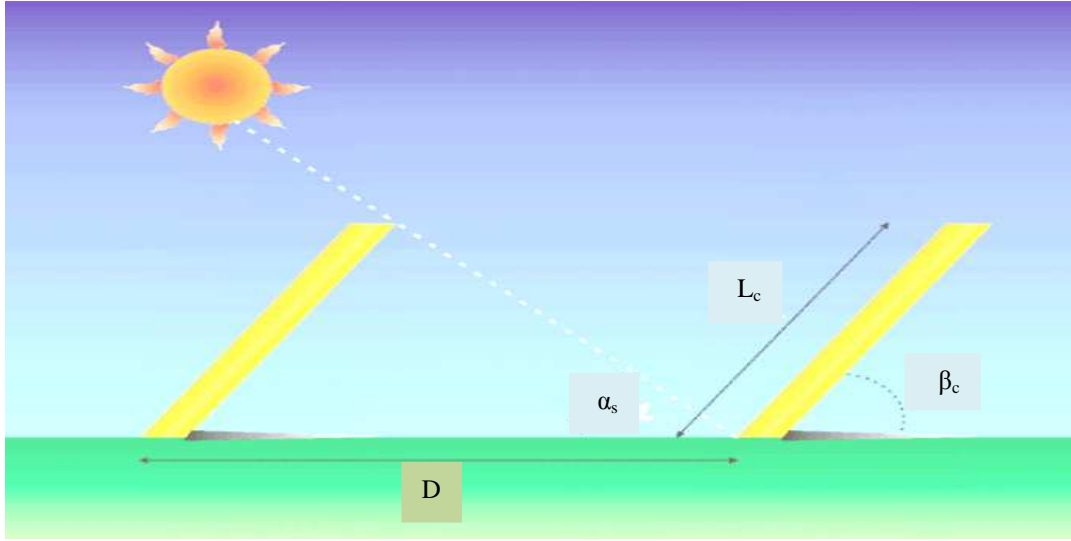
أما في الاعتدال، فيفضل توجيه اللاقط بزاوية خط العرض، و كذلك إذا ما أريد أنسب تخفيف طوال العام وان كان نتيجة هذا تنخفض كفاءة النظام شتاءً بما لا يناسب أحمال الهواء الساخن المطلوب، ولهذا اصطلح على توجيه اللاقط طبقاً لفصول الشتاء كحل ذو قيمة و فائدة اقتصادية.



الشكل (7.I): اختيار زاوية ميل اللاقط الشمسي

3.4.I المسافة الفاصلة بين صفوف اللاواقط: (D)

إذا كان لدينا عدة لاواقط لاختيار الموقع المناسب لوضعها بحيث تكون معرضة لأشعة الشمس معظم ساعات النهار، يجب أن تكون بعيدة عن أي عائق يسبب التظليل، مثل المباني المجاورة المرتفعة أو الأشجار العالية.



الشكل (8.I): المسافة الدنيا بينا اللاواقط لتفادي التظليل [11]

ولحساب ادنى مسافة D بين صفين من صفوف اللاواقط، يجب احترامها لتفادي التظليل، كما هو موضح في الشكل (8.I)، نستخدم المعادلة (10 - I).

$$(10 - I) \quad D = L_c \cdot \cos \beta_c + L_c \cdot \sin \beta_c \cdot \cos \gamma_s / \tan \alpha_s \quad [m]$$

حيث:

- L_c : طول المجمع الشمسي. (m)
- β_c : زاوية ميل المجمع الشمسي. ($^\circ$)
- γ_s : زاوية سمت للشمس. ($^\circ$)
- α_s : زاوية ارتفاع الشمس. ($^\circ$)

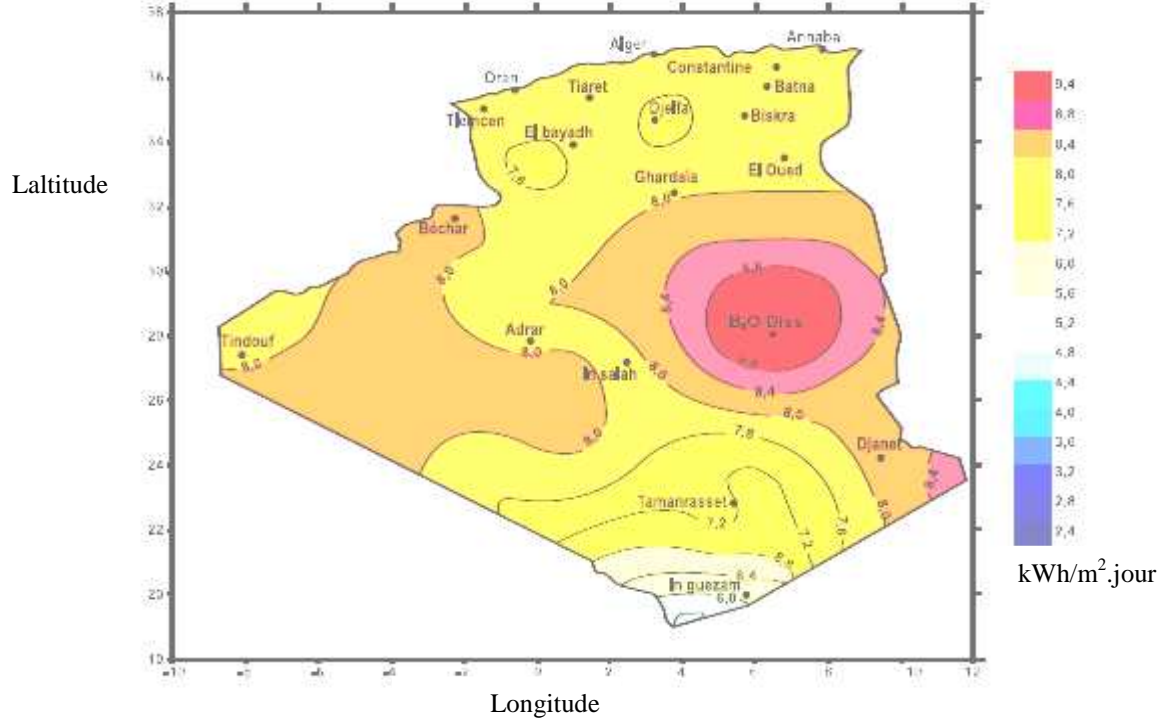
5.I الطاقة الشمسية في الجزائر:

تتربع الجزائر على مساحة 2381745 km^2 ، المناطق الصحراوية والشبه الصحراوية تقدر بـ 86%، ويصل زمن تعرضها للإشعاع الشمسي إلى 3500 ساعة في السنة، أما في المدن الساحلية فتقدر الفترة الإشعاعية بحوالي 2650 ساعة في السنة، كما هو موضح في الجدول التالي:

المناطق الصحراوية	الهضاب العليا	المدن الساحلية	
86	10	4	المساحة (%)
3500	3000	2650	زمن الإشعاع السنوي (h/an)
2650	1900	1700	الطاقة الناتجة (kWh/m ² .an)

الجدول (3.I) الإشعاع الشمسي في مختلف مناطق الوطن [6]

تقع الجزائر في منطقة إستراتيجية من حيث الإشعاع الشمسي، الذي يتراوح في شهر جويلية عند الشدة القصوى للإشعاع من 6 kWh/m^2 إلى 9 kWh/m^2 ، في الأيام العادية التي تتميز بصفاء الجو، أما الإشعاع السنوي فيتجاوز 2500 kWh/m^2 [13].



الشكل (9.1): خريطة الإشعاع الإجمالي الشمسي اليومي لشهر جويلية [6]

6.1. الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجميف:

عملية التجميف عبارة عن ظاهرتين فيزيائيتين متداخلتين فيما بينهما، وهما ظاهرتي الانتقال الحراري و الانتقال الكتلي ، وهما حصيلة مشتركة بين تفاعل المنتج والهواء الذي يحتويه ، بحيث نلاحظ تبادل حراري من الهواء باتجاه المنتج ونلاحظ أيضا تبادل كتلي (بخار الماء) من المنتج باتجاه الهواء.

1.6.1 طرق انتقال الحرارة:

تنقل الحرارة عندما يتحقق شرط الفرق في درجة الحرارة بين جسمين، توجد ثلاث طرق يمكن أن تنتقل بها الطاقة الحرارية هي التوصيل، الحمل و الإشعاع.

1.1.6.1 التوصيل:

عند مرور تيار هوائي (أو أي مائع آخر) من سطح ساخن، فإن ذرات المعدن القريبة من السطح الساخن تتلقى طاقة حرارية، وبالتالي تتذبذب بشكل كبير (قوي) وترتطم بالذرة التالية ويتواصل التأثير المتبادل بين الذرات حتى تنتقل الطاقة الحركية إلى مسافة بعيدة، وبالطبع تصل إلى السطح الملاصق للهواء، وبالتالي يصبح الهواء ساخناً أيضاً [14].

التوصيل يمكن أن يحدث بسهولة في المواد الصلبة، ومن ثم في المواد السائلة وبصعوبة يحدث في الغاز ولا يمكن حدوث التوصيل في الفراغ مثل الفضاء الخارجي. التوصيل للحرارة يكون سريعاً في المعادن بسبب وجود الإلكترونات وهي حرة الحركة، عندما نسخن المعادن فإن: الإلكترونات (عند نقطة التسخين) تتأثر بشكل سريع و تتحرك، فتتمرر الطاقة الحرارية إلى الإلكترونات المجاورة أو الذرات المجاورة بواسطة التصادم، وبذلك تنتشر الطاقة الحرارية بشكل سريع خلال الأجزاء الباردة من المعدن. [14]

عند وجود تدرج حراري في جسم معين، فإن الحرارة تنتقل من المنطقة ذات درجة الحرارة العالية إلى المنطقة ذات درجة الحرارة المنخفضة. وقد وجد **فورييه (Fourier)** أن كثافة التدفق الحراري بالتوصيل (ϕ) تتناسب مع التدرج الحراري (

$$[17,16,15]: \left(\frac{dT}{dx} \right)$$

$$(11 - I) \quad \phi = -\lambda \cdot S_e \frac{\partial T}{\partial x} \quad [W]$$

حيث:

▪ S_e : مساحة التبادل الحراري (m^2).

▪ λ : التوصيلة الحرارية ($W/m.K$)، وهي متعلقة بطبيعة المادة وتتغير حسب درجة الحرارة :

✓ في الأجسام الصلبة: إذا ارتفعت درجة الحرارة تنخفض قيمة التوصيلة الحرارية.

✓ في الأجسام السائلة: كذلك إذا ارتفعت درجة الحرارة تنخفض قيمة التوصيلة الحرارية باستثناء الماء و الغليسرين.

✓ في الأجسام الغازية: إذا ارتفعت درجة الحرارة تزداد كذلك قيمة التوصيلة الحرارية.

أما علامة (-) لان اتجاه انتشار التدفق الحراري يتم في اتجاه معاكس للتدرج الحراري، وقيمة التدفق قيمة موجبة.

أو على الشكل الشعاعي : [18]

$$(12 - I) \quad \phi = -\lambda \overline{grad}(T) \quad [W]$$

2.1.6.I الحمل:

الطاقة الحرارية تحمل بعيداً بواسطة جسيمات المائع من خلال تغيير مواقعها (أماكنها) كمثال: الهواء المجاور للسطح الساخن يستقبل الحرارة من المعدن، جزيئات الهواء المجاورة للمعدن تتحرك بسرعة و بعيداً عن بعضها البعض بسبب زيادة الطاقة الحركية، وهذا يجعل الهواء المجاور للمعدن أقل كثافة مما يؤدي إلى أن الهواء الساخن يرتفع و الهواء البارد في الأعلى يهبط (ينزل) ليحل محل الهواء الساخن الذي انتقل إلى أعلى، ومن ثم الهواء البارد يسخن ويرتفع، ويحل محله هواء أكثر برودة. [14]

تيار الحمل يمكن أن يحدث في السوائل و الغازات فقط ولا يمكن أن يحدث في المواد الجامدة، لأن الجزيئات ليست حرة الحركة، و كذلك لا يحدث في الفراغ بسبب عدم وجود جزيئات [14].

A.2.1.6.I قانون نيوتن:

ليكن لدينا جسم صلب مساحته S_e ودرجة حرارته T_p ، على اتصال مع وسط مائع درجة حرارته T_f (مختلفة عن T_p). إذن كمية الحرارة التي اجتازت المساحة S_e تكتب بالعلاقة (II-13): [17,16,15]

$$\phi = h_{cv} S_e (T_p - T_f) \quad [W] \quad (13-I)$$

حيث: h_{cv} : معامل الحمل الحراري ($W/m^2.K$)

في هذا النوع من الانتقال الحراري نستطيع تمييز نوعين من الحمل:

○ **الحمل الطبيعي**: في هذه الحالة حركة المائع متعلقة بالتغير في كتلته الحجمية مع درجة الحرارة، هذا التغير

(الفرق) تخلق قوة جاذبة تساعد في انتقال جزئيات المائع. [19,11]

○ **الحمل القسري**: حركة المائع في هذه الحالة مستقلة تماما عن الظاهرة الحرارية، حيث تجرى بطريقة ميكانيكية

مثل مضخة أو مروحة. إذن انتقال جزئيات الوسط المائع سببها الفرق في الضغط بين الداخل والخارج. [11]

B.2.1.6.I تحديد معامل الحمل الحراري (h_{cv}):

يرتبط معامل الحمل الحراري (h_{cv}) مع رقم Nusselt بالعلاقة (I-14): [17]

$$Nu = \frac{h_{cv} \cdot x}{\lambda} \quad [-] \quad (14-I)$$

ويوجد الكثير من العلاقات التجريبية التي تعطي قيمة لهذا المعامل، فالتحليل البعدي يعمم ويقارن بين النتائج التجريبية المحصل عليها في شروط خاصة. وتلك العلاقات تأخذ بدلالة أرقام لابعدية- الملحق (A)- وهي ناتجة من التحليل البعدي، وبناء على كثير من التجارب على انتقال الحرارة بالحمل يمكن الربط بين الأرقام اللابعدية بالعلاقات التالية:

▪ بالنسبة للحمل الحر (الطبيعي):

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad [-] \quad (15-I)$$

▪ بالنسبة للحمل القسري:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad [-] \quad (16-I)$$

3.1.6.I الإشعاع:

الطاقة يمكن أن تنتقل في الهواء أو الفراغ كموجات كهرومغناطيسية، مثال: تيار الهواء المار بجوار المعدن، إذا وضعت يدك قريبا منه فإنك ستشعر بالحرارة على جلدك بالرغم عدم ملامستك للمعدن، فالمعدن يشع بالموجات تحت الحمراء، هذه الموجات تحمل الطاقة الحرارية من سطح المعدن إلى الجلد، و بالتالي يسخن الجلد بواسطة هذه الموجات [14].

كل الأجسام الساخنة تشع بالموجات تحت الحمراء، ولكن الأجسام الأكثر حرارة تولد أشعة تحت الحمراء ذات طاقة أكبر. الأشعة تحت الحمراء القادمة من الشمس ذات الطاقة العالية يمكن أن تعبر خلال أنواع معينة من المواد الصلبة، مثل الزجاج، فهذه الأشعة تحت الحمراء يمكن أن تمر من خلال الزجاج (في البيوت المحمية) بينما الأشعة

تحت الحمراء المنبعثة من الأرض والنباتات داخل البيوت المحمية (نتيجة لتسخينها من حرارة الشمس) لا يمكن أن تعبر إلى الخارج من خلال الزجاج لأن طاقتها قليلة، هذه الأشعة تحت الحمراء المحصورة تسخن الهواء الداخلي. [14]

A.3.1.6.I تأثير لون سطح الجسم على المردود الطاقوي:

يؤثر لون السطح على كمية الطاقة الحرارية المشعة والامتصاص من طرف الجسم (الجدول 4.I)، فذات الألوان الداكنة تشع وتمتص الطاقة أسرع من الألوان الفاتحة، وسطح الجسم الأسود يعتبر أسرع الأسطح إشعاعاً وامتصاصاً، أما الأسطح التي تشع وتمتص الطاقة بشكل بطيء تكون أسطح فاتحة. [14]

معامل الامتصاص	اللون
0.40 – 0.25	الأبيض
0.50–0.40	الرمادي إلى الرمادي القاتم
0.70 –0.50	الأخضر، الأحمر و البيي
0.80 –0.70	الأسمر إلى الأزرق القاتم
0.89 –0.80	الأزرق القاتم إلى الأسود

الجدول(4.I)تأثير لون الجسم على معامل امتصاصه[20]

B.3.1.6.I الجسم الأسود :

يعتبر الجسم الأسود جسماً مثالياً في ظاهرة الإشعاع الكهرومغناطيسي، وهو ذلك الجسم الذي يصدر -عند نفس درجة الحرارة - أقصى إشعاع ممكن لكل الأطوال الموجية ويمتص كذلك كل ما يصل إليه من إشعاع محمول على كل الموجات، هذا يعني أن معامل امتصاص الجسم الأسود ($a = 1$)

C.3.1.6.I قانون Stephan-Boltzmann:

ينص قانون Stephan-Boltzmann على أن الطاقة الإشعاعية المنبعثة (M^0) من سطح أسود لكل وحدة مساحة تتناسب تناسباً طردياً مع درجة حرارة السطح المطلقة مرفوعة إلى الأس (4): [16,15,11]

$$M^0 = e \cdot \sigma \cdot S_e \cdot T^4 \quad [W] \quad (17 - I)$$

حيث σ : ثابت Stephan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

D.3.1.6.I معامل الإنبعاث الإشعاعي (e):

يعرف معامل الإنبعاث الإشعاعي (e) على انه نسبة الطاقة الإشعاعية الكلية المنبعثة من سطح ما (M) على الطاقة الإشعاعية المنبعثة من جسم أسود مثالي (M^0) عند نفس درجة حرارة السطح: [16]

$$e = \frac{M}{M^0} \quad [-] \quad (18-I)$$

○ بالنسبة للجسم الأسود: $e=1$ [16]

○ بالنسبة لجسم ما: $0 \leq e \leq 1$ [15]

E.3.1.6.I استقبال الجسم للإشعاع :

عند استقبال الجسم للإشعاع، فان الاستطاعة الواردة له ϕ_{inc} تتوزع على ثلاث أجزاء: [17]

✓ جزء يمر عبر الجسم ϕ_{tra} ، يعبر عنه بمعامل النفاذية: هو نسبة ما يسمح بمروره الجسم من إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه : وهي كالتالي:

$$\tau = \frac{\phi_{tra}}{\phi_{inc}} \quad [-] \quad (19-I)$$

✓ جزء يمتص من طرف الجسم ϕ_{abs} ، يعبر عنه بمعامل الامتصاص: هو نسبة ما يمتصه الجسم من إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه : وهو كالتالي:

$$a = \frac{\phi_{abs}}{\phi_{inc}} \quad [-] \quad (20-I)$$

✓ جزء ينعكس من الجسم ϕ_{ref} ، يعبر عنه بمعامل الانعكاس: هو نسبة ما يعكسه الجسم من إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه : وهو كالتالي:

$$r = \frac{\phi_{ref}}{\phi_{inc}} \quad [-] \quad (21-I)$$

العلاقة بين هذه المعاملات: [17]

$$\tau + a + r = 1 \quad \text{، ومنه ينتج أن: } \phi_{inc} = \phi_{tra} + \phi_{abs} + \phi_{ref} \quad (22-I)$$

في الأجسام القائمة (غير الشفافة): $\tau = 0$ [17] أي: $a + r = 1$ (23-I)

F.3.1.6.I تبادل الإشعاع بين الأجسام السوداء:

نعتبر سطحين أسودين S_1 و S_2 ، الأول ساخن درجة حرارته T_1 ، والثاني بارد درجة حرارته T_2 .

التدفق الكلي المنبعث من السطح الأول S_1 هو (ϕ_1) ويحسب بالعلاقة (24-I):

$$\phi_1 = S_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4 \quad [W] \quad (24-I)$$

لكن الإشعاع المنبعث لا يصل كلياً إلى السطح S_2 بل يصل جزء منه فقط (ϕ_{12}) :

$$(25-I) \quad \phi_{1-2} = S_1 \cdot F_{1-2} \cdot \sigma \cdot T_1^4 \quad [W]$$

حيث: F_{1-2} معامل الشكل، وهو نسبة ما يصل إلى السطح S_2 من الإشعاع الكلي المنبعث من السطح S_1 ، وهو قيمة لابعدية $(F_{1-2} + F_{2-1} = 1)$. [15]

التدفق الصافي المتبادل بين السطحين S_1 و S_2 يعطى بالعلاقة (26-I): [16.15]

$$(26-I) \quad \phi_{1-2}(net) = S_1 \cdot F_{1-2} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [W]$$

2.6.I طرق انتقال الكتلة :

يتم انتقال الكتلة في الأوساط المادية التي يكون فيها فرق في التركيز (كتلي أو مولي)، ويتم ذلك إما بالانتشار الجزيئي أو بالحمل إلى غاية تساوي التركيز.

1.2.6.I الانتشار الجزيئي :

انتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي، هو تشابه مباشر لانتقال الحرارة بالتوصيل أو انتقال كمية الحركة في السريان الرقائقي. والانتشار الجزيئي يتم في مائع بحركة منتظمة في سريان رقائقي.

A.1.2.6.I قانون فيك الأول للانتشار الجزيئي (1^{er} loi de Fick):

معادلة الانتقال الوحيدة البعد لانتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي هي تشابه مباشر للمعادلة انتقال الحرارة بالتوصيل في قانون "فوريه"، وينص قانون فيك الأول على ما يلي: "التدرج في التركيز (كتلي أو مولي) لمادة ذائبة بين نقطتين من الوسط المذيب يؤدي إلى انتقالها من النقطة الأكثر تركيز إلى النقطة الأقل تركيز (عكس اتجاه تدرج التركيز)". ولنعتبر المسافة الفاصلة بين النقطتين $d x$ ، ومساحة سطح التبادل هي S_e ، نكتب معادلة القانون على الشكل (27-I):

$$(27-I) \quad \dot{m} = \frac{dm}{dt} = -D_c \cdot S_e \cdot \frac{dC}{dx} \quad [kg/s] \quad [16]$$

بحيث المعامل D_c خاصية تسمى الانتشارية الكتلية الموافقة للتركيز الكتلي C وحدتها m^2/s $[D_c] = m^2/s$.

B.1.2.6.I قانون فيك الثاني للانتشار الجزئي: وله ثلاثة أشكال وهي: [21]

$$(28-I) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_c \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \checkmark \text{ الشكل الأول: (بدلالة التركيز الكتلي)}$$

$$(29-I) \quad \frac{\partial P}{\partial t} = D_p \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad \checkmark \text{ الشكل الثاني: (بدلالة الضغط)}$$

$$(30-I) \quad \frac{\partial C_{mol}}{\partial t} = D_{C(mol)} \cdot \frac{\partial^2 C_{mol}}{\partial x^2} \quad \checkmark \text{ الشكل الثالث: (بدلالة التركيز المولي)}$$

C.1.2.6.I معامل الانتقال الكتلي :

نعرف معامل الانتقال الكتلي K' في حالة $\frac{\Delta C}{\Delta x} = -\frac{dC}{dx}$ ، فيصبح التدفق الكتلي: [21]

$$(31-I) \quad \dot{m} = \frac{dm}{dt} = D_c \cdot S_e \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} = K' \cdot S_e \cdot \Delta C \quad [Kg/s]$$

أي: $[K] = m/s$ $K' = \frac{D_c}{\Delta x}$.

2.2.6.I الحمل الكتلي:

في الانتقال الكتلي بالحمل، تنقل الكتلة (أو كمية المادة) مباشرة بالحركة الماكروسكوبية للمائع المذاب. والحمل هو شكل من أشكال الانتقال السريع بالمقارنة بالانتشار الجزئي. وعند ترك المائع المذاب يتحرك لوحده أو بفعل التيار الكتلي الناتج من زيادة ذوبان المادة، نسمي هذا النوع بالحمل الكتلي الطبيعي (الحر)، لكن عند التأثير على المائع بقوة كعملاً ميكانيكياً (مروحة) نسمي الحمل بالحمل الكتلي القسري.

1.7.I تعريف الاقط الشمسي المسطح:

اللاقط الشمسي المسطح هي وحدة يتم بواسطتها استقبال الإشعاع الشمسي الساقط على سطحها وتحويله إلى طاقة حرارية، من خلال سطح ماص تنتقل إلى الهواء المار بين الزجاج والماص الحراري مع الحفاظ على هذه الطاقة من الفقد إلى الجو المحيط بأقصى ما يمكن.

2.7.I تركيب الاقط الشمسي المسطح:

يتكون اللاقط الشمسي المسطح من الأجزاء الأساسية الآتية:

A.2.7.I غطاء شفاف منفذ:

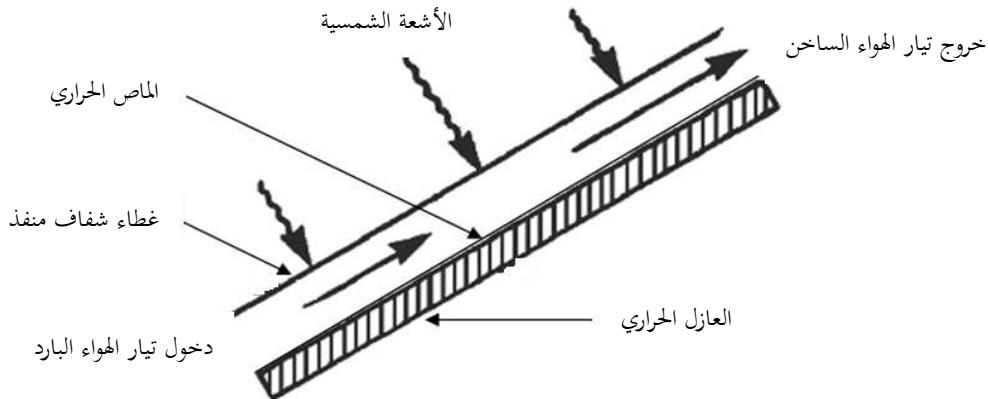
تستخدم أغلفة زجاجية (الملحق B) منفذة للأشعة القصيرة من الشمس، وفي نفس الوقت معتمة بحيث تمنع انعكاس الأشعة ذات الموجات الطويلة الصادرة من السطح الماص، ويجب أن يكون الغطاء الشفاف ذو نفاذية عالية للأشعة الشمس ومقاوم للكسر.

B.2.7.I الماص الحراري:

يجب تصنيع الماص الحراري (الملحق B) من مادة موصلة جيدة لامتصاص الحرارة من السطح الماص المدهون بطلاء أسود ذو مواصفات خاصة عالي الانتقائية و يتحمل ظروف التشغيل لفترات طويلة. و يصنع سطح الامتصاص في الغالب من معدن مطلي بألوان داكنة وذلك لزيادة معدل امتصاص، حيث تتميز الألوان الداكنة بمعدل عال الامتصاص الأشعة الشمسية يصل إلى 98%. ولكن يعاب على الألوان الداكنة قابليتها الشديدة لفقد الحرارة بطريقة الإشعاع، حيث يصل ذلك المعدل إلى 90%، بعبارة أخرى فإن السطح الماص الداكن قادر على امتصاص ما نسبته 98% من الطاقة الساقطة عليه، ولكنه سيعيد إشعاع ما نسبته 90% من الطاقة المكتسبة، لتصبح الاستفادة من جزء صغير فقط من الطاقة الشمسية الساقطة على اللاقط وستضيع النسبة الكبرى. من أجل ذلك تستخدم أنواع خاصة من الطلاء ذات معدل امتصاص عالي ومعدل إشعاع منخفض، ومن أمثلة هذه الطلاءات أكسيد الكروم والكوبالت.

C.2.7.I العازل الحراري:

عندما ترتفع درجة الحرارة داخل اللاقط بالمقارنة بالجو المحيط بها، يصبح هناك إمكانية لفقد هذه الحرارة بالحمل، وذلك عن طريق جوانب اللاقط والجهة السفلية منه. وللحد من الفقد يجب إحاطة الجوانب وأسفل الماص الحراري بمواد خاصة ذات توصيلية حرارية متدنية (الملحق B). مثل الصوف الزجاجي، الألياف الزجاجية والبوليستيرين.

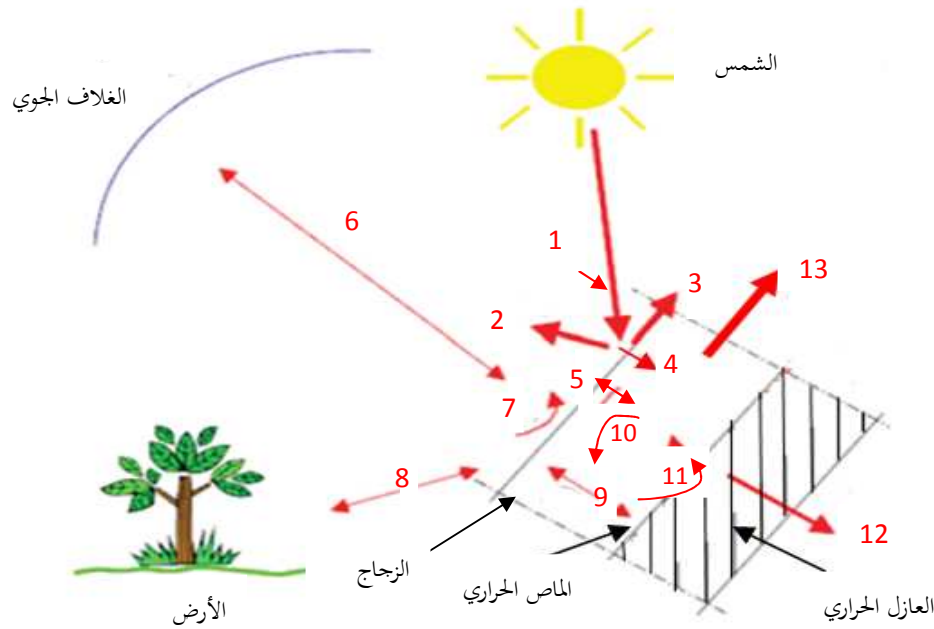


الشكل (10.I): أجزاء اللاقط الشمسي المسطح

8.I الموازنة الحرارية للاقط الشمسي :

لمعرفة وتحديد معادلات الموازنة الحرارية الخاصة بكل جزء من أجزاء اللاقط الشمسي (الغطاء الزجاجي، الصفيحة الماصة والعازل الحراري)، يجب أولاً معرفة مختلف الانتقالات والتدفقات الحرارية الحادثة بفعل ورود الإشعاع الشمسي داخل وخارج اللاقط، والمبنية على الفرضيات الأولية التالية :

- في بداية التجربة تكون درجات الحرارة لكل جزء من أجزاء اللاقط مساوية مع درجة حرارة الهواء المحيط.
 - درجات الحرارة لكل من الزجاج، الصفيحة الماصة والعازل الحراري تكون منتظمة.
 - الهواء بين الزجاج و الصفيحة الماصة يشكل طبقة ذات سمك صغير (0.06m) مقارنة بالطول (2.5m) فدرجة حرارته مساوية إلى درجة حرارة الصفيحة الماصة و الزجاج.
 - نعتبر أن الخصائص الفيزيائية للمواد (الزجاج و الصفيحة الماصة) تكون ثابتة، لا تتعلق بدرجة الحرارة.
- عند تعرض اللاقط للإشعاع الشمسي تحدث عدة انتقالات وتدفقات حرارية داخله وخارجه كما هو مبين في الشكل (11.I):



الشكل (11.I): مخطط الموازنة الحرارية للاقط الشمسي [22]

❖ 1. الإشعاع الشمسي الوارد إلى الزجاج :

تدفق الإشعاع الشمسي هو مقدار الطاقة الشمسية الواردة إلى الزجاج خلال اليوم وتعطى بالعلاقة [21] $(32-I)$

$$(32-I) \quad G = S_v \cdot \int I_g dt \quad [W]$$

حيث:

• I_g : شدة الإشعاع الشمسي الكلي اللحظي. (W/m^2)

• S_v : مساحة الزجاج. (m^2)

❖ 2. الإشعاع المنعكس على مستوى الزجاج:

إن الأشعة الواردة على الزجاج لا يمتصها كلها وإنما جزء منها ينعكس متعلق بالزجاج من الجهة الخارجية، ويقدر ب 10%، ويعطى بالعلاقة (33-I) . [21]

$$(33-I) \quad \phi_{ref} = r_v \cdot G \quad [W]$$

حيث: r_v : معامل الانعكاس للزجاج.

❖ 3. الإشعاع الممتص من طرف الزجاج :

جزء من الطاقة الشمسية الواردة يمتصها الزجاج، وتقدر ب 5%، فهي مهملة بالنسبة للطاقة التي تمر (تنفذ) عبر الزجاج، ويعطى بالعلاقة (34-I): [21,11]

$$(34-I) \quad \phi_{abs} = a_v \cdot G \quad [W]$$

حيث: a_v : معامل الامتصاص للزجاج.

❖ 4. الإشعاع العابر للزجاج:

ويمثل الجزء الأكبر من الإشعاع الوارد 85% ، وذلك راجع إلى شفافية الزجاج التي تسمح بمرور الإشعاع ، ويعطى بالعلاقة (35-I) : [21]

$$(35-I) \quad \phi_{tra} = \tau_v \cdot G \quad [W]$$

حيث: τ_v : معامل إمرارية الزجاج.

❖ 5. انتقال الحرارة بالتوصيل بين السطح الداخلي والخارجي للغطاء الزجاجي :

المقدار المنتقل بالتوصيل عبر السطح الزجاجي يعبر عنه بالعلاقة (36-I) :

$$(36-I) \quad \phi_{cd} = \frac{\lambda_v}{ep_v} (T_{v:int} - T_{v:ext}) \quad [W]$$

حيث :

- ep_v : سمك الزجاج (m) .
- λ_v : التوصيلية الحرارية للزجاج .(W/m .K).
- $T_{v:int}$: درجة حرارة السطح الداخلي للزجاج .(°C).
- $T_{v:ext}$: درجة حرارة السطح الخارجي للزجاج .(°C).

❖ 6. انتقال الحرارة بالإشعاع خارج اللاقط (زجاج - الغلاف الجوي) :

للموسط الخارجي تأثير في الإشعاع المتبادل بين السطح الخارجي للغطاء الزجاجي والوسط الخارجي (الغلاف الجوي)، وتكون عبارته بالعلاقة (37 - I) : [23,11]

$$(37 - I) \quad \phi_{rd,v-ciel} = h_{rd,v-ciel} \cdot S_v (T_v - T_{ext}) \quad [W]$$

وتعطى عبارة معامل الانتقال الحراري المتبادل بالإشعاع $h_{rd,v-ciel}$ بالعلاقة (38 - II) : [11]

$$(38 - I) \quad h_{rd,v-ciel} = \frac{e \cdot \sigma (T_v^4 - T_{ciel}^4)}{T_v - T_{ext}} \quad [W/m^2 \cdot K]$$

حيث :

○ $e_v \approx 0.9$: معامل الانبعاثية للغطاء الزجاجي .

○ σ : ثابت ستيفان بولتزمان [19] ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$)

○ T_v : درجة حرارة السطح الخارجي للزجاج. ($^{\circ}C$)

○ T_{ext} : درجة حرارة الهواء الخارجي (المحيط). ($^{\circ}C$)

○ T_{ciel} : درجة حرارة القبة السماوية والتي لها العبارة [24, 11] (39 - I) :

$$(39 - I) \quad T_{ciel} = 0.0552 T_{ext}^{1.5} \quad [^{\circ}C]$$

❖ 7. انتقال الحرارة بالحمل خارج اللاقط (زجاج - هواء) :

تؤثر حركة الهواء الخارجي على التدفق الحراري بالحمل المتبادل بين الجهة الخارجية للغطاء الزجاجي و الهواء المحيط، وتعتبر هذه الكمية من الحرارة ضائعة بالنسبة لللاقط و تكتب عبارة التدفق كما يلي :

$$(40 - I) \quad \phi_{cv,v-ext} = h_{cv,v-ext} \cdot S_v (T_{v,ext} - T_{ext}) \quad [W]$$

يعرف معامل الحمل الحراري بعلاقة (hottel et Woertz) : [25.9]

$$(41 - I) \quad h_{cv,v-ext} = 5.7 + 3.8 V_{vt} \quad [W/m^2 \cdot K]$$

حيث :

• V_{vt} : سرعة الرياح. (m/s)

• T_{v-ext} : درجة حرارة الزجاج من الجهة الخارجية. ($^{\circ}C$)

• T_{ext} : درجة حرارة الهواء الخارجي (المحيط). ($^{\circ}C$)

❖ 8. انتقال الحرارة بالإشعاع خارج اللاقط (زجاج - الأرض) :

يفعل عاكسيه الأرض والأشياء الموجودة عليها من أشجار و مباني ومياه، يستقبل الزجاج جزء من الإشعاع المنعكس منها، وهو جزء صغير مقارنة بالإشعاع المباشر، وهو تابع لعاكسيه كل مادة كما سنوضح في العنوان (6.3.II).

❖ 9. انتقال الحرارة داخل اللاقط بالإشعاع (الصفیحة الماصة- زجاج):

التدفق الحراري بالإشعاع من الصفیحة الماصة نحو السطح الداخلي الزجاج يعطى بالعلاقة (42-I): [10]

$$(42-I) \quad \phi_{rd;abs-v} = F_{abs-v} \sigma (T_{abs}^4 - T_{v:int}^4) \quad [W]$$

حيث:

- F_{abs-v} : معامل الشكل بين الصفیحة الماصة و الزجاج.
- σ : ثابت ستيفان بولتزمان ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$) [19]
- T_{abs} : درجة حرارة الصفیحة الماصة. ($^{\circ}\text{C}$).
- $T_{v:int}$: درجة حرارة السطح الداخلي للزجاج. ($^{\circ}\text{C}$).

❖ 10. انتقال الحرارة داخل اللاقط بالحمل (هواء - زجاج):

بارتفاع درجة الهواء في المجمع ينتج تدفق حراري بالحمل بين الهواء والسطح الداخلي للغطاء الزجاجي، و الذي يعطى بالعلاقة (43-I):

$$(43-I) \quad \phi_{cv;ar-v} = h_{cv;ar-v} \cdot S_v (T_{ar} - T_{v:int}) \quad [W]$$

حيث:

- $h_{cv;ar-v}$: معامل انتقال الحرارة من الزجاج إلى الهواء داخل اللاقط. ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).
- T_{ar} : درجة حرارة الهواء. ($^{\circ}\text{C}$).
- $T_{v:int}$: درجة حرارة السطح الداخلي للزجاج. ($^{\circ}\text{C}$).

❖ 11. انتقال الحرارة داخل اللاقط بالحمل (هواء - الصفیحة الماصة):

بارتفاع درجة الهواء في اللاقط ينتج تدفق حراري بالحمل بين الهواء والسطح الداخلي للصفیحة الماصة، و الذي يعطى بالعلاقة التالية

$$(44-I) \quad \phi_{cv;ar-abs} = h_{cv;ar-abs} (T_{abs} - T_{ar}) \quad [W]$$

حيث:

- $h_{cv;ar-abs}$: معامل انتقال الحرارة من الصفیحة الماصة إلى الهواء داخل اللاقط. ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).
- T_{ar} : درجة حرارة الهواء. ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{abs} : درجة حرارة السطح الداخلي للصفیحة الماصة. ($^{\circ}\text{C}$).

❖ 12. الضياع الحراري عبر الصفيحة الماصة:

هناك كمية من الحرارة تضيع عبر الصفيحة الماصة بالتوصيل وتعطى بالعلاقة (45-I) : [21]

$$(45-I) \quad \phi_{cd;abs-i} = \frac{\lambda_{abs}}{ep_{abs}} (T_{abs} - T_i) \quad [W]$$

حيث:

- ✓ ep_{abs} : سمك الصفيحة الماصة (m).
- ✓ λ_{abs} : التوصيلية الحرارية للصفيحة الماصة. ($W/m \cdot K$).
- ✓ T_{abs} : درجة حرارة السطح الماص. ($^{\circ}C$).
- ✓ T_i : درجة حرارة العازل الحراري. ($^{\circ}C$).

❖ 13. الطاقة الناتجة:

الطاقة الناتجة من اللاقط هي كمية الحرارة التي يكتسبها الهواء (ϕ_u) وتعطى بالعلاقة (46-I) : [26,21]

$$(46-I) \quad \phi_u = \dot{m} \cdot C_p (T_{s;cap} - T_{e;cap}) \quad [W]$$

حيث:

- \dot{m} : التدفق الكتلي للهواء. (kg/s).
- C_p : الحرارة النوعية للهواء الرطب. ($C_p=1005 J/kg \cdot ^{\circ}C$) [27]
- $T_{s;cap}$: درجة خروج الهواء من اللاقط. ($^{\circ}C$).
- $T_{e;cap}$: درجة دخول الهواء الى اللاقط. ($^{\circ}C$).

❖ 9.I مردود اللاقط:

يعرف مردود اللاقط بنسبة الطاقة الناتجة (المستفاد) على الإشعاع الكلي الساقط على مساحة الماص الحراري.

وتعطى علاقته (47-I) : [29,28,27,26]

$$(47-I) \quad \eta = \frac{m \cdot C_p (T_{s;cap} - T_{e;cap})}{I \cdot S_{abs}} \quad [W]$$

حيث:

- I_g : شدة الإشعاع الشمسي الكلي اللحظي. (W/m^2).
- S_{abs} : مساحة الصفيحة الماصة. (m^2).

في حالة اللاقط المزود بالعوائق، وبما أن العوائق مثبتة فوق سطح الماص الحراري ومعرضة الأشعة الشمس، إذن تضاف المساحة الكلية للعوائق بوجهيها (لأن التبادل الحراري بين الهواء والعوائق يتم من جهتين بالنسبة لكل عائق) إلى مساحة الصفيحة الماصة ، فتصبح المساحة كالتالي:

$$(48-I) \quad S_{abs} = S_{abs;sch} + S_{cht} = S_{abs;sch} + 2.nn.S_{ch} \quad [m^2]$$

حيث:

- $S_{abs;sch}$: مساحة الصفيحة الماصة بدون عوائق. (m^2)
- S_{cht} : مساحة العوائق الكلية بوجهيها. (m^2)
- nn : عدد العوائق.
- S_{ch} : مساحة كل عائق. (m^2)

مفاهيم عامة و أنواع المجففات

1.II تعريف التجفيف :

التجفيف هو عملية داخلية الهدف منها نزع السائل المتشرب من طرف جسم صلب أو سائل [30] (غالباً ما يكون الماء) كلياً أو جزئياً، في هذه العملية نلاحظ نوعين من الظواهر : الانتقال الكتلي (السائل الموجود داخل المادة الصلبة يتحول إلى بخار) والانتقال الحراري (كمية الحرارة تسمح بانتقال السائل إلى غاز)

نستطيع تمييز ثلاثة طرق من التجفيف: [31]

- ✓ طريقة ميكانيكية (الترسيب، الترشيح، الطرد المركزي...) في هذه الحالة نتجاهل التأثير الحراري.
- ✓ طريقة كيميائية وذلك بوضع مادة كيميائية محبة للماء بجوار المادة المراد تجفيفها فتمتص مقدار من كمية الماء.
- ✓ طريقة حرارية برفع درجة الحرارة أو خفض ضغط البخار الموجود في الغاز)، والرطوبة المتكونة هي نتيجة التبخير و الانتشار.

2.II الخصائص الأساسية للهواء الرطب:

1.2.II تعريف الهواء الرطب :

هواء الجو المحيط عبارة عن خليط من الهواء الجاف وبخار الماء [9] وهذا الهواء الجاف ذات نسب مئوية متغيرة، خليط من مجموعة من الغازات بنسب مئوية ثابتة نذكر منها الأكسجين و النتروجين. لتكن الكتلة الكلية للهواء الرطب m_h تشغل الحجم V ، في درجة الحرارة T وتحت الضغط p .

✓ كتلة الهواء الرطب m_h المحتواة في هذا الحجم هي مجموع كتلة الهواء الجاف m_s وكتلة بخار الماء m_v [12,9]

$$(1-II) \quad m_h = m_v + m_s \quad [kg]$$

✓ ضغط الهواء الرطب p هو مجموع الضغط الجزئي للهواء الجاف p_s و ضغط بخار الماء p_v [12,9]

$$(2-II) \quad p = p_v + p_s \quad [Pa]$$

2.2.II الرطوبة المطلقة: $[H_a]$

تعرف الرطوبة المطلقة للهواء الرطب $[H_a]$ بكمية بخار الماء m_v بالنسبة للهواء الجاف m_s ، وتعطى بالعلاقة (3-II): [9]

$$(3-II) \quad H_a = \frac{m_v}{m_s} \quad \left[\frac{kgd' eau}{kgm_s} \right]$$

حيث :

m_v : كتلة بخار الماء (kg).

m_s : كتلة الهواء الجاف (kg).

المجففات

أما الرطوبة المطلقة بدلالة الضغط، فتعطي بالعلاقة (4-II): [12,9]

$$(4-II) \quad H_a = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad \left[\frac{\text{kgd' eau}}{\text{kgm}_s} \right]$$

وتسمى أحيانا الرطوبة المطلقة بالرطوبة النوعية.

3.2II الرطوبة النسبية: $[H_r]$

الرطوبة النسبية $[H_r]$ وتسمى كذلك الرطوبة الجوية و هي حاصل قسمة الضغط الجزئي لبخار الماء $[P_v]$ الموجود في الهواء على ضغط الهواء في حالة التشبع $[P_v^0]$ في نفس درجة الحرارة T [12].

$$(5-II) \quad H_r = \frac{P_v}{P_v^0} \quad [\%]$$

تسمى أيضا الرطوبة المطلقة بنسبة الماء ذات الأساس الجاف، وتعطى بالعلاقة (6-II):

$$(6-II) \quad X_s = \frac{m_v}{m_s} \quad \left[\frac{\text{kgd' eau}}{\text{kgm}_s} \right]$$

تسمى أيضا الرطوبة النسبية بنسبة الماء ذات الأساس الرطب، وتعطى بالعلاقة (7-II):

$$(7-II) \quad X_h = \frac{m_v}{m_h} \quad \left[\frac{\text{kgd' eau}}{\text{kgm}_h} \right]$$

نستطيع إستنتاج علاقة تربط المقدارين السابقين وهي كالتالي: [14]

$$(8-II) \quad X_s = \frac{X_h}{1 - X_h} \quad \left[\frac{\text{kgd' eau}}{\text{Kgm}_s} \right]$$

$$(9-II) \quad X_h = \frac{X_s}{1 + X_s} \quad \left[\frac{\text{kgd' eau}}{\text{Kgm}_h} \right]$$

ملاحظة: عند تسخين الهواء، الرطوبة المطلقة تبقى ثابتة (لا تتغير) و أما الرطوبة النسبية تنخفض ، ولهذا عند إجراء قياسات يفضل استعمال الرطوبة المطلقة ذات الأساس الجاف [32].

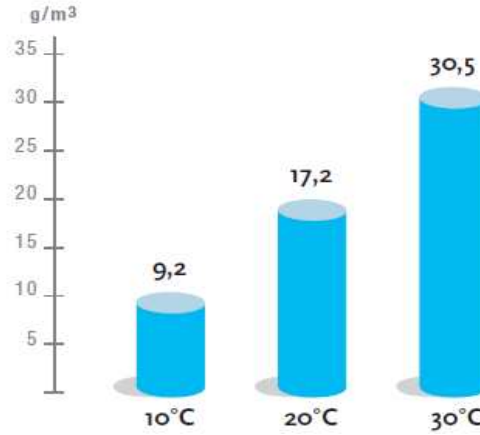
4.2.II درجة التشبع: $[\psi]$

درجة التشبع $[\psi]$ هي نسبة الرطوبة النوعية للهواء الرطب $[H_a]$ على الرطوبة النوعية للهواء في حالة تشبع $[H_a^0]$ ، في نفس درجة الحرارة [12].

$$(10-II) \quad \psi = \frac{H_a}{H_a^0} \quad [\%]$$

5.2.II علاقة درجة تشبع الهواء [W] بدرجة حرارته:

الهواء يحتوي على كمية من الماء على شكل بخار غير مرئي، وهذه الكمية متغيرة حسب درجة حرارة الهواء الذي يحتويه، مثلاً: متر مكعب من الهواء في درجة حرارة 20 °C يمكن أن يحتوي قيمة قصوى تقدر بـ 17.2 غرام من بخار الماء، والشكل التالي يوضح ذلك.



الشكل (1.II): الكمية القصوى لبخار الماء الذي يمكن أن يحتويه الهواء حسب درجة حرارته

6.2.II فعالية الماء:

في الجسم الرطب نستطيع تصنيف الماء من ناحية الديناميكا الحرارية (Thermodynamique) إلى ماء حر وماء مرتبط حيث الماء الحر يتصرف كالماء النقي بحيث ضغط البخار يوافق حالة التشبع في درجة حرارة معينة، وفي المقابل الماء المرتبط فضغط البخار فيه اقل من حالة التشبع، أذن فعالية الماء الحر تساوي 1 والماء المرتبط اقل من 1. [30,23]

فعالية الماء في منتج ما هي نسبة الضغط السطحي لبخار الماء P_v على ضغط بخار الماء في حالة التشبع $P_v^0(T)$ ، في درجة حرارة معينة للمنتج .

$$(11-II) \quad a_w = \frac{P_v}{P_v^0(T)} \quad [%]$$

لنفرض أن المادة مع الهواء في حالة توازن P_v و P_a ضغط بخار الماء و الهواء، T و T_a درجة حرارة المادة والهواء.

عند التوازن يكون: $T_a = T^*$ (لا يوجد انتقال حراري)

$P_a = P_v^*$ (لا يوجد إنتقال كتلي)

إذن تصبح الرطوبة النسبية تحسب بالعلاقة (12-II):

$$(12-II) \quad H_r = \frac{P_v}{P_v^0(T_a)} \quad [%]$$

$$(13-II) \quad H_r = a_w \text{ ومنه:}$$

المجففات

هذه القيمة للرطوبة النسبية بدون وحدة و محصورة من 0 إلى 100 .
ومن هذا نستنتج أن فعالية الماء تساوي الرطوبة النسبية في حالة التوازن بين الهواء والمادة التي تحتويه.

7.2.II الكتلة الحجمية للهواء الرطب:

لتكن كتلة $(1+H_a)$ kg من الهواء الرطب في درجة حرارة $[T]$ وضغط $[P]$ ، مكونة من 1 kg من الهواء الجاف في درجة في درجة حرارة $[T_0]$ وضغط $[P_0]$ ، مع H_a kg من بخار الماء موجود تحت ضغط جزئي لبخار الماء $[P_v]$ ، إذن تعطى علاقة الكتلة الحجمية كالتالي:

$$(14 - II) \quad \rho_{ah} = \rho_0 \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p - (1 - \delta)p_v}{p_0} \quad [kg/m^3]$$

حيث:

$$\rho_0 \quad \checkmark \quad \text{الكتلة الحجمية للهواء الجاف, } (\rho_0 = 1.293 \text{ kg/m}^3)$$

$$\delta \quad \checkmark \quad \text{طول مميز. (m)}$$

3.II الجسم المسامي:

1.3.II تعريف:

نعرف الجسم المسامي كل جسم صلب يحتوي على فراغات تدعى مسامات ، هذه المسامات متصلة بعضها البعض وتحتوي داخلها مائع، أما الجزء الصلب يدعى مصفوفة ويوجد في شكلين: [34,33]

- شكل غير مدعم : المصفوفة الصلبة مشكلة من حبيبات غير متصلة بعضها البعض (الرمل، الحصى...).
- شكل مدعم: في هذه الحالة ، المصفوفة الصلبة ملتصقة مع بعضها البعض بحيث لا نلاحظ أي شقوق بين الحبيبات (الصخر، النسيج النباتي و الحيواني...).

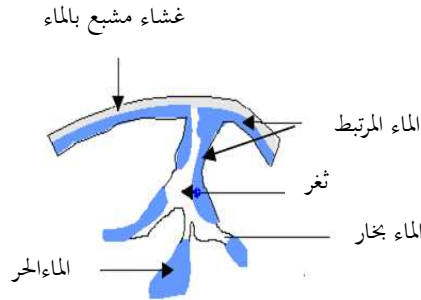
في الشروط الطبيعية ، الحجم المسامي يكون مشغول بمادة غازية (خليط بين الهواء الجاف وبخار الماء) أو الماء في حالة سائل.

3.II.2 شكل توزيع الماء داخل الجسم المسامي:

قبل التحفيف الماء الموجود في الجسم الصلب يكون في ثلاثة حالات: [35]

- الماء المرتبط: يشكل طبقة(غشاء) رقيقة مع جدار الثغر، وهو موجود في شكل سائل.
- الماء المتحد: و هو من أصل وتركيب الثمرة ونسبته بسيطة .
- الماء الحر: ويملى أغلب أجزاء فراغات الجسم وهو موجود على شكل سائل، الكمية العظمى من الماء الحر لها علاقة مباشرة مع مسامية الوسط(ε).و أما الفراغ الخالي من الماء السائل فيحتوي على بخار الماء.

المجففات



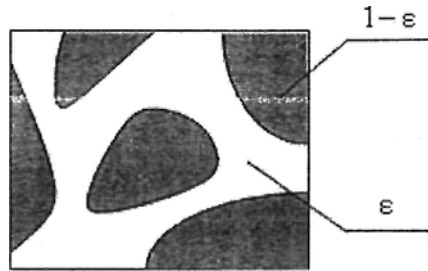
الشكل (2.11): توزيع الماء داخل الجسم الصلب المسامي [35]

3.3.II خصائص الجسم المسامي :

3.3.II.1.3 المسامية (ε)

المسامية هي نسبة حجم الفراغ على الحجم الكلي للجسم المسامي [33]

$$\varepsilon = \text{حجم الفراغ/الحجم الكلي} \quad [\%] \quad (15 - II)$$



الشكل (3.11) منظر تحت المجهر يوضح المسامية [36]

جزء من الماء الموجود داخل الجسم المسامي له علاقة مباشرة بهذه المسامية وهو الماء الساكن ، من وجهة الديناميك المائية نعتبر هذا الماء كجزء من المادة الصلبة ، ومن هذا نستنتج أن هناك مسامية حركية أو مسامية مؤثرة لها علاقة بحركة السائل.

إذن يمكن تعريف المسامية المؤثرة بنسبة حجم الماء المتحرك (الغير مستقر) على الحجم الكلي للجسم المسامي.

$$\varepsilon_e = \text{حجم الماء المتحرك/الحجم الكلي} \quad [\%] \quad (16 - II)$$

2.3.3.II النفاذية: (k)

النفاذية هي خاصية مميزة للجسم المسامي منفصلة كلياً على خصائص المائع، توضح لنا كفاءة الوسط في إجتياز المائع له بتأثير

التدرج في الضغط ، وتحسب بالعلاقة [37] (17 - II)

$$K = \frac{\phi \cdot L_h \cdot \mu}{S_h \cdot \Delta P} \quad [m^2] \quad (17 - II)$$

حيث :

- ϕ : تدفق الهواء الرطب. (m^3/s)
- L_h : الطول الذي يجتاز الهواء الرطب. (m)

المجففات

• μ : اللزوجة التحريكية. (Pa.s)

• S_h : مساحة المقطع الذي يجتاز منه الهواء الرطب. (m^2)

• ΔP : التغير في الضغط من جهة إلى أخرى في المادة. (Pa)

معامل النفاذية (k)، هو معيار متعلق بسرعة السيولة في قانون دارسي (Darcy)، ويحسب بالعلاقة (18-II)

$$(18-II) \quad k = \frac{K \cdot \rho \cdot g}{\mu} \quad [m/s]$$

حيث:

• K: النفاذية

• ρ : الكتلة الحجمية للهواء الرطب. (kg/m^3)

• g: تسارع الجاذبية الأرضية. (m/s^2)

4.II سرعة التجفيف:

تعرف سرعة التجفيف كنسبة بين كتلة السائل المتبخر بالنسبة لوحدة الزمن ووحدة مساحة التجفيف.

$$(19-II) \quad R = \frac{-dM_v}{S_s \cdot dt} = \frac{M_s \cdot dX}{S_s \cdot dt} = \frac{M_s (X_i - X_f)}{S_s \cdot dt} \quad [kgd'eau/m^2 \cdot s]$$

حيث:

➤ M_v : كتلة الماء المتبخر. (kg)

➤ M_s : كتلة المادة وهي حافة. (kg)

➤ X_i : رطوبة المادة في بداية عملية التجفيف. ($kg d'eau/kg M_s$)

➤ X_f : رطوبة المادة في نهاية عملية التجفيف. ($kg d'eau/kg M_s$)

➤ S_s : مساحة المادة المجففة. (m^2)

➤ dt: زمن التجفيف. (s)

سرعة التجفيف لها علاقة كبيرة بعدة عوامل مؤثرة جدا في عملية التجفيف منها:

○ طبيعة، مسامية، شكل ورطوبة الجسم .

○ درجة حرارة، رطوبة، سرعة هواء التجفيف.

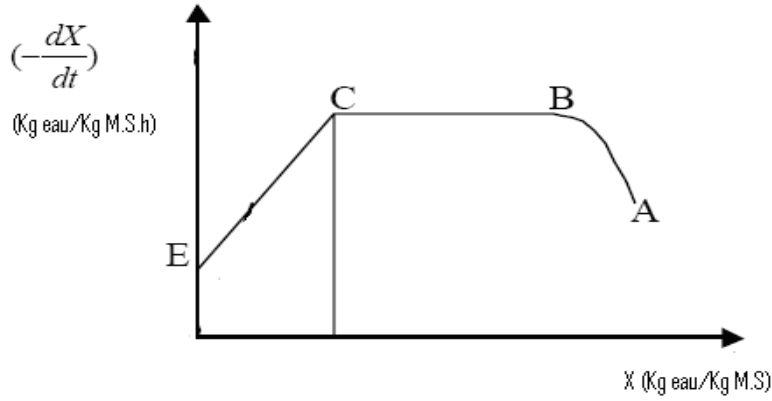
5. II حركية التجفيف:

ندرس حركية التجفيف لمختلف المواد بالمنحنيات الممثلة إما تغير نسبة الماء المتوسطة بدلالة $X = \frac{m - M_s}{M_s}$

الزمن (t)، أو لتغير سرعة التجفيف $\left(-\frac{dX}{dt}\right)$ بدلالة الزمن (t)، أو بواسطة منحني Krischer $\left(-\frac{dX}{dt}\right)$ بدلالة (X). هذه المنحنيات

نحصل عليها عادة في مختلف الشروط التجريبية (درجة الحرارة، سرعة هواء التجفيف و الرطوبة...)

المجففات



الشكل (4.II) منحنى سرعة التجفيف (منحنى Krischer) [23]

من خلال المنحنى الممثل لسرعة التجفيف نلاحظ ثلاثة مراحل رئيسية وهي:

المرحلة الأولى : مرحلة التزايد (منطقة B-A)

الرطوبة في هذه المرحلة تتغير بشكل ضعيف، أما درجة الحرارة فتزداد حتى تقارب الحرارة الجافة، هذه المرحلة قصيرة جدا وغير واضحة إذا كان المنتج كبير الحجم أو كان الفرق كبير بين درجة حرارة هواء التجفيف والمادة المراد تجفيفها .

المرحلة الثانية : مرحلة السرعة الثابتة (منطقة C-B)

في هذه المرحلة تبقى سرعة التجفيف ثابتة في أغلب المواد ، الرطوبة تنتقل إلى السطح في شكل سائل تحت فعل القوة الشعيرية، يحدث توازن بين الانتشار الغشائي و آلية انتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح ، درجة الحرارة تبقى منتظمة في أنحاء المادة لان التدفق الحراري استعمل في تبخير الماء إلى السطح.

المرحلة الثانية : مرحلة التباطؤ (منطقة E-C) [38]

خلال هذه المرحلة القوة الشعيرية غير كافية لإخراج الماء إلى السطح، وتبدأ سرعة التجفيف في التباطؤ.

انخفاض منحنى سرعة التجفيف يفسر بالظواهر التالية:

- اختفاء الماء الحر من سطح المادة: هذه الظاهرة تتعلق ببداية انخفاض المنحنى، حيث يتحول الماء الحر إلى سائل والماء المرتبط إلى بخار.
- سمك المادة: إذا كان سمك المادة كبير مما يؤدي ببخار الماء لاجتياز مسار طويل، وهكذا تأخذ مرحلة التباطؤ جزء كبير من المنحنى.

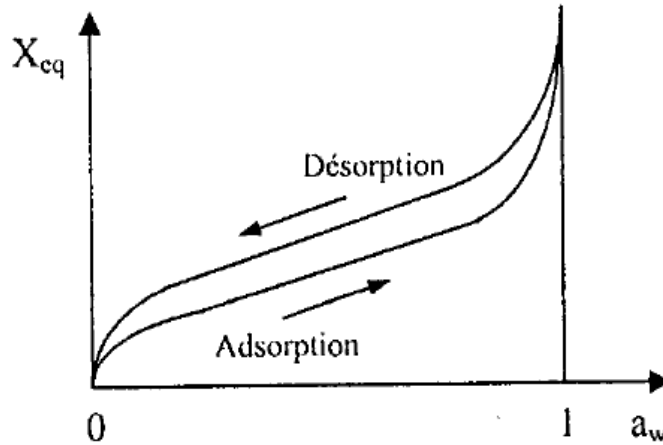
المجففات

- انتشار الماء داخل المادة: تتغير حسب نسبة الماء داخل المادة , فكلما كانت جافة تنقص سماحتها للماء.
- المقاومة الميكانيكية لجدر الخلايا: جدر الخلايا تمتع بخار الماء بالمرور بكمية كبيرة إلى السطح الخارجي للمادة.

6.II التساوي الحراري(Isothermes d'Adsorption/Désorption):

التساوي الحراري هو عبارة عن نسبة الماء في حالة التوازن للمادة المدروسة بدلالة الرطوبة النسبية للهواء المحيط أو فاعلية الماء في درجة حرارة معينة. هذه الظاهرة تميز العديد من التفاعلات الميكروسكوبية (microscopique) بين الهيكل المسامي الصلب وحزبئات الماء. يتم تعيين المنحنى المميز لها تجريبيا فهي لا تخضع لنظرية محددة، ويتم ذلك بوضع المادة في حالة توازن مع الهواء الرطب في تركيب خاص، ثم نقوم بقياس رطوبة المادة والرطوبة النسبية للهواء الرطب المحيط بهذه المادة. [9]

منحنيات التساوي الحراري تزودنا بمعلومات على توزيع ومدى شدة روابط حزبئات الماء، كذلك الجاهزية الوظيفية للمواد البيوكيميائية والبيولوجية. فكل التغيرات في النوعية أو في التركيب متعلقة بالتغيرات في التساوي الحراري. [38]



الشكل (5.II) منحنى Adsorption-Désorption للمادة المجففة [38]

يمكن رسم المنحنى (5.II) كما يلي: [38,35]

- التساوي الحراري لمنحنى (Adsorption) يعين تجريبيا عندما تكون المادة جافة.
- التساوي الحراري لمنحنى (Désorption) يعين تجريبيا عندما تكون المادة مشبعة بالماء.

7.II تأثير عوامل هواء التجفيف على حركية التجفيف: [38,36]

1.7.II تأثير درجة حرارة هواء التجفيف:

لدرجة حرارة هواء التجفيف تأثير مباشر في سرعة عملية التجفيف، هذا التأثير متعلق بكمية الحرارة التي تكتسبها المادة، وكذلك بدرجة حرارة المادة ذاتها.

2.7.II تأثير سرعة هواء التجفيف:

المجففات

سرعة هواء التجفيف له أثر إيجابي خاصة في بداية العملية, بينما في المواد التي تتحكم حركية التجفيف فيها بالهجرة الداخلية للماء, فسرعة هواء التجفيف فله اثر ضعيف جدا.

3.7.II تأثير رطوبة هواء التجفيف :

نسبة بخار الماء في هواء التجفيف تلعب دورا مهما في سير حركية التجفيف لعدد من المواد, كسرعة الهواء مثلا, هذا التأثير يكون واضحا في بداية التجفيف وينخفض بارتفاع درجة حرارة الهواء.

8.II العوامل المؤثرة في عملية التجفيف المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها:

يوجد العديد من العوامل المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها تؤثر في سير عملية التجفيف منها:

- ✓ طبيعة المادة المجففة (صلبة, سائلة...).
- ✓ رطوبة المادة الابتدائية.
- ✓ طريقة وضع المادة أثناء عملية التجفيف (سمك طبقة التجفيف).
- ✓ حساسية المادة تجاه الحرارة (المجال الحراري).
- ✓ تأمين عملية التجفيف (الإحتراق, التسمم...).

9.II تأثير عملية التجفيف على المادة المجففة:

خلال عملية التجفيف تظهر العديد من التغيرات المختلفة على المادة المجففة نحاول التقليل منها أو تجنبها نذكر منها: [38,9]

1.9.II التغيرات البيوكيميائية:

تعرض مادة بيولوجية لفترة طويلة من الزمن لحرارة التجفيف العالية بالنسبة لحرارة المادة يمكن أن يحفز تغيرات في التركيب الكيميائي لها. هذه التغيرات يمكن إعتبارها أثارا جانبية غير مرغوب فيها, ومن أهمها:

- تفاعل MAILLARD : إسمار المركبات الأنزيمية الناتجة عن اتحاد البروتين والغلوسيد.
- أكسدة الدسم.
- إتلاف الفيتامينات : خاصة إتلاف α و β -carotènes.
- تشوه البروتينات: ضعف قدرتها على إعادة إماهتها عند استعمال المادة التي تحتويها.
- تفاعل إنزيمي في حالة الأنزيمات الغير نشطة بالمعالجات السابقة : أكسدة البولي فينول (polyphénol) الذي يتسبب في إسمار المركبات الجافة.

2.9.II التغير في الرائحة:

علما أن التجفيف عملية تتركز على التبخير, فان الماء الذي يتم تبخيره بواسطة هذه العملية يحمل معه بعض المواد الطيارة المحتواة معه في نفس الجسم البيولوجي والتي تعتبر علامة مميزة له, مثل النعناع, عند تجفيفه في حرارة ثابتة اقل أو تساوي 55°C يفقد حوالي 5% من رائحته قبل التجفيف [38].

3.9.II التغير في اللون:

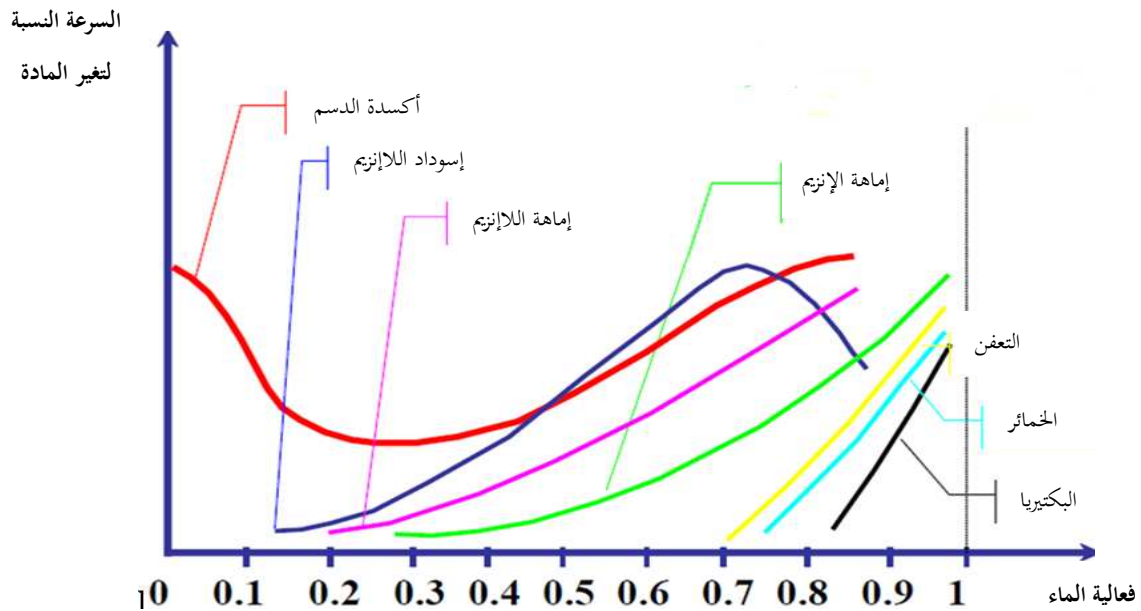
تحافظ معظم الأوراق الخضراء على لونها إذا تمت عملية التجفيف في درجة حرارة اقل أو تساوي 55°C ، و إذا زادت الحرارة على ذلك يبدأ ظهور الاسوداد (ظهور اللون الأسود بدل اللون الأخضر).

4.9.II التغير الفيزيائي والميكانيكي في المادة المجففة:

- التجفيف في معظم النباتات يحرض بعض التغيرات (تلف) الفيزيائية والميكانيكية ومن أهمها:
- هجرة أو صعود بعض المواد المنحلة (كالكسكريات مثلاً) وتراكمها على السطح، هذا التراكم يشوه النوعية خاصة في المواد التي تتطلب إعادة إماهتها ثانية عند استعمالها.
 - ذوبان وهجرة المواد الدسمة.
 - تغير الشكل: انطلاق الماء بسرعة مع وجود مصفوفة صلبة ينتج لنا جسم له نفس الحجم السابق لكنه مسامي.

10.II علاقة فعالية الماء بالآثار الجانبية للمادة المجففة:

فعالية الماء لها الأثر الكبير في تحديد الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية، الكيميائية و الميكروبيولوجية للمادة الرطبة (الحية)، والمخطط (6.II) يوضح أهم هذه الآثار الجانبية غير المرغوب فيها ويجب تجنبها خلال عملية التجفيف (أكسدة الدسم، إماهة واسوداد اللانزيم، إماهة الإنزيم، التعفن، التخمر و ظهور البكتيريا الغير مرغوب فيها)



الشكل (6.II) مخطط سرعة تغير المادة الحية بدلالة فعالية الماء [38]

المجففات

القيمة المثلى لفعالية الماء أو بالأحرى الرطوبة النسبية التي يجب أن تبقى في المادة الحية في نهاية عملية التجفيف محصورة بين 0.25 إلى [38,9] 0.35، أين نلاحظ انخفاض سرعة أكسدة الدسم وقيمة دنيا لإماهة كل من المركبات الإنزيمية واللاإنزيمية وفي هذا المجال كذلك تكون فيه البكتيريا الغير مرغوب فيها والعفن والخمائر غير نشطة .

11.II أساليب التجفيف:

حسب طريقة تسخين المادة المراد تجفيفها، يوجد أربعة أساليب أو أنماط للتجفيف :

1.11.II التجفيف بالحمل:

يعد هذا النوع من التجفيف الأكثر إستعمالا في مجال الصناعة الكيميائية، حيث التبادل الحراري يتم بالإتصال المباشر بين الهواء الساخن والمادة الرطبة. مثل : تجفيف النباتات العطرية، الفواكه، الحبوب... .

2.11.II التجفيف بالتوصيل:

أما في هذا النوع من التجفيف فيكون بالاتصال بين المادة الرطبة والحدار المعدني الساخن، تستعمل تقنية التوصيل في تجفيف السوائل و العجائن أو عندما يكون الجسم الصلب ممزوجا في محلول (جسم معلق).

3.11.II التجفيف بالأشعاع:

الطاقة المستعملة في تجفيف المادة ناتجة عن الأمواج الإلكهرومغناطيسية (ondes électromagnétiques)، والإشعاعات المستعملة هي إما تحت الحمراء (les infrarouges)، أو الأمواج من صنف الميكرو (les micro-ondes).

4.11.II التجفيف بالتجميد :

تتم هذه الطريقة في درجات الحرارة المنخفضة، حيث يتحول الماء السائل إلى الحالة الصلبة ، مما يسمح بحفظ المنتج لمدة أطول.

12.II مجالات إستعمال التجفيف الشمسي:

إستعمل الإنسان التجفيف بواسطة الطاقة الشمسية في أنحاء العالم في عدة ميادين نذكر منها:

- ✓ تجفيف السمك (السنغال و الكنغو) – اللحم ...
- ✓ تجفيف الخضر: الفلفل- البصل، الطماطم و الجزر(مالي)...
- ✓ تجفيف الفواكه: الموز و أوراق المنيوك (manioc) (مالي) -العنب ، البلح – المنجا (mangu) المشمش ، العنب (المغرب) ...
- ✓ تجفيف المحاصيل الزراعية : الأرز (تايلاند و الفلبين) - الحبوب (الولايات المتحدة الأمريكية) – البن، الفول السوداني، الذرة، الزنجبيل، الفاصوليا و الكاكاو ...
- ✓ تجفيف الأعلاف لتغذية قطعان الماشية.

المجففات

13.II التجفيف في الصناعات الغذائية:

الجزء الكبير من الأغذية المصنعة التي نستهلكها يوميا تعرضت للتجفيف مسبقا، وذلك لحفظها في شروط معينة، ومن هذه الصناعات نذكر:

- العجائن الغذائية.
- اللحم الجاهز: مثل جامبو...
- الاجبان.
- السكر البلوري الناتج عن عملية التبخير.
- عصير الفواكه.
- مواد على مسحوق: الحليب, الكاكاو...

14.II أضرار الرطوبة الزائدة على الثمار:

من المعروف أن وجود الرطوبة لازم لتكاثر و نمو و نشاط البكتيريا والأحياء الدقيقة [39] والخميرة، كما أن التفاعلات الأنزيمية والتحلل المائي تتم في وسط مائي. ولذلك فإن الأساس العلمي للحفظ بنزع الرطوبة أو التجفيف هو خفض نسبة الرطوبة في الغذاء بحيث تصل إلى حد لا تستطيع معه هذه الأحياء الدقيقة أن تزاول نشاطها أو تكاثرها أو نموها. مع ترك نسبة من الماء مرتبطة بمكونات الغذاء للمحافظة على مكونات المادة الغذائية من التلف أثناء التخزين. كما يجب تخزين المادة بعد تجفيفها في ظروف تحافظ على نسبة الرطوبة المثلى دون أن ترتفع حتى لا تتعرض المادة لنشاط الأحياء الدقيقة و التفاعلات الحيوية والكيميائية [40].

ولكل منتج سواء كان خضر أو فاكهة نسبة رطوبة مميزة للحفظ كما هو موضح في الجدول (1.I):

المنتج	النسبة القصوى للرطوبة (%)
الطماطم	8
البصل	4
البطاطس	13
الجزر [20]	5
الموز	10
المنجا	15-12

الجدول (1.II) نسبة الرطوبة القصوى لتخزين بعض الخضر والفواكه [41]

غالبا ما تحتوي الخضر المجففة على % (7-10) من الرطوبة أقل بكثير من الفاكهة المجففة % (14-25) [39]، ويرجع السبب في ذلك إلي وجود كميات مرتفعة من السكريات في الفاكهة حيث تعمل السكريات كمادة حافظة وبالتالي تعمل علي تثبيط نمو الأحياء الدقيقة .

المجففات

15.II كيفية إزالة الماء في المنتجات الغذائية :

- باعتبار المنتجات الزراعية أجسام مسامية فالماء يتواجد فيها كما بينا في (II. 3. 2) سابقا، ويمكن أزالته كالتالي: [4]
- **الماء الحر:** هي المياه التي تكون قريبة من السطح (القشرة) و التي تتبخر من خلال السطح عندما تتعرض المادة لأي حرارة مباشرة كأشعة الشمس وهذا النوع من المياه يفقد ببساطة .
 - **الماء المرتبط (الأسموزي):** فهي المياه التي تتحرك وتنفذ من خلال الأغشية الخلوية من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض، وعموماً فإن هذا النوع من المياه يمكن بعملية التجفيف من السيطرة عليها و إزاحتها بإستعمال بعض الطاقة الحرارية .
 - **الماء المتحد:** وهذه المياه لا يمكن السيطرة عليها و إزاحتها لأنها من أصل وتركيب الثمرة ونسبتها بسيطة و لا تحتاج إلى الإزاحة لأن بإزاحتها يتغير تركيب الثمرة وشكلها.

16.II أسباب و فوائد تجفيف الثمار:

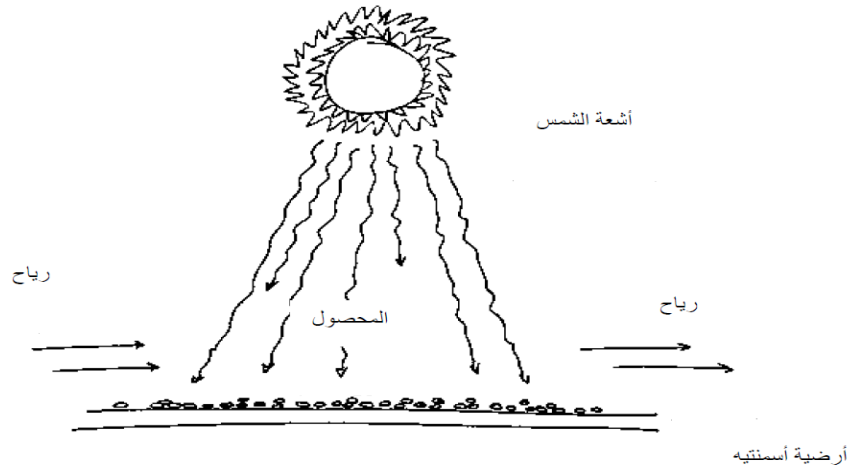
للتجفيف عدة أهداف نذكر منها: [23]

- ◆ تحتاج بعض أصناف الثمار إلى معدلات حرارية أعلى لا تتوفر أثناء الموسم. و لا تستوي أو تنضج بصورة متساوية.
- ◆ بعض الثمار كبيرة وثقيلة لذا فأنها تتساقط قبل عملية جفافها الكامل.
- ◆ عملية التجفيف تخفف من نشاط الأحياء المجهرية و نموها كما أنها تقلل من التفاعلات الكيماوية .
- ◆ عملية التجفيف تقلل من كلف التخزين و تكلفة النقل.
- ◆ عملية التجفيف تحافظ على نوعية الثمار بعد عملية الغسيل من الشوائب.
- ◆ عملية التجفيف تسيطر على فعالية الماء (النشاط المائي) بحيث يصبح الماء عازل مثالي ضمن ظروف الاتزان.
- ◆ الفاكهة المجففة تستهلك على طول السنة طازجة.

17.II التجفيف الشمسي التقليدي:**1.17.II مقدمة:**

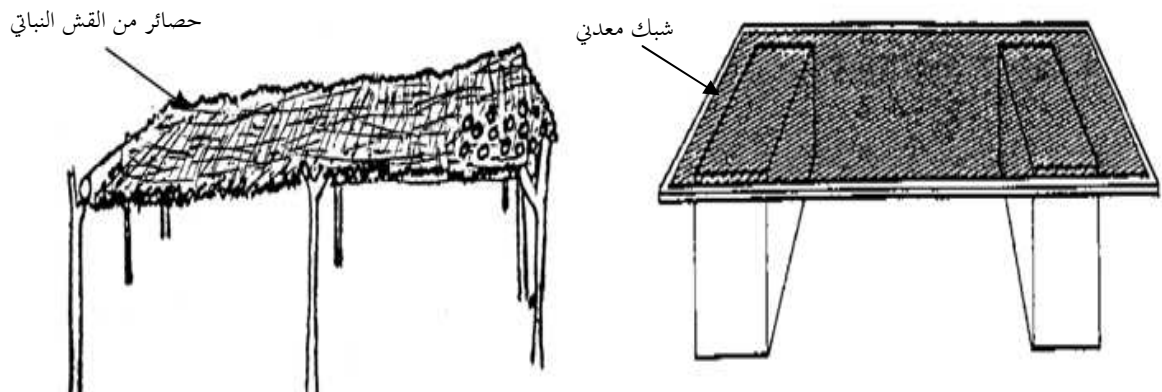
يمكن تجفيف المحاصيل الزراعية بالإستخدام المباشر لأشعة الشمس (تجفيف تقليدي)، وأبسط طريقة للتجفيف الشمسي تتم بوضع المحصول مباشرة على سطح أسود مستوى بما يسمح للشمس والرياح بتجفيف هذا المحصول، وهذا في البلدان التي تتميز درجة حرارة عالية وهواء جاف. [42]

المجففات



الشكل (7.ii) تجفيف مباشر للمحاصيل الزراعية (تجفيف تقليدي) [42]

يمكن عمل مجففات بسيطة مباشرة باستخدام شبك معدني أو حصائر من القش النباتي محملة على مكعبات حجرية أو أعمدة خشبية، لتسمح بمرور الهواء فوق وتحت المحصول مما يزيد من سرعة التجفيف، وتستخدم طبقة من القماش "الشاش" توضع فوق المحصول لحمايته من الحشرات والطيور أثناء عملية التجفيف. تقوم بفحص المحصول يوميا مع مراعاة نقله إلى مكان مغلق أو تحت سقف إذا توقعنا حدوث أمطار. والشكل (8.ii) يوضح ذلك.



الشكل (8.ii) نماذج لمجففات تقليدية [42]

2.17.ii فوائد ومساوئ التجفيف التقليدي:

للتجفيف الشمسي التقليدي العديد من الفوائد (إيجابيات) منها: [43]

- ❖ طاقة شمسية متوفرة طوال السنة وبدون تكلفة .
- ❖ لا تتطلب وسائل و معدات باهظة الثمن.

المجففات

❖ تقنية سهلة لا تتطلب معرفة و لا دراسة معمقة و يمكن القيام بها كل فرد.

لكن للتجفيف التقليدي العديد من السلبيات (مساوي) منها: [20, 4, 3, 2]

- ❑ احتمال بقاء رطوبة زائدة تؤدي للتخمر والتعفن.
- ❑ تعرضها للعوامل الخارجية مثل : المطر و الرياح التي تجلب الغبار والأتربة.
- ❑ تعرضها للطيور، الحشرات و القوارض التي تؤدي إلى تشويه منظرها أو أتلأفها كليا.
- ❑ احتمال تغير البنية الميكروبيولوجية, اللون والطعم لتعرضها مباشرة لأشعة الشمس مما ينتج عنه نوعية رديئة.
- ❑ لا يمكن التحكم في سير عملية التجفيف, مثل درجة الحرارة و سرعة الهواء و رطوبته .
- ❑ طول فترة التجفيف إلى عدة أيام مما يتلف المنتج.

لهذه الأسباب تبقى هذه التقنية من التجفيف في إطار التقاليد المتعارف عليها بين المجتمعات خاصة الريفية و المعزولة. وهذا ما أدى بالإنسان للبحث عن تقنيات لتفادي هذه السلبيات و لتحقيق زيادة كفاءة عملية التجفيف، ولهذا لا بد من استخدام مجففات صناعية لحماية المنتج والتحكم في سير عملية التجفيف.

3.17.II أضرار تعرض المنتج للأشعة الشمسية المباشرة:

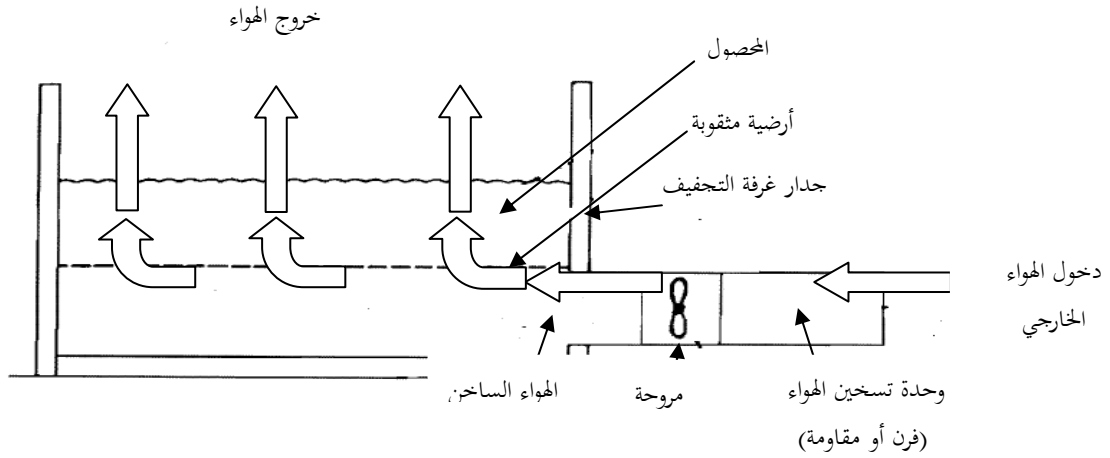
سقوط أشعة الشمس مباشرة على المنتج التي تحتوي على الأشعة فوق البنفسجية تؤدي إلى تفكك الكاربوهيدرات، حيث تتفكك %40 من سلاسل النشا، كما أنها تؤثر على مضادات الأكسدة الطبيعية الموجودة في الزيوت فتكون بيروكسيدات بدرجة عالية، وكذلك تؤثر على الأركوستيرول وتحوله إلى فيتامين D، و تزيد من الحموضة الكلية للمادة، كما أنها تؤدي إلى فقد الصبغات الموجودة في خلايا الفواكه. [3]

18.II المجففات الصناعية:

1.18. II تركيب المجففات الصناعية:

تتكون هذه المجففات من وحدة لتسخين الهواء باستعمال الطاقة الكهربائية (مقاومة)، أو بواسطة فرن يشتغل بالغاز أو أي نوع من المشتقات البترولية، ثم يدفع هذا الهواء الساخن إلى غرفة خاصة بالتجفيف بواسطة مروحة مثلا، حيث يوضع المحصول فوق أرضية مثقوبة للسماح بمرور الهواء الساخن من خلالها.

المجففات



الشكل (9.II) نموذج لمجفف صناعي [42]

II. 2.18 إيجابيات وسلبيات المجففات الصناعية:

للمجففات الصناعية عدة مزايا مقارنة بالمجففات التقليدية نذكر منها: [4]

- ❖ التحكم الجيد في سير عملية التجفيف.
- ❖ إمكانية استمرار عملية التجفيف ليلا ، كذلك في الأيام التي تشهد تقلبات جووية.
- ❖ تجفيف سريع مقارنة بالتجفيف الشمسي التقليدي.
- ❖ الحفاظ على المنتج من عوامل التلوث.

ولكن للمجففات الصناعية عدة سلبيات خاصة من جهة إستهلاك الطاقة نذكر منها: [4]

- ❑ تكلفة التشغيل باهضة لإعتمادها في تسخين الهواء على الطاقة الكهربائية أو الغاز.
- ❑ بعض المناطق الريفية بعيدة عن الشبكة الكهربائية و محطات التزود بالوقود.

II.19 التجفيف باستعمال المجففات الشمسية:**II.19.1 مكونات المجفف الشمسي:**

المجفف الشمسي يتكون من مجمع حراري و غرفة للتجفيف، ويعزل جسم المجفف تماما حتى لا تتسرب الحرارة عن طريق التوصيل إلى الخارج. ويشتمل المجمع الحراري على مواد ماصة للحرارة كسطح معدني أسود، ويغطي هذا السطح الأسود الماص بطبقة من البلاستيك المعامل ضد الأشعة فوق البنفسجية لضمان عدم نفاذها. ويعمل هذا الغطاء على إرتفاع درجة حرارة السطح الماص ، وبالتالي يسخن الهواء المار من خلال المجمع إلى غرفة التجفيف.

المجففات

II. 2.19 أنواع المجففات الشمسية حسب طريقة تسخين الهواء:

يمكن تصنيف المجففات الشمسية على حسب طريقة تسخين الهواء إلى:

1.2.19.II مجففات شمسية مباشرة :

II . 1.2.19.A تركيبه:

المجفف الشمسي المباشر ذو تجهيز بسيط وسهل، يتكون من جزء واحد يلعب دور مجمع الأشعة الشمسية وفي نفس الوقت غرفة تجفيف، مغطى من أعلى بطبقة من الزجاج تسمح بمرور الأشعة الشمسية ومن الأسفل بصفيحة معدنية (غالبا ما تكون من الألمنيوم) مطلية بالأسود.(الشكل (10.II))

II.B.1.2.19 إيجابيات و سلبيات المجففات الشمسية المباشرة :

للمجففات الشمسية المباشرة عدة مزايا مقارنة بالمجففات التقليدية من ناحية النوعية والمجففات الصناعية من ناحية الطاقة المستخدمة: [3]

- ❖ قصر مدة التجفيف مقارنة بالتجفيف التقليدي.
- ❖ حماية جيدة للمنتج ضد الغبار، الحشرات، الحيوانات و المطر مقارنة بالتجفيف التقليدي.
- ❖ سهل التركيب وغير مكلف كثيرا.
- ❖ لا يحتاج إلى تقنية عالية أو يد عاملة مؤهلة لتسييره.
- ❖ طاقة مجانية عكس المجففات الصناعية المكلفة.

ولكن للمجففات الشمسية المباشرة سلبيات تضر بنوعية المنتج وسلبيات أخرى نذكر منها: [4]

- ❑ انخفاض النوعية و تغير في اللون بسبب تعرض المنتج مباشرة لأشعة الشمس، مما يتلف الفيتامينات خاصة A و C.
- ❑ سهولة كسر الزجاج وهذا ما يحتم تبديله كلما إقتضى الأمر.
- ❑ حرارة عالية مما يضر بالقيمة الغذائية للمنتج.

II. 2.2.19 مجففات شمسية غير مباشرة:

II . 1.2.2.19.A تركيبه:

هذا النوع من المجففات يتكون من جزئين: مجمع الأشعة الشمسية مغطى بطبقة من أعلى بالزجاج، ومن الأسفل بصفيحة معدنية (غالبا ما تكون من الألمنيوم) مطلية بالأسود، تسمح بتزويد غرفة التجفيف التي يحتوي بداخلها المنتج بالحرارة اللازمة للتجفيف.(الشكل (10.II))

II.B.2.2.19 إيجابيات و سلبيات المجففات الشمسية الغير مباشرة:

- ❖ للمجففات الشمسية الغير مباشرة مزايا مقارنة بالمجففات الشمسية المباشرة منها: [41]
- ❖ المنتج غير معرض مباشرة لأشعة الشمس مما يحافظ على اللون والقيمة الغذائية(خاصة الفيتامينات A و C).

المجففات

❖ تسييره لا يتطلب أي مصدر آخر للطاقة (طاقة كهربائية، فحم، وقود...).

ولكن لهذا النوع عدة سلبيات من ناحية التركيب و سير عملية التجفيف نذكر منها: [4, 41]

❑ تكلفة التركيب والإنشاء باهضة.

❑ سرعة التجفيف متغيرة حسب أحوال الجو من غيوم، مطر ورياح... الخ .

❑ كذلك مثل المجفف الشمسي المباشر ضعف مقاومة الزجاج وهذا ما يحتم تبديله دوريا.

3.2.19.II مجففات شمسية متعددة الأنظمة(مختلط):

هذا التركيب عبارة مجفف مباشر وغير مباشر في نفس الوقت، فالهواء يسخن بواسطة المجمع الشمسي وعندما يدخل غرفة التجفيف يزداد سخونة، فهو يمكن أن يزيد في درجة الهواء بالنسبة للمجفف الغير مباشر ولكنه له نفس السلبيات كالمجفف المباشر لتعرض المنتج الإشعاعات الشمسية المباشرة التي تؤثر على القيمة الغذائية. (الشكل (10.II))

4.2.19.II مجففات شمسية هجينة :

A.4.2.19.II تعريفه:

في هذا النوع من المجففات يتدخل مصدر ثانوي للطاقة إما طاقة كهربائية أو طاقة احتراق الفحم أو الغاز وهذا لغرضين مختلفين:
 ✓ الطاقة الثانوية تستعمل للحفاظ على حرارة ثابتة داخل غرفة التجفيف ، فيكون هنا تدخل الطاقة الثانوية لإكمال الفارق والوصول إلى الدرجة المثلى للتجفيف.
 ✓ الطاقة الثانوية تستعمل لتحريك الهواء في مجففات الحمل القسري، وتبقى الطاقة الشمسية مصدر أساسي ووحيد لتسخين الهواء.

1.4.2.19.II إيجابيات و سلبيات المجففات الشمسية الهجينة:

لهذا النوع من المجففات العديد من المزايا مقارنة بالمجففات الشمسية و المجففات الصناعية نذكر منها: [41]

- ❖ التحكم جيد في درجة الحرارة و سرعة التجفيف داخل المجفف، و التحرر من التبعية للعوامل المناخية المتبدلة.
- ❖ إنتاج مرتفع بالنسبة للمجففات السابقة، وإمكانية التجفيف ليلا والفصول الممطرة حسب الحاجة.
- ❖ استهلاك طاقة منخفضة مقارنة بالمجففات الصناعية.

ولكن مثل المجففات الأخرى له بضعة سلبيات في التركيب والتسيير لا في المردود الطاقوي منها: [41]

❑ تكلفة التركيب والإنشاء جد باهظة مقارنة بالمجففات السابقة.

❑ ضرورة قربها من الشبكة الكهربائية أو تخزين الطاقة الثانوية كالغاز و الوقود وهذا ما يزيد من التكلفة الباهظة.

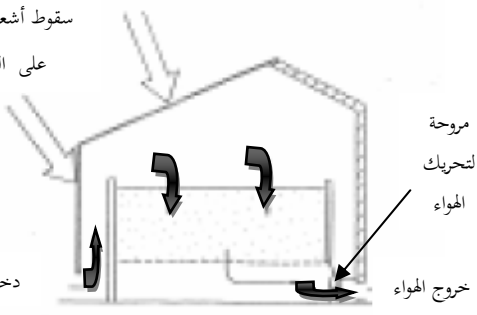
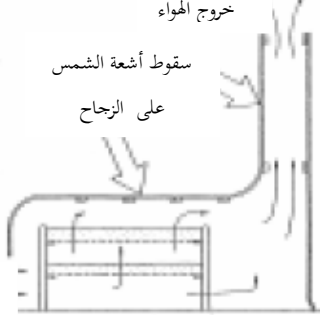
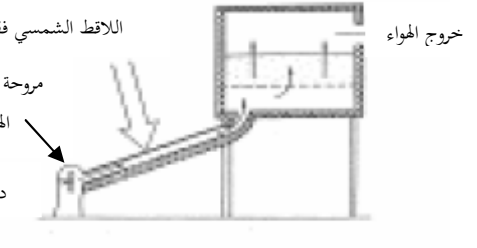


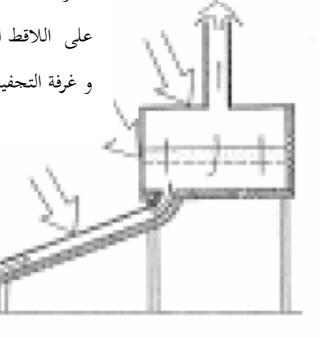
❑ يد عاملة مؤهلة للتسيير والصيانة.

20.II أنواع المجففات حسب طبيعة حركة الهواء:

يمكن تمييز من مختلف المجففات الشمسية السابقة صنفين حسب طريقة حركة الهواء داخل المجفف وهي:

المجففات

- مجففات تعمل على الحمل الطبيعي: تعتمد على الفرق في الضغط بين الهواء الداخلي والخارجي، مما يدفع الهواء البارد للداخل من الفتحة السفلية الذي يرتفع درجة حرارته بعد مروره على السطح الماص للحرارة فيتحرك الهواء.
- مجففات تعتمد حركة الهواء على الحمل القسري: وذلك باستعمال مروحة لتحريك الهواء (خروج الهواء) أو التحكم في سرعه ، ويمكن اعتبار هذا الصنف من المجففات هجين لاستعمال مصدر آخر للطاقة غير الطاقة الشمسية

مجففات الحمل القسري (مجففات هجينة)	مجففات الحمل الطبيعي	
<p>سقوط أشعة الشمس على الزجاج</p>  <p>مروحة لتحريك الهواء</p> <p>دخول الهواء</p> <p>خروج الهواء</p>	<p>خروج الهواء</p> <p>سقوط أشعة الشمس على الزجاج</p>  <p>دخول الهواء</p>	<p>مجففات شمسية مباشرة</p>
<p>سقوط أشعة الشمس على اللاقط الشمسي فقط</p>  <p>مروحة لتحريك الهواء</p> <p>دخول الهواء</p> <p>خروج الهواء</p>	<p>خروج الهواء</p> <p>سقوط أشعة الشمس على اللاقط الشمسي فقط</p>  <p>دخول الهواء</p>	<p>مجففات شمسية غير مباشرة</p>
<p>سقوط أشعة الشمس على اللاقط الشمسي و غرفة التجفيف معا</p>  <p>مروحة لتحريك الهواء</p> <p>دخول الهواء</p> <p>خروج الهواء</p>	<p>خروج الهواء</p> <p>سقوط أشعة الشمس على اللاقط الشمسي و غرفة التجفيف معا</p>  <p>دخول الهواء</p>	<p>مجففات شمسية متعددة الأنظمة (مختلط)</p>

الشكل (10.ii) أهم أنواع المجففات الشمسية [38]

21.ii تنقية المجفف:

للحفاظ على الأداء الجيد للمجفف ينصح بتنقية المجمع دوريا أو كل صباحا خاصة الزجاج من الغبار، الذي تتميز به المناطق الحافة يعيق نفاذ الأشعة الشمسية والذي يؤثر على مردود المجمع، كذلك تنقية غرف التجفيف من بقايا المنتج و الحشرات ويستحسن غسل أطباق التجفيف بمادة معقمة. إن أهم مشكلة تواجه الباحثين في مجالات استخدام الطاقة الشمسية هي وجود الغبار ومحاولة تنظيف أجهزة الطاقة الشمسية منه، وقد برهنت البحوث الجارية حول هذا الموضوع أن أكثر من نصف من فعالية

المجففات

الطاقة الشمسية تفقد في حالة عدم تنظيف الجهاز المستقبل لأشعة الشمس لمدة شهر. إن أفضل طريقة للتخلص من الغبار هي استخدام طرق التنظيف المستمر أي على فترات لا تتجاوز ثلاثة أيام لكل فترة وتختلف هذه الطرق من بلد إلى آخر معتمدة على طبيعة الغبار و طبيعة الطقس في ذلك البلد.

الدراسة المرجعية

1.III: الإشكالية المطروحة:

نظرا لعدم كفاية تبادل الحرارة بين الهواء (وسيلة التحفيف) و السطح الماص الحراري، وهو ما يضطرنا لزيادة مصدر آخر للطاقة ، مقاومة كهربائية مثلا التي تشتغل بالطاقة التقليدية ذات المصدر البترولي لتعويض النقص في تسخين الهواء، لذا نقوم بإجراء تحسينات على مستوى سطح اللاقط الشمسي لزيادة الفرق في الحرارة الخارجة و الداخلة، وبالضبط يكون التحسين على الصفيحة الماصة. والسؤال المطروح كيف يكون شكل هذا التغيير، وللإجابة على هذا السؤال نقوم بسرد بعض الأعمال التي قام بها بعض الباحثين من قبل في هذا المجال نذكر منها:

2.III: عمل [44] F. Mokhtari et D. Semmar (2001)

استعمل هذا الفريق ثلاثة نماذج من اللاواقط الشمسية المسطحة مع وضعيات مختلفة للماص الحراري.

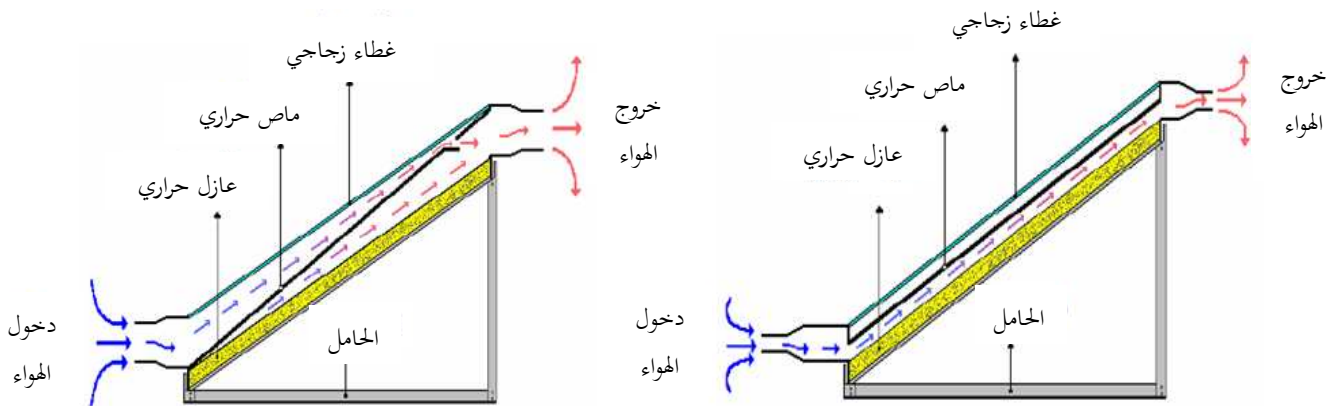
مكونات اللاقط الشمسي المستعمل :

أبعاده (طول 1.92m وعرض 0.94m) علماً أن كل اللاواقط مزودة بمروحة تعطي سرعة هواء 2.6 m/s.

- غطاء من الزجاج بسمك 0.03m .
- ماص حراري من الغالفنيز (galvanisé) مطلي بالأسود، و معامل امتصاصه $a=0.95$.
- عازل حراري من البوليثيريتان (Polyuréthane) بسمك 0.04m.

النماذج المستعملة:

كل اللاواقط لها نفس التركيب غير أن وضعية الماص الحراري تختلف كما هو موضح في النماذج (C.B.A):

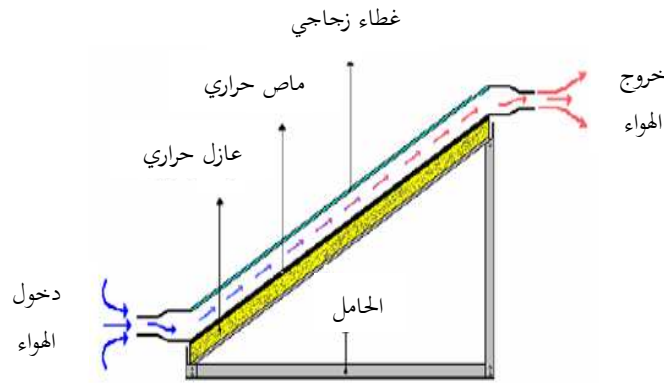


الشكل (2.III) اللاقط B: الماص الحراري مائل يدخل الهواء من فوق الماص الحراري ويخرج من

الشكل (1.III) اللاقط A: مسرى الهواء من تحت الماص الحراري (بين الماص والعازل الحراري).

تحت

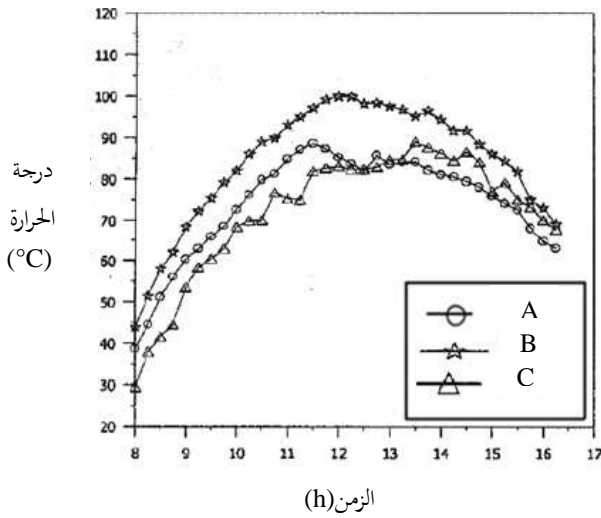
عبر ثقب مستطيل طوله 0.6 m وعرضه 0.15 m.



الشكل (III-3) اللاقط C: مسرى الهواء من فوق الماص الحراري (بين الغطاء الزجاجي و الماص الحراري).

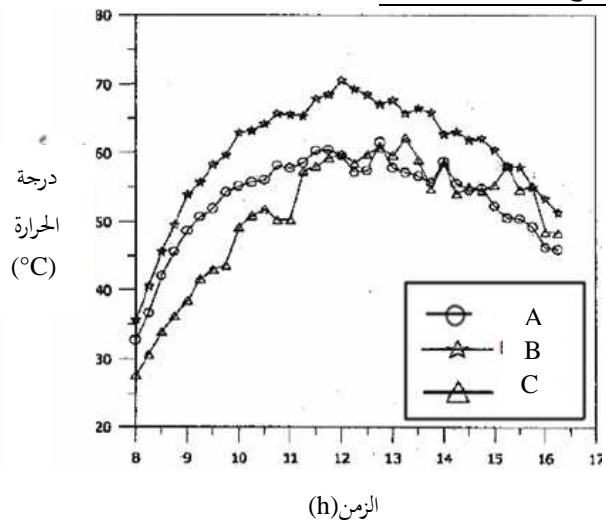
أجريت التجارب في منطقة بوزريعة (C.D.E.R) لمدة 6 أيام من 8h.00 إلى 16h.00، وذلك باستعمال طريقتي الحمل : الطبيعي والقسري . علما أن منطقة بوزريعة تقع في دائرة العرض : 8° 36 شمالا، خط الطول : 3.12° شرقا والارتفاع على مستوى البحر : 345m.

النتائج المتحصل عليها :



الشكل (III-5): تغيرات درجة الحرارة الخارجة

للالاقاط (C.B.A) بالحمل الطبيعي ليوم 25 ماي 2001.



الشكل (III-4): تغيرات درجة الحرارة الخارجة

للالاقاط (C.B.A) بالحمل القسري ليوم 29 ماي 2001.

من هذه الدراسة نستنتج أن اللاقط المزود بمصاص حراري مائل أكثر فائدة، حيث أن درجة الحرارة الخارجة فاقت 98°C بالحمل الطبيعي، ووصلت إلى حدود 70°C بالحمل القسري بسرعة هواء 2.6 m/s. وهذا متعلق بدرجة ميلان الماص والفتحة التي يمر منها الهواء . و في حدود الساعة 12 h 00 نلاحظ فرق جلي في درجة الحرارة (ΔT) بين اللاقطين الآخرين (A و C) يصل إلى 15°C .

III.3 عمل [45]: A. ABENE¹ et al (2003)

استعمل حواجز مستطيلة بطول L_c وارتفاع h ، علما أن المجمع عرضه l وارتفاعه d ، وتم تركيب هذه الحواجز مباشرة فوق العازل الحراري أي فتحة دخول الهواء تكون تحت الماص الحراري .

قام الفريق باختبار النماذج المقترحة على ثلاث لواقط شمسية مختلفة المساحة وهي كالتالي :

☒ اللاقط A بمساحة $1.6m^2$ (1.6m طول x 1m عرض).

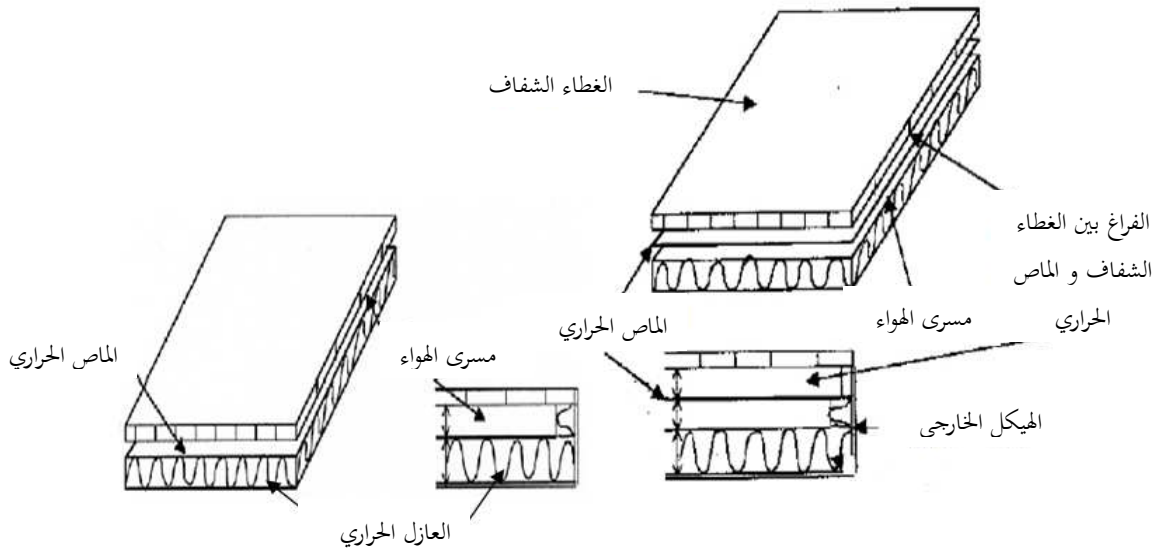
☒ اللاقط B بمساحة $1.28m^2$ (1.6 m طول x 0.8m عرض)، اللاقط الذي له مجرى واحد للهواء وله نفس مساحة B يدعى اللاقط B' .

☒ اللاقط C بمساحة $0.72m^2$ (1.24m طول x 0.58m عرض).

خواص اللاقط الشمسي المسطح المستعمل:

اللاواقط (C. B. A) الشمسية المسطحة المستعملة يتكون من :

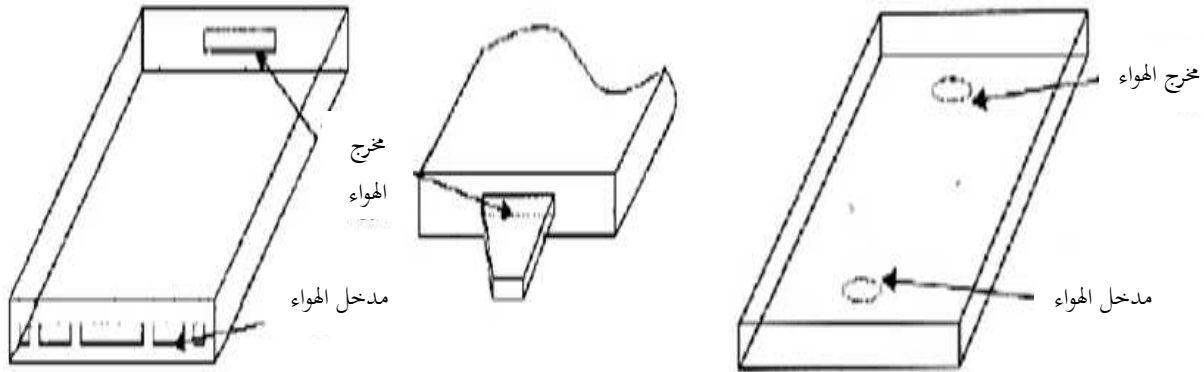
- ✓ غطاء شفاف من متعدد الكربونات (polycarbonate) بسمك 0.01m
- ✓ ماص حراري من النحاس بالنسبة لللاواقط (C.B'. A) ، و أما بالنسبة لللاقط B فنستعمل صفيحة من الألمنيوم رقيقة مغطاة من الجهتين (جهة الغطاء الشفاف وجهة العازل) بطبقة من النحاس ومطلية من الجهة المقابلة للغطاء بلون اسود غير لامع.
- ✓ عازل حراري من بوليستيران (polystyrene) بسمك 0.04 m
- ✓ الهيكل الخارجي لللاقط مصنوع من الخشب بالنسبة لللاواقط (C.B'. B) ومن المعدن بالنسبة لللاقط A ،زاوية ميل الهيكل 54° بالنسبة للأفق.
- ✓ المسافة بين الغطاء الشفاف و الماص الحراري 0.025m وفي نفسها بين الماص الحراري و العازل الحراري اللاواقط (C. B. A) ، أما بالنسبة لللاقط B' ذو المسرى الواحد للهواء المسافة بين الغطاء و الماص الحراري كذلك 0.025m



الشكل (III-7): مكونات اللاقط B'

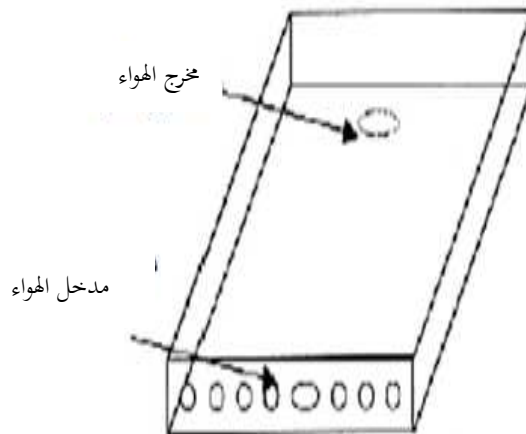
الشكل (III-6): مكونات اللاواقط (C.B. A)

شكل مدخل ومخرج الهواء في اللاواقط:



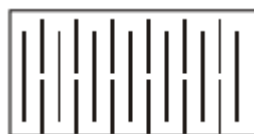
الشكل (9-III): اللاقط B و B' : مدخل الهواء على شكل سلسلة ثقب مستطيلة في الجهة الأمامية (السفلى) ، ومخرجه يكون عبر ثقب واحد مستطيل يقع في أعلى اللاقط.

الشكل (8-III): اللاقط A : مدخل ومخرج الهواء على شكل ثقب دائري في أسفل المجمع.



الشكل (10-III): اللاقط C : مدخل الهواء على شكل سلسلة ثقب مستديرة في الجهة الأمامية (السفلى) ، ومخرجه يكون عبر ثقب واحد مستدير يقع في أسفل اللاقط من الجهة العلوية .

قام هذا الفريق من الباحثين بدراسة كل هذه النماذج في كل اللاواقط (C.B.A) وهي :



الشكل (III-11): النموذج الأول: ركبت هذه الحواجز على عرض اللاقط بحيث الحواجز الكبيرة تمثل 75% من العرض الكلي للاقط والصغرى نصف الكبيرة، في نفس النموذج نقوم بتغيير النسبة (h/d) من 50%, 70%, 80% إلى 100%

النموذج الثاني ركبت هذه الحواجز على عرض اللاقط بحيث تكون في جهة مثبتة بالمهيكل الخارجي ومن الجهة الأخرى حرة ، لكن في هذه المرة الحواجز لها نفس الطول، في هذا النموذج لدين شكلان:



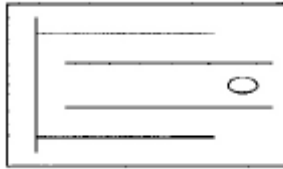
h/d= 72%
L_c/l= 60%



h/d= 100%
L_c/l= 75%

الشكل (III-13): النموذج الثاني (B) يحتوي على سبعة حواجز، بحيث : h/d = 72% و L_c/l = 60%

الشكل (III-12): النموذج الثاني (A) يحتوي على ستة حواجز ، بحيث : h/d = 100% و L_c/l = 75%



h/d= 100%



h/d= 72%

الشكل (III-15): النموذج الرابع: توضع الحواجز على شكل متاهة، بحيث : h/d = 100%

الشكل (III-14): النموذج الثالث: يكون توزيع الحواجز فيه غير منظم (مبعثر)، أما أطوالها فتتراوح من 0.4، 0.5 إلى 0.6 m بحيث : h/d = 72%

طريقة حساب مردود (η) اللاواقط حسب العلاقة (III-1) :

$$\eta = \frac{\rho \cdot C_p \cdot V \cdot S_c \cdot (T_{scap} - T_{ecap})}{E \cdot S_{cap}} \quad [\%] \quad (III-1)$$

حيث :

ρ : الكتلة الحجمية للهواء الرطب: (kg/m³).

C_p : السعة الحرارية للهواء. (J/kg, K)

T_{scap} : درجة الحرارة الخارجة من اللاقط (°C)

T_{ecap} : درجة الحرارة الداخلة للاقط (°C)

E : تدفق الاشعاع الشمسي الساعي (W/m²).

S_{cap} : مساحة اللاقط (m²).

V : سرعة الهواء (m/s).

S_{cap} : مساحة انبوب اخراج الهواء الساخن من اللاقط (m²).

النتائج المتحصل عليها :

❖ في اللاواقط (C. B. A) بدون عوائق:

اللاقط A : نلاحظ وجود مناطق خاملة في كل زاوية اللاقط.

اللاقط B: لا يوجد مناطق خاملة في هذا النوع.

اللاقط C: نلاحظ وجود مناطق خاملة في الزاويتين العلويتين لللاقط.

* وجود المناطق الخاملة راجع لاسلوب دخول وخروج الهواء في اللاقط.

❖ اللاقط B المزود بحواجز النموذج الاول:

لم نلاحظ وجود مناطق خاملة في مثل هذا النموذج وهذا راجع للتوزيع الجيد للهواء في كل جهات اللاقط

وزيادة على ذلك الهواء يأخذ مسار اطول راجع لاحاطته للحواجز من كل الجوانب.

نلاحظ في الحواجز التي تتراوح ارتفاعاته بين 50%، 60% و 80% ان الهواء يجتاز من فوقها وكذلك حول محيطها

، اما في حالة الحواجز التي يساوي ارتفاعها ارتفاع المسرى فتتأثر الهواء يكون محيطة بالحواجز فقط.

❖ اللاقط A و B المزود بحواجز النموذج الثاني:

في حالة هذا النموذج الهواء يتبع مسار متعرج مع عدم ملاحظة أي مناطق خاملة .

❖ اللاقط A المزود بحواجز النموذج الثالث:

في هذا النموذج لم نلاحظ وجود مناطق خاملة، وتيار الهواء جزء منه يجتاز من حول العوائق والجزء الاخر يجتاز من

فوق الحواجز، وهذا راجع لصغر ارتفاع الحواجز مقارنة بارتفاع مسرى الهواء.

❖ اللاقط C مزود حواجز النموذج الرابع:

نسجل مع هذا النموذج طول مسرى الهواء الذي راجع للمتاهة المشكلة منها الحواجز وكذلك لم نلاحظ وجود مناطق

خاملة لشدة تدفق الهواء.

❖ تأثير تغيير النماذج على مردود اللاواقط بدلالة تدفق الهواء بالنسبة الى وحدة المساحة :

☒ اللاقط A:

نسجل في اللاقط المزود بالنموذج الثاني زيادة واضحة بحيث اذا ازداد تدفق الهواء بالنسبة الى وحدة المساحة من $20\text{m}^3/\text{hm}^2$ ، $30\text{m}^3/\text{hm}^2$ ، $40\text{m}^3/\text{hm}^2$ إلى $50\text{m}^3/\text{hm}^2$ يرتفع المردود من 7%، 11.5%، 15.5% إلى 19%. وفي نفس اللاقط A المزود بالنموذج الثالث نلاحظ ايضا زيادة أقل من النموذج الثاني، بحيث اذا ازداد تدفق الهواء بالنسبة الى وحدة المساحة من $20\text{m}^3/\text{hm}^2$ ، $30\text{m}^3/\text{hm}^2$ إلى $40\text{m}^3/\text{hm}^2$ يرتفع المردود من 2.5%، 3.5% إلى 12%.

☒ اللاقط B :

نسجل في اللاقط B المزود بالنموذج الثاني تحسن طفيف في المردود، بحيث اذا ازداد تدفق الهواء بالنسبة الى وحدة المساحة من $20\text{m}^3/\text{hm}^2$ ، $30\text{m}^3/\text{hm}^2$ ، $40\text{m}^3/\text{hm}^2$ إلى $50\text{m}^3/\text{hm}^2$ يتحسن المردود من 5%، 9%، 10% إلى 11%.

☒ اللاقط C:

نسجل في اللاقط C المزود بالنموذج الرابع زيادة واضحة بحيث اذا ازداد تدفق الهواء بالنسبة الى وحدة المساحة من $20 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ ، $30 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ ، $40 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ إلى $50 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ يرتفع المردود من 2%، 4%، 6%، 7% إلى 11% .

تدفق الهواء $\text{m}^3/\text{h m}^2$	h/d %	زيادة المردود %
20	50	5
	70	9
	80	11
	100	15
30	50	7
	70	11
	80	13
	100	19
50	50	7
	70	12
	80	14,5
	100	25

A. ABENE

الجدول (1.III):تغير

من هذه الدراسة استنتج الفريق من الباحثين أن النموذج الذي استعمل فيه حواجز عرضية مثبتة من جهة بالمهيكل وحرارة من الجهة الأخرى هي أحسن من النماذج الأخرى حيث وصل المردود إلى 19%، و كخلاصة استنتجوا ان المردود له علاقة بعدة عوامل :

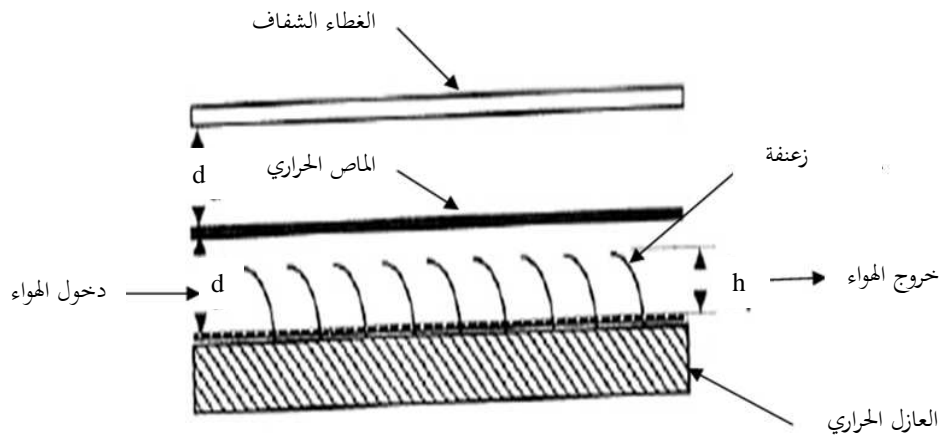
- ارتفاع الحاجز و عددها.
- كيفية توزيعها في اللاقط.
- شكل دخول وخروج الهواء في اللاقط.

4.III عمل (2004) A. Abene et al: [45]

خواص اللاقط الشمسي المسطح المستعمل:

اللاقط الشمسي المسطح المستعمل مساحته ($A_c=1.28 \text{ m}^2$) يتكون من :

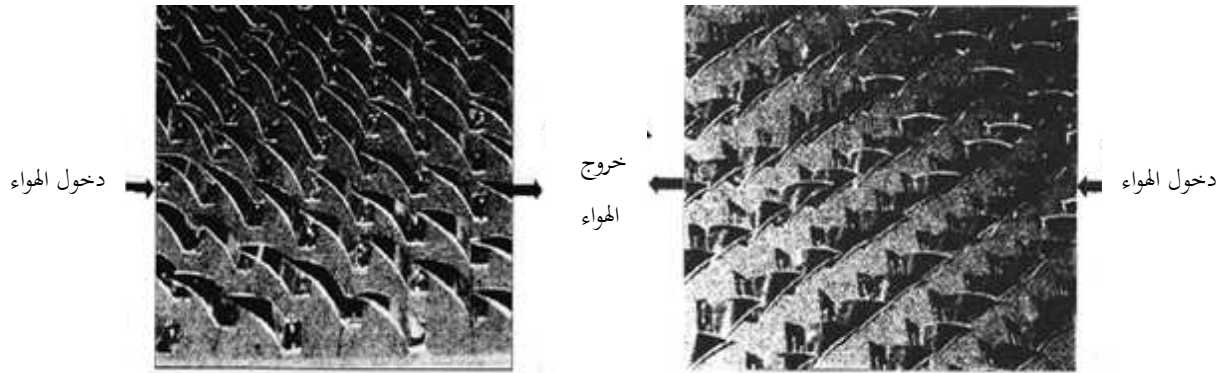
- ✓ غطاء شفاف من متعدد الكربونات (polycarbonate) بسمك 0.01 m، يتميز بمعامل الإمرارية الذي يساوي 83%، و معامل الإنعائية الذي يساوي 90%، بالنسبة لكل الأمواج المختلفة.
- ✓ ماص حراري من الألمنيوم مطلي بالأسود بسمك 0.004m، يتميز بمعامل الامتصاص الذي يساوي 95%، ومعامل التوصيل الحراري الذي يساوي 205 W/m.K، البعد (d) بين الغطاء والماص الحراري 0.025
- ✓ عازل حراري من بوليستيران (polystyrene) مقاوم للحرارة الأكثر من 90 °C بسمك 0.05 m، ومعامل التوصيل الحراري يساوي 0.04 W/m.K



الشكل (16-III): مكونات اللاقط الشمسي المسطح

النماذج المستعملة في التجربة:

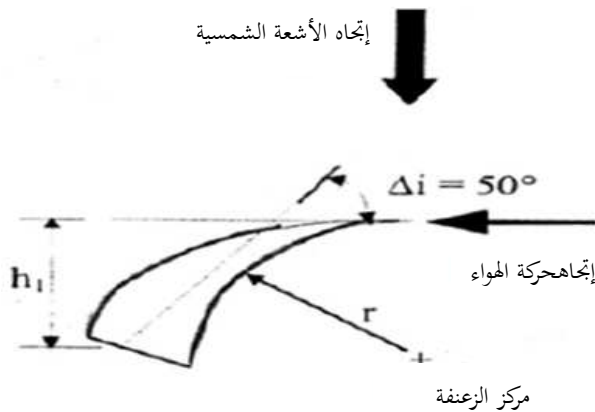
تثبت هذه الزعانف أو العوائق مباشرة على العازل الحراري كما في الشكل (16-III)



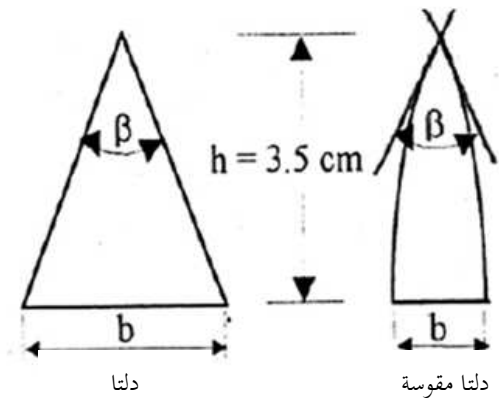
الصورة (2-III) النموذج الثاني زعنفة على شكل مثلث (دلتا) مقوس الأضلاع ومنحنية.

الصورة (1-III) النموذج الأول زعنفة على شكل مثلث (دلتا) مستقيم الأضلاع ومنحنية.

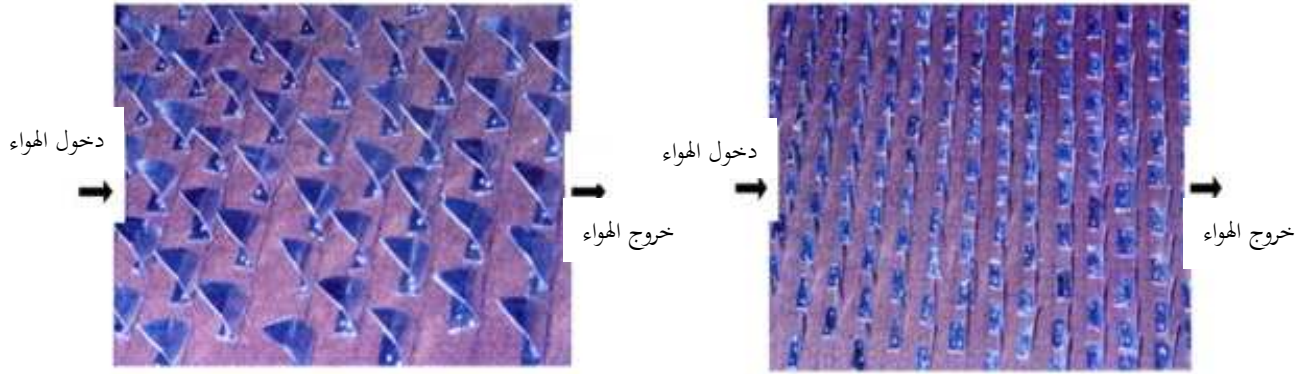
شكل الزعانف المستعملة قبل وبعد انحنائها :



الشكل (18-III) شكل الزعانف بعد انحنائها.

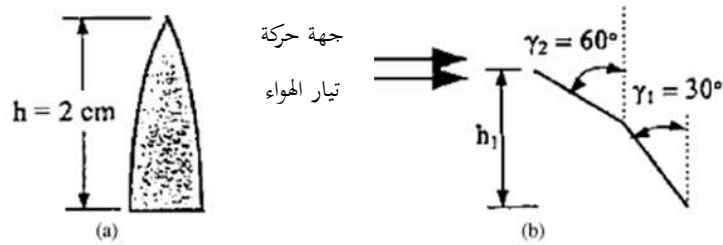


الشكل (17-III) أشكال الزعانف قبل انحنائها.



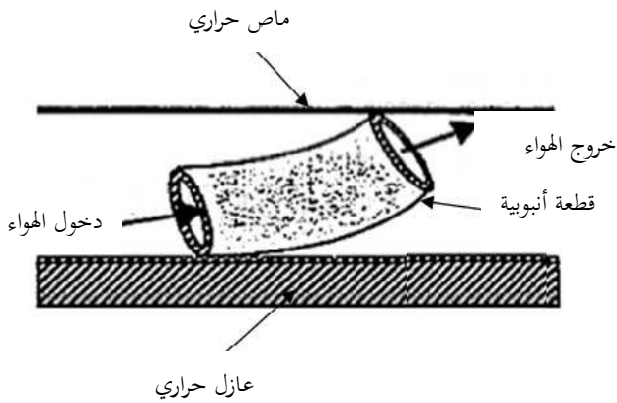
الصورة (4-III) النموذج الرابع زعنفة على شكل مثلث (دلتا) مقوس الأضلاع ومائلة.

الصورة (3-III) النموذج الثالث زعنفة على شكل مثلث (دلتا) مقوس الأضلاع وعمودية.

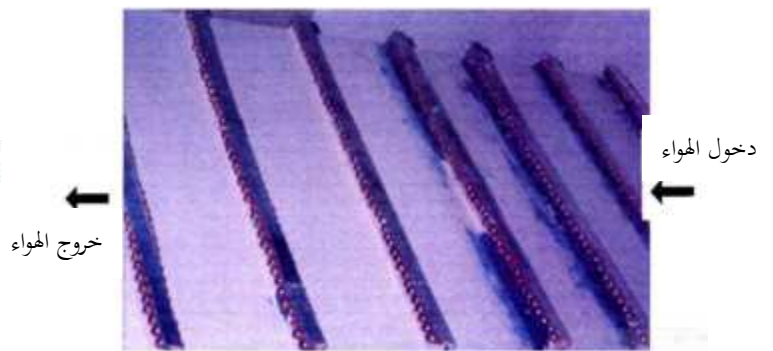


الشكل (19-III) شكل الزعانف عمودية ومائلة.

كما استعمل حواجز على شكل صفوف من قطع أنبوبية بحيث تسمح بتوجيه الهواء المجاور للعازل نحو الماص الحراري مباشرة كما هو موضح في الصورة (5-III) و الشكل (20-III).



الشكل (20-III) شكل القطع الأنبوبية.



الصورة (5-III): النموذج الخامس حواجز على شكل صفوف من قطع أنبوبية

	دلتا مقوسة و عمودية	دلتا مقوسة و مائلة	قطعة أنبوبية	دلتا منحنية	دلتا مقوسة و منحنية
β (deg)	45	45		45	45
E_l (cm)	2.3	2.3	0	2.3	2.0
E_t (cm)	2.0	2.0	20	3.5	3.5
b (cm)	0.8	0.8		3.0	1.4
h_1 (cm)	2	1.37	2.5	1.47	1.47
ϕ_{int} (cm)			1.4		
r (cm)			28.6	4.0	4.0
N_{Or}	26	26	50	15	22
N_t	76	76	7	44	44

الجدول (2-III): أهم مميزات الزعانف المستعملة

خواص النماذج الخمسة المستعملة :

موضحة في الجدول التالي :

β : الزاوية الرأسية للزعنفة (deg).

E_l : الفراغ الطولي بين كل صفين (cm).

E_t : الفراغ العرضي بين زعنفتين من نفس الصف (cm).

b : قاعدة الزعنفة (cm).

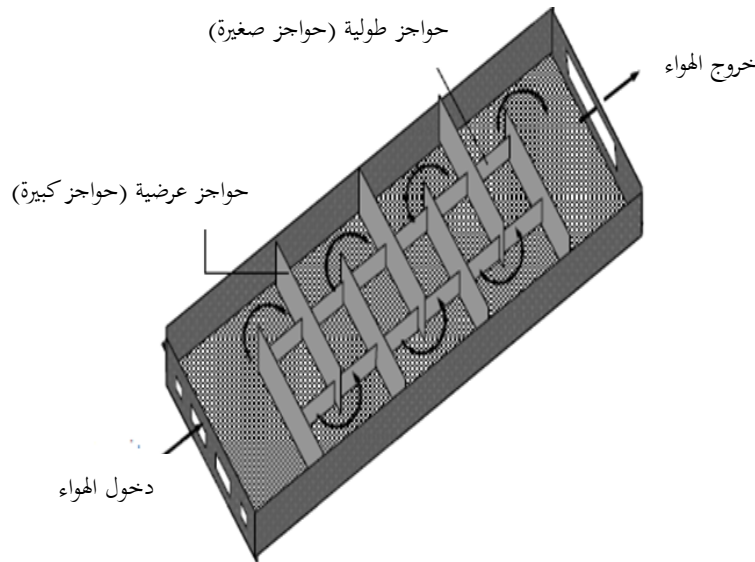
h_1 : ارتفاع الزعنفة بعد تقويسها (cm).

ϕ_{int} : قطر القطعة الأنبوبية (cm).

r : نصف قطر قوس الزعنفة (cm).

N_{cr} : عدد الزعانف في كل صف .

N_r : عدد صفوف الزعانف .



الشكل (21-III): النموذج السادس حواجز طولية و عرضية معا

مميزات حواجز النموذج السادس:

✓ ارتفاع الحواجز العرضية يساوي 0.025 m ($h/d=100\%$)

✓ ارتفاع الحواجز الطولية يساوي 0.02 m ($h/d=80\%$)

طريقة حساب مردود اللاقط : (η)

$$\eta = \frac{\rho \cdot C_p \cdot Q_v \cdot (T_{scap} - T_{ecap})}{I_{GS}} \quad [\%] \quad (2 - III)$$

حيث :

$$Q_v \# : \text{التدفق الحجمي للهواء بالنسبة للوحدة المساحة} [m^3/h.m^2]$$

$$C_p = 1005 \text{ J/kg} \# : \text{السعة الحرارية للهواء الرطب}$$

$$T_{scap} \# : \text{درجة الحرارة الخارجة من اللاقط} [^{\circ}C]$$

$$T_{ecap} \# : \text{درجة الحرارة الداخلة لللاقط} [^{\circ}C]$$

$$I_{GS} \# : \text{تدفق الإشعاع الشمسي الساعي} 1063.5 \text{ W/m}^2$$

$$(3-III) \quad \rho = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + T_{sv}} \cdot \frac{P(Z)}{P_0} \quad [kg/m^3]$$

حيث :

$$\rho_0 \# : \text{الكثافة الحجمية للهواء على مستوى البحر} : 1.293 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{sv} \# : \text{درجة الحرارة الخارجة من المروحة} [^{\circ}C]$$

$$\frac{P(Z)}{P_0} \# : \text{نسبة الضغط الجوي على مستوى الأرض بالنسبة للضغط على مستوى البحر} - \frac{P(Z)}{P_0} \approx 1 \text{ في Valenciennes فرنسا}$$

تمت هذه الدراسة على مجفف شمسي يعمل على الحمل القسري ، أجريت التجارب في شهر جويلية لسنوات 1993 ، 1994 و 1995 في مدينة Valenciennes - شمال فرنسا- حيث تتميز بالميزات الجغرافية التالية : (خط الطول : 3.5° ، خط العرض : 50.3° و ارتفاع : 60 m).

النتائج المتحصل عليها: من أجل الحصول على مردود 50 % بتدفق إشعاعي $I=1063.5 \text{ W/m}^2$ عند الظهيرة (شدة الإشعاع الشمسي) حصل الفريق على درجات حرارة التي توافق تغير في تدفق الهواء لكل منها، كما في الجدول التالي:

تدفق الهواء ($m^3/h.m^2$)	زيادة درجة الحرارة بالنسبة لوحدة الاشعاع الشمسي $\frac{\Delta T}{S_{abs} \cdot I} [^{\circ}C/kW]$	ΔT ($^{\circ}C$)	شكل الحاجز
74.24	19.98	27.2	بدون حواجز
40.96	41.21	56.1	دلتا مستقيمة الأضلاع ومنحنية
42.24	38.57	52.5	دلتا مقوسة الأضلاع ومنحنية
60.16	26.08	35.5	دلتا مقوسة الأضلاع وعمودية
44.16	38.57	52.5	دلتا مقوسة الأضلاع وعمودية
45.44	36.36	49.5	قطعة أنبوبية
64	51.42	70	حواجز عرضية وطولية معا

الجدول (3-III): النتائج المتحصل عليها عند (A. Abene² et al (2003)

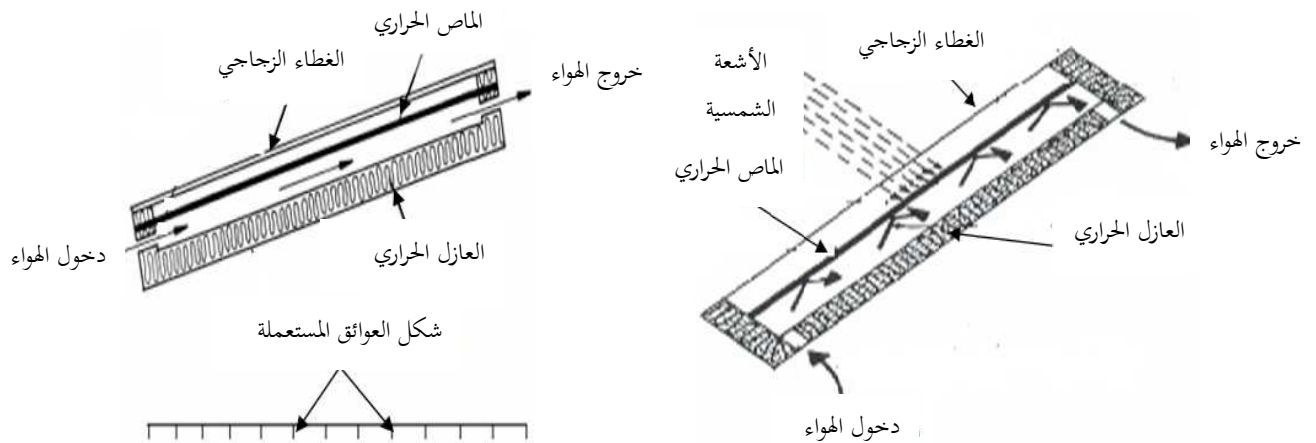
من هذه الدراسة نستنتج أن الحواجز العرضية والطولية معا أفضل من الزعانف كيف كان تبيتها سواء كانت منحنية أو مائلة وكذلك استعمال قطع أنبوبية.

[46]: **Ahmed KHOUYA et al (2005) عمل 5.III**

خواص اللاقط الشمسي المستعمل :

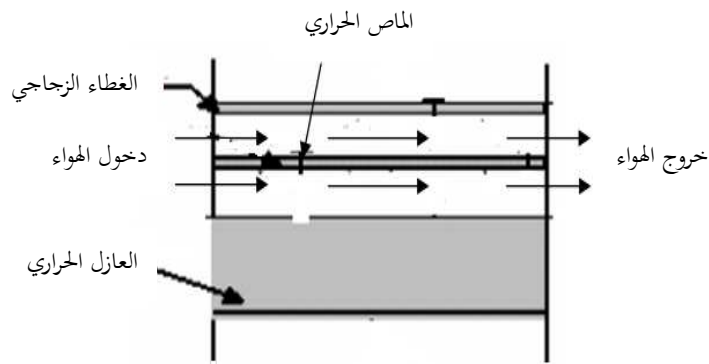
- ✓ غطاء من الزجاج بسمك 0.005m
- ✓ ماص حراري من الألمنيوم مطلي بالأسود معامل امتصاصه $e \approx 1$.
- ✓ عازل حراري من البوليثيرتان (Polyuréthane) بسمك 0.04m .
- ✓ هيكل من الغالفنيز (galvanisé) .

استعمل هذا الفريق ثلاثة نماذج (C.B.A) مختلف الوضعيات غير أنها لها نفس التركيب وهي كالآتي :



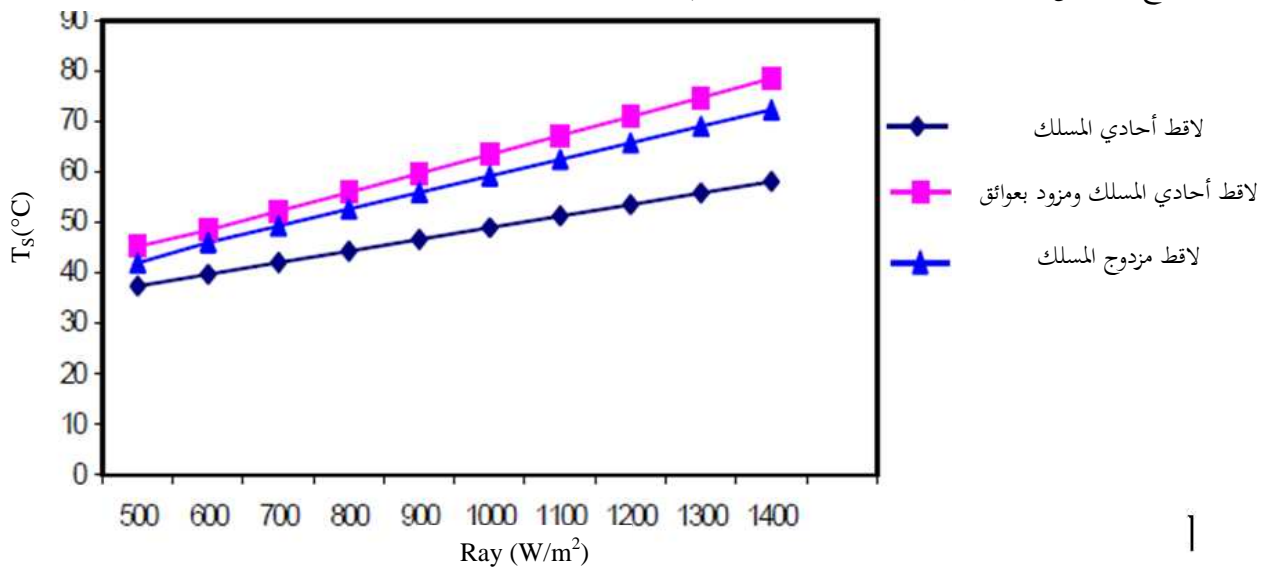
الشكل (III-23): اللاقط B: لاقط أحادي المسلك مضاف إليه عوائق من الألمنيوم متوازية ملحومة أسفل الماص من جهة مسلك الهواء.

الشكل (III-22): اللاقط A: مجمع بسيط التركيب أحادي المسلك يجتاز الهواء من أسفل الماص الحراري فقط.



الشكل (III-24): اللاقط C: لاقط ذو مسلك مزدوج للهواء بحيث الهواء يمر من فوق ومن تحت الماص الحراري في نفس الوقت .

النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة العددية ممثلة في المنحنى (25-III) :



الشكل (25-III) منحنى تغير درجة الحرارة بدلالة الإشعاع عند (Ahmed KHOUYA et al (2005)

من منحنى النتائج (25-III) نستنتج أن اللاقط المزود بعوائق هو أفضل من اللاقطين الآخرين، حيث تصل الحرارة فيه إلى 80°C عند الشدة القصوى الإشعاع، مقارنة باللاقط المزدوج المسلك الذي وصل إلى درجة حرارة 70°C ، وأما اللاقط الأحادي المسلك فلم يتجاوز 50°C .

6.III عمل (Irfan KURTBAS and Emr TURGUT (2006): [29]

استعمل هذا الفريق ماص حراري من الغالفينيز (galvanisé) مساحته 1.64 m^2 بطول 1.92 m و عرض 0.93 m مثبت عليه عوائق بمساحة إجمالية 0.384 m^2 مقسمة على 8 أجزاء مستطيلة في النموذج الأول و 32 جزء في النموذج الثاني



الصورة (7-III) النموذج الثاني لاقط مزود ب 32 عوائق $(0.2 \times 0.06)\text{m}$.



الصورة (6-III) النموذج الأول لاقط مزود ب 8 عوائق $(0.8 \times 0.06)\text{m}$.

النتائج المتحصل عليها: ملخصة في الجدول التالي:

ΔT (°C)	المردود (%)	تدفق الإشعاع الشمسي (W/m^2)	تدفق الهواء (m^3/h)	نوع اللاقط
11.44	67	837	223.2	النموذج الأول
13.14	77	837	223.2	النموذج الثاني

الجدول (4-III): النتائج المتحصل عليها عند (Irfan KURTBAS and Emre TURGUT (2006)

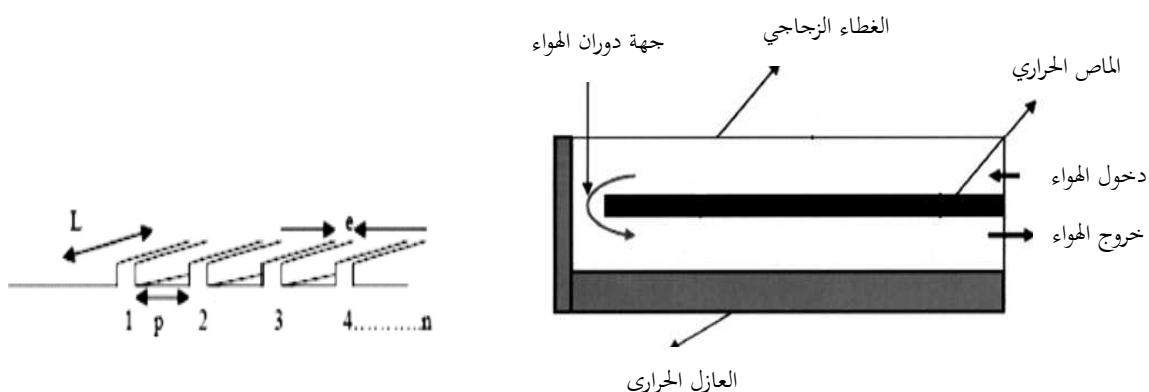
من هذه الدراسة نستنتج أن النموذج الثاني الذي يحتوي على أربعة أضعاف النموذج الأول بحيث يسمح بزيادة الحرارة الناتجة من اللاقط.

7.III عمل (Ahmed KHOUYA et al (2007): [47]

خواص اللاقط الشمسي المستعمل :

- ✓ غطاء شفاف من الزجاج يسمح بمرور الأشعة المرئية وعاتم بالنسبة للأشعة تحت الحمراء بسمك 0.004 m.
- ✓ ماص حراري من الألمنيوم مطلي بالأسود بسمك 0.01 m ، و معامل امتصاصه $a \approx 1$.
- ✓ عازل حراري من البوليغريثان (Polyuréthane) بسمك 0.05 m.
- ✓ هيكل معدني من الغالفيينيز (galvanisé) .
- ✓ مسلك الهواء العلوي (بين الغطاء الزجاجي والماص الحراري) والسفلي (بين الماص الحراري والعازل الحراري) بإرتفاع 0.1 m.

استعمل هذا الفريق ثلاثة نماذج من اللاواقط (C.B.A) مختلف الوضعيات غير أنها لها نفس التركيب كما هو مبين سابقا.



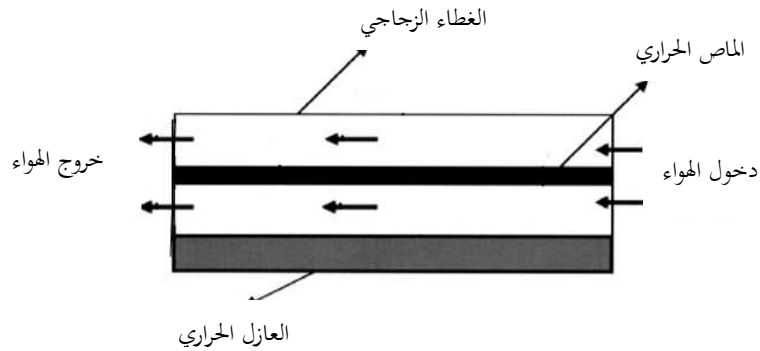
الشكل (27-III) اللاقط B: مجمع ذو مسلك مزدوج مشبته من الجهة العليا فقط حواجز من الألمنيوم، بحيث

الحاجز L، سمكه e، والبعد بين كل حاجزين متتاليين P .

الشكل (26-III) اللاقط A: مجمع ذو مسلك مزدوج للهواء بحيث يدخل الهواء من فوق الماص

طول

الحراري ويخرج من تحته



الشكل (III-28) اللاقط C: مجمع مزدوج المسلك بحيث يدخل الهواء من فوق ومن تحت الماص في نفس الوقت وكذلك يخرج من فوق ومن تحت الماص في نفس الوقت .

أجريت هذه الدراسة العددية باستعمال طريقة رانج كوتا RungeKutta (method of order 4) بأخذ الاعتبارات ليوم خاص من شهر جويلية لسنوات 2002 ، 2003 و 2004 في مدينة تانجة (المغرب) .

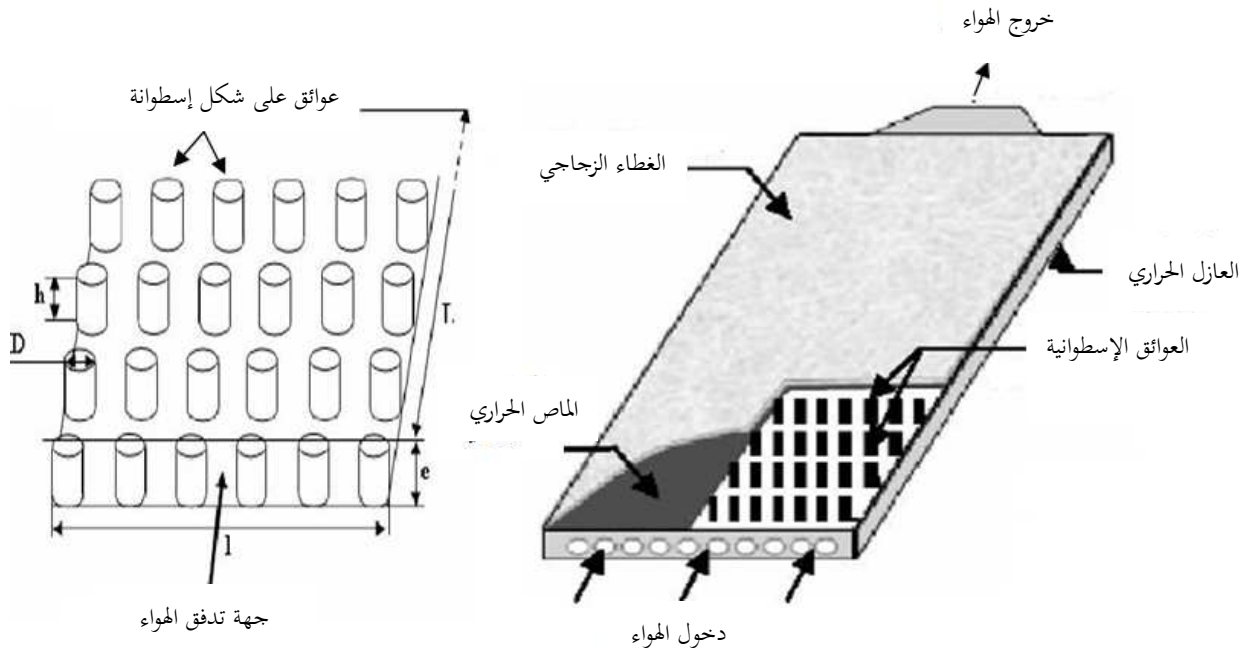
من هذه الدراسة نستنتج أن نموذج اللاقط B المزدوج المزود بالعوائق أفضل من الالاقطين الآخرين، حيث وصلت درجة الحرارة الخارجة إلى 140°C وكانت 80°C عند نهاية صفيحة الماص، بالمقارنة باللاقط A المزدوج بدون عوائق حيث وصلت درجة الحرارة الخارجة منه إلى 100°C وكانت 60°C عند نهاية صفيحة الماص. أما فيما يخص اللاقط C الذي يحتوي مسلكين للهواء في نفس الوقت فسجلنا في نهاية المسلك العلوي 60°C و 50°C في نهاية المسلك السفلي بفارق 10°C بينهما وهذا راجع لطرق تبادل الحرارة . التوصيل والحمل فقط ولا وجود لإشعاع . في أسفل الماص ، وهذا عند سرعة رياح 1m/s ولتدفق خروج الهواء $30\text{ m}^3/\text{h}$ وأما إذا زدنا تدفق الهواء إلى $50\text{ m}^3/\text{h}$ فنلاحظ تسجيل نقص في درجة حرارة كل ال ، كذلك إذا ازدادت سرعة الرياح إلى 5m/s فنسجل انخفاض الحرارة في خارج الالواقط وهذا ما يؤثر على مردود الالواقط ، إذن يوجد سرعة رياح وتدفق هواء ملائم لعمل اللاقط .

III.8 عمل (2008) K. Aoues¹ et al [48]:

خواص الالاقط الشمسي المسطح المستعمل:

- ✓ غطاء شفاف.
- ✓ ماص حراري عبارة عن صفيحة من الألمنيوم مطلية بلون اسود غير لامع.
- ✓ عازل حراري صفيحة من البوليستيران (polystyrene) مغطاة بصفيحة من الألمنيوم .

استعمل هذا الفريق لاقط شمسي مسطح بطول L وعرض l مثبتة فيه عوائق على شكل اسطوانة مملوءة بارتفاع h وقطر D كما هي موضحة في الشكلين التاليين:



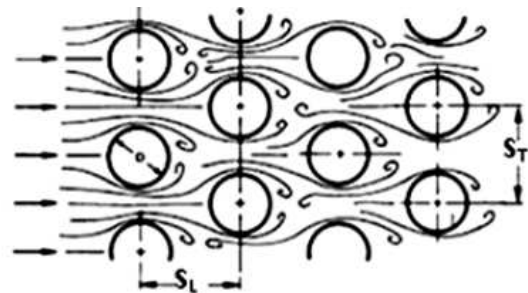
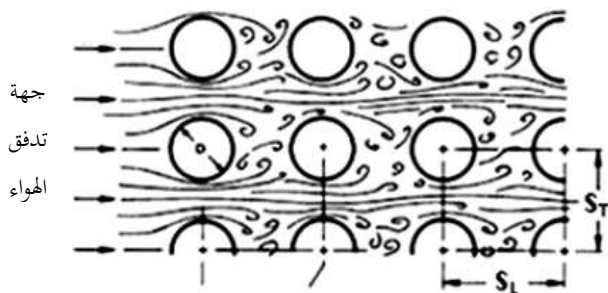
الشكل (30-III) أبعاد العوائق المستعملة

الشكل (29-III) مكونات اللاقط الشمسي المسطح المستعمل

عند K. Aoues¹ et al (2008)

عند K. Aoues¹ et al (2008)

كان توزيع العوائق على شكل صفوف مستقيمة وشكل تخميسه (أربعة في الزوايا و الأخرى في الوسط)، البعد الطولي بين كل اسطوانتين S_L ، و البعد العرضي بين كل اسطوانتين S_T كما في الشكلين (31-III, 32).



الشكل (32-III) توزيع العوائق على شكل صفوف مستقيمة

الشكل (31-III) توزيع العوائق على شكل تخميسه

النتائج المتحصل عليها:

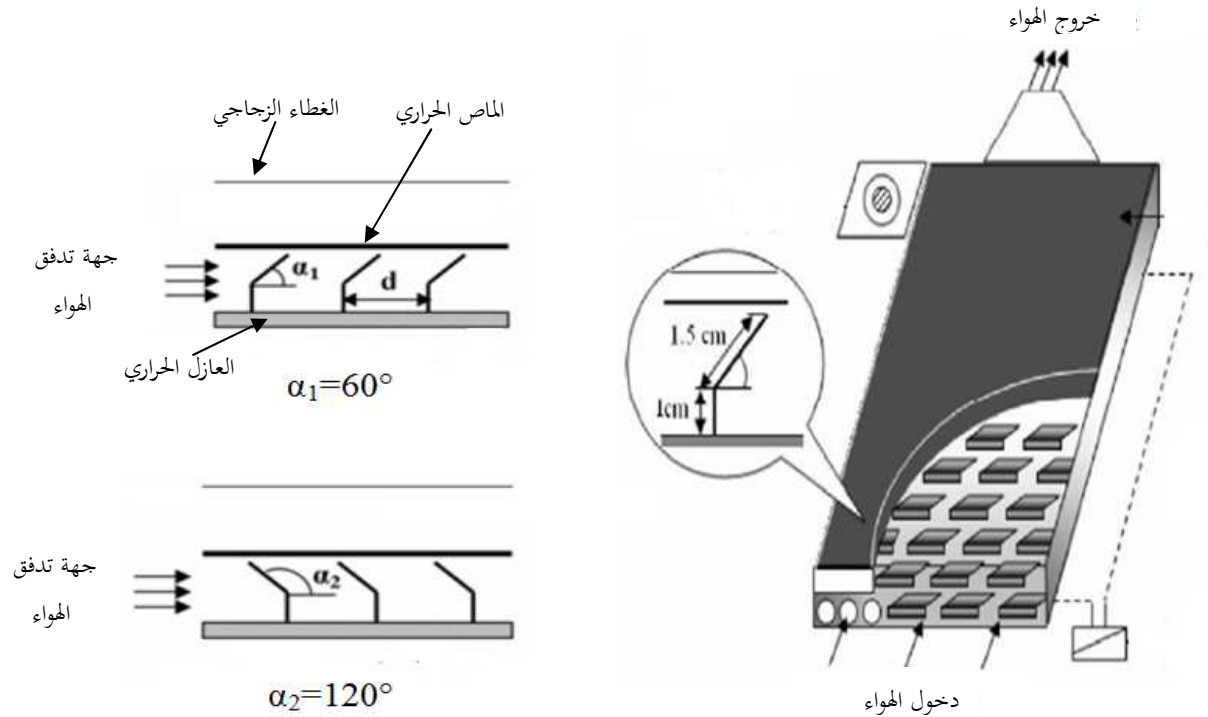
في اللاقط بدون عوائق تحصلنا على حرارة هواء 77°C الخارج و 83°C بالنسبة للمجمع بعوائق اسطوانية موزعة على شكل صفوف مستقيمة أي زيادة طفيفة ب 6°C ، و 90°C بالنسبة لللاقط بعوائق اسطوانية موزعة على شكل تخميسه (واحدة في الوسط تحيط بما أربعة اسطوانات) ، أي زيادة ب 13°C .

III.9 عمل (2009) K. Aoues² et al [26]

استعمل هذا الفريق نوعين من الحواجز (قطع معدنية رقيقة) تثبت مباشرة على العازل الحراري المغطى بصفيحة من الغالفنيز (galvanisé) في لاقط شمسي مسطح مساحته 1.74 m^2 (1.95 m طول و 0.89 m عرض). كما هو موضح في الشكلين (34,33-III).

خواص الاقط الشمسي المسطح المستعمل:

- ✓ غطاء شفاف من الزجاج بسمك 0.005 m
- ✓ ما ص حراري من الغالفنيز (galvanisé) ، مطلية بلون اسود غير لامع ، بسمك 0.0004 m
- ✓ عازل حراري من بوليستيران (polystyrene) بسمك 0.004m
- ✓ الهيكل الخارجي لللاقط مصنوع من الخشب بسمك 0.0005 m ، بزاوية ميل $\beta = 34.8^\circ$.
- ✓ مسرى الهواء بين الماص الحراري و العازل بإرتفاع 0.0025 m



الشكل (34-III) شكل زاوية ميلان العوائق

المستعملة عند (2009) K. Aoues¹ et al

الشكل (33-III) مكونات المجمع الشمسي المسطح المستعمل

عند (2009) K. Aoues¹ et al

استعمل هذا الفريق اربعة نماذج و هي:

- A₁: لاقط زاوية ميل الزعنفه $\alpha_1 = 60^\circ$ ، و البعد بين صفين متتاليين $d_1 = 0.01 \text{ m}$.
- A₂: لاقط زاوية ميل الزعنفه $\alpha_1 = 120^\circ$ ، و البعد بين صفين متتاليين $d_1 = 0.01 \text{ m}$.
- B₁: لاقط زاوية ميل الزعنفه $\alpha_2 = 60^\circ$ ، و البعد بين صفين متتاليين $d_2 = 0.005 \text{ m}$.
- B₂: لاقط زاوية ميل الزعنفه $\alpha_2 = 120^\circ$ ، و البعد بين صفين متتاليين $d_2 = 0.005 \text{ m}$.

عينة من النتائج المتحصل عليها ممثلة في الجدول التالي :

	Temps (h)	I_G (W/m ²)	T_a (°C)	T_{fe} (°C)	T_{fs} (°C)	$\frac{(T_{fe} - T_{fs})}{I_G}$	η (%)
A1	11h40	738	28	36	55	0.0108	56.06
A2	10h30	746	24.5	34	54	0.0127	55.67
B2	11h30	743	23	34	50	0.0148	55.11
B1	11h50	739	31	35	66	0.0054	57.80

الجدول (5-III): النتائج المتحصل عليها عند (K. Aoues² et al (2009)

حيث:

- I_G : التدفق الكلي الواصل الى سطح الالاقط (W/m²).
- T_a : حرارة الجو المحيط (°C).
- T_{fe} : حرارة هواء في مدخل الالاقط (°C).
- T_{fs} : حرارة الهواء في نهاية الالاقط (°C).
- η : مردود الالاقط (%).

فتمحصلنا على زيادة في درجات الحرارة الالاقط (الفرق في درجة الحرارة الخارجة و الداخلة للالاقط) فكانت كالتالي :

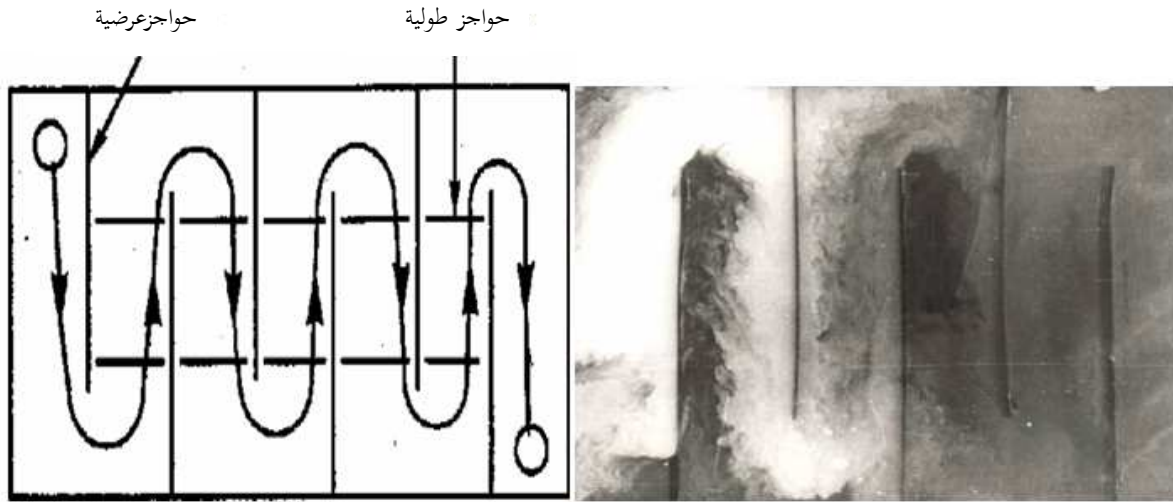
- A_1 : فرق في درجة الحرارة ب 19 °C .
- A_2 : فرق في درجة الحرارة ب 20 °C .
- B_2 : فرق في درجة الحرارة ب 16 °C .
- B_1 : فرق في درجة الحرارة ب 31 °C .

توصل هذا الفريق الى أن نموذج الالاقط الذي زاوية ميل زعنفته $\alpha_1=60^\circ$ والبعد بين صفين متتاليين $d = 0.005m$ أحسن من النماذج الثلاثة الأخرى، لأنه من جهة عدد الحواجز كلما زادت زاد مردود الالاقط ، ومن جهة زاوية التثبيت هي $\alpha_1=60^\circ$ لانها توجه الهواء باتجاه الماص الحراري، أما الزاوية $\alpha_2=120^\circ$ توجه الهواء باتجاه العازل الحراري .

10.III عمل [28]: R. Ben Slama (2009)

قام بن سلامة بدراسة ثلاثة نماذج :

- النموذج الأول: حواجز طولية صغيرة فقط (للتقليل من المناطق الخاملة).
- النموذج الثاني: حواجز عرضية فقط.
- النموذج الثالث: حواجز طولية و عرضية معا.



الشكل (III-35) حواجز طولية و عرضية معا

الصورة (III-8) حركة الهواء في حواجز عرضية فقط

المردود الطاقوي (η) بدلالة تدفق الهواء بحسب بالعلاقة (III - 4) :

$$(4 - III) \quad \eta = \frac{\rho \cdot C_p \cdot Q_v \cdot \Delta T}{\phi \cdot S} \quad [\%]$$

حيث :

- Q_v : تدفق الهواء (m^3/s).
- ρ : الكتلة الحجمية (kg/m^3).
- C_p : الحرارة النوعية للهواء ($J/kg K$).
- ΔT : ارتفاع درجة الهواء الخارج من اللاقط مقارنة بدرجة حرارة الهواء الداخل لنفس اللاقط ($^{\circ}C$).
- ϕ : كثافة التدفق الشمسي الساقط (W/m^2).
- S : المساحة المؤثرة لللاقط (m^2).

استنتج Ben Slama أن الحواجز الطولية والعرضية تؤدي إلى مردود 80% مع تدفق $60m^3/h.m^2$ من الهواء المحيط , كما نلاحظ ارتفاع الحرارة حدود $50^{\circ}C$ ، مع قياس $1000 W/ m^2$ للإشعاع الشمسي .

11.III مقارنة الأعمال السابقة:

من الأعمال المدروسة سابقا يمكن تلخيصها أهم النتائج في الجدول (III-6).

المرجع	شكل اللاقط أو العائق	سرعة هواء المروحة $V_{air} [m/s]$	مساحة الماص الحراري $S_{abs} [m^2]$	تدفق الإشعاع الشمسي $I [W/m^2]$	فرق الحرارة $\Delta T [^{\circ}C]$	زيادة درجة الحرارة بالنسبة لوحدة الاشعاع الشمسي $\frac{\Delta T [^{\circ}C]}{S_{abs} \cdot I [kW]}$
F. Mokhtari et al (2001)	ماص مائل بدون عوائق	2.6	1.8	999	25	13.90
A. ABENE ¹ et al (2003)	حواجز عرضية بإرتفاع يساوي مسلك الهواء	0.8	1.28	1000	14	10.94
A. ABENE ² et al(2004)	حواجز عرضية وطولية معا	0.4	1.28	1063.5	70	51.42
Ahmed KHOUYA et al (2005)	أحادي المسلك مزود بعوائق	1	1	1000	45	45
Irfan KURTBAS and Emre TURGUT (2006)	قطع معدنية عرضية عمودية	1.11	1.64	837	13.14	9.57
Ahmed KHOUYA et al (2007)	مزدوج المسلك مزود بعوائق	1	1	1000	115	115
K. Aoues ¹ et al (2008)	عوائق اسطوانية	2.38	1.74	1000	13	7.47
K. Aoues ² et al (2009)	قطع معدنية مائلة	2.38	1.74	739	31	24.11
R. Ben Slama(2009)	حواجز طولية وعرضية معا	2.1	1.84	1000	50	27.17

الجدول (III-6): ملخص أهم النتائج المتوصل إليها من الدراسات السابقة

III 12. الشروط الواجب توفرها في النموذج المقترح:

من الأعمال السالفة الذكر نستطيع القول أن نموذج الحواجز العرضية أكثر النماذج سهولة من جهة التطبيق، مقارنة بالزعانف و القطع المعدنية التي تتطلب وقتا و تقنيات معقدة لتثبيتها و منحائها زيادة على ذلك العدد الكبير الازم تثبيته , اما التغيير في وضعية مسلك الهواء فوق او تحت الماص الحراري وكذلك ازدواجية المسلك فنموذج المحفف المتوفر لدينا و المراد تحسينه مزود بلاقط شمسي ذو مسك هواء فوق الماص الحراري فتغييره يتطلب تغيير شبه كلي لللاقط الشمسي. ويجب توفر عدة شروط في هذه العوائق منها:

- ارتفاع العائق يجب ان يكون مساوي لارتفاع مسلك الهواء بحيث لا يستطيع الهواء الاجتياز فوّه كما هو موضح أكثر في دراسة (A. ABENE 1 et al (2003) ، فالارتفاع المطلوب يكون 0.06 m.
- طول العائق يكون 75% من العرض الكلي للماص الحراري الذي يقدر ب 0.86 m، وذلك حسب دراستي A. ABENE¹ et al (2003) و A. Abene² et al (2004) ، فطول العائق يكون 0.65m
- البعد بين كل عائقين متتاليين 0.2 m وذلك حسب دراسة (A. Abene² et al (2004) .
- بما أن طول اللاقط الشمسي 2.48 m والبعد بين كل عائقين متتاليين 0.2 m يكون العدد الاجمالي للعوائق 11 عائق.

فائدة استعمال الحواجز مقارنة باللاقط البسيطة (لاقط بدون عوائق):

- القضاء على المناطق الحاملة في اللاقط .
- توزيع جيد لتيار الهواء في كل المساحة المعرضة للإشعاع الشمسي في اللاقط .
- زيادة مساحة التبادل الحراري بين الهواء والسطح الماص الحراري .
- الحصول على درجة حرارة أكبر في نهاية المجمع مقارنة باللاقط بدون عوائق .
- زيادة مردود اللاقط .
- اختصار زمن تجفيف المحاصيل .

الدراسة التجريبية

1.IV مقدمة:

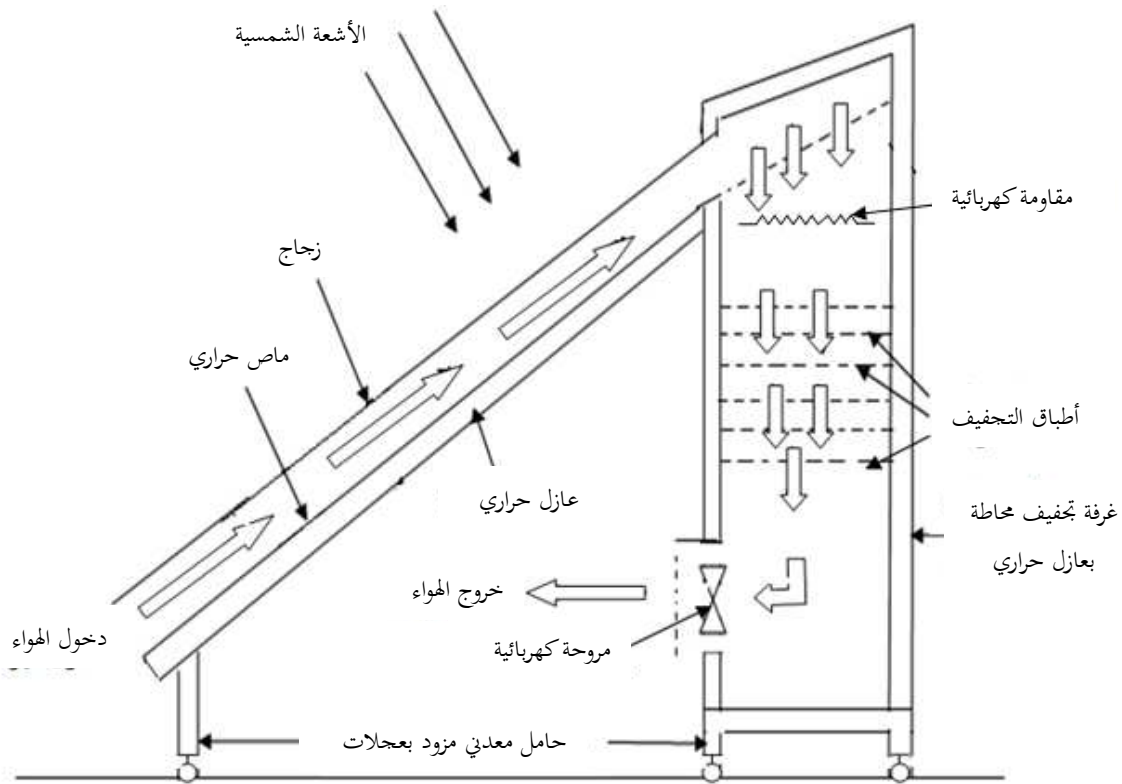
الدراسة التجريبية في هذا العمل الهدف منها التحسين في مردود اللاقط الشمسي المسطح لمجفف شمسي غير مباشر يعمل بالحمل القسري الصورة (1.E)، وذلك بزيادة عوائق من نوع خاص في مجرى تدفق الهواء، ومن ثم نجري التطبيق في تجفيف مواد غذائية محلية و هما التمر و البطاطس. أجريت التجارب على مستوى مخبر الطاقات الجديدة و المتجددة للمناطق الصحراوية (LENREZA) بقسم الفيزياء- كلية العلوم والتكنولوجيا وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، على مدار أربعة أشهر (أفريل – جويلية 2010).

2.IV وصف منطقة التجربة :

تم إجراء هذه الدراسة التجريبية بمنطقة ورقلة الواقعة بين خط الطول ($5^{\circ}19'$ شرقا) ودائرة عرض ($31^{\circ}57'$ شمالا)، والتي تتميز بطابع الصحراوي جاف حار صيفا وبارد شتاء حيث تتراوح درجة الحرارة ما بين ($5^{\circ}C - 44^{\circ}C$) في السنة، والرطوبة النسبية ما بين ($24\% - 62\%$) خلال السنة، ونظرا لقلّة هطول الأمطار فإن أغلب أيام السنة تكون مشمسة وهذا ما يجعلها منطقة غنية بالطاقة الشمسية [21].

3.IV وصف المجفف الشمسي المستعمل:

التركيب التجريبي المستعمل عبارة عن مجفف شمسي غير مباشر يعمل على الحمل القسري (اي باستعمال مروحة تتحكم في سرعة الهواء الخارج من المجفف) حيث يتكون من عدة عناصر كما هو موضح في الشكل (1.IV) (قبل تثبيت العوائق)



الشكل (1.IV) أجزاء المجفف الشمسي المستعمل في التجربة قبل إجراء التحسين

هذا المجفف يتكون من قسمين أساسيين :

1.3.IV. وحدة توليد الهواء الساخن :

اللاقط الشمسي المسطح المستعمل مكعب الشكل (2.5m طول، 1m عرض و 0.13m ارتفاع)، مغطى بصفيحة من الزجاج بسمك 0.004 m تحتها بمسافة 0.06 m يوجد صفيحة من الفولاذ (galvanisée) (2.5m طول و 0.86m عرض) مطلية بالأسود غير اللامع (noire mate) تلعب دور الماص الحراري، على الجوانب ومن الأسفل يوجد طبقة العازل الحراري من البوليستيران (polystyrène) بسمك 0.06 m. اللاقط مائل ب 31° بالنسبة للأفق (ارتفاع مدينة ورقلة على مستوى البحر) وموجه جهة الجنوب.

2.3.IV. غرفة التجفيف:

غرفة التجفيف عبارة عن صندوق مكعب الشكل، أبعادها الخارجية (2 m ارتفاع، 1 m طول و 0.63 عرض) محاطة من كل الجهات (الجوانب - الأعلى - الأسفل) بطبقة من العازل الحراري (polystyrene) بسمك 0.06 m، في داخل الغرفة نجد:

- مقاومتين كهربائيتين (الصورة 4.E) استطاعة كل منهما 1500kW نتحكم بهما بواسطة منظم الحرارة (thermostat) لاستعمالهما لزيادة درجة الحرارة عندما لا تكفي الكمية المقدمة من طرف الجمع وحده.
- مروحة من نوع (الصورة (KFA-30A)(3.E) تدور بسرعة 1400 tours/min، موجودة في أسفل غرفة التجفيف نستطيع من خلالها التحكم في سعة الهواء المتدفق داخل الجمع.
- أطباق التجفيف (الصورة 5.E) مصنوعة من غريال محاط بإطار يسمح بمرور الهواء من خلاله عند التجفيف.

4.IV. المقادير المقاسة خلال التجارب :

تم خلال التجارب أخذ القياسات التالية وذلك كل نصف ساعة :

- ✓ شدة الإشعاع الشمسي الساقط .
- ✓ درجات الحرارة لكل من الهواء الداخل والخارج من اللاقط، الغطاء الزجاجي و الصفيحة الماصة في المنتصف، غرفة التجفيف (فوق وتحت طبق التجفيف) و الهواء المحيط .
- ✓ الرطوبة النسبية في غرفة التجفيف (فوق وتحت طبق التجفيف) و الهواء المحيط .
- ✓ سرعة حركة المروحة و الهواء المحيط .
- ✓ وزن المنتج المجفف .

5.IV. الأجهزة المستعملة في القياس :

- ❖ جهاز قياس الإشعاع الشمسي (الصورة 8.E) : يتركب من جزئين، جزء موضوع على الغطاء الزجاجي يستقبل الإشعاع الشمسي موصول بالجزء الآخر والذي هو عبارة عن جهاز الكتروني يحول الإشعاع إلى قراءة مباشرة على شاشة رقمية تعطي قيمة الإشعاع الشمسي ب (W/m²) من نوع (DS 120).
- ❖ جهاز قياس درجة الحرارة (الصورة 9.E) : هو جهاز رقمي لقياس درجة الحرارة موصول بمزدوج حراري (Thermocouples) الذي هو عبارة عن زوج من المعدن (NiCr-Ni) نوع K، و تعطي قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوع فيه المزدوجة .

- ❖ **جهاز قياس سرعة حركة الهواء**(الصورة (10.E)): وهو عبارة عن سلك رفيع يمر عبره تيار كهربائي ضعيف، متصل بجهاز إلكتروني . عند تعرض السلك للجو الذي يعتبر باردا نسبيا ، تظهر قيمتين على الجهاز الإلكتروني: الأولى تعبر عن سرعة حركة الهواء و الثانية تعبر عن درجة حرارة الجو .
- ❖ **جهاز قياس الرطوبة الجوية**(الصورة (11.E)): لقياس الرطوبة النسبية للهواء ، والتي هي حاصل قسمة الضغط الجزئي لبخار الماء على الضغط الجزئي في حالة التشبع وفي نفس درجة الحرارة .
- ❖ **جهاز وزن العينة جددقيق**(الصورة (2.E)): جهاز الكتروني بدقة(0.1g) ذو قراءة مباشرة مزود شاشة رقمية موضوع أسفل غرفة التجفيف(في الخارج)موصول بطبق التجفيف عبر هيكل معدني .
- ❖ **عداد كهربائي**(الصورة (13.E)): لقياس كمية التيار الكهربائي الذي تستهلكه المقاومات الكهربائية ، وهي فرق القراءة بعد التجربة ناقص القراءة بعد التجربة.

وضعت المزدوجات الحرارية في أماكن مختلفة من المقطر الشمسي لقياس درجة حرارة المكان الموضوعه فيه :

1. الغطاء الزجاجي في المنتصف ($T_m(v)$) .
2. الصفيحة الماصة في المنتصف ($T_m(abs)$) .
3. الهواء الداخل للاقط ($T_e(cap)$) .
4. الهواء الخارج من اللاقط ($T_s(cap)$) .
5. قبل طبق التجفيف ($T_{av}(cl)$) .
6. بعد طبق التجفيف ($T_{ap}(cl)$) .

قمنا بتقسيم سلاسل التجارب إلى جزئين :

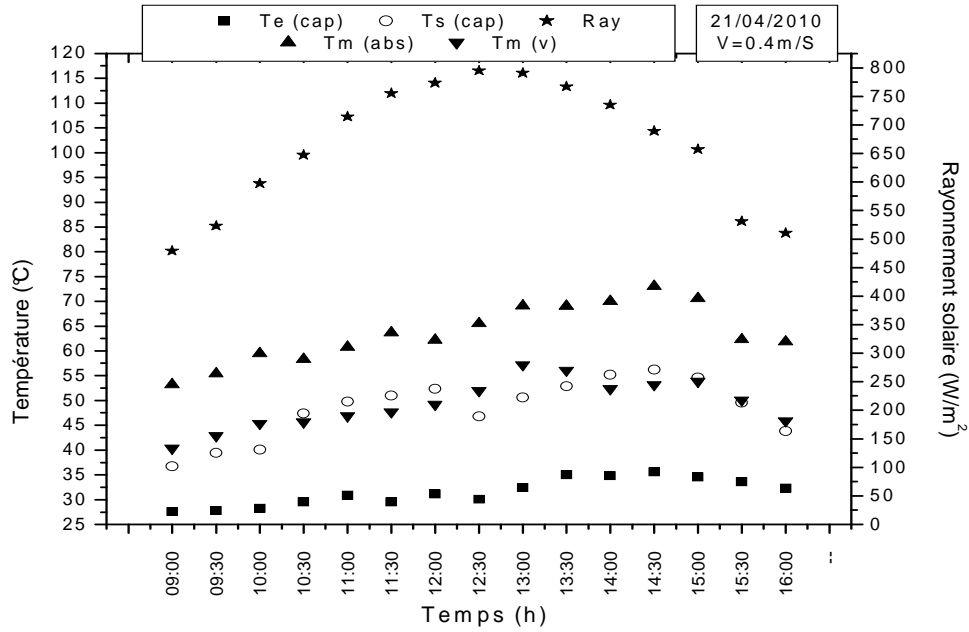
6.IV الجزء الأول(تحسين اللاقط الشمسي المسطح) :

جزء تحسين اللاقط الشمسي المسطح يتكون من مرحلتين: المرحلة الأولى نأخذ سلسلة من القياسات(درجات الحرارة لكل من الهواء الداخل والخارج من اللاقط، الغطاء الزجاجي و الصفيحة الماصة في المنتصف وكذلك شدة الإشعاع الشمسي الساقط) مع تغيير سرعة المروحة أي تغيير سرعة الهواء داخل المجفف، و المرحلة الثانية نأخذ نفس القياسات لكن بعد ما نركب الحواجز التي اخترناها في الفصل الثالث، ثم نقوم بمقارنة النتائج المتحصل عليها في المرحلتين (قبل و بعد التحسين)ونكتشف مدى التحسين المحرى ودور الحواجز المركبة في اللاقط.

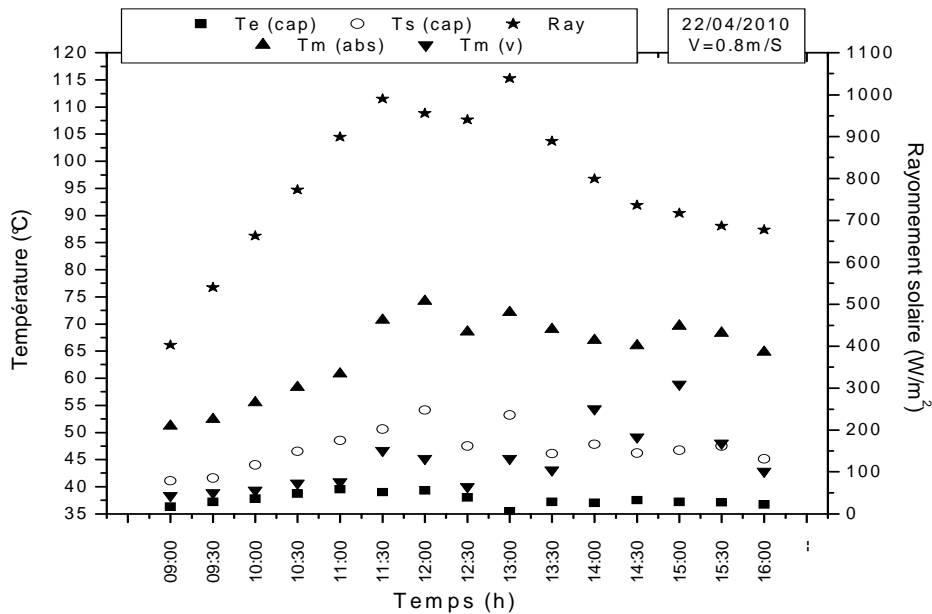
A.6.IV المرحلة الأولى: (قبل إجراء التحسين) :

في هذه السلسلة قمنا بسردالنتائج التجريبية المتحصل عليها في اللاقط الشمسي بدون عوائق وهي متمثلة في منحنيات التغير اليومي للإشعاع الشمسي $[Ray]$ ، درجة حرارة دخول الهواء إلى اللاقط $[T_e(cap)]$ ، ودرجة خروجه منه $[T_s(cap)]$ كذلك درجة حرارة الزجاج $[T_m(v)]$ و الماص الحراري $[T_m(abs)]$ لعدة أيام من شهر افريل 2010 بدلالة الزمن.

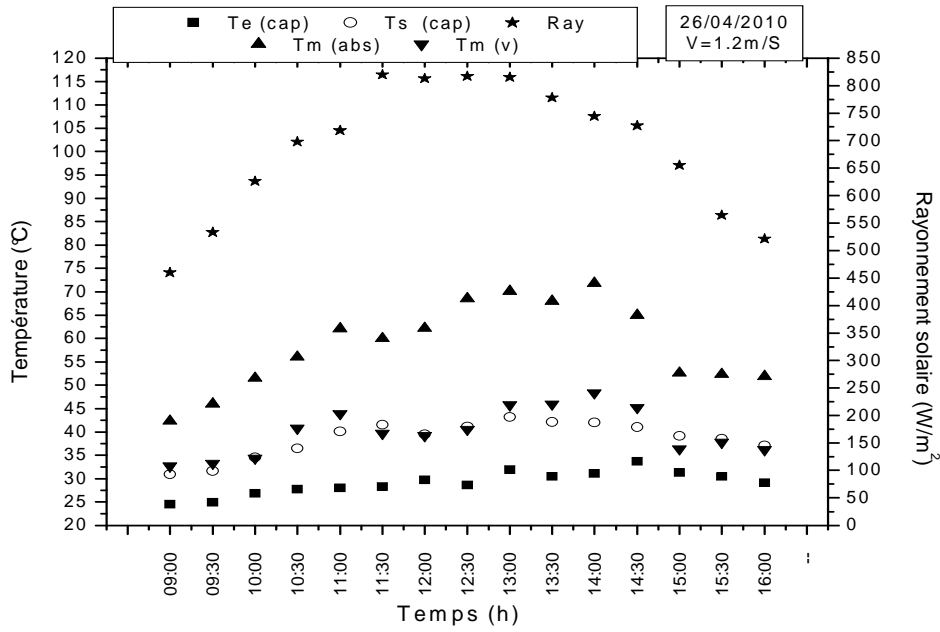
1.A.6.IV منحنيات القياسات التجريبية لللاقط بدون عوائق:



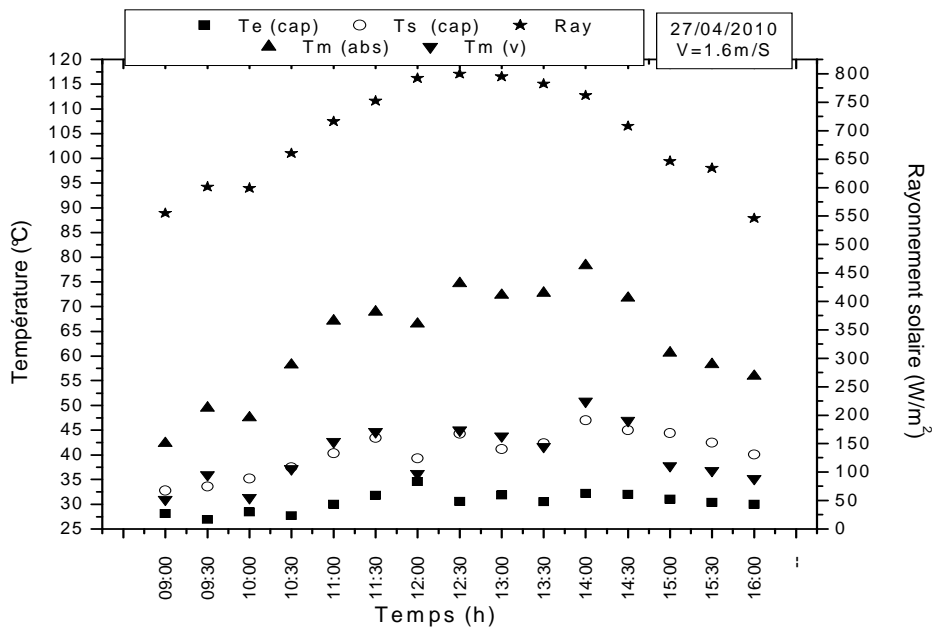
الشكل (2.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة لللاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 21 أبريل 2010، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V = 0.4 \text{ m/s}$



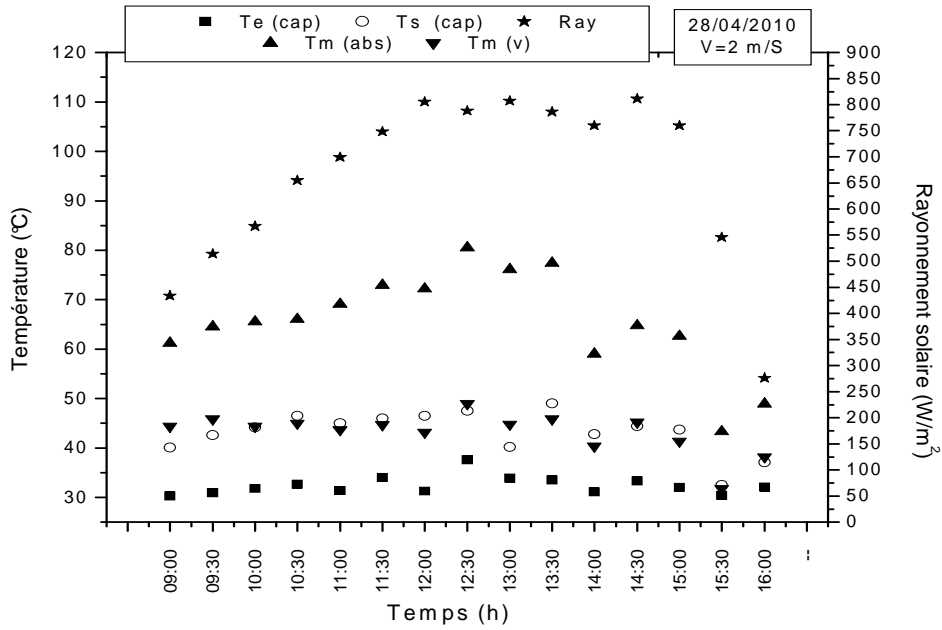
الشكل (3.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة لللاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 22 أبريل 2010، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V = 0.8 \text{ m/s}$



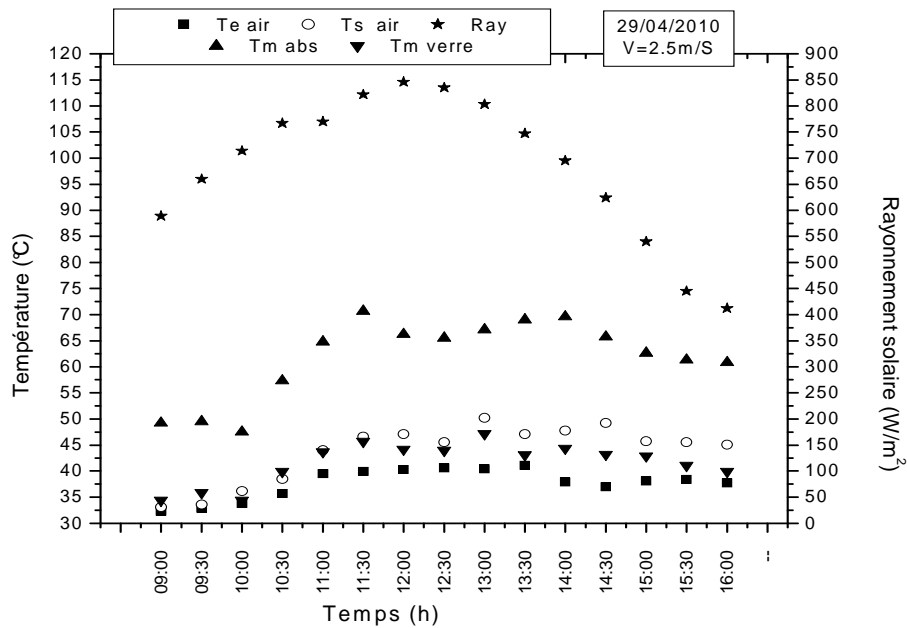
الشكل (4.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 26 أبريل 2010، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V = 1.2 \text{ m/s}$



الشكل (5.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 27 أبريل 2010، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V = 1.6 \text{ m/s}$



الشكل (6. IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 28 أبريل 2010 ،علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 2 m/s



الشكل (7. IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 29 أبريل 2010 ،علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 2.5 m/s

2.A.6.IV مناقشة نتائج اللاقط بدون عواتق:

من خلال المنحنيات التي قمنا بتمثيلها سابقا تبين لنا أن الحرارة الناتجة من اللاقط الشمسي المسطح تتأثر بعدة عوامل منها العوامل الداخلية المتعلقة بالمجمع نفسه و العوامل الخارجية كمقدار الإشعاع الشمسي الوارد، حالة الجو، سرعة الرياح، درجة حرارة، رطوبة الهواء المحيط و كمية الغبار في الجو.

➤ للإشعاع الشمسي الوارد تأثير مباشر على اللاقط، بحيث يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الماص الحراري وبالتالي زيادة حرارة الهواء عن طريق الحمل، ومن خلال النتائج المتحصل عليها تبين لنا أن الإشعاع الشمسي يبلغ أقصى قيمة له في الفترة الممتدة ما بين (12H00 - 14H00).

➤ لحالة الجو (جو مغيم) تأثير مباشر في انخفاض شدة الإشعاع الشمسي، حيث يتعرض الإشعاع الشمسي إما للامتصاص أو الانعكاس من طرف الغيوم كما هو مبين في الفصل الثاني (II.3.5 و 7)، وبالتالي انخفاض في درجة الحرارة الناتجة من طرف اللاقط.

➤ كما أن لسرعة الرياح أيضا تأثير على عمل اللاقط الشمسي لكونها تساعد في كمية الضياع الحراري بالحمل على مستوى الغطاء الزجاجي كما هو موضح في المعادلة (I-41)، وعلى مدار التجارب التي قمنا بها كانت سرعة الرياح فيها تتراوح ما بين (0 - 8 m/s).

➤ ولدرجة حرارة الوسط الخارجي تأثير على عملية تسخين الهواء، فأحيانا يكون هذا التأثير ايجابيا، فكلما ارتفعت درجة حرارة الوسط الخارجي زادت درجة حرارة الهواء فهو يكتسب حرارة إضافية قبل دخوله إلى اللاقط وبالتالي زيادة عملية التسخين، وأحيانا أخرى يكون سلبيا بحيث أنه إذا كانت درجة حرارة الوسط الخارجي منخفضة سجلنا درجات حرارة منخفضة مقارنة بالأيام التي تشهد درجات حرارة مرتفعة بالرغم من تشابه الشروط الأخرى من شدة الإشعاع الشمسي، صفاء الجو و سرعة رياح.

➤ كذلك لرطوبة الوسط الخارجي تأثير مثل درجة الحرارة على عملية تسخين الهواء، أحيانا يكون هذا التأثير سلبيا، فكلما ارتفعت رطوبة الوسط الخارجي انخفضت درجة حرارة الهواء الناتج من اللاقط، وأحيانا أخرى يكون ايجابيا بحيث أنه كلما كان الوسط الخارجي جافا زادت درجة الحرارة الناتجة من اللاقط مقارنة بالأيام الرطبة نسبيا.

➤ نظر لطبيعة منطقة ورقلة الجافة نلاحظ احتواء الجو المحيط كمية معتبرة من الغبار الذي يؤثر سلبا، وألا على كمية الإشعاع المار عبر الزجاج، وثانيا على الصفيحة الماصة من حيث كمية الامتصاص و الانبعاث منها وذلك لتشكيل طبقة عازلة -من الغبار- فوق الطلاء الأسود.

عند إجراء مقارنة الحرارة الناتجة في نفس شدة الإشعاع صباحا ومساء، نلاحظ أن الحرارة الناتجة في المساء أكبر في ما هي عليه في الصباح، وهذا راجع لسخونة الصفيحة الماصة -تخزين كمية من الحرارة لكونها من المعدن- والرطوبة المنخفضة للهواء مقارنة بالرطوبة المرتفعة نسبيا في الصباح.

زيادة درجة الحرارة بالنسبة لوحددة الإشعاع الشمسي $\frac{\Delta T}{S_{abs} \cdot I} \left[\frac{^{\circ}C}{kW} \right]$	فرق الحرارة $\Delta T_{sch} [^{\circ}C]$	ذروة الإشعاع الشمسي $I [W/m^2]$	سرعة هواء المروحة $V_{vl} [m/s]$	اليوم
12.57	21.3	795	0.4	21/04/2010
9.40	17.8	889	0.8	22/04/2010
9.38	16.3	815	1.2	26/04/2010
8.03	13.7	800	1.6	27/04/2010
6.42	11.1	811	2	28/04/2010
5.72	9.8	803	2.5	29/04/2010

الجدول (1.IV) تغير فرق درجة حرارة الالاقط بالنسبة لوحددة الإشعاع الشمسي وقت الذروة

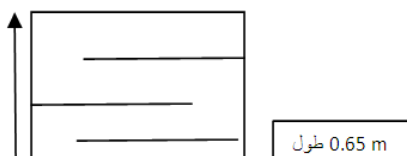
بدلالة سرعة هواء المروحة في حالة الالاقط الشمسي المسطح بدون عوائق

من الجدول (1.IV)، نستطيع استنتاج انه كلما زادت سرعة الهواء داخل الالاقط انخفضت فرق حرارة هواء المجمع، وهذا لقللة وقت التبادل الحراري بين الصفيحة الماصة و الهواء بواسطة الحمل، غير أن الإشعاع الشمسي يتغير ولا يمكن التحكم فيه . عند ملاحظتنا لتغير فرق درجة الحرارة فهي بين $9.8^{\circ}C$ عند السرعات الكبيرة و $17.8^{\circ}C$ عند السرعات المنخفضة.

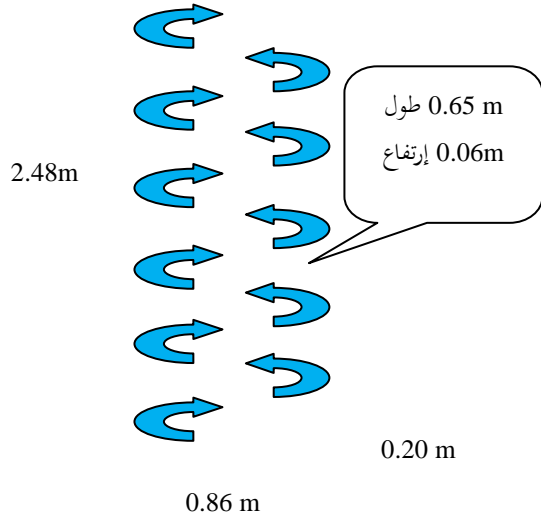
B.6.IV المرحلة الثانية: (بعد إجراء التحسين) :

في هذه المرحلة قمنا بسرد سلسلة النتائج التجريبية المتحصل عليها في الالاقط الشمسي المزود بعوائق وهي متمثلة في منحنيات التغير اليومي للإشعاع الشمسي $[Ray]$ ، درجة حرارة دخول الهواء إلى الالاقط $[T_e(cap)]$ ، ودرجة خروجه منه $[T_s(cap)]$ ، كذلك درجة حرارة الزجاج $[T_m(v)]$ و الماص الحراري $[T_m(abs)]$ لعدة أيام من ماي 2010 بدلالة الزمن.

في الالاقط السابق نقوم بتركيب عوائق عرضية فقط لزيادة فرق درجة الحرارة أي الحرارة المكتسبة من طرف هواء التجميف



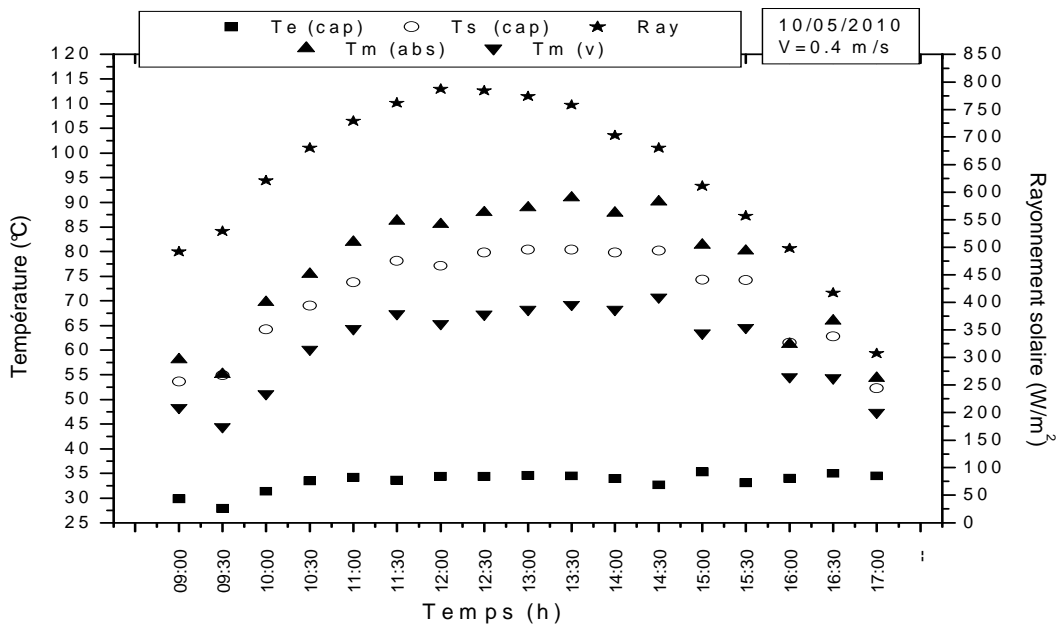
1.B.6.IV مميزات العوائق المستعملة:



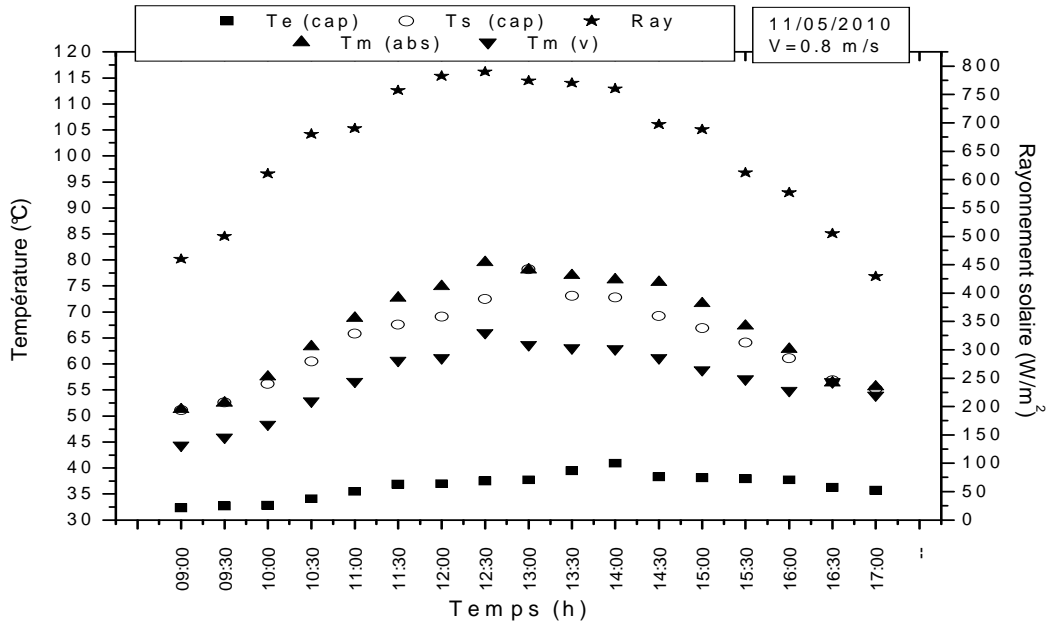
- البعد بين كل عائقين متتاليين 0.2 m .
- أبعاد العائق: 0.65m طول و 0.06m ارتفاع ويساوي ارتفاع مسرى الهواء .
- يبلغ طول العائق 75% من العرض الكلي للماص الحراري.
- الفراغ المتبقي لعبور الهواء 25% من العرض الكلي للماص الحراري والذي يقدر ب 0.86 m
- عدد العوائق 11

الشكل (8.IV) رسم تخطيطي للاقط المزود بالعوائق

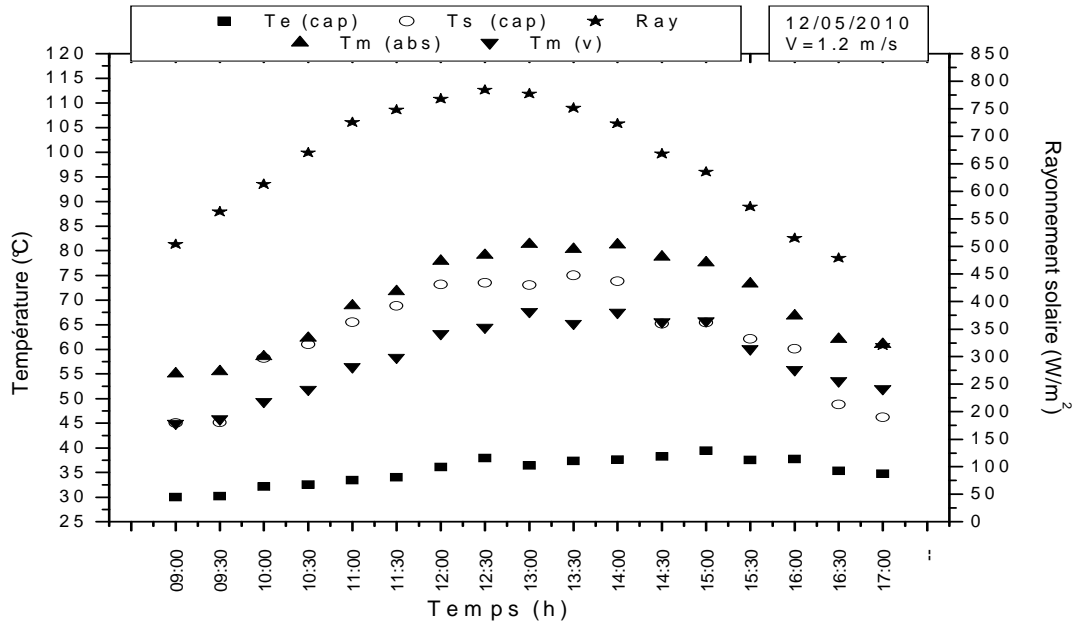
2.B.6.IV منحنيات القياسات التجريبية للاقط المزود عوائق:



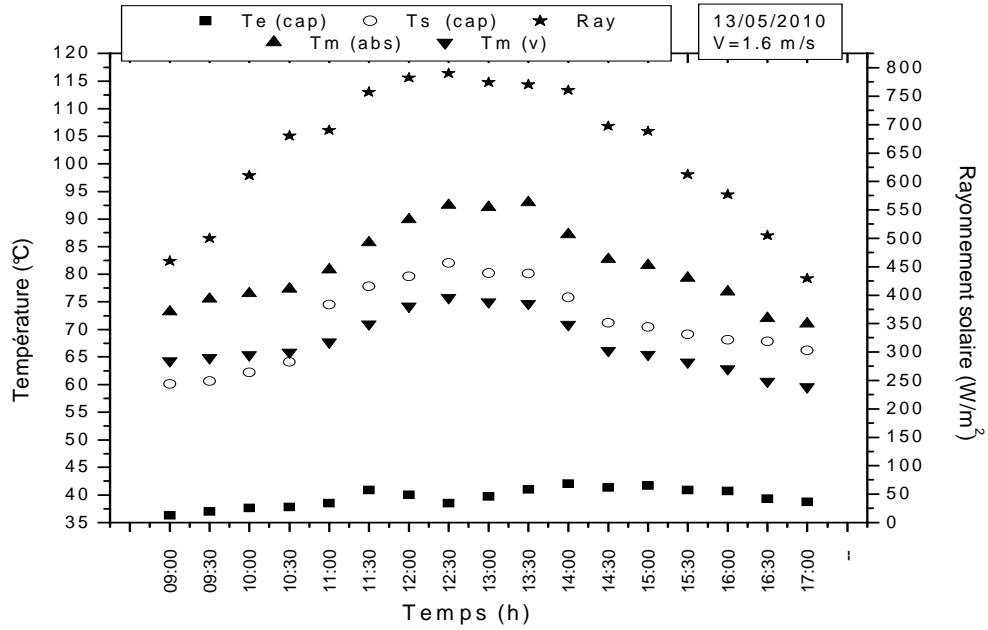
الشكل (9. IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط، كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 10 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف 0.4 m/s



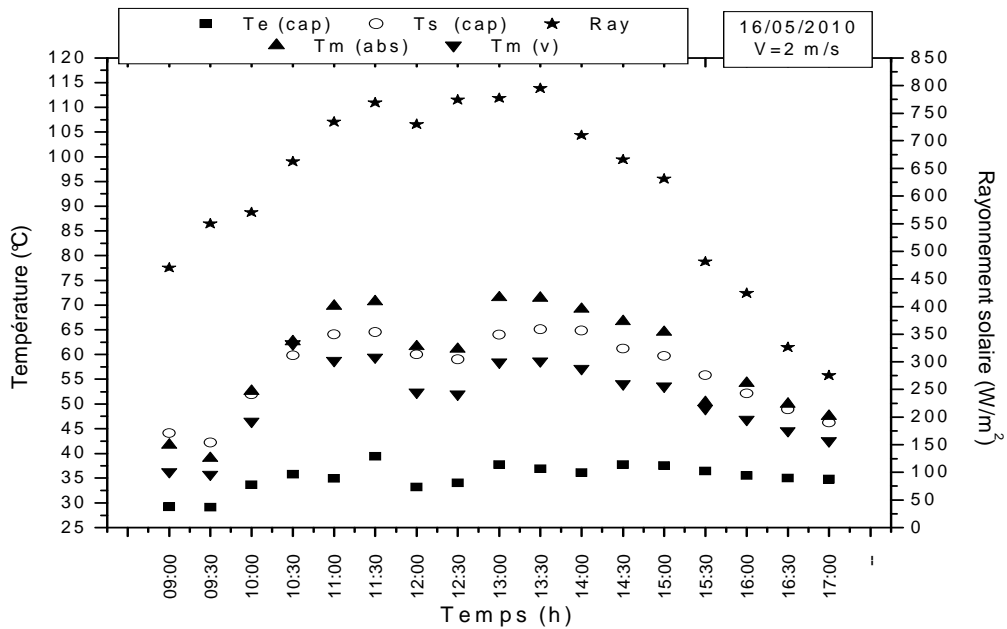
الشكل (10.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة لللاقط، كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج $V=0.8$ m/s بدلالة الزمن ليوم 11 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف 0.8 m/s



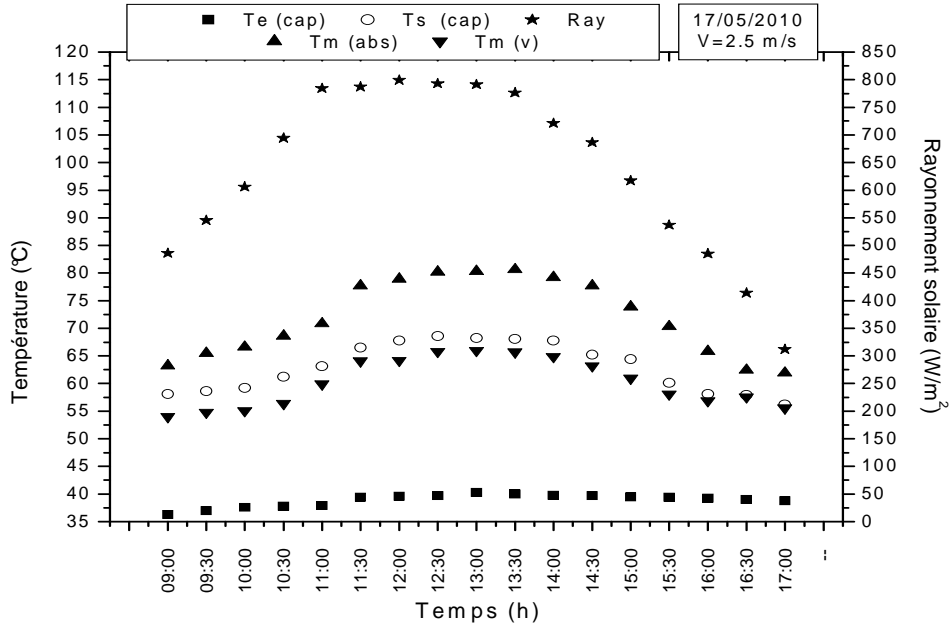
الشكل (11.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة لللاقط، كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 12 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V=1.2$ m/s



الشكل (12.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة لللاقط، كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 13 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V=1.6$ m/s



الشكل (13.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة لللاقط، كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 16 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف $V=2$ m/s



الشكل (14.IV) تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة والخارجة للاقط كذلك درجة حرارة الماص الحراري والزجاج بدلالة الزمن ليوم 17 ماي 2010 ، علما أن سرعة خروج الهواء من المجفف V= 2.5 m/s

3.B. 6.IV مناقشة نتائج اللاقط المزود عواتق:

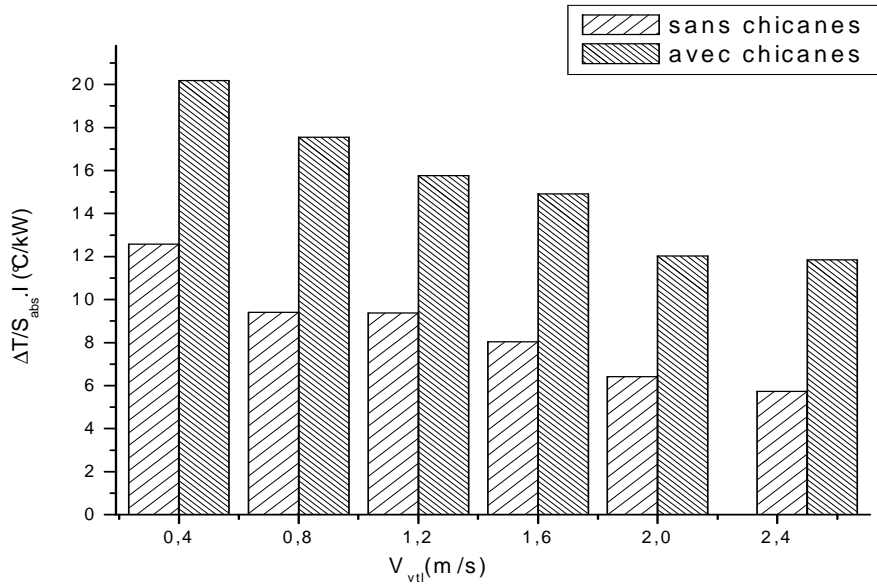
اللاقط الشمسي المسطح المزود بالعواتق يتعرض لعوامل جوية عديدة كما ذكرنا سابقا بالنسبة للاقط قبل إضافة العواتق. والجدول (2.IV) يوضح فرق درجة حرارة اللاقط بالنسبة لوحدة الإشعاع عند الذروة:

اليوم	سرعة هواء المروحة $V_{vi} [m/s]$	ذروة الإشعاع الشمسي $I [W/m^2]$	فرق الحرارة $\Delta T_{ach} [^{\circ}C]$	فرق الحرارة بالنسبة لوحدة الإشعاع الشمسي $\frac{\Delta T}{S_{abs} \cdot I} [^{\circ}C/kW]$
10/05/2010	0.4	784	45.90	20.18
11/05/2010	0.8	774	40.5	17.55
12/05/2010	1.2	777	36.5	15.76
13/05/2010	1.6	760	33.8	14.92
16/05/2010	2	795	28.5	12.02
17/05/2010	2.5	799	28.2	11.84

الجدول (2.IV) يوضح تغير فرق درجة حرارة اللاقط بالنسبة لوحدة الإشعاع الشمسي وقت الذروة

بدلالة سرعة هواء المروحة في اللاقط الشمسي المسطح المزود عواتق

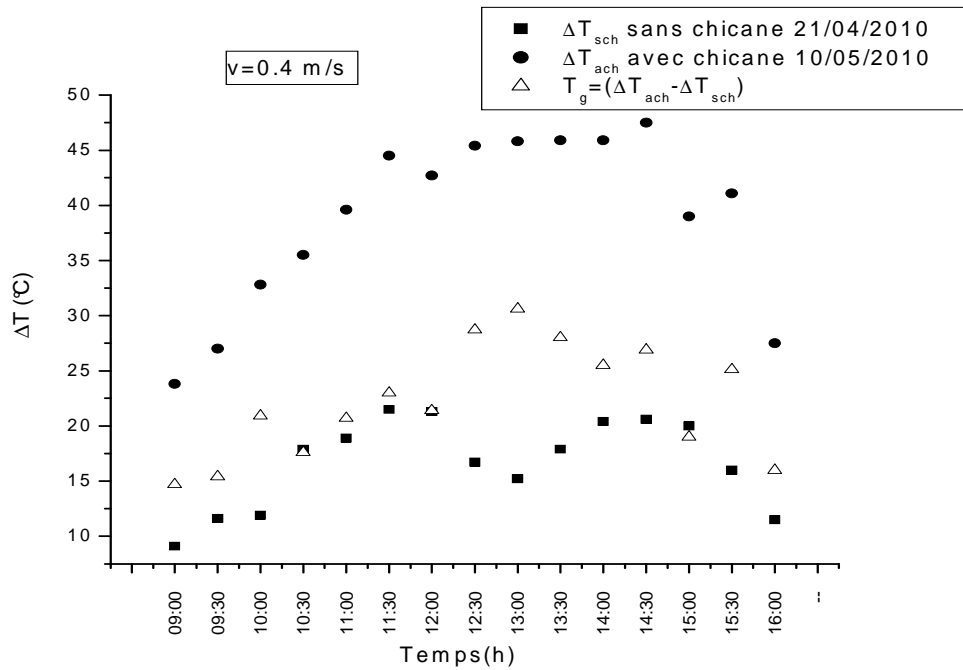
C.6.IV مقارنة بين فرق حرارة الالاقط قبل وبعد التحسين وقت الذروة:



الشكل (15.IV) رسم بياني مقارنة بين فرق حرارة الالاقط بالنسبة لوحدة الإشعاع بدلالة تغير سرعة الهواء لكل من حالتي الالاقط قبل وبعد التحسين

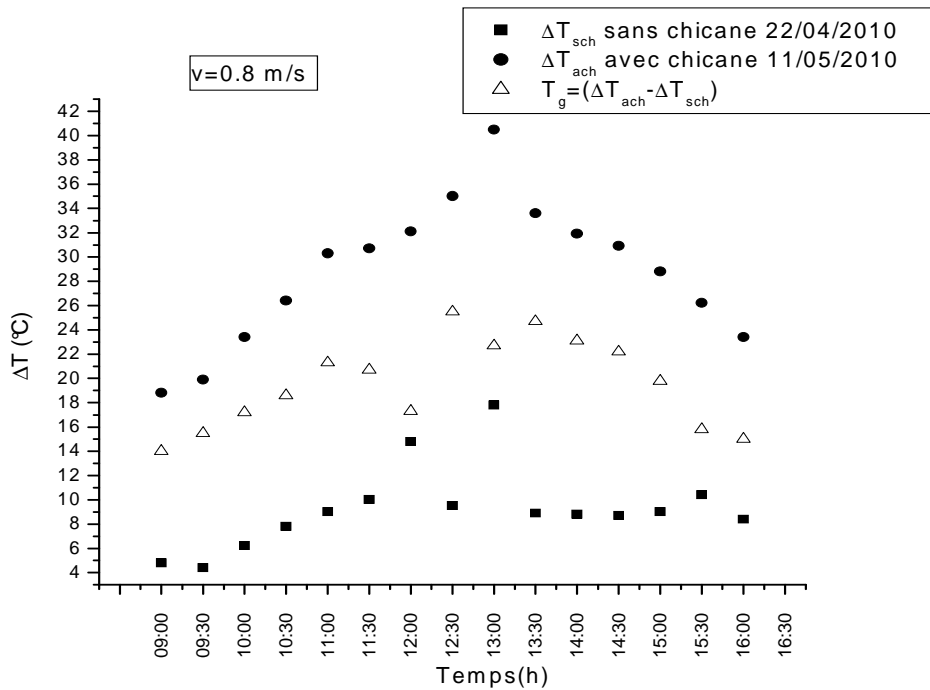
يمكن القول انه عند استعمال العوائق العرضية زاد فرق حرارة الالاقط ضعف ما كانت عليه قبل تركيب العوائق، وعند مقارنة هذه النتيجة بنجدها أحسن من بعض النتائج وأقل من نتائج أخرى، فهي أقل من نتائج العوائق الطولية و العرضية معا حيث وصلت في دراسة (A.Abene et al (2004) إلى $51.42^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ عند سرعة هواء 0.4m/s ، وفيما توصلنا في تجربتنا في هذه السرعة إلى $20.18^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ ، و في دراسة (R.BenSlama (2009) إلى 27.17% عند سرعة هواء 2.1m/s ، وتحصلنا في سرعة 2m/s إلى $12.02^{\circ}\text{C}/\text{kW}$. وأما بالنسبة لدراسة الحواجز العرضية فقط في دراسة (A.Abene et al (2003) فكانت النتائج $10.49^{\circ}\text{C}/\text{KW}$ عند سرعة 0.8m/s ، فيما وصلنا في دراستنا في نفس هذه السرعة إلى $17.55^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ فتعتبر نتيجة جيدة . وبالنسبة للعوائق المعدنية العمودية و الاسطوانية فكانت النتائج التي حصلنا عليها أحسن مقارنة بالدراسات السابقة . و أما بالنسبة لمقارنة نتائجنا بنتائج المسلك المزدوج فالنتائج المتحصل عليها كانت اقل لاجتياز الهواء من فوق وتحت الماص الحراري في نفس الوقت . أما بالنسبة للماص الحراري المائل فالنتائج كانت أحسن من هذه الدراسة . مع العلم أن في كل هذه الدراسات كان تثبيت العوائق تحت الماص الحراري والذي يعتبر أفضل للتبادل الحراري حسب دراسة (F.Mokhtar et al (2001).

D.6.IV مقارنة فرق الحرارة الناتج عن اللاقط المزود بالعواتق باللاقط بدون عواتق :



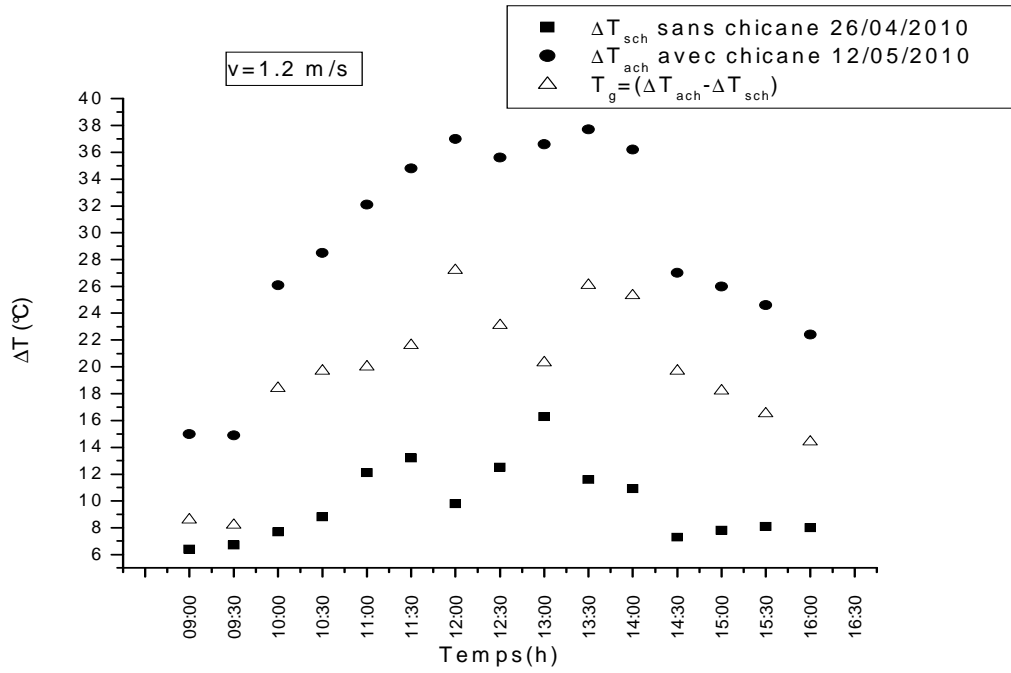
الشكل (16.IV) التغيرات الفرق في درجة حرارة اللاقط بدون حواجز بالنسبة لللاقط المزود بالحواجز،

مع سرعة خروج الهواء $V=0.4\text{m/s}$



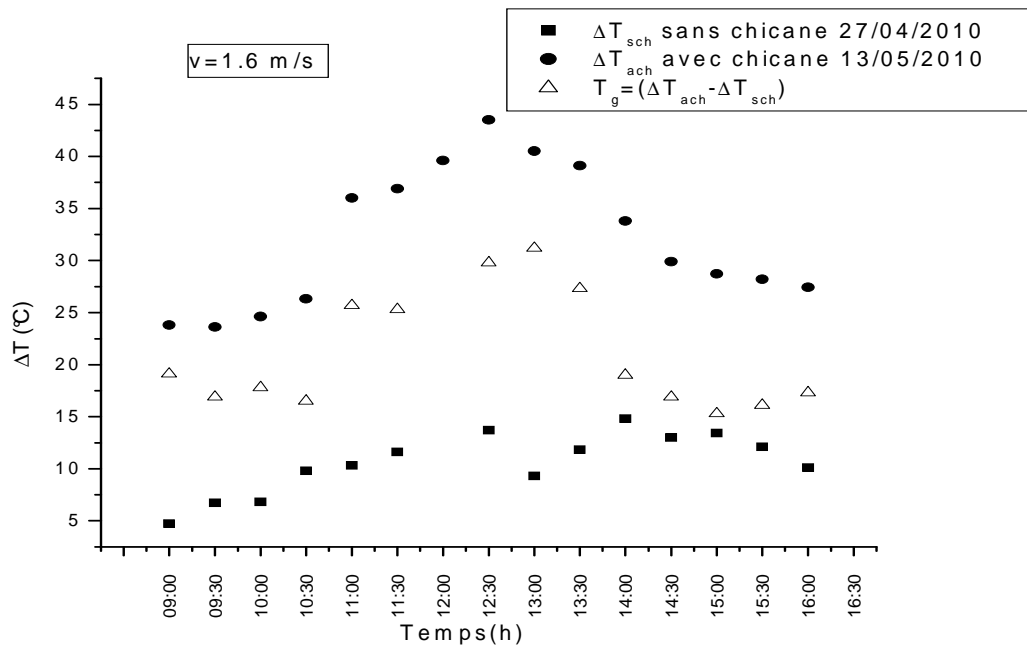
الشكل (17.IV) التغيرات الفرق في درجة حرارة اللاقط بدون حواجز بالنسبة لللاقط المزود بالحواجز،

مع سرعة خروج الهواء $V=0.8\text{m/s}$



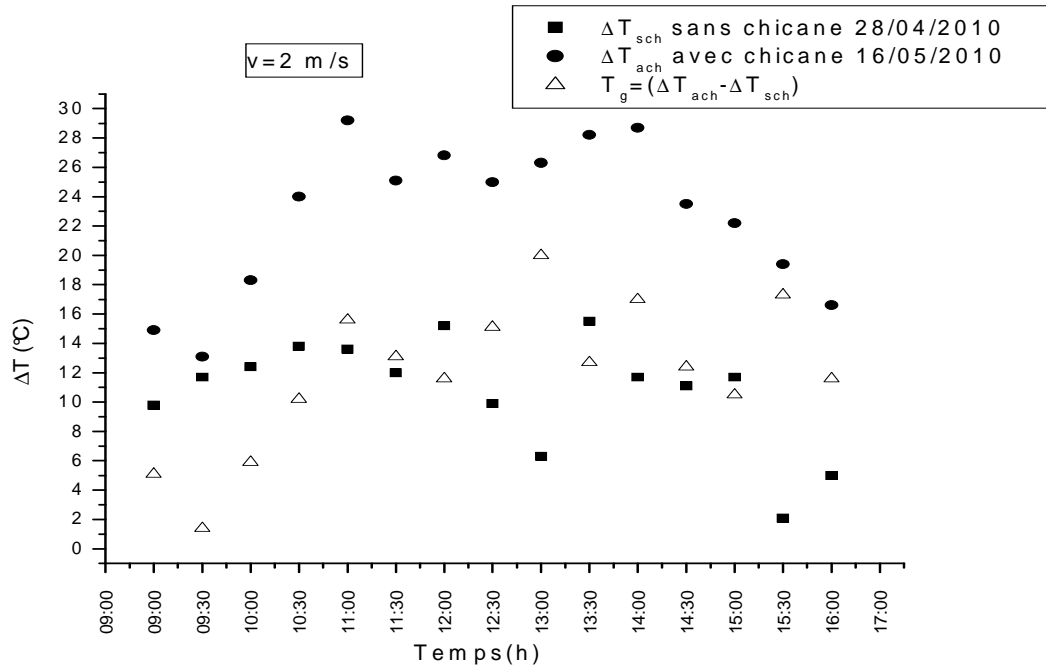
الشكل (18.IV) التغيرات الفرق في درجة حرارة الالاقط بدون عوائق بالنسبة للالاقط المزود بالعوائق،

مع سرعة خروج الهواء $V=1.2$ m/s



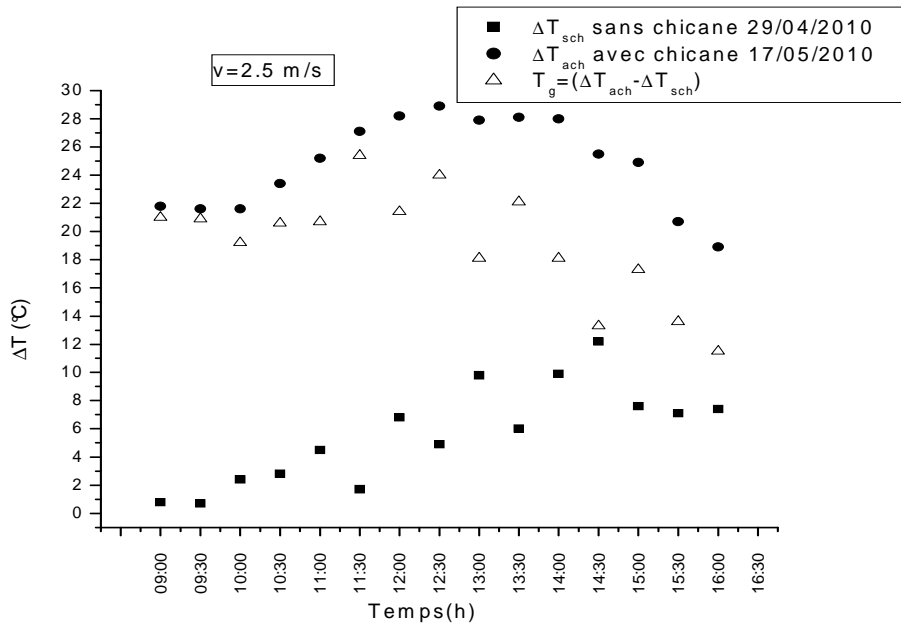
الشكل (19.IV) التغيرات الفرق في درجة حرارة الالاقط بدون عوائق بالنسبة للالاقط المزود بالعوائق،

مع سرعة خروج الهواء $V=1.6$ m/s



الشكل (20.IV) التغيرات الفرق في درجة حرارة الالاقط بدون عوائق بالنسبة للالاقط المزود بالعوائق،

مع سرعة خروج الهواء $V=2\text{m/s}$



الشكل (21.IV) تغيرات الفرق في درجة حرارة الالاقط بدون عوائق بالنسبة للالاقط المزود بالعوائق،

مع سرعة خروج الهواء $V=2.5\text{m/s}$

E.6.IV نسبة الزيادة الحرارية اليومية للاقط المزود بالعوائق مقارنة باللاقط بدون عوائق:

نستطيع حساب الطاقة المنتجة من طرف اللاقط الشمسي خلال ساعات العمل اليومية بمساعدة برنامج Origin6 وذلك بحساب مساحة المنحنى E_{Star} ، حسب العلاقة (1.IV):

$$(1.IV) \quad E_{Sol} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [kWh]$$

حيث:

✓ \dot{m} : التدفق الكتلي للهواء داخل المجفف الشمسي، و تحسب بالعلاقة التالية:

$$\dot{m} = \text{الكتلة الحجمية للهواء} \times \text{مساحة مقطع المروحة} \times \text{سرعة المروحة (kg/s)}$$

$$\dot{m} = 1.293 \times 3.14 \times (0.165)^2 \times V_{vhl} \times 0.11 \text{ kg/s} = V_{vhl}$$

$$C_p = 1005 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$
 السعة الحرارية للهواء الرطب، ✓

✓ ΔT : فرق حرارة اللاقط الشمسي مساحة منحنى ΔT الممثلة أعلاه بمساعدة برنامج Origin6

سرعة الهواء الخارج من المجفف (المروحة) (m/s)						
2.5	2	1.6	1.2	0.8	0.4	
11.12	17.06	13.5	9.28	5.91	4.12	$E_{sch} (kWh)$
48.56	35.98	40.35	27.49	17.93	12.34	$E_{ach} (kWh)$
37.44	18.92	26.85	18.21	12.03	8.22	$E_g (kWh)$
336.69	110.9	198.88	196.22	203.55	199.5	$E_g / E_{sch} (\%)$

الجدول (3.IV) تغيير نسبة الزيادة الحرارية اليومية للاقط المزود بالعوائق مقارنة باللاقط بدون عوائق بدلالة سرعة هواء المروحة.

علمنا أن:

○ E_{sch} : الطاقة الحرارية المكتسبة بواسطة اللاقط الشمسي بدون عوائق (kWh)

○ E_{ach} : الطاقة الحرارية المكتسبة بواسطة اللاقط الشمسي المزود بالعوائق (kWh)

○ E_g : الطاقة الحرارية المستفاد بها بعد إضافة العوائق، و تحسب بالعلاقة (2.IV):

$$(2.IV) \quad E_g = E_{ach} - E_{sch} \quad [kWh]$$

كلما زادت سرعة المروحة زاد التدفق الكتلي للهواء فهي علاقة طردية بينهما. أما بالنسبة لكمية الطاقة المكتسبة من طرف الهواء فلها علاقة أيضا بنسبة الحرارة المتبادلة بين الصفيحة الماصة و الهواء، فكلما زادت سرعة الهواء نقص وقت التبادل بينهما، فكمية الطاقة المكتسبة تضم كل هذه المتغيرات.

نلاحظ في يوم 29 أبريل 2010 في المجمع قبل إضافة العوائق و في سرعة دوران المروحة 2.5m/s انخفضت الطاقة المكتسبة من طرف الهواء إلى 11.12 kWh، وهذا راجع لحالة الجو المغيم حتى منتصف النهار و هو ما أثر على نسبة كمية الحرارة المكتسبة في اللاقط المزود بالعوائق مقارنة باللاقط بدون عوائق يوم 17 ماي 2010 حالة الجو صافي، حيث وصلت الى 336.69% . مثل ما لاحظنا في يوم 16 ماي 2010 في اللاقط بعد إضافة العوائق سرعة دوران المروحة 2m/s انخفضت الطاقة المكتسبة من طرف الهواء إلى 35.98 kWh فيما كانت عند سرعة 1.6m/s تساوي 40.35kWh وارتفعت عند سرعة الهواء 2.5m/s إلى 48.56kWh، كان السبب في ذلك يرجع لحالة الجو المغيم الذي يؤثر على كمية الإشعاع الساقط و الذي بدوره يؤثر على كمية الهواء المكتسبة من طرف الهواء.

ومنه نستطيع القول أن في حالة الجو العادي قد تصل نسبة كمية الزيادة الحرارية للمجمع المزود بالعوائق إلى حوالي 200% مقارنة باللاقط قبل إجراء التحسين.

7.IV. الجزء الثاني (حساب المقدار الطاقوي لكل من المصدرين):

A.7.IV هدف الجزء الثاني:

هدف هذا الجزء حساب المقدار الطاقوي لكل من الطاقة الشمسية (الطاقة المتجددة) والطاقة الكهربائية (طاقة تقليدية) المتمثلة في مقاومتين كهربائيتين نتحكم فيها بواسطة منظم الحرارة (thermostat)، وذلك لاستعمالهما لزيادة درجة الحرارة عندما لا تكفي الحرارة المقدمة من طرف اللاقط وحده من خلال التسخين الشمسي خاصة صباحا ومساء.

من اجل هذا نقوم بإجراء عملية تجفيف على ثلاث مراحل :

- ✓ المرحلة الأولى: استعمال الطاقة الحرارية لللاقط الشمسي بدون عوائق وبإضافة المقاومة الكهربائية.
- ✓ المرحلة الثانية: استعمال الطاقة الحرارية لللاقط الشمسي المزود بالعوائق فقط .
- ✓ المرحلة الثالثة: استعمال الطاقة الحرارية لللاقط الشمسي المزود بالعوائق وبإضافة المقاومة الكهربائية .

B.7.IV مميزات المقاومة والمروحة:

يعمل هذين العنصرين على الطاقة الكهربائية ويتميز كل منهما بما يلي:

❖ المروحة الكهربائية:

- الاستطاعة: 0.055kW
- فرق الكمون: 220 V
- سرعة الدوران: 1400 tour/min
- التواتر: 50 Hz

❖ المقاومتين الكهربائيتين:

- الاستطاعة الكلية: 3.75kW
- فرق الكمون: 220 V

C.7.IV طريقة العمل:

تنقسم طريقة العمل إلى:

- تحضير الجفف و المنتج، و تحديد نسبة الماء الابتدائية لمعرفة وزن توقف عملية التجفيف.
- تركيب الميزان والتأكد من أن طبق التجفيف والهيكول المعدني الذي يحمله لا يلامس هيكل غرفة التجفيف.
- تركيب العداد الكهربائي و التأكد من ربطه بالمقاومة الكهربائية.
- ضبط درجة الحرارة بواسطة منظم الحرارة (thermostat) على درجة الحرارة المطلوبة للتجفيف .
- ضبط سرعة المروحة حسب سرعة الهواء المطلوبة للمادة المراد تجفيفها.
- التأكد من تشغيل كل أجهزة القياس.
- بدء التجربة.

1.C.7.IV. تحضير المجفف:

- الهدف من هذه العملية ضمان السير الحسن لعملية التجفيف، بحيث نقوم قبل بدء التجربة بالخطوات التالية:
- تنقية الزجاج من الغبار، وكذلك غرفة التجفيف من الأوساخ والأتربة التي يمكن أن تمر مع الهواء الساخن و تأثر على مردود عملية التجفيف (راجع(21.II)).
 - التأكد من لون الصفيحة الماصة وعدم تعرض الطلاء لتشوهات .

2.C.7.IV. تحضير المنتج:

كل منتج له طريقتة الخاصة في التحضير.

3.C.7.IV. تحديد نسبة الماء الابتدائية:

تحديد الرطوبة الابتدائية يتم بواسطة جهاز التحليل الرطوبي عبر الخطوات التالية:

- تشغيل الجهاز وضبط درجة حرارته على 105°C صالحة لكل من المادتين التمر و البطاطس [49]
- إدخال عينة من المنتج المدروس (عينة من التمر بعد سحقها و شرائح البطاطس) ، علما أن الجهاز مزود بنظام وزن بدقة (0.001g).
- تشغيل الجهاز وتركه يعمل.
- يتوقف الجهاز آليا عندما تثبت الكتلة مع إصدار تنبيه (صوت).

4.C.7.IV. تحديد الوزن الجاف للعينة:

نستطيع تعين الوزن الجاف للعينة M_s بواسطة نسبة الماء الابتدائية X_i ، علما ان وزن العينة الابتدائي معروف M_i .

$$(3.IV) \quad X_i = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad [\%]$$

• M_s : الوزن الجاف للعينة (g)

• M_i : وزن العينة الابتدائي (g)

D.7.IV. المرحلة الأولى (لاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية):

في المرحلة نقوم بإجراء التجفيف على مادة التمر التي تحتوي على 9% ماء قبل التجفيف ورفع هذه النسبة الى 35% ماء بعد إجراء عملية التجفيف.

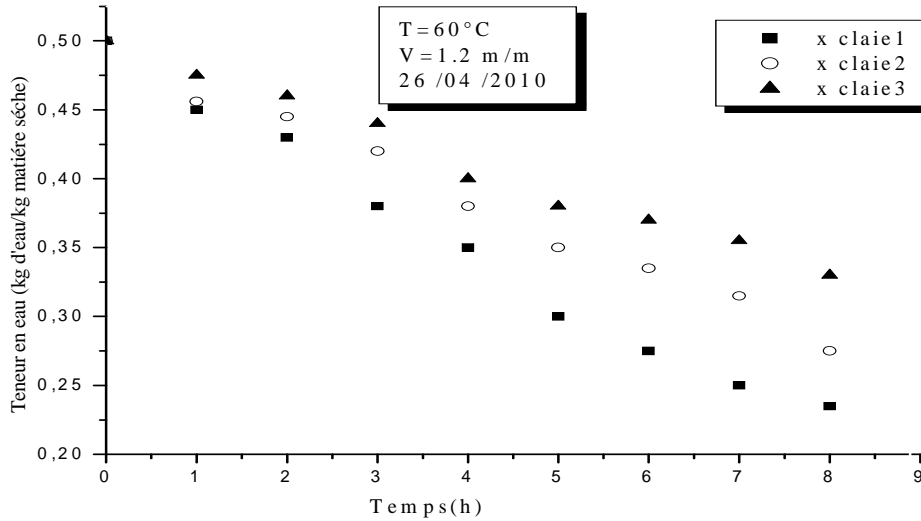
• تحضير المنتج:

الخطوات الأساسية لتحضير منتج التمر للتجفيف و هي:

- **الإختيار:** يتم إختيار تمر دقلة نور الجافة بعد الحصاد بالإعتماد على عدة معايير منها الشكل المتجانس ، المساحة و اللون.
- **الإماهة:** هذه الخطوة تتم بغمر التمر الجاف الذي يحتوي 0.09 كلغ ماء لكل كلغ من المادة الجافة، في كمية من الماء المقطر في درجة حرارة الجو المحيط بالتجربة لمدة تتراوح من 10 إلى 12 ساعة.
- **التقطير:** تسمح عملية التقطير بإزالة الماء السطحي لضمان تجانس الرطوبة الداخلية للتمر .

بعد إماهة التمر تصل نسبة الماء إلى 50% بالنسبة للمادة الجافة، وللحصول على النسبة المثلى التي يجب أن تبقى في التمر نُجري عملية التجفيف .

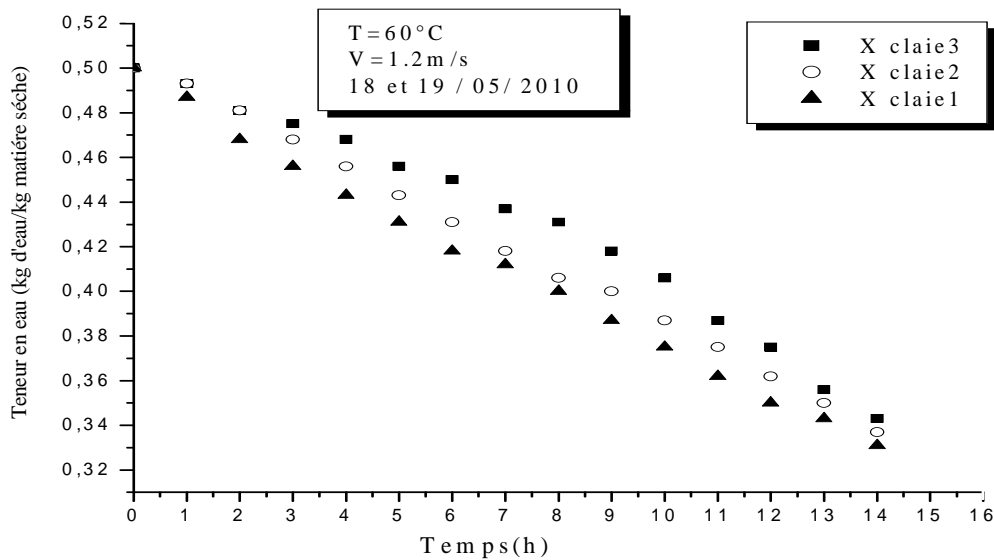
التجفيف في هذه المرحلة يكون بالاعتماد على الطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط بالإضافة للمقاومة الكهربائية.



الشكل (22.IV) منحنى تغير نسبة الماء بدلالة الزمن لللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة

E.7.IV المرحلة الثانية (لاقط مزود عوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية):

التجفيف في هذه المرحلة يكون بالاعتماد على الطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط فقط.



الشكل (23.IV) منحنى تغير نسبة الماء بدلالة الزمن لللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية

من خلال ملاحظة المنحنيين (22.IV) و(23.IV) الممثلين لتغير نسبة الماء في تجفيف التمر لكل من الحالتين: اللاقط الشمسي بدون عوائق وباستعمال مقاومة و اللاقط الشمسي وبالإستغناء عن المقاومة، نلاحظ أن العوائق عوضت كمية الحرارة المقدمة من طرف المقاومة الكهربائية ، إلا أن زمن التجفيف زاد إلى الضعف تقريبا من 7 ساعات إلى 13 ساعة ونصف، وهذا راجع لعدم الاستقرار في الكمية الحرارية المقدمة من طرف اللاقط الذي يكون ضعيفا صباحا ثم يرتفع وقت الظهيرة (ذروة الإشعاع الشمسي) وبعد ذلك ينخفض مساء لتغير الإشعاع الشمسي وهذا ما يدل على دور المقاومة في إستقرار الكمية الحرارية المستعملة في التجفيف.

1.E.7.IV حساب الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط(المرحلة الأولى والثانية):

لحساب الطاقة المنتجة من طرف اللاقط الشمسي بمساعدة برنامج Origin6، وذلك بحساب مساحة المنحنى E_{sol} ، حسب المعادلة (1.IV) المذكورة سابقا.
حيث:

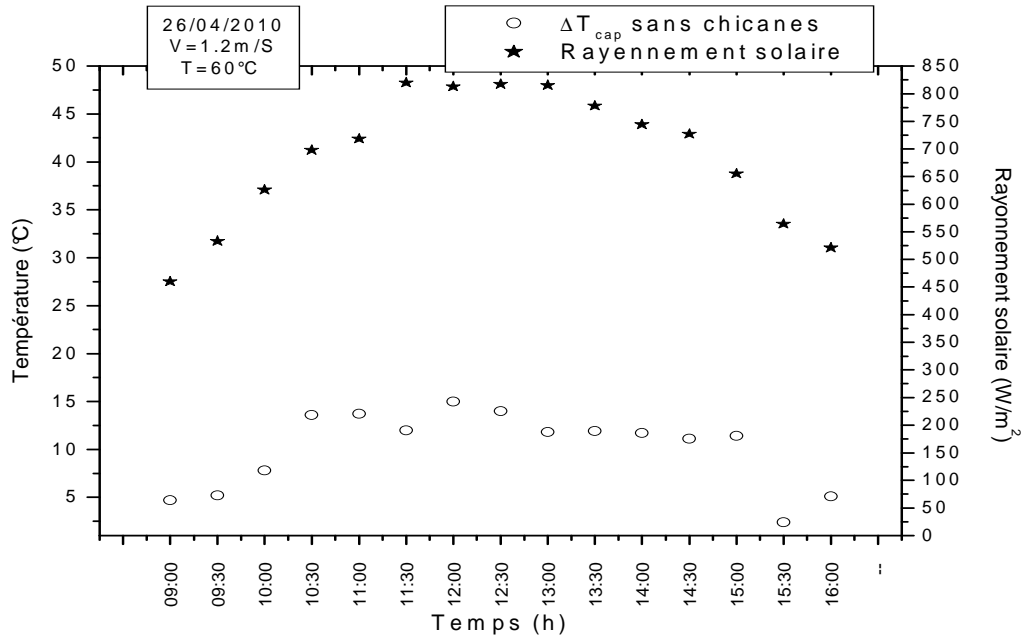
✓ \dot{m} : التدفق الكتلي للهواء داخل المجفف الشمسي، و تحسب بالعلاقة التالية:

$$\dot{m} = \text{الكتلة الحجمية للهواء} \times \text{سرعة المروحة} \times \text{مساحة مقطع المروحة}$$

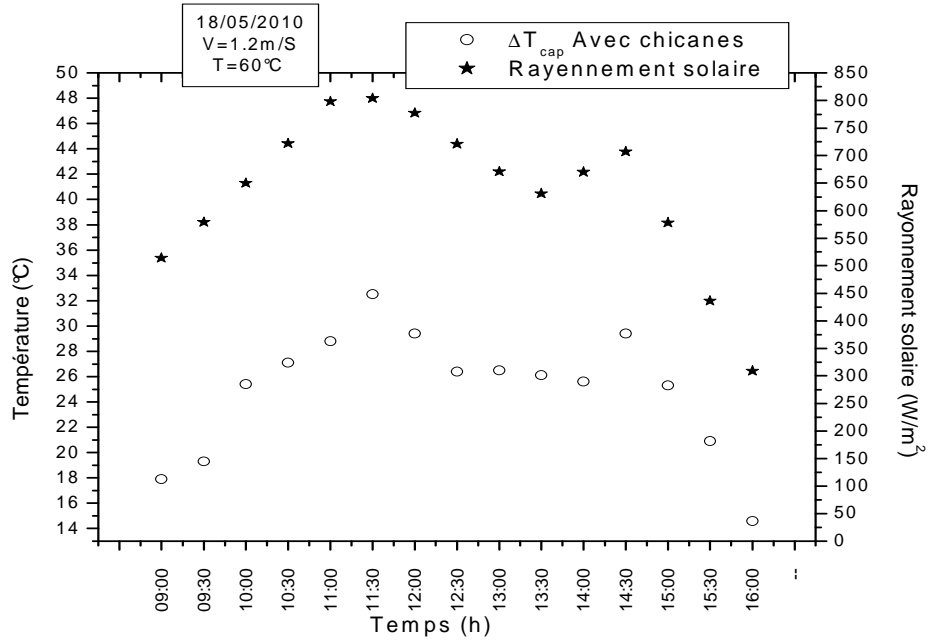
$$\dot{m} = 1.293 \times 1.2 \times 3.14 \times (0.165)^2 = 0.13 \text{ kg/s}$$

✓ C_p : السعة الحرارية للهواء الرطب $C_p = 1005 \text{ j/kg.}^\circ\text{C}$

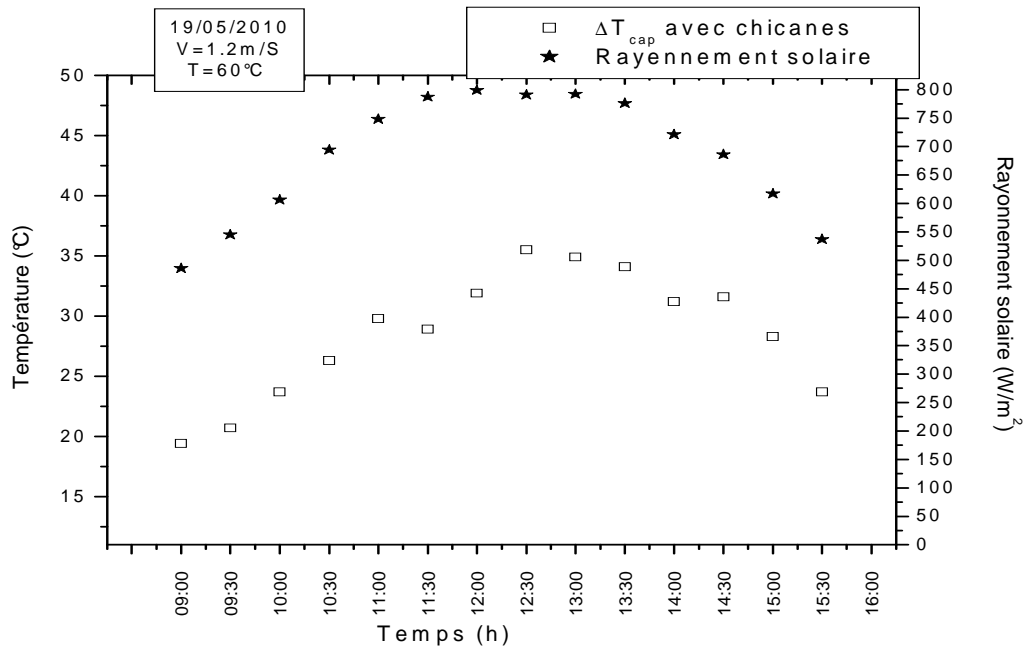
✓ ΔT : فرق حرارة اللاقط الشمسي، تحسب مساحة المنحنى ΔT بمساعدة برنامج Origin6



الشكل (24.IV) تغير فرق حرارة اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية بدلالة الزمن.



الشكل (25.IV) تغير فرق حرارة اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية بدلالة الزمن (اليوم الأول).



الشكل (26.IV) تغير فرق حرارة اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية بدلالة الزمن (اليوم الثاني).

بواسطة برنامج Origin6 نستطيع حساب مساحة E_{sol} ، و النتائج المتحصل عليها مدونة في الجدول (4.IV).

اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية	اللاقط المزود بالعوائق و بدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)	$E_{sol}(kWh)$
9.57	51.02	

الجدول(4.IV) الطاقة الشمسية المنتجة من طرف اللاقط بدون عوائق و باستعمال المقاومة الكهربائية ومن طرف اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني).

2.E.7.IV. الطاقة الكهربائية المستهلكة(المرحلة الأولى و الثانية):

❖ الطاقة المستهلكة من طرف المروحة: $(E_{el,vil})$

الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة خلال عملية التجفيف، تحسب بالعلاقة (3-IV):

$$E_{el,vil} = P_{vil} \cdot t_s \quad [kWh] \quad (3.IV)$$

حيث:

○ P_{vil} : إستطاعة المروحة (0.055 kW)

○ t_s : زمن التجفيف. (h)

اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية	اللاقط المزود بالعوائق و بدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)	زمن التجفيف (h)
7	13.5	
$E_{el,vil}(kWh)$	0.385	0.742

الجدول(5.IV) الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة في حالة اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)

❖ الطاقة المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية: $(E_{el,rst})$

في المجفف الشمسي قبل تثبيت العوائق نضيف مقاومة كهربائية مزودة بمنظم الحرارة(thermostat) تشتغل عندما تنخفض الحرارة على القيمة المقدمة لمنظم الحرارة وتتوقف عندما تبلغ درجة الحرارة المطلوبة للتجفيف، أما بعد تثبيت العوائق فنستعمل الطاقة الشمسية فقط كما هو مبين في الجدول التالي:

اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية	اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)	$E_{el,rst}(kWh)$
10.50	0.00	

الجدول(6.IV) الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومتين الكهربائيتين في حالة لللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني).

3.E.7.IV. الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجفيف (المرحلة الأولى والثانية) :

الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجفيف، هي مجموع الطاقة الشمسية والطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية و أيضا الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة، و تحسب بالعلاقة (5.IV) :

$$E_{Totale} = E_{sol} + E_{el;vlt} + E_{el;rst} \quad [kWh] \quad (5.IV)$$

اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)	اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية	
51.02	9.57	$E_{sol} (kWh)$
0.74	0.38	$E_{el;vlt} (kWh)$
0.00	10.50	$E_{el;rst} (kWh)$
51.76	20.45	$E_{Totale} (kWh)$

الجدول (7.IV) الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجفيف (حالة اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني))

4.E.7.IV. النسبة الطاقوية (المرحلة الأولى والثانية):

نحسب النسب الطاقوية لكلا المصدرين بالعلاقين (6.IV) و (7.IV) :

$$E_{sol}(\%) = \frac{E_{sol}(kWh)}{E_{Totale}(kWh)} \quad [\%] \quad (6.IV)$$

$$E_{el}(\%) = \frac{E_{el}(kWh)}{E_{Totae}(kWh)} \quad [\%] \quad (7.IV)$$

اللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني)	اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية	
98.57	46.79	$E_{sol}(\%)$
1.43	53.21	$E_{el}(\%)$

الجدول (8.IV) النسب الطاقوية المستهلكة خلال عملية التجفيف لكل من المصدرين (حالة اللاقط بدون عوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية واللاقط المزود بالعوائق وبدون استعمال المقاومة الكهربائية (اليوم الأول والثاني))

نلاحظ من الجدول (8.IV)، أن الطاقة الشمسية ساهمت بنسبة 46.79% في اللاقط قبل إضافة العوائق، و بالنسبة للطاقة الكهربائية فساهمت بنسبة 53.21% في تسخين الهواء وتحريكه، و أما في حالة اللاقط المزود بالعوائق فاستطاعت العوائق تعويض الطاقة المقدمة من طرف المقاومة الكهربائية وارتفعت نسبة المساهمة إلى 98.57%، والنسبة الباقية فهي الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة ، لكن زمن التجفيف زاد تقريبا النصف بالمقارنة بحالة الاستعانة بالمقاومة الكهربائية.

F.7.IV. المرحلة الثالثة (لاقط مزود بعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية):

في هذه المرحلة نقوم بتحفيف البطاطس نوع (Spunta) والتي تحتوي غالبا على 82% ماء (0.82 kg من الماء لكل 1kg من المنتج) و 18% من المادة الجافة (0.18kg) من المادة الجافة لكل 1kg من المنتج [49]، وتتغير هذه النسبة على حسب نوع البطاطس و مدى نضج الثمرة، وهذه النسبة العالية من الماء تؤثر على نوعية المنتج كما هو مبين في الفصل الثاني (14.II)، لذلك نقوم بتحفيفها لعدة أسباب كما في (16.II). وإن أكثر من 50% من البطاطس المستهلكة في الدول المتطورة مصنعة ، ومن الطرق المستعملة في التصنيع التحفيف. [50]

و تعتبر عملية حفظ منتج البطاطس بواسطة التبريد الذي يحتوي نسبة كبيرة من الماء جد مكلفة لاعتمادها أساسا على الطاقة الكهربائية، كذلك الفرق الكبير بين درجة حرارة الجو المحيط التي تصل الى 50°C و درجة الحفظ الخاصة بالبطاطس وهي 10°C بالمقارنة بالولايات الشمالية التي تعتبر الفرق الحراري بين الجو الخارجي والحرارة المطلوبة للحفظ. ولذلك نقترح تحفيف البطاطس حتى 13% حيث يمكن حفظها في درجات الحرارة العادية وتجنب تعرضها للتعفن.

تمر عملية تحضير عينات التجربة على عدة مراحل وهي:

- ✓ اختيار درنات بطاطس متساوية الحجم، للحصول على مقاطع متساوية.
- ✓ غسل الدرناات لإزالة الشوائب والأوساخ.
- ✓ تقطيع الدرناات على شكل شرائح دائرية بسمك 0.0035 m [49] وللحجم المتساوي تأثير على حجم و وزن الشرائح.
- ✓ توزيع الشرائح على مساحة طبق التحفيف (0.83 m طول و 0.45 m عرض) بحيث نحصل على وزن 1120g بعدد شرائح يتراوح من 110 إلى 120 شريحة في الطبق ، بوزن يتراوح بين (9-10g) للشريحة الواحدة.

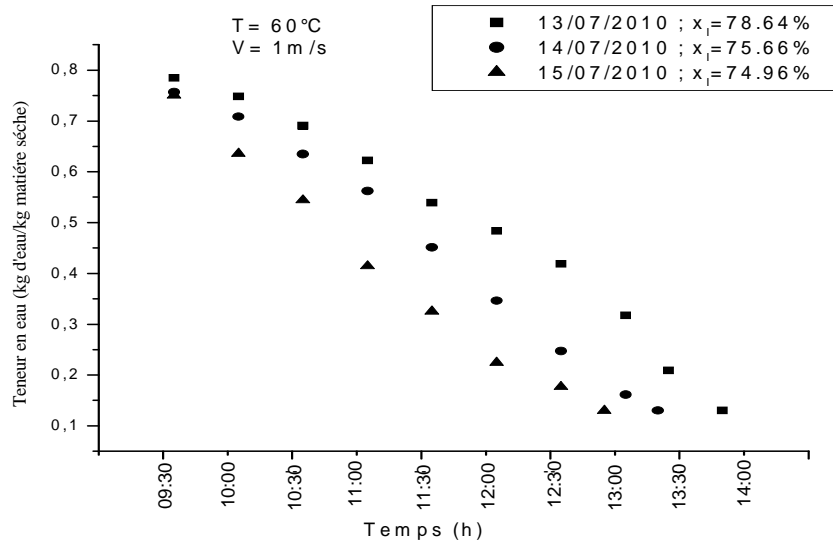
خلال أيام التجربة نقوم بأخذ 3 عينات يوميا لتحديد نسبة الماء الابتدائية بواسطة التحليل الرطوبي

العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	
75.79	74.19	75.53	$X_{i,1}(\%)$
77.00	73.75	75.08	$X_{i,2}(\%)$
82.59	79.05	74.28	$X_{i,3}(\%)$
78.46	75.66	74.96	$X_{i,m}(\%)$

الجدول (9.IV) تحديد نسبة الماء الابتدائية خلال أيام التجارب

(اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية).

خلال عملية التجفيف تنخفض نسبة الماء من X_i حتى نصل إلى نسبة الماء المثلى $X_i = 13\%$ التي يجب أن تبقى في البطاطس.



الشكل (27.IV) منحنى تغير نسبة الماء بدلالة الزمن (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية)

المنحنى (27.IV) يمثل تغير نسبة الماء في البطاطس بدلالة الزمن من النسبة الابتدائية المقاسة بواسطة جهاز التحليل الرطوبة إلى النسبة المثلى 13%، حيث نلاحظ أن زمن التجفيف يتغير من 4 ساعات و 25 دقيقة في اليوم الأول مع نسبة ماء ابتدائية 78.46%، أما في اليوم الثاني فتنقص المدة 3 ساعات و 45 دقيقة مع نسبة ماء ابتدائية 75.66%، و فياليوم الثالث انخفضت المدة أكثر 3 ساعات و 20 دقيقة مع نسبة ماء ابتدائية 74.96% .

ومنه نستنتج أنه كلما انخفضت نسبة الماء في منتج البطاطس ينخفض زمن التجفيف كذلك، وهذا الزمن يقارب الزمن المتحصل عليه عند (0.0035 m) Fahloul et alD. [49] ساعات و 10 دقائق.

1.F.7.IV الطاقة المنتجة من طرف اللاقط الشمسي (المرحلة الثالثة):

نستطيع حساب الطاقة المنتجة من طرف اللاقط الشمسي بمساعدة برنامج Origin6 وذلك بحساب مساحة المنحنى E_{Sol} ، حسب المعادلة (1.IV) المذكورة سابقا.

حيث:

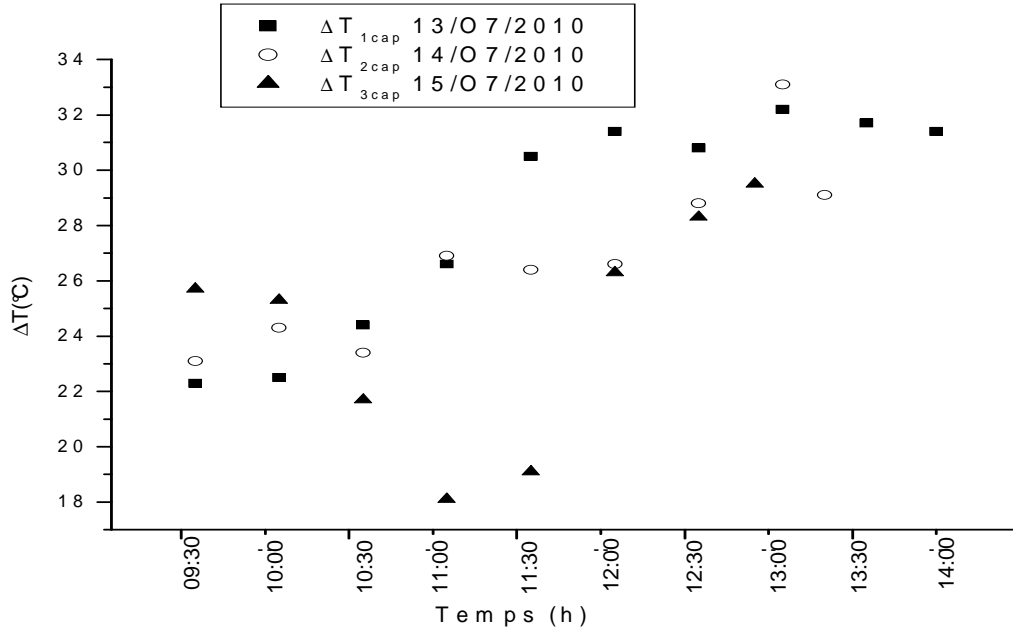
$$\checkmark \dot{m} : \text{التدفق الكتلي للهواء داخل المجفف الشمسي, و تحسب بالعلاقة التالية:}$$

$$\circ \dot{m} = \text{الكتلة الحجمية للهواء} \times \text{سرعة المروحة} \times \text{مساحة مقطع المروحة}$$

$$\circ \dot{m} = 1.293 \times 3.14 \times (0.165)^2 \times 1 = 0.11 \text{ kg/s}$$

$$\checkmark C_p : \text{السعة الحرارية للهواء الرطب } C_p = 1005 \text{ j/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\checkmark \Delta T : \text{فرق حرارة اللاقط الشمسي, تحسب مساحة المنحنى } \Delta T \text{ بمساعدة برنامج Origin6}$$



الشكل (28.IV) تغير فرق حرارة اللاقط بدلالة الزمن (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية).

باستعمال برنامج Origin6 نحصل على النتائج المدونة في الجدول (10.IV):

العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة
14.2	11.19	9.19
$E_{sol} (kWh)$		

الجدول (10.IV) الطاقة الشمسية المنتجة من طرف اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية.

2.F.7.IV. الطاقة الكهربائية المستهلكة (المرحلة الثالثة):

❖ الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة ($E_{el;vrl}$)

بما أن المروحة تشتغل باستمرار من بداية التجربة إلى بدايتها بدون انقطاع لضمان التدفق المنتظم للهواء الذي يجتاز طبق التجفيف، و لان الهواء الساخن في مثل هذه المجففات التي تملك غرفة تجفيف اخفض من مستوى خروج الهواء من اللاقط الشمسي عكس المجففات التي لها غرفة تجفيف أعلى من اللاقط الشمسي التي لا تحتاج لقوة ميكانيكية ويدعى مجففات الحمل الطبيعي. (راجع II. 20)

الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة خلال عملية التجفيف تحسب بالعلاقة (3.IV)، والنتائج ملخصة في الجدول (11.IV):

العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة
4.41	3.75	3.33
زمن التجفيف (h)		
0.24	0.20	0.18
$E_{el;vrl} (kWh)$		

الجدول (11.IV) الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة

(اللاقط المزود بالعوائق و باستعمال المقاومة الكهربائية).

❖ الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية: ($E_{el;rst}$)

المقاومة الكهربائية مزودة بمنظم الحرارة (thermostat) تشتغل عندما تنخفض الحرارة على القيمة المقدمة لمنظم الحرارة وتتوقف عندما ترتفع الحرارة ، فالمقاومة تشتغل وتتوقف باستمرار من 09:30 حتى 10:30، لمعرفة الطاقة المستهلكة الكهربائية المستهلكة نقوم بربط المقاومة بعدد كهربائي فنحصل على القيم المدونة في الجدول الموالي خلال أيام التجارب .

العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	$E_{el;rst} (kWh)$
0.50	0.34	1.10	

الجدول(12.IV)الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومتين الكهربائيتين

(اللاقط المزود بالعوائق و باستعمال المقاومة الكهربائية)

من خلال الجدول(11.IV)، نلاحظ أن الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة تتناسب طرديا مع زمن التجهيف، كلما زاد زمن التجهيف تزداد الطاقة المستهلكة و إذ انخفض زمن التجهيف تنخفض الطاقة الكهربائية. أما في الجدول(12.IV)، فلا نلاحظ هذا التناسب لأن زمن عمل المقاومة يتوقف على الطاقة المقدمة من طرف اللاقط الشمسي ففي العينة الأولى والثانية فيلاحظ اختلاف طفيف وذلك للظروف الجوية المتشابهة , أما في اليوم الثالث فنلاحظ فرق واضح وهذا راجع لحالة الجو المغيمة الذي بدوره يؤثر على الإشعاع الشمسي الساقط و بالتالي على المقدار الطاقوي المقدم من طرف اللاقط.

3.F.7.IV. الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجهيف(المرحلة الثالثة) :

بما أن المحفف هجين فهو يشتغل على مصدرين من الطاقة مختلفين، فالطاقة المستهلكة خلال ساعات التجهيف هي مجموع الطاقة الشمسية المنتجة بواسطة اللاقط الشمسي بالإضافة للكمية التي يتم تسخينها بالطاقة الكهربائية، كذلك يتم احتساب الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة التي تضمن الحركة المستمرة للهواء.الطاقة الكلية المستهلكة تحسب بالعلاقة (5.IV)، و النتائج المتحصل عليها ملخصة في الجدول (13.IV):

العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	$E_{sol} (kWh)$
14.2	11.19	9.19	
0.24	0.20	0.18	$E_{el;vrl} (kWh)$
0.50	0.34	1.10	$E_{el;rst} (kWh)$
14.94	11.64	10.47	$E_{Totale} (kWh)$

الجدول(13.IV)الطاقة الكلية المستهلكة خلال عملية التجهيف(اللاقط المزود بالعوائق و باستعمال المقاومة الكهربائية).

4.F.7.IV. النسبة الطاقوية(المرحلة الثالثة):

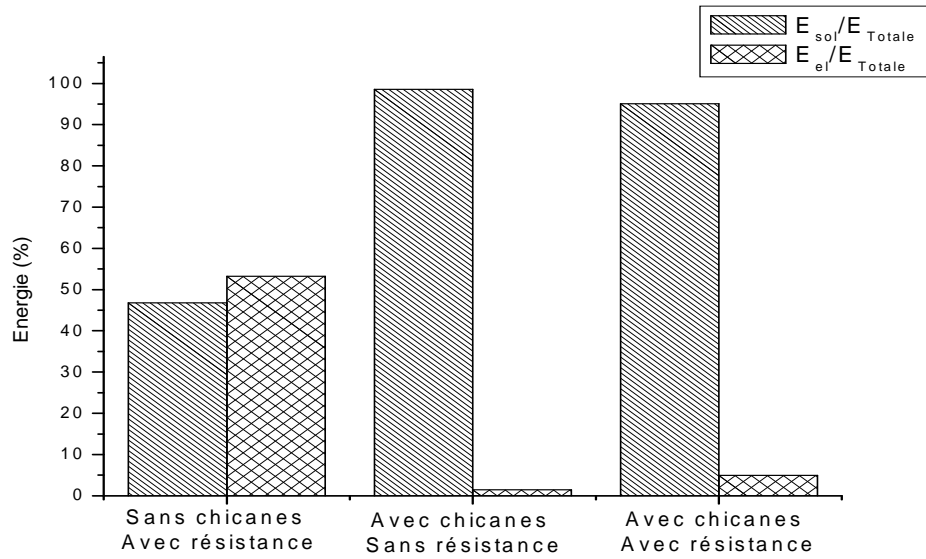
لحساب النسب الطاقوية لكلا المصدرين نستعمل العلاقتين (5.IV) و(6.IV)، والنتائج ملخصة في الجدول (14.IV):

العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	
95.0	96.13	87.77	$E_{sol}(\%)$
4.96	3.87	12.23	$E_{el}(\%)$

الجدول (14.IV) النسب الطاقوية المستهلكة خلال عملية التحفيف لكل من المصدرين (اللاقط المزود بالعوائق وباستعمال المقاومة الكهربائية).

نلاحظ من الجدول (14.IV)، أن الطاقة الشمسية ساهمت بنسبة كبيرة بالمقارنة بالطاقة الكهربائية التي تمثل نسبة قليلة، ولكن هذه النسب تتأثر مباشرة بالحالة الجوية للمنطقة، كما سجلنا في العينة الثالثة من التجربة بالرغم أننا في منتصف جويلية الذي يتميز بالحرارة المرتفع والرطوبة المنخفضة التي تصل إلى 10%، لكن المقاومة تشتغل إلى غاية منتصف النهار حسب كثافة السحب. ومنه نستطيع القول أنه في حالة الجو الصافي يمكن الإعتماد على 95% من الطاقة الشمسية المنتجة من طرف اللاقط الشمسي المسطح في نفس الشروط التجريبية السابقة.

G.7.IV مقارنة نتائج المراحل الثلاثة السابقة:



الشكل (29.IV) رسم بياني يقارن بين نسب الطاقة الشمسية و الطاقة الكهربائية خلال المراحل التجريبية الثلاث.

من الرسم البياني (29.IV)، نلاحظ مدى التحسين في نسبة الطاقة الشمسية المساهمة في التحفيف من 46.79% إلى 95% من الطاقة الكلية للتحفيف. أما من ناحية الإعتماد الكلي على الطاقة الشمسية والإستغناء على المقاومة الكهربائية، فحسب المرحلة الثانية فهو ممكن لكن زمن التحفيف يزيد لعدم الاستقرار في الطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط، التي تتميز بالزيادة حتى تبلغ الذروة ثم تنخفض بعد ذلك بالمقارنة بإضافة المقاومة التي تضمن تحفيف وفق حرارة ثابتة وزمن اقصر.

الخلاصة

من خلال العمل التجريبي الذي قمنا به على المجفف الشمسي الغير مباشر المجين، والذي يهدف أساسا إلى تحسين المردود اليومي للطاقة الشمسية المتحصل عليها من طرف اللاقط الشمسي المسطح، وتم هذا التحسين على مستوى الصفيحة الماصة وذلك بإضافة عوائق عرضية بطول 75% من العرض الكلي لللاقط الذي يقدر ب0.86m، و إرتفاع مساوي لمسلك الهواء الذي يجتاز بين الزجاج و الماص الحراري، ومسافة فاصلة بين كل عائقين تقدر ب0.20m.

وينقسم عملنا التجريبي إلى جزئين:

❖ **الجزء الأول:** و بدوره ينقسم إلى مرحلتين، مرحلة ما قبل التحسين ومرحلة ما بعده.

○ في المرحلة الأولى، قبل تحسين اللاقط الشمسي المسطح تحصلنا على تغير في زيادة درجة حرارة الهواء بالنسبة لوحدة الإشعاع الشمسي وقت الذروة من $12.57^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ وانخفضت إلى $5.72^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ ، و هذا عند زيادة سرعة حركة الهواء (سرعة المروحة) من 0.4m/s إلى 2.5m/s ، و منه نستنتج أن لسرعة الهواء علاقة عكسية مع الفرق الحراري لللاقط.

○ وفي المرحلة الثانية، عند إضافة العوائق لللاقط السابق تحصلنا على تحسن في زيادة درجة حرارة الهواء بالنسبة لوحدة الإشعاع الشمسي، حيث بلغت $20.18^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ عند سرعة الهواء 0.4m/s (سرعة منخفضة للمروحة)، و وصلت إلى $11.84^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ ، و هذا عند سرعة الهواء 2.5m/s (اقصى سرعة للمروحة).

○ أما من ناحية الطاقة الحرارية اليومية، فبلغت نسبة الزيادة الحرارية حوالي 200% للطاقة الشمسية لللاقط المزود بهذا النوع من العوائق، مقارنة بالنتائج المتحصل عليها من طرف نفس اللاقط قبل إجراء عملية التركيب للعوائق، غير أن هذه الزيادة تتغير بتغير حالة الجو، مثل الغيوم.

❖ **الجزء الثاني:** و بدوره ينقسم إلى ثلاثة مراحل، وهي كالتالي:

○ المرحلة الأولى، حالة التحفيف بواسطة اللاقط الشمسي بدون عوائق (قبل التحسين)، وقد سجلنا مساهمة بنسبة 46.79% للطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط الشمسي، ونسبة 53.21% للطاقة الحرارية المقدمة من طرف المقاومة الكهربائية وهذا باحتساب الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المروحة الكهربائية التي تضمن الحركة المستمرة للهواء.

○ المرحلة الثانية، حالة التحفيف بالاعتماد على الطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط الشمسي المزود بالعوائق فقط و الاستغناء على استعمال المقاومة الكهربائية، فارتفع الوقت المستغرق إلى الضعف تقريبا حيث ارتفع من 7 ساعات إلى 13 ساعة و30 دقيقة خلال عملية تحفيف التمر، وكانت نسبة استهلاك الطاقة الكهربائية بنسبة 1.43%، وهي الطاقة المستهلكة من طرف المروحة الكهربائية فقط.

○ **المرحلة الثالثة،** حالة التجفيف بالاعتماد على الطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط الشمسي المزود بالعوائق وطاقة المقاومة الكهربائية معا، وصل الاعتماد على الطاقة الحرارية المقدمة من طرف اللاقط الشمسي المسطح إلى نسبة 95% و انخفض استهلاك الطاقة الكهربائية إلى نسبة 5% فقط ، ومن هذه النسب يمكن تسميته لاقط شمسي هجين.

غير أن هذه النسبة من الطاقة الشمسية لها علاقة بعدة عوامل منها الداخلية كنسبة الماء الابتدائية في منتج البطاطس تتغير حسب درجة نضج الثمار، والتي تحتوي على أكبر نسبة من الماء تستغرق وقت أكبر بالنسبة للتي تحتوي نسبة اقل من الماء. ومنها عوامل خارجية متعلقة بالجو والتي من أهمها الغيوم، التي أثرت على النسبة السابقة وانخفضت إلى 87%، و ارتفعت نسبة استهلاك الطاقة الكهربائية إلى 13% لتعويض النقص بالرغم من أن التجربة أجريت خلال شهر جويلية الذي يتميز بدرجة مرتفعة تصل إلى حدود 50°C.

وفي الأخير نقتراح استعمال مجففين لإجراء مثل هذه الدراسة، واحد شاهد بدون عوائق، وآخر مدروس تجري عليه التحسين، وهذا لتغير الأحوال الجوية مما يؤثر على الطاقة الشمسية المقدمة كمصدر للطاقة الحرارية للمجمع الشمسي.