

اقتصاديات استخدام الأفران الشمسية في البادية السورية

الدكتور مسعود صبيح*

(تاريخ الإيداع 13 / 1 / 2010. قُبل للنشر في 22 / 3 / 2010)

□ ملخص □

إن التطور التكنولوجي الذي حدث خلال النصف الثاني من القرن الماضي ويحدث الآن أدى الى زيادة استهلاك الطاقة الى حد لم يكن متوقعاً وباتت مصادر الطاقة التقليدية (الاحفورية والنووية) مهددة بالنضوب، لذلك يجري البحث عن مصادر بديلة للطاقة ولعل أفضلها هي الطاقة الشمسية. إن الفرن الشمسي يعد في مقدمة التطبيقات الأكثر اهتماماً في العصر الحديث في مجال الطاقة الشمسية.

شمل هذا البحث على دراسة مرجعية للأفران الشمسية، تسليط الضوء على آلية تطويرها وتحسين أدائها، الدراسة التحليلية والنمذجة الرياضية للفرن الشمسي المستخدم، إعداد برنامج حاسوبي لتحديد السلوك الحراري للفرن الشمسي وتغيرات درجة الحرارة لمحتوياته مع مرور الوقت، أيضاً تحديد التوفير في القدرة الكهربائية بالمقارنة مع حالة استخدام الفرن الكهربائي. إن بيانات المناخ المعتمدة توافق المنطقة التي تم اختيارها لهذه الدراسة ممثلة بالبادية السورية، تقع هذه المنطقة الى الشرق من محافظتي حمص وحماة على بعد [40 Km] الى نهاية الحدود السورية كمناطق ريفية وبادية. الإجراء التجريبي للفرن الشمسي ومراقبة سلوكه الحراري من خلال تسجيل بيانات الحرارة المكتسبة مع الزمن. اجراء مقارنة اقتصادية لمختلف أنواع التكاليف للفرن الشمسي والكهربائي. صياغة الاستنتاجات واستنتاج التوصيات المفيدة للأبحاث المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: فرن شمسي، فرن كهربائي، سلوك حراري للفرن الشمسي، طاقة شمسية.

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

Economics of Using Sun Ovens in The Syrian Desert Areas

Dr. Massoud Sabyh*

(Received 13 / 1 / 2010. Accepted 22 / 3 / 2010)

□ ABSTRACT □

The technological development occurred in the second half of the past century and that we still currently witness served to raise energy consumption to on unexpected levels, and the traditional energy sources (Fossil and nuclear) became at the level of drying up. Therefore, investigations are in progress seeking substitute energy sources, the best form of which may be the solar energy. Sun oven technology applications gained significant attention and concern in modern age in the field of solar energy.

This paper covered a reference study for the sun ovens, means of its development and improving its performance, the analytic study and mathematical modeling for the used sun oven, preparing a computer program to determine the thermal behavior for the sun oven and the effects of temperature variation on its contents with passing of time, beside investigating the energy saving and compared with the state of using an electrical oven.

The climate data used correspond with region selected for this study is represented in the Syrian Desert. This region is located to the east of Homs and Hamah provinces 40[Kms] to the end of the Syrian border line as rural and desert regions.

The experimental procedures of the sun oven and monitoring its thermal behavior through recording the thermal data gained with time has been carried out, carrying on an economic comparison for various costs elements of the sun and electric ovens, then organizing conclusions and drafting recommendations applicable in prospectus research works.

Key Words: Sun oven, Electrical oven, behavior for the sun oven, Solar energy.

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

مقدمة:

المشاكل والمخاطر المرافقة لعمل الأفران التقليدية التي تعمل بالوقود بالإضافة الى الارتفاع المتتالي لسعر الوقود وأيضاً الطبيعة الصحراوية لأغلب المناطق وخلوها من الأشجار التي تشكل مصدر للوقود، ما سبق ذكره بالإضافة الى أمور جانبية اخرى زاد الحاجة الى إيجاد وسيلة بديلة واقتصادية وأيضاً آمنة. الأفران التقليدية التي تستخدم الوقود النفطي يحصل عند تشغيلها هدر وتبدد للطاقة الحرارية بحيث تُلث القدرة الواصلة الى وعاء الطهي تضيع على شكل بخار، حيث المردود لهذه الأفران يصل فقط الى 6% [1]. إن الأفران الشمسية قد تمثل البديل الأفضل للأفران التقليدية من حيث الطاقة المجانية المكتسبة من الإشعاع الشمسي وأيضاً هي آمنة وخالية من التلوث. الفرن الشمسي يعد وسيلة عملية لطهي الطعام يتميز بالانخفاض المتتالي لسعره والفرن الشمسي الكاتم للبخار الذي تم اقتراحه ودراسته في هذا البحث له جاهزية تشبه جاهزية الأفران التقليدية، إن حرارة محتوياته تزيد عن $100^{\circ}C$ وقد تصل الى $150^{\circ}C$ عند التعامل مع الزيوت، الطعام داخل الفرن الشمسي بعيد عن التلوث والتلف وتأثير الحيوانات والحشرات، مردوده مرتفع وقد يصل الى 27% [2]، وسهل نقله من مكان الى آخر، ويضاف الى الامتيازات السابقة انخفاض ثمنه وهذا سيسهم مستقبلاً بانتشار الأفران الشمسية، ولا سيما بالمناطق الريفية وأيضاً سيكون استخدامه ملائم للأشخاص الذين يعملون برعي المواشي أو للرحلات ذات الطابع السياحي وغيرهم. إن بيانات المناخ المعتمدة توافق المنطقة موضوع الدراسة ممثلة بالبادية السورية الى الشرق من محافظتي حمص وحماه التي تبعد بمسافة 40 [Km] الى نهاية الحدود السورية، وذلك ضمن خطي العرض ($36^{\circ} 00' \div 34^{\circ} 00'$) والتي تحوي على الكثير من التجمعات الريفية الذين يعملون بالزراعة والرعي والنشاط السياحي لاحتواء تلك المنطقة على الآثار التدمرية. إجراء الدراسة التحليلية والنمذجة الرياضية وإعداد برنامج حاسوبي لتحديد السلوك الحراري والتغير اللحظي لدرجة الحرارة لشهري حزيران وتشرين أول ومقارنة ذلك مع الفرن الكهربائي. إسقاط الدراسة التحليلية السابقة على باقي أشهر العام من خلال التمثيل البياني للقدرة التي يمكن توفيرها ومقارنتها مع القدرة المستهلكة لحالة استخدام الفرن الكهربائي. تمت الدراسة التجريبية للفرن الشمسي في قرية جب الجراح التابعة لمحافظة حمص والواقعة ضمن المنطقة المدروسة ومراقبة السلوك الحراري للفرن الشمسي من خلال تسجيل بيانات الحرارة المكتسبة مع الزمن. ثم إجراء المقارنة الاقتصادية.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الكلفة العالية للوقود ونقصان مصادر الأخشاب والمشاكل الخطيرة المرافقة لحرق المشتقات النفطية من أجل الطهي يزيد الحاجة لاعتماد بدائل توفر القدرة اللازمة لعملية الطهي. إن الفرن الشمسي يشكل بديل مناسب لما يمتاز به من بساطة، أمان، عديم التلوث وخاصة للمواقع المعزولة والمشمسة على مدار العام تقريباً كالموقع المدروس. يهدف البحث الى اعتماد طريقة جديدة لعمل الفرن الشمسي من خلال استخدام وعاء طهي كاتم للبخار لزيادة المردود والحصول على درجات حرارة تزيد عن درجة حرارة غليان الماء في حالة التعامل مع السوائل الزيتية. إجراء دراسة تحليلية ونمذجة رياضية لعمل الفرن الشمسي من خلال برامج حاسوبية ثم مقارنة النتائج من خلال الإجراء التجريبي. المقارنة الاقتصادية بين حالي استخدام الفرن التقليدي والفرن الشمسي.

طرائق البحث ومواده:

إجراء دراسة مرجعية والوقوف عند الصفات الفنية لمختلف الأجيال السابقة للأفران الشمسية، الدراسة الهندسية الفنية للفرن الشمسي المقترح وتبسيط الضوء على مزاياه الجديدة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى. إن استكمال البحث تم من خلال العمل بالمحاور الآتية:

- جمع المادة العلمية والمواصفات الميتورولوجية (المناخية) للموقع موضوع الدراسة.
- إجراء الدراسة الرياضية للوقوف عند طبيعة السلوك الحراري للأفران الشمسية والتقليدية.
- إعداد البرنامج الحاسوبي الذي يعكس السلوك الحراري للأفران الشمسية والتقليدية.
- الإجراء التجريبي والدراسة العملية أو التطبيقية للفرن الشمسي.
- المقارنة بين حالتها استخدام الفرن الشمسي والفرن الكهربائي وحجم القدرة الممكن توفيرها للأول والقدرة اللازم استهلاكها لعمل الثاني.
- الدراسة الاقتصادية لاستخدام الفرن الشمسي والتوصل الى الاستنتاجات والتوصيات.

الدراسة المرجعية للأفران الشمسية

لقد عرفت الأفران الشمسية منذ عدة قرون من الزمن، إن التصاميم الفنية أو الهندسية لهذه الأفران من مساحة السطوح العاكسة وحجم ونوعية المواد الممكن التعامل معها وأيضاً آلية استقبال الأشعة الشمسية المباشرة وغير المباشرة اختلفت من جيل لآخر. وللتعرف على تطور العمل بالأفران الشمسية نلقي الضوء على النماذج التالية:

الفرن الشمسي ذو العاكس المقعر:

هذا النوع يستقبل الإشعاع الشمسي من قبل عاكس مقعر باتجاه القاعدة، بهدف التسخين المطلوب للتغيرات الفيزيائية والكيميائية اللازمة في أثناء الطهي يكون بقيمة صغيرة، حرارة الجوانب تكون منخفضة بالمقارنة مع حرارة القاعدة. للحصول على مردود مرتفع يحتاج الى نظام متابعة أو ملاحقة من خلال تعديل وضعية العاكس، تم تجاوز هذه السلبية من خلال النموذج الآتي:

الفرن الشمسي لنموذج الصندوق التقليدي:

هذا النوع يمثل الجيل الثاني للأفران الشمسية، وحظي بانتشار واسع في حينه، هذا النموذج لا يحتاج الى نظام ملاحقة حيث العاكس يستقبل الإشعاع الشمسي من زوايا ورود مختلفة. ولكن مأخذ هذا النوع تختصر بما يلي:
**انخفاض تركيز الأشعة الشمسية الصادرة من العاكس، الطهي الذي يحتاج الى حرارة عالية(قلي شديد) لايمكن إنجازه بهذا النوع.

**انخفاض حجم الانتقال الحراري من صفيحة الامتصاص إلى وعاء الطهي وانخفاض المردود.

**تعرض صفيحة الامتصاص ووعاء الطهي للغبار والبخار.

إن المأخذ السابقة تم تجاوزها نسبياً بالنموذج الآتي:

الفرن الشمسي لنموذج الصندوق المحدث:

يمتاز هذا النموذج بناقلية حرارية جيدة وثابتة لوعاء الطهي، خواص الانتقال الحراري لمختلف الساعات الحرارية لمواد الفرن تكون جيدة، أزمنة التسخين الحراري المرتفع لدرجة الغليان التام قد ينجز خلال ساعة واحدة. لكن سلبية هذا النوع تنحصر بعدم إمكانية تسخين القاعدة والتي عولجت من خلال النموذج الآتي:

الفرن الشمسي لنموذج المرايا العاكسة:

هذا النموذج يسمح بالتسخين لوعاء الطهي من الجوانب ومن الأسفل، الأشعة الشمسية المنعكسة تصدر عن عدة مرايا متوضعة بزوايا ميل مختلفة تسمح بتعامد الأشعة الشمسية على الفرن الشمسي لأطول فترة زمنية ممكنة. يمتاز هذا النوع بمردود جيد مع انخفاض نسبي لزمان الطهي بالمقارنة مع الأنواع السابقة. لتحسين المردود والحصول على درجات حرارة عالية داخل وعاء الطهي تم الاقتراح من خلال هذا البحث باستخدام وعاء طهي محكم السد وكاتم للبخار، الانتقال الحراري يحصل من خلال الغطاء العلوي وشفافة المجموع الملائمة للقاعدة، وعاء الطهي والمجمع مصنوعان من الألمنيوم وشفافة الامتصاص مصنوعة من النحاس، وعاء الطهي وسطح النقل الحراري معزولة عن الخارج بألياف زجاجية أو صندوق خشبي. إن الرسم التوضيحي للمكونات الأساسية لنموذج الفرن الشمسي مع صورة الفرن الشمسي موضحة بالشكل (1). إن العاكس يمثل عدسة تستقبل الأشعة الشمسية ضمن زاوية ورود وترسلها الى السطح العلوي للفرن الشمسي لتستقبل من قبل وعاء الطهي بشكل مباشر أو عن طريق شفافة الامتصاص أو المجمع. إن الخصائص الترموفيزيائية للعاكس ستعتمد على أنها متجانسة وتتشابه مع طبيعة الزجاج [3]. الغطاء العلوي يمثل طبقة مفردة من الزجاج تسمح بالانتقال للأشعة الشمسية. سنفترض في هذه الدراسة أن درجة الحرارة لوعاء الطهي ومحتوياته ودرجة حرارة الهواء المحصور داخل الفرن الشمسي تكون متجانسة ومتساوية. وعاء الطهي مصنوع من الستالس ستيل (Stainless steel 18/10) يمكن إغلاقه بشكل محكم. شفافة الامتصاص مصنوعة من النحاس للأماكن المعرضة للإشعاع الشمسي والأماكن الملائمة للملاصقة لوعاء الطهي مصنوعة من الألمنيوم لتصبح كمجمع للطاقة الشمسية الحرارية. الجوانب والقاعدة معزولة بالخشب بسماكة [Cm] (4÷6) ومدهون باللون الأسود، إن القياس المتتالي لدرجة الحرارة تتم من خلال مقياس حرارة يستخدم بسخانات المياه الكهربائية ويمكن ملاحظة تغيرات درجة الحرارة من خلال الغطاء الزجاجي الشفاف. إن أجزاء ومكونات الفرن الشمسي الرئيسة ومادة التصنيع لكل منها مع الخواص الترموفيزيائية موضحة بالجدول (1) [4].

الجدول (1): الخواص الترموفيزيائية لمواد الفرن الشمسي.

اسم الجزء	مادة التصنيع	موصولية حرارية [Btu / ft F]	حرارة نوعية [Btu/Lb F]	كتلة حجمية [Lb/ ft ³]
غطاء علوي	زجاج	0.19	0.20	2
وعاء طهي	ستالس ستيل	55	0.12	489
شفافة امتصاص	نحاس	227	0.092	556
مجمع	المنيوم	128	0.214	171
الجوانب والقاعدة	خشب	0.06	0.29	35

مواصفات المناخ للمنطقة المدروسة

إن المواصفات الميترولوجية (المناخية) للمنطقة المدروسة واللازمة لإجراء الدراسة الفنية والتحليلية تنحصر بقيم الإشعاع الشمسي (Solar radiation) ودرجات الحرارة (Degree of temperature) على مدار العام التي ستعتمد كحرارة أولية عند دراسة السلوك الحراري. إن القيم المتوسطة الشهرية للإشعاع الشمسي [Average Radiation (AR)] [KWh / m² / day] وعدد ساعات السطوع الشمسي (Sunshine (S)) موضحة

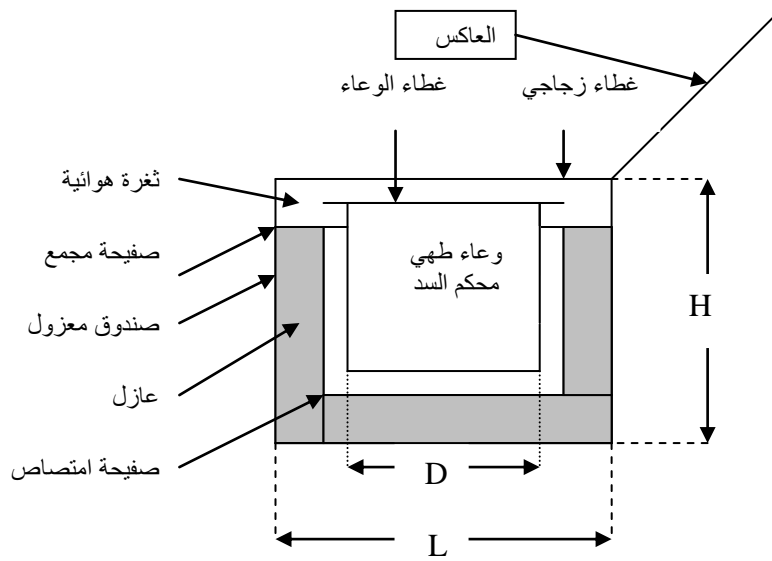
بالجدول(2)[5]. من خلال القيم المتوسطة الشهرية للإشعاع الشمسي يمكن تحديد شدة الإشعاع الشمسي خلال فترة تشغيل الفرن الشمسي، القيم الساعية لشدة الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة لموقع الدراسة موضحة بالجدول(3).

الجدول(2): المتوسط اليومي لمستوى الإشعاع الشمسي لأشهر العام وساعات السطوع الشمسي.

الشهر	كانون2	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت1	ت2	كانون1
AR	6.09	6.89	7.56	7.61	7.47	7.32	7.34	7.45	7.47	6.99	6.20	5.79
S	9	10	10	11	12	13	13	13	12	11	9	9

الجدول(3): بيانات المناخ من إشعاع شمسي ودرجات حرارة لموقع الدراسة

13[pm]÷14[pm]		12[pm]÷13[pm]		11[am]÷12[pm]		عوامل المناخ الشهر
$T_i[C^\circ]$	$S[W/m^2]$	$T_i[C^\circ]$	$S[W/m^2]$	$T_i[C^\circ]$	$S[W/m^2]$	
12.5	918.62	12.0	961.79	11.5	918.62	كانون2
13.6	986.54	13.5	1028.4	12.9	986.54	شباط
18.0	1022.28	17.0	1064.1	16.6	1022.28	آذار
22.0	993.05	21.5	1031.4	21.5	993.05	نيسان
27.8	949.27	27.5	984.7	27.1	949.27	أيار
31.5	953.45	31.0	919.74	30.7	821.18	حزيران
33.5	959.76	32.8	925.65	32.5	825.76	تموز
33.5	998.25	33.0	961.49	32.7	853.97	آب
32.0	1038.5	31.5	999.06	31.2	881.66	ايلول
27.0	983.18	27.0	1025.33	26.6	983.18	تشرين1
19.5	926.36	19.0	969.33	18.5	926.36	تشرين2
13.5	890.42	12.5	933.79	12.4	890.42	كانون1



الشكل(1):الرسم التخطيطي وصورة الفرن الشمسي. L=26[Cm], D=13[Cm], H=10[Cm]

النموذج الرياضي للفرن الشمسي

إن عملية الطهي هي إجراء لحظي، معادلات التوازن الحراري تمثل السلوك الحراري لمختلف العناصر للفرن الشمسي، من علاقة الدخل والخرج المفيد للفرن الشمسي يمكن التوصل الى قيمة المردود اللحظي للعمل من خلال العلاقة[6]:

$$\eta_t = \frac{Q_f}{S A_c \eta_{ref}} \quad (1)$$

حيث: $Q_f [W]$: التخزين الحراري اللحظي لمحتويات وعاء الطهي

$S [W/m^2]$: شدة الإشعاع الشمسي

$A_c [m^2]$: مساحة مجمع الفرن الشمسي

η_{ref} : مردود العاكس

إن التخزين الحراري يتناسب مع العطالة الحرارية لمادة التخزين التي يعبر عنها من خلال سعتها الحرارية النوعية وفارق درجات الحرارة الأولية والنهائية كما يلي:

$$Q_f = (mc)_f (T_f - T_i) \quad (2)$$

حيث: $m_f [Kg]$: كتلة السائل أو الطعام في وعاء الطهي

$C_f [KJ/Kg \text{ } ^\circ C]$: السعة الحرارية النوعية للسائل أو الطعام

$T_f [^\circ C]$: درجة الحرارة النهائية للسائل أو الطعام في وعاء الطهي

$T_i [^\circ C]$: درجة الحرارة الأولية

إن التحليل الرياضي السابق يوافق القيم اللحظية ومن أجل دراسة عمل الفرن الشمسي لفترة زمنية δ_t يستبدل المردود اللحظي η_t بمردود الاستعمال η_u والذي يعطى بالعلاقة:

$$\eta_u = \frac{(mc)_f (T_f - T_i)}{S A_c \eta_{ref} \delta_t} \quad (3)$$

وبالتالي درجة حرارة محتويات وعاء الطهي بعد الأخذ بالاعتبار درجة الحرارة الأولية أو درجة الحرارة المكتسبة تعطى بالعلاقة:

$$T_f = T_i + \frac{S A_c \eta_{ref} \eta_u \delta_t}{(mc)_f} \quad (4)$$

وحسب درجة الحرارة المكتسبة يمكن تحديد توفير القدرة ($Energy\ saving(E_s)$) من خلال استخدام الفرن الشمسي:

$$E_s = (mc)_f (T_f - T_i) [Wh] \quad (5)$$

وبالنسبة إلى الفرن التقليدي (الكهربائي) تتناسب قيمة القدرة المستهلكة ($Consumption\ energy(C_e)$) مع الحرارة المكتسبة وزمن العمل بحسب العلاقة:

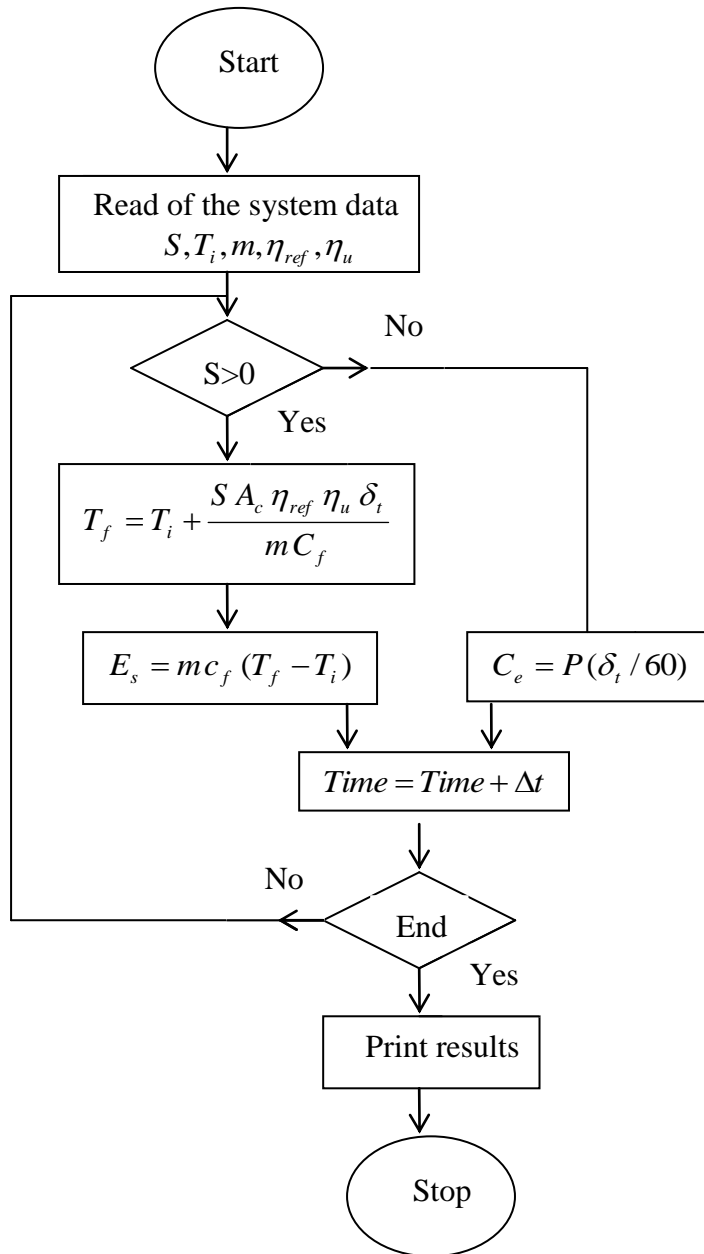
$$C_e = P [KW] \frac{\delta_t [\min.]}{60 [\min. / Hr]} [KWh] \quad (6)$$

حيث: $P [KW]$: استطاعة الفرن الكهربائي

$\delta_t [\min.]$: فترة التشغيل

المخطط الصندوقي

إن التعامل مع النموذج الرياضي السابق وصياغته ضمن برنامج حاسوبي يتم من خلاله دراسة السلوك الحراري للفرن الشمسي وأيضاً الفرن التقليدي. إن هذا البرنامج يساعد على الدراسة التحليلية من أجل الحالات الموافقة لمختلف قيم بيانات المناخ من إشعاع شمسي ودرجات حرارة وأيضاً مختلف قيم أبعاد الفرن الشمسي ووزن محتويات وعاء الطهي. المخطط الانسيابي موضح بالشكل (2):



الشكل (2): مخطط صندوقي لتحديد السلوك الحراري للفرن الشمسي والتقليدي وحساب توفير القدرة من عمل الفرن الشمسي والقدرة المستهلكة من عمل الفرن التقليدي.

النتائج والمناقشة:

1- الدراسة التحليلية

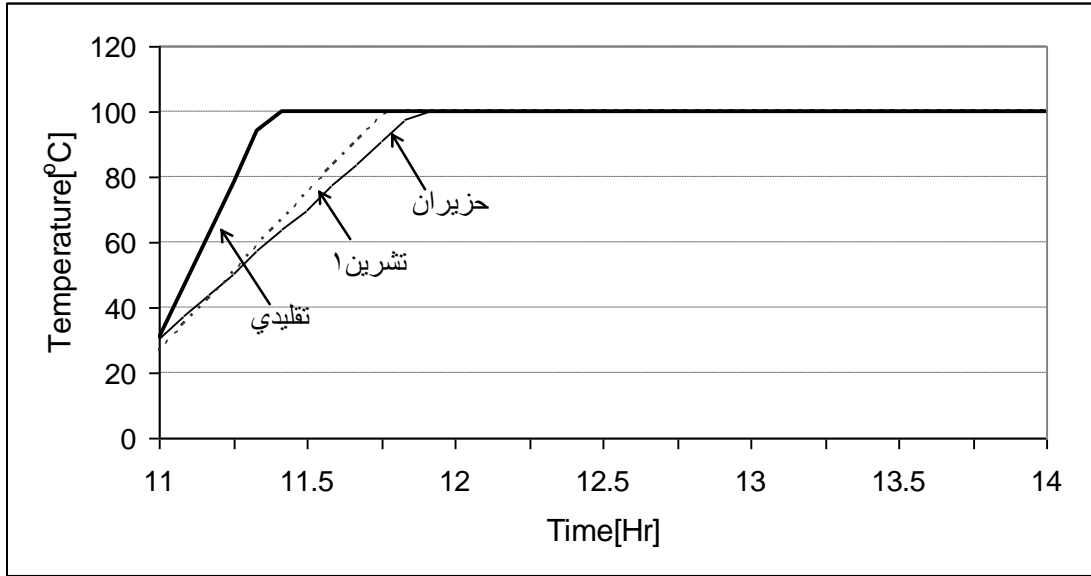
تمت الدراسة التحليلية أو الرياضية باستخدام البرنامج الحاسوبي بعد اعتماد البيانات الآتية:

مساحة العاكس $A_c = 0.25 [m^2]$ مردود العاكس $\eta_{ref} = 0.843$ [7]

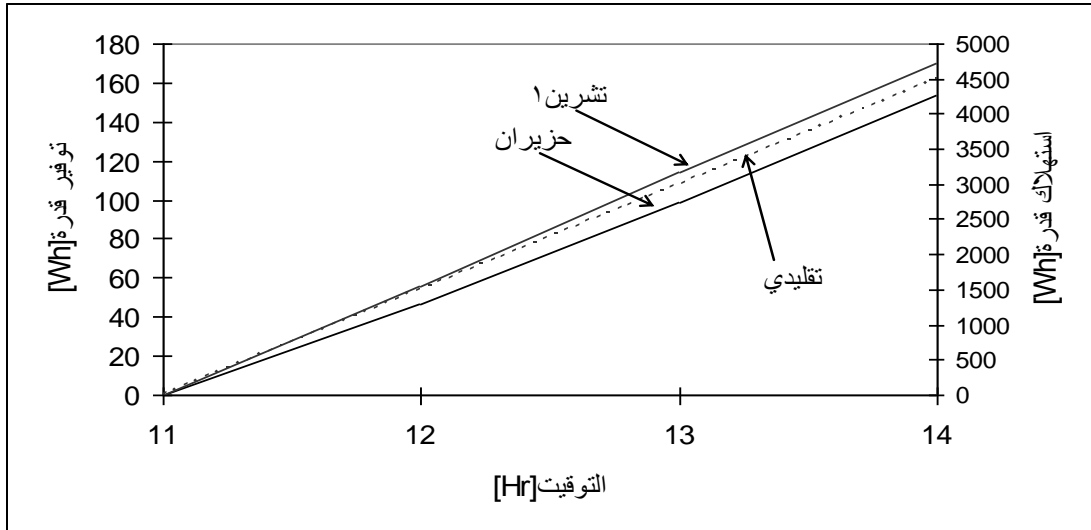
فترة الدراسة الجزئية $\delta_t = 5 [min ute]$ مردود الاستعمال $\eta_u = 27 [\%]$

$$m_f = 0.50 [Kg]$$

إن مردود الاستعمال للفرن الشمسي تتراوح قيمته ضمن المجال [%] (20 ÷ 36) [8] .
 إن نتائج الدراسة التحليلية تم تمثيلها بيانياً ويمكن توضيح هذه النتائج من خلال الأشكال الآتية:
 الشكل(3): يوضح السلوك الحراري للفرن الشمسي لبيانات المناخ لشهري حزيران وتشرين أول الموضحة بالجدول (1) وأيضاً السلوك الحراري من خلال استخدام الفرن التقليدي.
 الشكل(4): يبين معدل ازدياد القدرة الممكن توفيرها من خلال استخدام الفرن الشمسي لشهري حزيران وتشرين أول وأيضاً معدل ازدياد القدرة المستهلكة من استخدام الفرن الكهربائي.



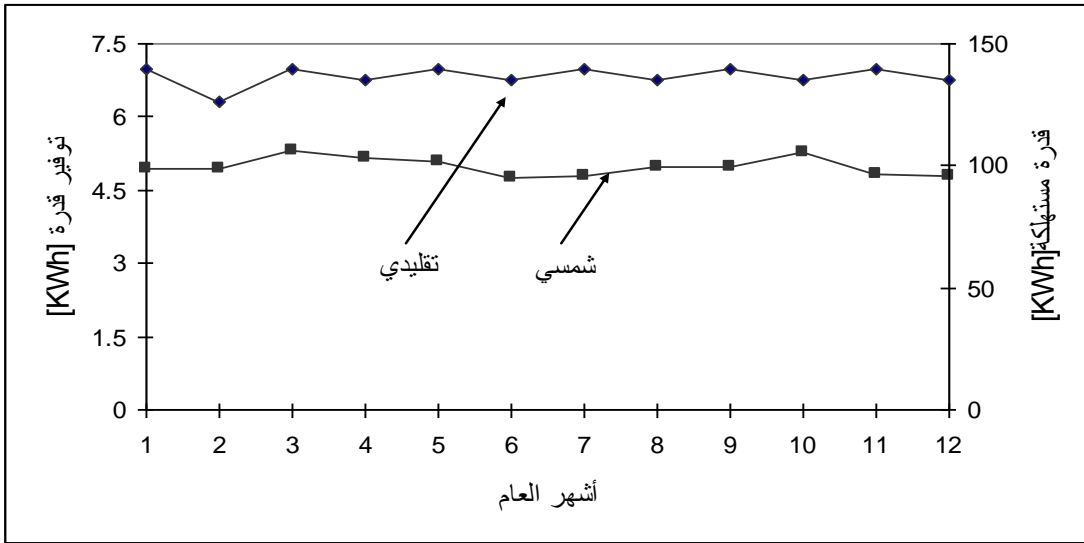
الشكل(3): السلوك الحراري للفرن الشمسي لبيانات المناخ لشهري حزيران وتشرين 1 وأيضاً السلوك الحراري للفرن التقليدي عند تسخين الماء بوزن $m=0.5 [Kg]$.



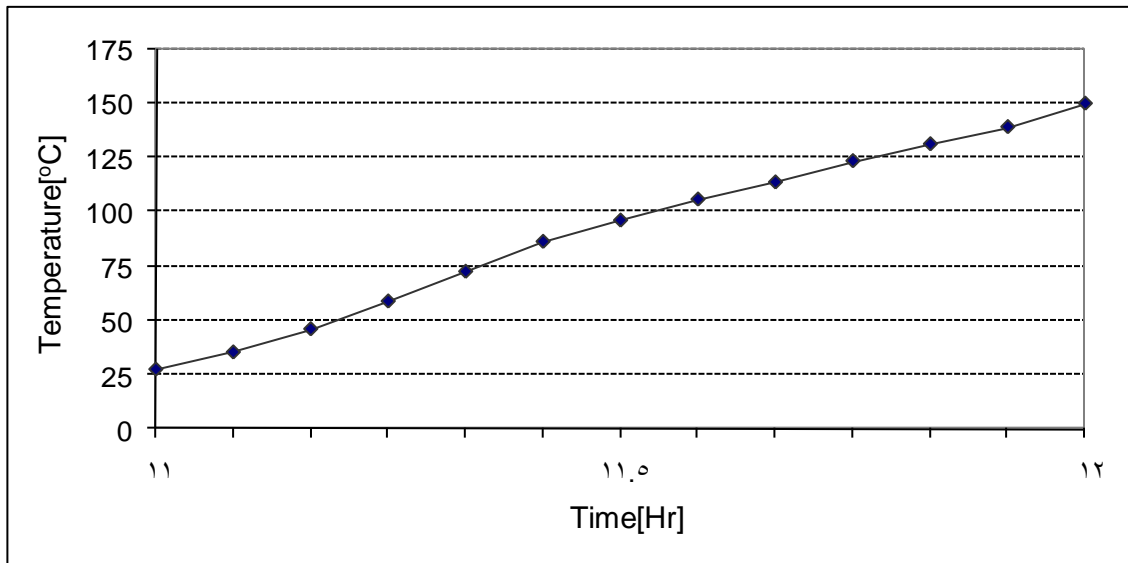
الشكل(4): توفير القدرة الناتجة من استخدام الفرن الشمسي لشهري حزيران وتشرين 1 والقدرة المستهلكة الناتجة من عمل الفرن التقليدي عند تسخين الماء بوزن $m=0.5 [Kg]$.

الشكل(5): يظهر قيم التوفير في القدرة الكهربائية من خلال استخدام الفرن الشمسي على مدار العام وأيضاً قيم القدرة الكهربائية المستهلكة من جراء استخدام الفرن التقليدي.

الشكل(6): يوضح السلوك الحراري للفرن الشمسي لبيانات المناخ لشهر حزيران، ولكن بوضع زيت الزيتون داخل وعاء الطهي بدلا من الماء، وزن زيت الزيتون المستخدم $m_f = 0.50 [Kg]$. إن الدراسة التحليلية توضح أن الزيت يسخن بشكل أسرع وترتفع حرارته أكثر من الماء وهذا متوقع على اعتبار الحرارة النوعية للزيت أقل بالمقارنة مع الماء. ولكن معامل الانتقال الحراري للماء مرتفع بالمقارنة مع معامل الانتقال الحراري للزيت، هذا يجعل الماء وسط مناسب جدا لعمليات الطهي [9].



الشكل(5): توفير القدرة الناتج من استخدام الفرن الشمسي على مدار العام عند تسخين الماء بوزن $m=0.5 [Kg]$ وقيم القدرة الكهربائية المستهلكة من جراء استخدام الفرن التقليدي.



الشكل(6): السلوك الحراري للفرن الشمسي عند تسخين زيت الزيتون بوزن $m_f = 0.50 [Kg]$.

2- الدراسة التجريبية

تم إجراء التجريبي في قرية جب الجراح التابعة لمحافظة حمص، طبق هذا الإجراء خلال شهر تشرين الأول للعام 2008 ضمن الشروط الآتية:

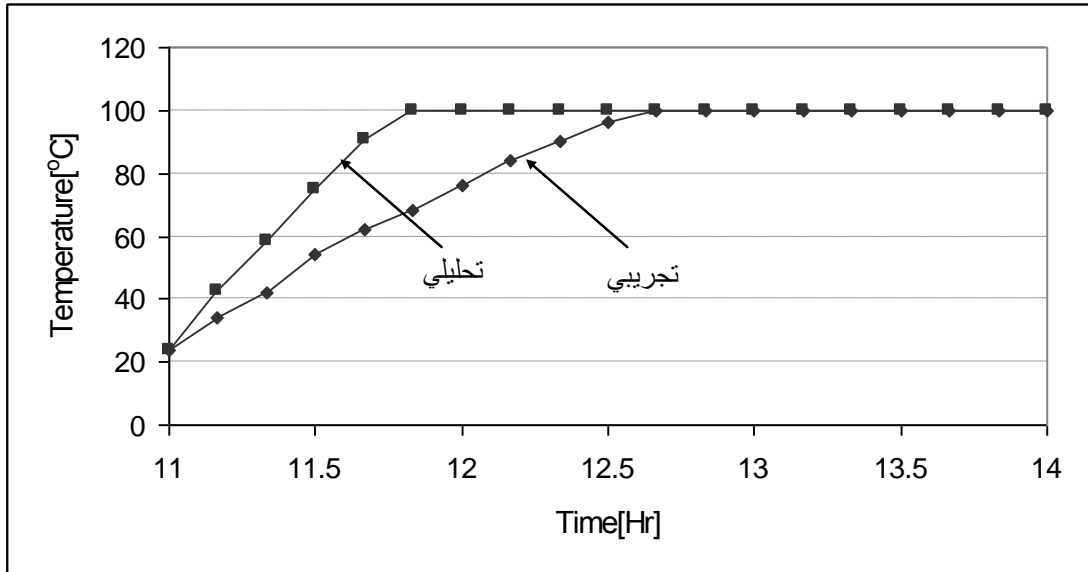
$$m_f = 0.5 [Kg] \quad \text{وزن الماء المستخدم}$$

$$T_a = 28 [C^\circ] \quad \text{درجة الحرارة الخارجية}$$

$$T_i = 24 [C^\circ] \quad \text{درجة حرارة الماء الأولية}$$

المواصفات الفنية للفرن الشمسي سبق ذكرها في سياق هذا البحث.

هدفت هذه الدراسة الى مراقبة السلوك الحراري أو تغيرات درجة الحرارة للماء مع الزمن حتى الوصول الى درجة الغليان، إن مقارنة الدراسة التحليلية مع الدراسة التجريبية نلاحظ أن زمن الوصول الى درجة الغليان للإجراء التجريبي يزيد بمقدار [40 minutes] بالمقارنة مع الدراسة النظرية. وهذه الزيادة قد تعزى لوجود ضياعات حرارية في أثناء العمل التجريبي لم تؤخذ بعين الاعتبار بالدراسة التحليلية أو قد يكون بسبب طبيعة المواد المستخدمة بالتوصيل الحراري أو بعزل وعاء الطهي. إن هذه الجزئيات قد تكون من اهتمام أبحاث أخرى متخصصة في النواحي الفنية للأفران الشمسية. إن نتائج الدراسة التجريبية والدراسة التحليلية موضحة بالشكل (7).



الشكل (7): السلوك الحراري للفرن الشمسي من أجل الدراسة التحليلية وأيضاً من أجل الإجراء التجريبي لتسخين $m_f = 0.50 [Kg]$ من الماء بتاريخ 2008 / 10 / 15 .

3- الدراسة الاقتصادية

إن إجراء مقارنة بين الفرن الشمسي والفرن التقليدي (الكهربائي) من حيث الكلفة الثابتة (كلفة الشراء) وكلفة التشغيل والعمر الاقتصادي. إن حساب الكلفة السنوية الناتجة عن استخدام الفرن الشمسي والفرن التقليدي تعطى من خلال العلاقة الآتية: [10]

$$A = F_c \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} + R_c \quad (7)$$

حيث: F_c [S.P]: كلفة الشراء

R_c [S.P/Y]: كلفة تشغيل سنوية

n [Y]: عمر اقتصادي

i [%]: معدل الفائدة

1-الفرن الشمسي

الكلفة الثابتة أو كلفة الشراء تقدر بقيمة $F_{c1} = 7000[S.P]$

الكلفة المتغيرة أو كلفة التشغيل تهمل باعتبار طاقة الدخل هي طاقة إشعاع شمسية مجانية $R_{c1} = 0.0$

العمر الاقتصادي وبحسب المواصفات التصميمية ومصادر التصنيع تبلغ $n_1 = 25[Y]$

وبالتالي الكلفة السنوية من تشغيل الفرن الشمسي بعد اعتبار معدل الفائدة $i = 6$ [%]

$$A_1 = 7000.0 \frac{(1+0.06)^{25} 0.06}{(1+0.06)^{25} - 1} + 0.0 = 547.58[S.P/Y]$$

2-الفرن الكهربائي

الكلفة الثابتة أو كلفة الشراء تقدر بقيمة $F_{c2} = 5000[S.P]$

الكلفة المتغيرة أو كلفة التشغيل تعطى بالعلاقة:

$$R_{c2} = P \delta_t \psi \quad (8)$$

حيث:

استطاعة الفرن الكهربائي: $P=1500$ [W]

زمن تشغيل الفرن الكهربائي: $\delta_t = 3$ [Hr]

كلفة واحدة القدرة المستهلكة: $\psi = 4$ [S.P / KWh]

$$R_{c2} = 1500[W] * 3[Hr / day] * 365[day / Year] * 4[S.P / KWh] = 6570[S.P / Y]$$

باعتبار العمر الافتراضي للأفران التقليدية يقدر بقيمة $n_2 = 8[Y]$

وبالتالي الكلفة السنوية من تشغيل الفرن الكهربائي

$$A_2 = 5000.0 \frac{(1+0.06)^8 0.06}{(1+0.06)^8 - 1} + 6570.0 = 7355.0[S.P/Y]$$

من نتائج هذه الدراسة يتضح أن التوفير الناتج من استخدام الفرن الشمسي يصل الى قيمة [%] 90 .

فترة استرداد ثمن الفرن الشمسي

المكافئ السنوي للكلفة الثابتة(كلفة الشراء) للفرن الشمسي بالقيمة الإضافية بالمقارنة مع الفرن الكهربائي:

$$\Delta A = (F_{c2} - F_{c1}) \left(\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (9)$$

$$\Delta A = (7000 - 5000) \left(\frac{(1+0.06)^{25} 0.06}{(1+0.06)^{25} - 1} \right) = 156.45[S.P]$$

التوفير السنوي من جراء استخدام الفرن الشمسي:

$$\begin{aligned} SAVE &= R_{c2} - \Delta A \\ &= 6570.0 - 156.0 = 6594.0 \text{ [S.P]} \end{aligned} \quad (10)$$

الزمن اللازم لاسترداد قيمة الفرن الشمسي:

$$\begin{aligned} t &= F_{c1} / SAVE \\ &= 7000.0 / 6594.0 = 1.0 \text{ [Year]} \end{aligned} \quad (11)$$

إن الفرن الشمسي يسترجع قيمته بعد عام واحد بالمقارنة مع تكاليف الفرن التقليدي من أجل سعر واحدة القدرة [S.P/KWh] 4، إذا اعتمدنا التعرفة المخفضة (المدعومة) لسعر واحدة القدرة فسوف تزداد الفترة الزمنية اللازمة لاسترداد أو استرجاع ثمن الفرن الشمسي.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. استخدام وعاء محكم السد والإغلاق في الأفران الشمسية يرفع المردود الى حوالي 27 % بينما لا تتعدى قيمته 15 % في الأفران الشمسية التقليدية وهذا سيقابله انخفاض بالزمن اللازم للطهي.
2. الفرن الشمسي الكاتم للبخار يتمتع بجاهزية وآلية إنجاز تشبه الأفران التقليدية.
3. إن الوصول الى درجة غليان الماء تحليلاً (نظرياً) من أجل استخدام الفرن الشمسي يكون أبسطاً من حالة استخدام الفرن التقليدي عند استطاعة [W] 1500 .
4. القدرة المصروفة لحالة استخدام الفرن التقليدي اكبر بكثير من القدرة الممكن توفيرها عند استخدام الفرن الشمسي لان القدرة المستهلكة عند استخدام الفرن التقليدي هي قدرة دخل بما فيها الضياعات أما توفير القدرة لحالة استخدام الفرن الشمسي تمثل القدرة المفيدة مع إهمال الضياعات.
5. نقصان زمن الوصول الى درجة الغليان للدراسة النظرية بالمقارنة مع الدراسة العملية قد يعزى الى وجود ضياعات تم إهمالها عند إجراء الدراسة النظرية أو لطبيعة المواد المستخدمة للتوصيل الحراري.
6. إن انعدام تكاليف التشغيل للفرن الشمسي بالمقارنة مع الفرن التقليدي جعلت قيمة التوفير تصل الى قيمة تعادل [90 %] .

المراجع:

- [1] KHALIFA, A. M.; TAHA, M. M. *Design Simulation, and Testing of A New Concentrating Type Solar Cooker*. Solar Energy, Vol. 38, No. 2, 2002, 79-88.
- [2] MANNAN, K.; ANNAMALI, M. *Thermal Performance and Cooking Evaluation of Compound Cone Solar Ovens*. Proc. Solar Energy Society, India National Energy Conference, Bangalore, January, 2002, 22-34.
- [3] HUELSZ, G. *A Solar Oven For Intertropical Zones: Evaluation of The Cooking Process*. Energy Conversion and Management, Vol. 49, 2008, 3622-3630.
- [4] DUCAS, W. *U-Value Measurements for Windows and Movable Insulation From Hot Box Tests in Tow Commercial Laboratories*. ASHRAE Trans., Vol. 92, 1998, 187-210.
- [5] بيانات الأرصاد الجوية
- [6] KHALIFA, A.; AKYURT, M. *Solar Cookers for Outdoors and Indoors*. Int. J. of Energy 10, 2004, 619-629.
- [7] OLWI, I. A.; KHALIFA, A. M. *Computer Simulation of The Solar Pressure Cooker*. Solar Energy, Vol. 40, No. 3, 1998, 259-268.
- [8] CHANNIWALA, S. A.; DOSHI, N. I. *Heat Loss Coefficients For Box-Type Solar Cookers*. Solar Energy, Vol. 42, No. 6, 2002, 495-501.
- [9] MULLICK, S. C.; KANDAPAL, T. C. *Thermal Test Procedure For A Paraboloid Concentrator Solar Cooker*. Solar Energy, Vol. 46, No. 3, 2003, 139-144.
- [10] SOUDER, W. *Theory and Problem of Engineering Economics*. University of Central Florida, 2001, 350.

