

نمذجة الفرن الشمسي واختباره

الدكتور مسعود صبيح*

(تاريخ الإيداع 24 / 9 / 2007. قُبل للنشر في 14/11/2007)

□ الملخص □

سندرس في هذا البحث نموذج الفرن الشمسي (Sun Oven) من أجل الحصول على التسخين الحراري المطلوب لمحتويات وعاء الطهي للفرن الشمسي. إن إضافة مواصفات تصميمية ممثلة باستخدام عدسات أو عواكس للأشعة الشمسية، وإسقاطها مباشرة على قاعدة الفرن الشمسي، أثرت على نحو مباشر على نتائج العمل والأداء وأسهمت في زيادة المردود الحراري للفرن الشمسي. إن هذه الدراسة يمكن تصنيفها في دراسة نظرية تحليلية ودراسة عملية تطبيقية.

الدراسة النظرية تمثلت بإعداد النمذجة الرياضية لكل أجزاء ومكونات الفرن الشمسي، من خلال استخدام معاملات الانتقال الحراري الى داخل الفرن الشمسي كقدرة حرارية مكتسبة وإلى الوسط الخارجي كمفايد أو ضياعات. الدراسة العملية أو التطبيقية أتت من خلال الإجراء التجريبي للفرن الشمسي في بلدة غباغب التابعة إلى محافظة درعا، والقيام برصد ومراقبة السلوك الحراري للفرن الشمسي وتسجيل بيانات الحرارة المكتسبة مع الزمن. إجراء المقارنة بين الدراسة النظرية والإجراء التطبيقي واستنتاج التوصيات المفيدة للعمل المستقبلي.

كلمات مفتاحية: فرن شمسي، إشعاع شمسي منعكس، تسخين بالحمل الحراري، إشعاع حراري، إشعاع شمسي مباشر.

* استاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

Modeling and Testing the Sun Oven

Dr. Massoud Sabyh*

(Received 24 / 9 / 2007. Accepted 14/11/2007)

□ ABSTRACT □

We study in this research a model of sun oven to obtain thermal heating required for the contents of a cooking pot for sun oven. Adding designative specification represented by the usage of lens and reflectors of solar radiation and projecting it directly on the base of sun oven had affected directly the results of work and performance and contributed to increasing the thermal efficiency of the sun oven.

This study is both theoretical analytical. The theoretical part is represented in the preparation of mathematical modeling of all parts and components of the sun oven by usage of thermal transmission coefficients into the sun oven as a gained thermal power and to the external media as losses and wastes. The practical or applied part is represented in the experimental procedure of the sun oven in Ghabagheb town of Daraa Governorate and in the control and supervision of thermal temperature of sun oven and registry of statements of gained temperature through time.

The paper ends with a comparison between the theoretical study and applied procedure as well as a conclusion of a useful recommendation for future work.

Key Words: Sun oven, Reflector surface, Convection of heat, Radiation heat, Direct solar radiation.

* Associate Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- المقدمة:

إن الفرن الشمسي يحول طاقة الإشعاع الشمسي (Energy of solar radiation) إلى طاقة حرارية (Heat energy) تستعمل لغاية الطهي والطبخ. في السنوات القليلة الماضية نجد أن الكثير من البلدان وخاصة ذات المناخ الحار تستخدم الفرن الشمسي [1]، بسبب الارتفاع المتزايد لسعر الوقود البترولي بالإضافة الى النقص الحاد في حجم الغابات التي كانت منتجة للأخشاب من أجل استخدامها كمصدر للطاقة الحرارية اللازمة، وأيضاً لما يتميز به من بساطة في التصميم وانخفاض في التكاليف، إذ يمكن استخدامه في أي موضع شريطة أن تتوفر طاقة الإشعاع الشمسي فيه. إن الفرن الشمسي يمتاز بمردود جيد بالمقارنة مع الفرن التقليدي على اختلاف أنواع الطاقة المستخدمة، فمردود الفرن التقليدي يصل في بعض الأحيان الى 6% وهناك ضياعات في الطاقة تصرف على هيئة بخار تقدر بحوالي 30% [2].

إن هذه الدراسة للفرن الشمسي يمكن تقسيمها الى محورين:

المحور الأول شمل الدراسة النظرية أو التحليلية (The theoretical study) لعمل الفرن الشمسي وذلك عن طريق النمذجة الرياضية (Mathematical model) لآلية العمل مع الأخذ بالحسبان معاملات الانتقال الحراري (Thermal transmission coefficient) للقدرة الحرارية المكتسبة والضائعة، وأيضاً دراسة تأثير عوامل المناخ المحيطة في أداء الفرن الشمسي، ثم صياغة برامج على الحاسوب للتوصل إلى معرفة السلوك اللحظي وإظهار النتائج بمنحنيات بيانية تعكس آلية العمل أو السلوك الحراري المتوقع للفرن الشمسي.

المحور الثاني اختص بالدراسة التجريبية (Practical study) للفرن الشمسي ضمن ظروف عمل طبيعية وذلك من خلال عدة حالات أجريت في بلدة غباغب التابعة لمحافظة درعا ثم القيام بالرصد والمراقبة وتسجيل البيانات الخاصة بالحرارة المكتسبة وتحويلها الى منحنيات بيانية تعبر عن القدرة الحرارية المكتسبة بمرور الزمن. وسنقوم بالمقارنة بين السلوك الحراري المتوقع من خلال الدراسة النظرية أو التحليلية للفرن الشمسي وآلية العمل التطبيقية للإجراء التجريبي ثم صياغة الاستنتاجات والتوصيات المناسبة.

2- أهمية البحث وأهدافه:

إن الكلفة المرتفعة للوقود البترولي والازدياد المستمر لها، وكذلك انخفاض مساحة الغابات التي كانت مصدراً للأخشاب من أجل الحصول على الطاقة الحرارية اللازمة لأعمال الطهي، جعلاً ضرورياً للبحث عن آلية جديدة توفر القدرة اللازمة لعملية الطهي. قد يكون الفرن الشمسي لما يمتاز به من بساطة في العمل، وانعدام كلفة التشغيل، والأمان ووجود حماية من التلوث، خير بديل للأفران التي تعمل بالطاقة التقليدية. حيث يحول الفرن الشمسي طاقة الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية بدون أية آثار ضارة بالبيئة.

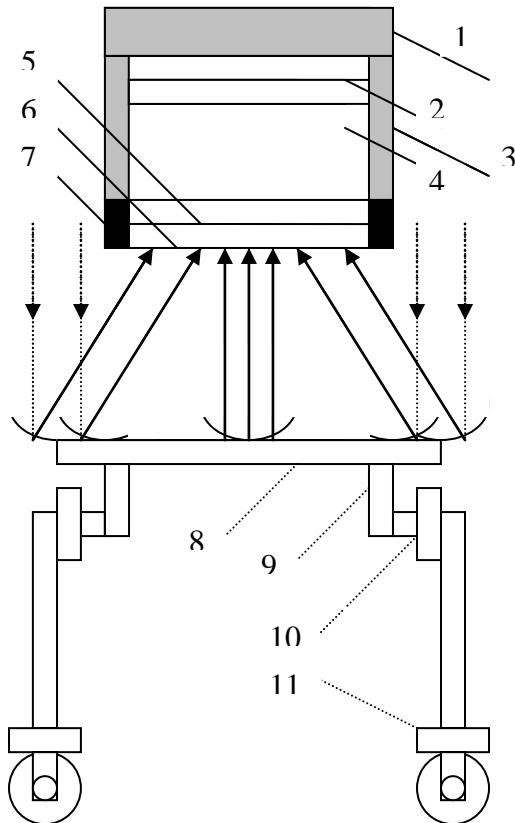
يهدف هذا البحث الى دراسة السلوك الحراري للفرن الشمسي مع الأخذ بالحسبان دراسة تأثير العدسات أو العواكس للأشعة الشمسية كميزة إضافية بالمقارنة مع الأنواع الأخرى على آلية العمل للفرن الشمسي. وتضمن هذا البحث أيضاً الدراسة الرياضية أو التحليلية بالإضافة الى الدراسة العملية أو التجريبية لأداء الفرن الشمسي.

3-طريقة البحث ومواده:

3-1-الدراسة التصميمية:

إن الفرن الشمسي موضوع هذه الدراسة تم تحسين أدائه باستخدام العدسات أو المرايا العاكسة للأشعة الشمسية (Reflectors of solar radiation)، باستخدام نظام ملاحقة (Tracking system) يدوي بحيث يمكن التحكم بالعوكس السابقة وبحيث يتم إسقاط الأشعة الشمسية على القاعدة السفلية للفرن الشمسي. يتم تسليط هذه الأشعة على شكل حزم مركزة بحيث يكون الفرن الشمسي متوضعا في محرق هذه العدسات أو المرايا، وبذلك نحصل على معدلات جيدة لازدياد درجة الحرارة. إن المرايا أو العدسات العاكسة للأشعة الشمسية ستجعل عمل الفرن الشمسي غير مرتبط كثيرا بسرعة الرياح، وستقل تأثيرها في مستوى كفاءة العمل. إن المستقبل للأشعة الشمسية المعكوسة من المرايا أو العدسات يمثل صفيحة من النحاس، تكون على تماس مع قاعدة وعاء الطهي المصنوع من معدن الستالس ستيل. هذه الصفيحة معزولة عن الوسط الخارجي بلوح من الزجاج لتخفيف الفقد والضياعات للقدرة الحرارية، وهي بذلك ستكون بمثابة مجمع للقدرة الحرارية.

إن أجزاء ومكونات الفرن الشمسي، ومادة التصنيع لكل منها، وآلية الملاحقة للأشعة الشمسية وعملية تسليطها من خلال العواكس إلى قاعدة الفرن الشمسي موضحة في الشكل (1).



No	اسم الجزء	مادة الصنع
1	غطاء فتحة الفرن	خشب
2	غطاء عزل	زجاج
3	عازل جانبي	خشب
4	وعاء طهي	ستالس
5	صفيحة امتصاص	نحاس
6	قاعدة الفرن	زجاج
7	نقاط تثبيت	حديد
8	قاعدة حمل العواكس	ألمنيوم
9	حامل متحرك للعواكس	ألمنيوم
10	معدل وضعية (ملاحقة)	ألمنيوم
11	قاعدة	حديد

الشكل (1): أجزاء ومكونات الفرن الشمسي وآلية تسليط الأشعة الشمسية من العواكس باستخدام نظام الملاحقة.

3-2-النموذج الرياضي للفرن الشمسي:

إن النمذجة الرياضية تهدف إلى تمثيل السلوك الحراري للفرن الشمسي بغاية التوصل إلى حالة التشغيل الأمثل ثم مقارنة النتائج النظرية التي نحصل عليها بالنتائج التجريبية من أجل شروط تشغيل متماثلة. لإجراء هذه الدراسة سوف يلزم تحديد القيم الخاصة بمعاملات الانتقال الحراري، وأيضاً سوف نحتاج إلى بيانات وعوامل المناخ لأنها على صلة مباشرة بعمل الفرن الشمسي. إن قيم معاملات الانتقال الحراري لمختلف أجزاء الفرن الشمسي ستحدد من مراجع مختصة كما ستبينه الدراسة التالية. أما بيانات المناخ فسنعتمد البيانات الخاصة بموقع إجراء الاختبار العملي. إن الإجراء العملي تم القيام به في بلدة غباغب التابعة لمحافظة درعا وتقع على بعد 50[Km] إلى الشمال من المحافظة على خط العرض $33^{\circ} 10'$. لقد شملت بيانات المناخ قيم الإشعاع الشمسي ((Solar radiation($S_r [W/m^2]$ ، وسرعة الرياح ($V_w [m/Sec.]$)) ودرجات حرارة الوسط الخارجي والتي اعتمدت كحرارة أولية لعمل الفرن الشمسي ($T_a [^{\circ}C]$)). إن بيانات المناخ السابقة تمثل قيماً وسطية لبيانات مأخوذة من خلال محطات الأرصاد الجوية خلال خمس سنوات متتالية، وهي قيم يومية تم تحويلها إلى قيم ساعية تقريبية من أجل ثلاثة أشهر من العام موافقة لفترة إجراء الدراسة التجريبية كما هو موضح بالجدول (1) [3]:

جدول(1):بيانات المناخ لبلدة غباغب كقيم متوسطة ساعية للإشعاع الشمسي (S_r) وسرعة الرياح (V_w) ودرجات حرارة الوسط الخارجي (T_a).

الشهر	التوقيت المناخ ↓	10 am	11 am	12 pm	13 pm	14 pm	15 pm
		بيانات					
تموز	$S_r [W/m^2]$	828	920	1012	930	860	800
	$V_w [m/Sec.]$	3.5	2.9	2.8	3.0	3.0	3.2
	$T_a [^{\circ}C]$	28.5	30.0	31.0	32.0	32.0	32.0
آب	$S_r [W/m^2]$	800	880	990	900	840	790
	$V_w [m/Sec.]$	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7
	$T_a [^{\circ}C]$	29.0	31.0	32.0	33.8	33.5	32.6
أيلول	$S_r [W/m^2]$	770	820	930	860	820	780
	$V_w [m/Sec.]$	2.3	2.2	2.0	1.9	1.9	2.1
	$T_a [^{\circ}C]$	28.4	29.6	30.9	32.0	32.5	31.5

إن عمليات التبادل الحراري لأجزاء الفرن الشمسي بدءاً من الطاقة الحرارية المحمولة بواسطة الأشعة الشمسية وانتهاءً بالطاقة الحرارية المكتسبة من قبل محتويات وعاء الطهي للفرن الشمسي يمكن تقسيمها إلى المراحل التالية:
المرحلة الأولى:زجاج الفرن الشمسي:

للفرن الشمسي طبقة خارجية من الزجاج وهي تعد الممر الأول للأشعة الشمسية القادمة من العدسات أو المرايا العاكسة إلى الأجزاء الداخلية للفرن الشمسي مروراً بصفيحة الامتصاص النحاسية (انظر الدراسة التصميمية). إن استقبال قدرة الإشعاع الشمسي من قبل الزجاج يكون بطريقتي الحمل والإشعاع الحراري، وهناك قسم يتم استقباله من قبل وعاء الطهي من خلال الزجاج. هذه القدرة المكتسبة تسهم في زيادة القدرة الحرارية الداخلية للزجاج. وهناك قسم آخر يضيع ويبدد في الوسط الخارجي، ويمكن التعبير عن حالة التوازن الحراري بحسب آلية انتقال القدرة الحرارية بالعلاقة التالية:

$$Q_{GBG} + Q_{GCG} + Q_{GRG} = Q_{GRL} + Q_{GCL} + m_G c_G \frac{dT_G}{dt} \quad (1)$$

Q_{GBG} [W]: قدرة حرارية للإشعاع الشمسي مكتسبة من قبل وعاء الطهي من خلال زجاج الفرن الشمسي.

Q_{GCG} [W]: قدرة حرارية للإشعاع الشمسي مكتسبة من قبل زجاج الفرن الشمسي بطريقة الحمل الحراري.

Q_{GRG} [W]: قدرة حرارية للإشعاع الشمسي مكتسبة من قبل زجاج الفرن الشمسي بطريقة الإشعاع الحراري.

Q_{GRL} [W]: قدرة مفقودة إلى الوسط الخارجي بطريقة الإشعاع الحراري.

Q_{GCL} [W]: قدرة مفقودة إلى الوسط الخارجي بطريقة الحمل الحراري.

$m_G c_G \frac{dT_G}{dt}$: قدرة حرارية تسهم في زيادة القدرة الداخلية لطبقة الزجاج للفرن الشمسي.

m_G [Kg]: كتلة طبقة الزجاج للفرن الشمسي (النموذج المستخدم $m_G = 1.5$ [Kg])

c_G [KJ/Kg °C]: الحرارة النوعية للزجاج ($c_G = 836.0$ [J/Kg °C]).

T_G [°C]: حرارة زجاج الفرن الشمسي.

t: زمن العمل

إن القدرة الحرارية للإشعاع الشمسي المكتسبة من قبل وعاء الطهي من خلال زجاج الفرن الشمسي تعطى بدلالة

قيمة الإشعاع الشمسي المنبعث من العواكس أو صفيحة الامتصاص حسب العلاقة التالية:

$$Q_{GBG} = A_G \frac{1 + R_R \alpha_G}{1 + R_R R_G} \quad (2)$$

A_G : معامل امتصاص الزجاج للأشعة الشمسية ($A_G = 0.025$).

R_R : معامل انعكاس سطح المستقبل للأشعة الشمسية ($R_R = 0.16$ [4]).

R_G : معامل انعكاس الزجاج للأشعة الشمسية ($R_G = 0.1$ [5]).

α_G : ناقلية الزجاج ($\alpha_G = 0.888$).

إن القدرة الحرارية للأشعة الشمسية المكتسبة من قبل زجاج الفرن الشمسي بطريقة الحمل الحراري تعطى بالعلاقة

التالية:

$$Q_{GCG} = h_{RG} S_{base} (T_R - T_G) \quad (3)$$

h_{RG} [W/m² °C]: معامل الانتقال الحراري للطبقة الهوائية بين السطح الخارجي لصفيحة

الامتصاص (المستقبل) للأشعة الشمسية وزجاج الفرن الشمسي ($h_{RG} = 2.9$ [W/m² °K] [6]).

S_{base} [m²]: مساحة السطح الخارجي لوعاء الطهي الذي يستقبل الإشعاع الشمسي (النموذج المستخدم

$S_{base} = 0.08$ [m²]).

القدرة الحرارية للأشعة الشمسية المكتسبة من قبل زجاج الفرن الشمسي بطريقة الإشعاع الحراري:

$$Q_{GRG} = \frac{K S_{base} (T_R^4 - T_G^4)}{(1/E_G) + (1/E_R) - 1} \quad (4)$$

E_G : معامل إصدار الأشعة الشمسية للزجاج ($E_G = 0.88[7]$).

E_R : معامل إصدار الأشعة الشمسية لسطح المستقبل ($E_R = 0.85[8]$).

القدرة الضائعة من الزجاج إلى الوسط الخارجي بطريقة الإشعاع الحراري بدلالة معامل إصدار الأشعة الشمسية

للزجاج ومساحة السطح الكلي للزجاج تعطى من خلال العلاقة التالية:

$$Q_{GRL} = K E_G S_G (T_G^4 - T_a^4) \quad (5)$$

K : ثابت بولتزمان ($K = 5.670 * 10^{-8} [W/m^2 \text{ } ^\circ K^4]$)

S_G : مساحة السطح الكلي للزجاج (النموذج المستخدم $[m^2]$ ($S_G = 0.01[m^2]$).

T_a : حرارة الهواء الخارجي (تعتمد القيم الواردة بالجدول (1)).

القدرة الضائعة من الزجاج إلى الوسط الخارجي بطريقة الحمل الحراري بدلالة معامل الانتقال الحراري بين

السطح الخارجي للفرن الشمسي والوسط الخارجي ومساحة السطح الكلي للزجاج تعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{GCL} = h_{out} S_G (T_G - T_a) \quad (6)$$

معامل الانتقال الحراري بين السطح الخارجي للفرن الشمسي والوسط الخارجي ويتعلق هذا

المعامل بسرعة الرياح V_W ويعطى من خلال العلاقة: ($5.7 + 3.8 V_W [6]$)

المرحلة الثانية: وعاء الطهي للفرن الشمسي:

تسخين وعاء الطهي يكون من خلال الأشعة الشمسية المباشرة الصادرة من قبل العواكس إلى صفيحة

الامتصاص الحراري المتوضعة بمحاذاة القاعدة، والقدرة الحرارية المكتسبة من قبل وعاء الطهي تعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{PG} = Q_{PSL} + Q_{PCL} + Q_{PRL} + Q_{Food} + m_R c_R \frac{dT_R}{dt} \quad (7)$$

Q_{PSL} [W]: ضياعات في القدرة الحرارية بطريقة الحمل الحراري من خلال جوانب الفرن الشمسي.

Q_{PCL} [W]: ضياعات في القدرة الحرارية بطريقة الحمل الحراري في الطبقة الزجاجية للقاعدة.

Q_{PRL} [W]: ضياعات في القدرة الحرارية بطريقة الإشعاع الحراري في الطبقة الزجاجية للقاعدة.

Q_{Food} [W]: القدرة الحرارية المفيدة الممتصة من قبل محتويات وعاء الطهي.

$m_R c_R \frac{dT_R}{dt}$ [W]: القدرة الحرارية المسهمة في زيادة القدرة الداخلية لصفيحة الامتصاص لنقلها إلى وعاء

الطهي.

m_R [Kg]: كتلة صفيحة الامتصاص (المستقبل الحراري) لوعاء الطهي (النموذج المستخدم $[m_R = 1[Kg]]$).

c_R [KJ/Kg $^\circ C$]: الحرارة النوعية لصفيحة الامتصاص (المستقبل الحراري) لوعاء الطهي (النموذج المستخدم

$[c_R = 383.1[J/Kg \text{ } ^\circ K]$).

T_R [°C]: حرارة سطح صفيحة الامتصاص (المستقبل) للإشعاع الشمسي.

حساب القدرة الحرارية المكتسبة من خلال وعاء الطهي بدلالة قيمة الأشعة المعكوسة على قاعدة الفرن وعامل الامتصاص الفعال للمستقبل (صفيحة الامتصاص) من خلال العلاقة التالية:

$$Q_{PG} = E_{AG} Q_{RSG} \quad (8)$$

حيث:

$$E_{AG} = E_{AR} (\alpha_G / (1 - R_R R_G))$$

$$Q_{RSG} = R_{ref} R_{sh} \eta_R S_r S_{ref}$$

$$R_{sh} = 1 - \frac{S_{sh}}{S_{ref}}$$

E_{AG} : الامتصاص الفعال لسطح المستقبل الزجاجي.

Q_{RSG} [W]: قدرة الأشعة الشمسية اللحظية المنبعثة من العواكس باتجاه الفرن الشمسي.

E_{AR} : معامل الامتصاص لصفيحة امتصاص الأشعة الشمسية (القيمة المعمول بها [4] $E_{AR} = 0.85$).

α_G : ناقلية الزجاج ($\alpha_G = 0.875$).

R_R : معامل انعكاس سطح المستقبل للأشعة الشمسية ($R_R = 0.16$ [4]).

R_G : معامل انعكاس الزجاج للأشعة الشمسية ($R_G = 0.1$ [5]).

R_{ref} : معامل انعكاس العدسات أو العواكس للأشعة الشمسية ($R_{ref} = 0.85$ [4]).

R_{sh} : عامل تظليل للفرن الشمسي ($R_{sh} = 0.95$ [9]).

η_R : مردود عدسات تكثيف الأشعة الشمسية، القيمة المعمول بها ($\eta_R = 60\%$).

S_r [W/m^2]: الإشعاع الشمسي المباشر (نعتمد القيم الواردة بالجدول (1)).

S_{ref} [m^2]: مساحة مسقط العواكس (القيمة المعمول بها [m^2] 1.25).

S_{sh} [m^2]: مساحة مسقط ظل الفرن الشمسي على العواكس وتتعلق بسطح القاعدة.

الضياعات في القدرة الحرارية من خلال جوانب الفرن الشمسي (طريقة الحمل الحراري) تعطى بدلالة السطح

الجانبى وحرارة صفيحة سطح الامتصاص للفرن الشمسي بالعلاقة التالية:

$$Q_{PSL} = \frac{2 S_{side} (T_R - T_a)}{x_I / \alpha_I + 1 / h_{out}} \quad (9)$$

S_{side} [m^2]: مساحة السطح الجانبى لوعاء الطهي (النموذج المستخدم [m^2] $S_{side} = 0.04$).

x_I [m]: سماكة العازل على جوانب الفرن الشمسي (النموذج المستخدم [m] $x_I = 0.025$).

α_I [$W/m \text{ } ^\circ C$]: الناقلية الحرارية للجانب المعزول (العازل المستخدم [$W/m \text{ } ^\circ C$] $\alpha_I = 0.1$).

الضياعات في القدرة الحرارية من خلال الطبقة الزجاجية لقاعدة الفرن الشمسي بطريقة الحمل الحراري تعطى

بدلالة مساحة السطح الخارجى لوعاء الطهي وأيضا درجة حرارة طبقة الزجاج للفرن الشمسي وذلك حسب العلاقة

التالية:

$$Q_{PCL} = h_{RG} S_{base} (T_R - T_G) \quad (10)$$

تم التعامل مع هذه الضياعات على أنها قدرة مكتسبة بالنسبة للطبقة الزجاجية لقاعدة الفرن الشمسي (Q_{GCG})، وهي قادمة من وعاء الطهي وتمثل قدرة ضائعة بالنسبة له (انظر الشكل (2)). إن معامل الانتقال الحراري للطبقة الهوائية بين السطح الخارجي لصفحة الامتصاص للأشعة الشمسية وزجاج الفرن الشمسي يعطى بالقيمة ($h_{RG} = 2.9[W/m^2 \text{ } ^\circ K]$) [10].

الضياعات في القدرة الحرارية من خلال الطبقة الزجاجية لقاعدة الفرن الشمسي بطريقة الإشعاع الحراري تعطى بدلالة مساحة السطح الخارجي لوعاء الطهي وبدلالة درجة الحرارة لزجاج الفرن الشمسي بالعلاقة التالية:

$$Q_{PRL} = \frac{K S_{base} (T_R^4 - T_G^4)}{(1/E_G) + (1/E_R) - 1} \quad (11)$$

لقد تم التعامل مع هذه الضياعات على أنها قدرة حرارية مكتسبة من قبل زجاج الفرن الشمسي للقاعدة (Q_{GRG}) وهي قادمة من وعاء الطهي، وكما ذكرنا أعلاه فهي قدرة ضائعة بالنسبة له، انظر الشكل (2).

المرحلة الثالثة: محتويات وعاء الطهي:

إن مكونات المادة المعدة للطهي داخل وعاء الطهي تمثل المحطة الأخيرة لانتقال القدرة الحرارية المحمولة بواسطة الإشعاع الشمسي لتحويلها إلى قدرة حرارية مفيدة تعطي الحرارة اللازمة لمحتويات وعاء الطهي، ويتم انتقال هذه القدرة الحرارية بطريقة الحمل الحراري وتعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{Food} = Q_{Cover} + m_{Food} c_{Food} \frac{dT_{Food}}{dt} \quad (12)$$

Q_{Cover} [W]: قدرة حرارية ضائعة من خلال غطاء الفرن إلى الوسط الخارجي.

$m_{Food} c_{Food} \frac{dT_{Food}}{dt}$ [W]: القدرة الحرارية المفيدة لزيادة القدرة الداخلية لمحتويات وعاء الطهي.

m_{Food} [Kg]: كتلة أو وزن محتويات وعاء الطهي.

c_{Food} [KJ/Kg $^\circ C$]: الحرارة النوعية لمحتويات وعاء الطهي.

T_{Food} [$^\circ C$]: درجة الحرارة لمحتويات وعاء الطهي.

ولكن القدرة الحرارية المكتسبة من قبل محتويات وعاء الطهي تتعلق بمعامل الانتقال الحراري وسطح وعاء الطهي الناشر للحرارة وبذلك يمكن أن نكتب العلاقة التالية:

$$Q_{Food} = h_{Food} S_{in} (T_R - T_{Food}) \quad (13)$$

h_{Food} [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]: معامل الانتقال الحراري بين السطح الداخلي لوعاء الطهي ومحتويات وعاء الطهي:

* من أجل الماء $h_{Food} = 912[W/m^2 \text{ } ^\circ C]$

* من أجل الزيت $h_{Food} = 103[W/m^2 \text{ } ^\circ C]$

مساحة السطح الداخلي لوعاء الطهي الملامسة لمادة الطهي والتي تتعلق بكتلة أو وزن هذه المادة (m_{Food}).

أما القدرة الحرارية الضائعة من خلال غطاء الفرن الشمسي إلى الوسط الخارجي فيمكن تحديدها بدلالة مساحة الغطاء وحرارة محتويات وعاء الطهي، وأيضاً حرارة الوسط الخارجي وذلك حسب العلاقة التالية:

$$Q_{Cover} = \frac{S_{Cover} (T_{Food} - T_a)}{R_{Cover}} \quad (14)$$

S_{Cover} [m²]: مساحة سطح الغطاء العلوي للفرن الشمسي (النموذج المستخدم [$S_{Cover} = 0.05$ [m²])
 R_{Cover} [m² °C/W]: المقاومة الحرارية بين سطح محتويات وعاء الطهي والوسط الخارجي.

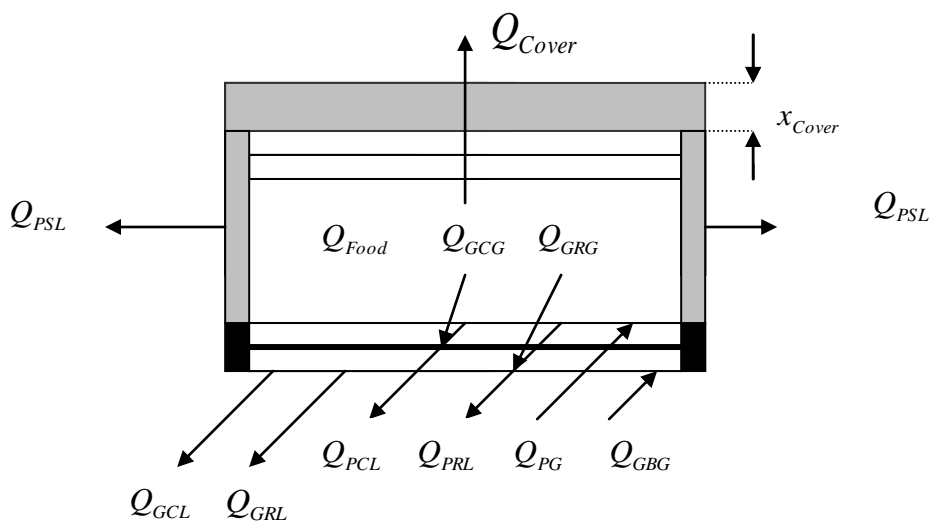
أما المقاومة الحرارية R_{Cover} فيمكن تحديدها بدلالة معامل الانتقال الحراري بين داخل وعاء الطهي وخارجه، وأيضاً سماكة غطاء الفرن الشمسي وذلك حسب العلاقة التالية:

$$R_{Cover} = \frac{1}{h_{out}} + \frac{1}{h_{air}} + \frac{x_{Cover}}{\alpha_{Cover}} \quad (15)$$

h_{out} [W/m² °C]: معامل الانتقال الحراري بين السطح الخارجي للفرن الشمسي والوسط الخارجي (eq.6)
 h_{air} [W/m² °C]: معامل الانتقال الحراري داخل الفجوة الهوائية بين سطح محتويات وعاء الطهي والسطح السفلي لغطاء الفرن الشمسي (القيمة المعمول بها [11] [$h_{air} = 3.17$ [W/m² °C])
 x_{Cover} [m]: سماكة الغطاء العلوي للفرن الشمسي (النموذج المستخدم [$x_{Cover} = 0.01$ [m])
 α_{Cover} [W/m °C]: الناقلية الحرارية لمواد تصنيع الغطاء العلوي للفرن الشمسي (النموذج المستخدم [$\alpha_{Cover} = 0.1$ [W/m °C]) [10]

عمليات التبادل الحراري لأجزاء الفرن الشمسي ولمراحله الثلاث السابقة بما يخص حالات الاكتساب أو الفقد الحراري أو عمليات التوازن الحراري موضحة بالشكل (2).

تحديد تغيرات درجات الحرارة لمحتويات وعاء الطهي (T_{Food})، وتغير حرارة صفيحة الامتصاص للإشعاع الشمسي (T_R)، وأيضاً تغير درجات الحرارة لزجاج الفرن الشمسي (T_G) تتم بالنسبة للزمن من خلال الحل العددي للمعادلات التفاضلية (eq.1,7,12) ضمن برنامج على الحاسوب.



الشكل(2):عمليات التبادل الحراري لأجزاء الفرن الشمسي.

4-نتائج النمذجة والتمثيل الرياضي لعمل الفرن الشمسي:

إن استخدام النمذجة الرياضية للدراسة السابقة بعد التعويض عن معاملات الانتقال الحراري لمختلف أجزاء الفرن الشمسي، وأيضا الحرارة النوعية لمكونات الفرن الشمسي، من زجاج ومعدن صفيحة الامتصاص ومكونات المادة المطبوخة ووزن هذه المادة وأيضا بيانات المناخ المتعلقة بالإشعاع الشمسي وسرعة الرياح ودرجات الحرارة للوسط الخارجي. وباستخدام برنامج على الحاسوب ومن أجل تكامل للزمن تم اختياره بمقدار ثانية واحدة يمكن حساب تغيرات درجة حرارة الزجاج T_G وحرارة صفيحة الامتصاص أو العواكس T_R وأيضا تغير درجة الحرارة للمادة الموجودة داخل الفرن الشمسي T_{Food} .

وقد طبقت الدراسة السابقة على الحالتين التاليتين:

4-1-حالة تسخين الماء:

يتم إسقاط النمذجة والتمثيل الرياضي على عملية تسخين حجم من الماء ضمن المواصفات التالية:

$$m_{Food} = 5 [Kg] \quad \text{وزن الماء}$$

$$T_a = 30 [^{\circ}C] \quad \text{الحرارة الأولية}$$

$$Max T_{Food} = 100 [^{\circ}C] \quad \text{الحرارة النهائية}$$

$$c_{Food} = 4.19 [KJ/Kg \cdot K] \quad \text{الحرارة النوعية}$$

$$h_{Food} = 912 [W/m^2 \cdot ^{\circ}C] \quad \text{معامل الانتقال الحراري للماء داخل وعاء الطهي والسطح الداخلي لهذا الوعاء}$$

بيانات المناخ لهذه الحالة تؤخذ من الجدول (1) بما يتفق مع شهر تموز.

وكانت نتائج الدراسة على النحو التالي:

- الفترة الزمنية للوصول إلى درجة غليان الماء $T_{Food} = 100 [^{\circ}C]$ استغرقت من الوقت $t=160$ [minutes]

- ارتفاع حرارة زجاج الفرن الشمسي خلال الفترة السابقة وصلت إلى $T_G = 52[^\circ C]$.
 - ارتفاع حرارة صفيحة الامتصاص النحاسية الملاصقة لوعاء الطهي $T_R = 104[^\circ C]$.
- التمثيل البياني للنتائج السابقة موضحة بالشكل(3).

2-4- حالة تسخين زيت الزيتون:

كانت دراسة هذه الحالة من خلال المواصفات التالية:

$$m_{Food} = 4[Kg] \quad \text{وزن الزيت}$$

$$T_a = 30[^\circ C] \quad \text{الحرارة الأولية}$$

$$Max T_{Food} = 150[^\circ C] \quad \text{الحرارة النهائية}$$

$$c_{Food} = 1.02[KJ/Kg \ ^\circ K] \quad \text{الحرارة النوعية}$$

معامل الانتقال الحراري للزيت والسطح الداخلي لوعاء الطهي $h_{Food} = 103[W/m^2 \ ^\circ C]$ وبيانات المناخ

تؤخذ من الجدول(1) بما يتفق مع شهر تموز.

كانت نتائج الدراسة على النحو التالي:

- الفترة الزمنية التي احتاجتها كمية الزيت السابقة للتوصل إلى درجة الحرارة $T_{Food} = 150[^\circ C]$ بلغت

$$t = 90[\text{minutes}] \quad \text{ومن أجل نصف الفترة الزمنية السابقة كانت درجة الحرارة } T_{Food} = 98[^\circ C]$$

- ترتفع حرارة زجاج الفرن الشمسي خلال الفترة السابقة إلى $T_G = 69[^\circ C]$.

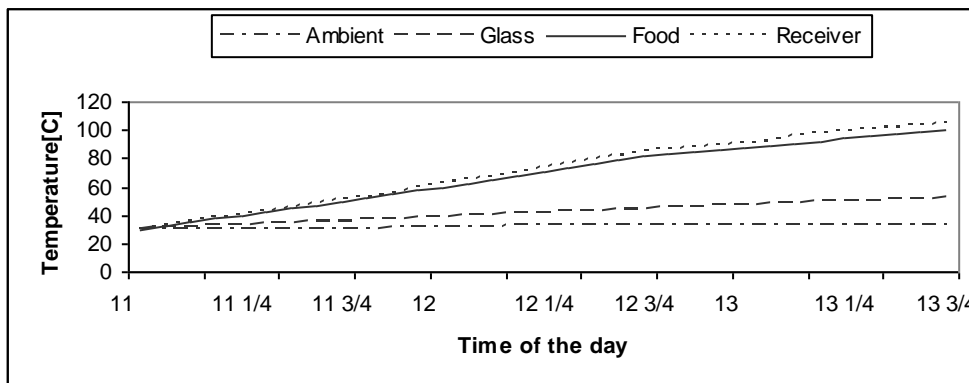
- ترتفع درجة حرارة صفيحة الامتصاص بمنحى متناسب مع ارتفاع حرارة الزيت مع وجود زيادة في درجة الحرارة للصفيحة عن حرارة الزيت بمعدل وسطي يبلغ $10[^\circ C]$ ، وتصل حرارتها خلال الفترة الزمنية لهذه الدراسة

$$\text{التحليلية إلى القيمة } T_R = 162[^\circ C]$$

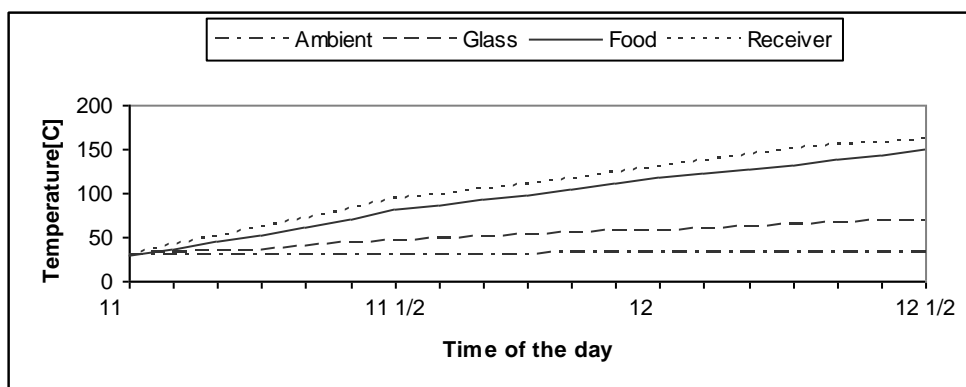
التمثيل البياني للنتائج السابقة موضحة بالشكل(4).

من مقارنة الحالتين السابقتين يمكن التوصل إلى النتائج التالية:

- أن معامل انتقال الحرارة بين السطح الداخلي لوعاء الطهي والماء h_{Food} أكبر بكثير من قيمة المعامل لمادة الزيت، وهذا يجعل الماء وسطاً جيداً للنقل الحراري وأعمال الطبخ[4]، وهذا يتضح من خلال العلاقة البيانية لعملية تسخين الماء مع الزمن حيث تأخذ هذه العلاقة خطوطاً مستقيمة تصاعدياً بينما تكون على شكل منحنيات أقل تصاعداً في حالة تسخين زيت الزيتون.
- أن الحرارة النوعية للزيت أقل من قيمتها في حالة الماء وهذا يجعل الزمن اللازم لتسخين الزيت عند درجة حرارة معينة أقل منه في حالة تسخين الماء.



الشكل(3):تغيرات درجة الحرارة للوسط الخارجي T_a ، حرارة طبقة الزجاج T_G ، حرارة صفيحة الامتصاص T_R وحرارة الماء T_{Food} ضمن وعاء الطهي لحالة تسخين 5[Kg] من الماء.



الشكل(4):تغيرات درجة الحرارة للوسط الخارجي T_a ، حرارة طبقة الزجاج T_G ، حرارة صفيحة الامتصاص T_R وحرارة الزيت T_{Food} ضمن وعاء الطهي لحالة تسخين 4[Kg] من زيت الزيتون.

5-الاختبار التجريبي للفرن الشمسي:

لقد تم إجراء هذا الاختبار في بلدة غباغب ولقد شمل هذا العمل عدة حالات نذكر منها الحالتين التاليتين:

5-1-حالة تسخين الماء:

إن عملية تسخين الماء ضمن الفرن الشمسي تمت وفقاً للخصائص التالية:

$$- \text{وزن الماء } m_{Food} = 4 [Kg]$$

$$- \text{الحرارة الأولية } T_{Food} = 30 [^{\circ}C]$$

-توقيت عملية التسخين 20/7/2006, day time=12 Pm

-زاوية ميلان العواكس(المرايا العاكسة) للأشعة الشمسية عن الأفق باتجاه الشمس $18^{\circ} 10'$ (أقل بمقدار 15° عن خط العرض للموقع) .

-ارتفاع موقع إجراء الاختبار عن سطح البحر 600[m].

-إن تعديل وضع العواكس بغاية الملاحقة للأشعة الشمسية تحصل كل 10 minutes.

-ارتفاع درجة حرارة الماء وسطياً خلال زمن الاختبار بلغ $5 [^{\circ}C]$ لزمن يعادل 15 minutes.

-ارتفاع درجة حرارة الماء بعد تجاوز الحرارة $[70^{\circ}C]$ كانت بمعدل أخفض من بداية عملية التسخين حيث يصل ازدياد درجة الحرارة إلى $[3^{\circ}C]$ خلال الفترة الزمنية السابقة نفسها.
-التوصل إلى درجة الغليان يحصل خلال زمن يعادل $[3\text{hours}]$.

إن مقارنة الاختبار التجريبي مع الدراسة التحليلية تبين أن زمن الوصول إلى درجة الغليان للاختبار التجريبي تزيد بالمقارنة مع الدراسة الرياضية بفترة زمنية تعادل $[20\text{minutes}]$. أما الاختلاف بين نتائج الدراسة الرياضية والاختبار التجريبي يمكن أن يعزى للأسباب التالية:

1-إن قيم الإشعاع الشمسي $S_r [W/m^2]$ ودرجات الحرارة للوسط الخارجي $T_a [^{\circ}C]$ المعتمدة في الدراسة التحليلية أكبر قليلاً من القيم الواقعية، لأنها تمثل قيمةً متوسطةً لأعوام سابقة وهي قابلة للزيادة وأيضاً إلى النقصان عن القيم الآتية.

2-أجريت ملاحظة الأشعة الشمسية للحصول على التعامد مع العواكس بمتابعة متقطعة وذلك بمعدل مرة واحدة كل $[10\text{minutes}]$ ، وهذا يخفف من شدة الإشعاع الشمسي المسلط على الفرن الشمسي.
الازدياد التدريجي لحرارة الماء مع زمن التشغيل موضح بيانياً في الشكل (5).

5-2-حالة طهي وجبة طعام:

إن وجبة الطعام هذه تم تحضيرها في الفرن الشمسي وفقاً للمواصفات التالية:

-كمية الماء $[0.5\text{Kg}]$.

-كمية الزيت $[0.25\text{Kg}]$.

-كمية من اللحم $[0.5\text{Kg}]$.

-الحرارة الأولية للمكونات السابقة $T_{Food} = 23 [^{\circ}C]$.

-توقيت عملية الطهي $15/9/2006, \text{day time}=12 \text{ Pm}$.

-زاوية ميلان العواكس عن الأفق باتجاه الشمس 33° (يتفق مع خط العرض للموقع).

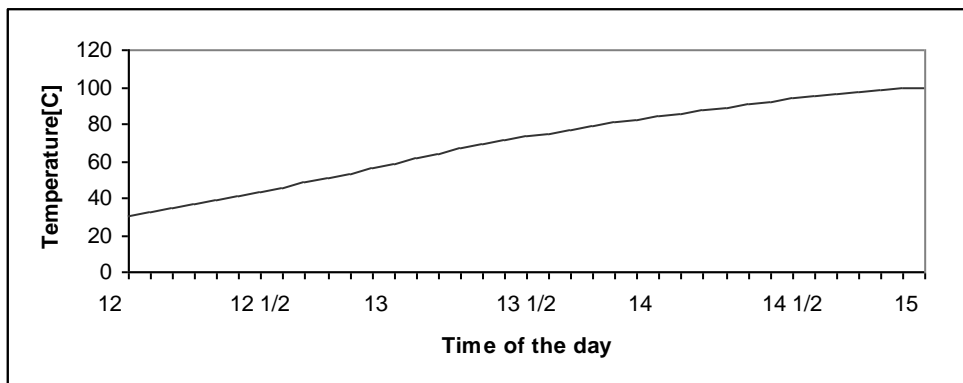
-ارتفاع موقع إجراء الاختبار عن سطح البحر $[600\text{m}]$.

- تعديل وضع العدسات أو العواكس للأشعة الشمسية كان بمعدل مرة واحدة كل 10 minutes .

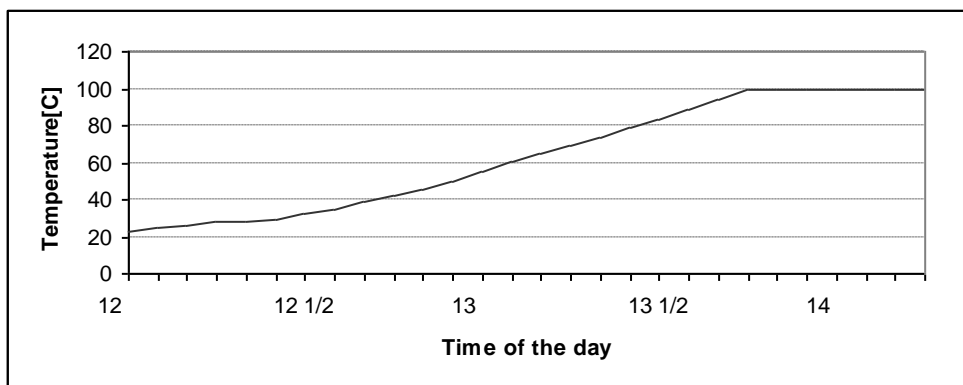
-الوصول إلى درجة الغليان استغرق من الوقت $[45\text{minutes}]+1\text{hour}$ واستمر الغليان لمدة 30 minutes .

-ازدياد درجة الحرارة لمحتويات وعاء الطهي كان بطيئاً في البداية وذلك بمعدل ثلاث درجات لكل ربع ساعة لتصل إلى الدرجة $[32^{\circ}C]$ بعد مرور نصف ساعة على بدء عملية الطهي، ثم أخذ منحى أكثر بالازدياد حيث وصلت الحرارة المكتسبة من قبل محتويات وعاء الطهي إلى $[84^{\circ}C]$ بعد فترة زمنية إضافية تعادل ساعة واحدة.

السلوك الحراري للفرن الشمسي لهذه الحالة موضح في الشكل (6).



الشكل(5):تجربة غليان كمية 4[Kg] من الماء من خلال استخدام الفرن الشمسي.



الشكل(6):تجربة طهي وجبة طعام من خلال استخدام الفرن الشمسي.

6-الاستنتاجات:

- إن الفرن الشمسي ذا العدسات العاكسة للأشعة الشمسية يمتاز بمردود جيد للقدرة الحرارية. والتسخين بطريقتي الحمل والإشعاع الحراري من أسفل الفرن الشمسي يسهم في رفع معدل تزايد الحرارة المكتسبة من قبل محتويات وعاء الطهي. إن الجوانب المعزولة للفرن الشمسي تخفف كثيرا من تأثير سرعة الرياح على الأداء الحراري للفرن الشمسي.
- إن صفيحة الامتصاص النحاسية المتوضعة بمحاذاة قاعدة الفرن الشمسي تعطي استمرارية جيدة لاكتساب القدرة الحرارية من قبل محتويات وعاء الطهي وقد تصل الحرارة الى حوالي $160^{\circ}C$.
- إن التحليل الرياضي لعمل الفرن الشمسي يتفق مع منحى الأداء التجريبي مع إزاحة بسيطة من حيث درجة الحرارة المكتسبة وذلك لاعتماد معاملات انتقال الحرارة بقيم قياسية تختلف قليلا عن الواقع العملي، ويضاف إلى ذلك اعتماد بيانات مناخ تختلف قليلا مع القيم الفعلية والواقعية وذلك لأنها لحظية. أما بيانات المناخ المستخدمة للنمذجة الرياضية فهي قيم وسطية.

7-التوصيات:

إن الفرن الشمسي المستخدم ذو طبقات أحادية للزجاج، وهناك عزل للجوانب، من أجل حالات التشغيل الطبيعي ولمختلف أنواع الوجبات فلهذه إمكانية لإنجازها في فترة زمنية مقبولة. ولكن استخدام طبقة مضاعفة للزجاج قد يحسن كثيراً من مردود العمل للفرن الشمسي لإمكانية تخفيض الضياعات والفقد الحراري عبر جوانب وقاعدة الفرن الشمسي وتحويلها إلى قدرة حرارية مفيدة.

8-المراجع:

- 1-TELKES, M. *Solar Cooking Oven*. Proc. ISES-UK Conf., London, June 25-28, 1998, 820-830.
- 2-GLLER, H. *Cooking in The Ungra Area*. Biomass 2, 1999, 83-93.
- 3- بيانات الأرصاد الجوية لبلدة غباغب
- 4-DUFFIE, J. *Solar Energy Thermal Processes*. New York, 1999, 120-130.
- 5-Manan, K. *Thermal Performance and Cooking Evaluation of Compound Solar Oven*. Proc. Solar Energy Society, India National Energy Conference, Jan. 22-24, 2003, 90-99.
- 6-KHALIFA, TAHA, M. *Solar Cookers for Outdoors and Indoors*. Int. Journal of energy 10, 2000, 166-170.
- 7-TULLY, N. *The Use of Solar Energy for Cooking*. South African Mech. Eng. 20, 1990, 120-130.
- 8-AKYURT, M., TAHA, M. *Utilization of Solar Energy for Cooking*. Solar and Tech. 1, 2000, 70-90.
- 9- OSMAN, M. *Solar Energy for Cooking in Egypt*. Solar Energy 6, 1990, 80-86.
- 10- BRIGGS, A. *Prediction of the Thermal conductivity of Insulation Materials*. Journal of Material Science, Vol. 2, 2003, 220-230.
- 11- PARKER, R. *The Calculation of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity from Transient Heat Measurements*. Journal Building & Environment, Vol.12, No. 4, 2003.