دراسة أداء مجمع شمسي مسطح معلق لتسخين الهواء

يوسف ياخور*

DOI: https://doi.org/10.54172/mjsc.v6i1.928

الملخص

استخدمنا في هذا البحث نموذج انتقال حراري لدراسة السلوك المؤقت لمجمع شمسي مسطح معلق يمر خلاله تدفق ثابت من الهواء بغرض تسخينه . ولأجل تقليل الضياعات الحرارية من أسفل المجمع الشمسي تم وضع صفيحة معدنية عاكسة وترك فراغ هوائي بينها وبين اللاقط الشمسي بالإضافة لوضع طبقة عازلة من الصوف الزجاجي أسفل المجمع .

وتجري دراسة تأثير عوامل عدة على أداء المجمع ، مثل سمك الفراغ الموجود بين الغطاء الزجاجي واللاقط الشمسي ، السعة الحرارية لكل من الهواء واللاقط الشمسي ، معدل تدفق الهواء مع طول المجمع ، إضافة إلى دراسة تأثير تبدل متوسط درجة حرارة دخول الهواء حسب طول المجمع الشمسي .

* محاضر في قسم الهندسة الميكانيكية ،كلية الهندسة ، جامعة عمر المختار ، ليبيا .

© للمؤلف (المؤلفون)، يخضع هذا المقال لسياسة الوصول المفتوح ويتم توزيعه بموجب شروط ترخيص إسناد المشاع الإبداعي CC BY-NC 4.0

المقدمة

تستخدم المجمعات الشمسية المخصصة لتسخين الهواء في التدفئة وفي تجفيف المحاصيل الزراعية بشكل واسع وبتصاميم مختلفة (Lof. G.O.G, 1989) .

ويتألف المجمع الشمسي المقترح المخصص لتسخين الهواء كما هو مبين في الشكل (1) من صفيحة معدنية مستوية (لاقط شمسي) تطلى بطلاء أسود مميز وتغطى من الأعلى بغطاء زجاجي شفاف لتقليل الضياعات الحرارية من أعلى المجمع . يمر تيار الهواء بتدفق ثابت فوق اللاقط الشمسي بهدف تسخينه . توضع صفيحة معدنية عاكسة أسفل اللاقط الشمسي تاركة فراغا هوائيا بينها وبين اللاقط الشمسي لغرض تقليل الضياعات الحرارية من أسفل المجمع (Duffie. J. A, 1991) . يجري عزل المجمع الشمسي من الأسفل عن المحيط الخارجي بطبقة عازلة من الصفوف الزجاجي .

وفي هذه الورقة نحاول دراسة الأداء المؤقت للمجمع الشمسي المسطح المعلق أثناء مرور الهواء فيه بتدفق ثابت ، وكذلك دراسة تأثير المعالم المختلفة على أداء المجمع الشمسي مثل طول المجمع ، تدفق الهواء ، السعة الحرارية لكل من اللاقط الشمسي والهواء ، سمك الفراغ الهوائي الموجود بين الغطاء الزجاجي واللاقط الشمسي ، إضافة لذلك دراسة تأثير تبدل متوسط درجة حرارة دخول الهواء وعلاقتها بطول المجمع الشمسي .

الدراسة التحليلية

التسميات والرموز المستخدمة في النموذج الرياضي

- d – عمق مجرى الهواء ، m .
- d_c – معامل الامتصاص للغطاء الزجاجي .
- d_p – معامل الامتصاص للاقط الشمسي .
- h_r – معامل النقل الحراري بالإشعاع من اللاقط الشمسي إلى الغطاء الزجاجي $w/m^{2\circ}C$.
- h_1 – معامل النقل الحراري بالحمل من الغطاء الزجاجي إلى الهواء $w/m^{2\circ}C$.
- h_2 – معامل النقل الحراري بالحمل من اللاقط الشمسي إلى الهواء $w/m^{2\circ}C$.
- k – معامل التوصيل الحراري للهواء $w/m^{\circ}C$.
- u_t – معامل انتقال الحرارة من الغطاء الزجاجي إلى الوسط المحيط $w/m^{2\circ}C$.
- u_b – معامل انتقال الحرارة من أسفل المجمع إلى المحيط $w/m^{2\circ}C$.
- N_u – عدد Nusselt .
- S – شدة الإشعاع الشمسي الساقط w/m^2 .
- T_a – درجة حرارة الوسط المحيط °C .
- T_c – درجة حرارة الغطاء الزجاجي °C .
- T_p – درجة حرارة اللاقط الشمسي °C .
- T_b – درجة حرارة أسفل المجمع °C .
- T_f – درجة حرارة الهواء في المجرى °C .
- T_i – درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجمع °C .

W– عرض اللاقط الشمسي m .

L– طول اللاقط الشمسي m .

ε– انبعاثية اللاقط الشمسي .

ρ– انعاكسية اللاقط الشمسي .

C– السعة الحرارية للهواء المحصور بين اللاقط الشمسي والصفيحة العاكسة $J/m^2{}^\circ C$.

C_{air}– الحرارة النوعية للهواء $J/kg^\circ C$.

M_p– السعة الحرارية للاقط الشمسي $J/m^2{}^\circ C$.

$\dot{m}_f$ – المعدل الكتلي لسريان الهواء داخل المجرى ، kg/s .

ϕ– دليل يمثل القيمة المتوسطة مأخوذة لفترة زمنية محددة للبارامترات المختلفة مثل شدة الإشعاع S ودرجة الحرارة T وغيرها .

σ– ثابت ستيفان بولتزمان $\sigma = 5.6697 \times 10^{-8}$ W/m^2k^4 .

معادلات التوازن الحراري لكل من الغطاء الزجاجي واللاقط الشمسي وطبقة العزل السفلية على التوالي هي :

$$d_c.S + h_1(T_f - T_c) + h_r(T_p - T_c) + U_t(T_a - T_c) = 0 \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

$$d_p S + h_2(T_f - T_p) + h_r(T_c - T_p) - C(T_p - T_b) = M_p \frac{dT_p}{dt} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$C(T_p - T_b) = U_b(T_b - T_a) \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

كمية الحرارة التي يمتصها الهواء المار على اللاقط تعطى بالصورة التالية :

$$\left[h_1(T_c - T_f) + h_2(T_p - T_f)\right] wdz = wdz d_\rho C_{air} \frac{dT_f}{dt} + \dot{m}_f C_{air} \frac{dT_f}{dz} dZ \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

وبحل المعادلتين 1 ، 3 من أجل T_b, T_c وتعويضهما في المعادلة (2) نحصل على :

$$\frac{dT_p}{dt} + A_1 T_p = B_1 T_f + D_1 T_a + G_1 S \quad \ldots\ldots (5)$$

حيث أن :

$$A_1 = \left[H_2 - \left(\frac{1}{E} \,.\, h_r - 1\right) h_r - C\left(1 - \frac{1}{F}\right) / M_p\right. \quad , \quad B_1 = [h_2 + \frac{h_r h_1}{E}\Big] / M_p$$

$$D_1 = \left[\frac{h_r U_t}{E} - \frac{CU_b}{F}\right] / M_p \quad , \quad G_1 = \left[dp + \frac{h_r d_c}{E}\right] / M_p$$

$$E = h_1 + h_r + U_t \qquad , \qquad F = C + U_b$$

ونحصل من المعادلة (4) على :

$$wd_\rho C_{air}\frac{dT_f}{dt} + \dot{m}_f C_{air}\frac{dT_f}{dz} = -A_2 T_f + B_2 T_p + C_2 T_a + D_2 S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

حيث أن :

$$A_2 = w\left[h_1 + h_2 - \frac{h_1^2}{E}\right] \qquad , \qquad B_2 = w\left[\frac{h_1 h_r}{E} + h_2\right]$$

$$C_2 = w.h_1 U_t / E \qquad , \qquad D_2 = w.h_1 d_c / E$$

معلوم أن كلا من شدة الإشعاع الشمسي S ودرجة حرارة المحيط T_a متغيرة مع الزمن ، ونتيجة لذلك تتغير كل من درجة حرارة اللاقط الشمسي T_p ودرجة حرارة الهواء في المجرى T_f ودرجة حرارة الهواء الداخل إلى المجمع الشمسي T_i (Klein S.A, 1976) والتي يمكن تمثيلها الرياضي باعتماد المعدلات الزمنية لقيمها المتوسطة على الهيئة التالية : $T_{f\phi}, T_{p\phi}, T_{a\phi}, S_\phi, T_{i\phi}$

$$S = S_\phi + \sum_{n=1}^{\infty} S_n e^{in\omega t} \qquad , \qquad T_a = T_{a\phi} + \sum_{n=1}^{\infty} T_{an} e^{in\omega t} \qquad , \qquad T_p = T_{p\phi} + \sum_{n=1}^{\infty} T_{pn} e^{in\omega t}$$

$$T_f = T_{f\phi}(Z) + \sum_{n=1}^{\infty} T_{fn}(Z) e^{in\omega t} \qquad , \qquad T_i = T_{i\phi} + \sum_{n=1}^{\infty} T_{in} e^{in\omega t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

حيث أن :

$$\omega = 2\pi / T$$

T– زمن الدور .

أ– الزمن الغير محدد

المعادلات (5) و (6) يمكن أن تختزل إلى :

$$A_1 T_{p\phi} = B_1 T_{f\phi}(Z) + D_1 T_{a\phi} + G_1 S_\phi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

$$\dot{m}_f C_{air} \frac{dT_{f\phi}(Z)}{dz} = -A_2 T_{f\phi}(Z) + B_2 T_{p\phi} + C_2 T_{a\phi} + D_2 S_\phi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

وبحل المعادلة رقم (8) لأجل $T_{p\phi}$ وبالتعويض في المعادلة (9) عندها نحصل على :

$$\frac{dT_{f\phi}(Z)}{(T_{f\phi}(Z) - P_1 T_{a\phi} - R_1 S_\phi} = M_1 dz$$

حيث أن :

$$P_1 = \left[\left(C_2 + \frac{D_1 B_2}{A_1} \right) . \dot{m}_f C_{air} / \left(A_2 + \frac{B_1 B_2}{A_1} \right) \right]$$

$$R_1 = \left[\left(D_2 + \frac{G_2 B_2}{A_1} \right) . \dot{m}_f C_{air} / \left(A_2 + \frac{B_1 B_2}{A_1} \right) \right]$$

$$M_1 = \left(A_2 + \frac{B_1 B_2}{A_1} \right) / \dot{m}_f C_{air}$$

وبالتكامل وتطبيق الشروط الحدية عندما $Z = 0$ و $T_{f\phi} = T_{i\phi}$ عندها نحصل :

$$\frac{T_{f\phi}(Z) - M}{T_{i\phi} - M} = e^{-M_1 z}$$

أو :

$$T_{f\phi}(Z) = \left\{ e^{-M_1 z} + \left(1 - e^{-M_1 z} \right) P_1 \right\} T_{a\phi} + \left(1 - e^{-M_1 z} \right) . R_1 S_\phi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

حيث :

$$M = P_1 T_{a\phi} + R_1 . S_\phi$$

ب– الزمن المحدد

المعادلات 5 و 6 تعطي :

$$(in\,\omega + A_1) T_{pn} = B_1 T_{fn}(Z) + D_1 T_{an} + G_1 S_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

$$wd_{\rho}C_{air}in\omega T_{fn}(Z)+\dot{m}_f C_{air}\frac{dT_f n(Z)}{dz}=-A_2T_{fn}(Z)+B_2T_{pn}+C_2T_{an}+D_2S_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

وبحل هاتين المعادلتين نحصل على :

$$\frac{dT_{fn}(Z)}{(T_{fn}(Z)-P_2T_{an}-R_2S_n)}=-M_2dz$$

حيث :

$$M_2=\left[A_2+wd_{\rho}C_{air}\ in\,\omega-B_2.B_1/(in\,\omega+A_1)\right]/\dot{m}_f C_{air}$$

$$P_2=\frac{1}{M_2}\left[C_2+B_2.D_1/(in\omega+A_1)\right]$$

$$R_2=M_2\left[D_2+B_2G_1/(in\omega+A_1)\right]$$

وبالتكامل وبتطبيق الشروط الحدية عند مدخل المجمع $Z=0$ و $T_{fn}(Z)=Tin$ نحصل على :

$$T_{fn}(Z)=\left[e^{-M_2z}+(1-e^{-M_2z})P_2\right]T_{an}+(1-e^{-M_2z}).R_2S_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

يمكن أن نحصل على درجة حرارة الهواء عند $Z=L$ (عند مخرج المجمع) من المعادلات (10) و (13) كالتالي :

$$T_{fn}(Z)=T_{f\phi}(Z)+\sum_{n=1}^{\infty}T_{fn}(Z)e^{in\omega t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

المقادير والمعالم المستخدمة في الحسابات هي كالتالي :

U_t = 16.634 W/m^2°C	h_r = 8.3435 W/m^2°C
U_p = 0.7914 W/m^2°C	M_p = 8268.0 J/m^2°C
C = 0.7157 J/m^2°C	d = 0.05 m
h_1 = 3.42 W/m^2°C	Z = 9.14 m
h_2 = 3.26 W/m^2°C	W = 0.914 m

معاملات الحمل الحراري h_1 و h_2 تم حسابهما من العلاقة .

$$N_u = \frac{hd}{k}$$

معامل النقل الحراري بالإشعاع h_r تم حسابه من العلاقة :

$$h_r = \sigma\left[(T_2+273)^2+(T_1+273)^2\right]\left[(T_2+273)+(T_1+273)\right]/\left(\frac{1}{e_1}+\frac{1}{e_2}-1\right)$$

النتائج والمناقشة والتوصيات

أدى استخدام صفيحة عاكسة مع فراغ هوائي بسمك (5 cm) بين اللاقط الشمسي والعازل السفلي إلى إنقاص معدل الضياعات الحرارية من اللاقط الشمسي إلى الجو عن طريق السطح السفلي للمجمع إلى حوالي النصف (Klein. S. A., 1986) .

يبين الشكل (2) تأثير زيادة الفراغ الفاصل بين اللاقط الشمسي والغطاء الزجاجي ، حيث تتناقص درجة حرارة الهواء مع تزايد الفراغ الفاصل بين اللاقط الشمسي والغطاء الزجاجي نظرا لتزايد كمية الهواء المراد تدفئته ، بينما يبين الشكل (3) تأثير زيادة طول المجمع ، حيث تتزايد درجة حرارة الهواء مع تزايد طول المجمع إلى درجة محددة . وتزداد الضياعات الحرارية مع ازدياد طول المجمع خاصة عند درجة الحرارة العظمى للهواء . مما يسبب في هبوط درجة حرارة الهواء إذا بقي ضمن المجمع ، بالتالي يجب تحديد طول المجمع بدقة للحصول على أعلى وأقل ضياعات ممكنة ، أي يجب إخراج الهواء من المجمع عند أعلى درجة حرارة له . ومن الشكل (4) نلاحظ عدم وجود فرق كبير في درجات الحرارة للواقط الشمسية بسعات حرارية (سماكات) مختلفة ، ولكن يلاحظ ارتفاع في درجة حرارة الهواء الخارج في أوقات متأخرة من عمل المجمع الشمسي . ومن الشكل (5) نلاحظ أنه مع تزايد سرعة الهواء الداخل للمجمع تقل درجة حرارته عند المخرج لأن تدفق الهواء يزداد وبالتالي كمية الحرارة المسحوبة من المجمع الشمسي تصبح أكبر .

ويوضح الشكلان (6) و (7) تأثير طول المجمع عند الشروط $T_{i\phi} > m, T_{i\phi} < m$ على التوالي ، حيث تزداد درجة حرارة الهواء مع زيادة طول المجمع حتى درجة معينة من طوله في الحالة الأولى ، وبعد ذلك تتناقص مع إزاحة للقيمة العظمى لها بسبب الزيادة في الضياعات الحرارية . تنقص درجة حرارة الهواء في الحالة الثانية ويرافقها إزاحة في درجة الحرارة العظمى مع زيادة طول المجمع

.

ونوصي باستخدام المجمعات الشمسية المعلقة في المناطق المشمسة لغرض تسخين الهواء واستخدامه في الأغراض المختلفة ، ونوصي أيضا باستكمال البحث بغرض التعويض عن عدم وجود الإشعاع الشمسي ليلا وذلك بإضافة بعض التقنيات الحافظة للحرارة والتي تقوم بامتصاص الطاقة الحرارية نهارا وإعطائها ليلا . كما نوصي بإجراء دراسة اقتصادية شاملة للمجمع وملحقاته لمقارنة مردوده الاقتصادي مع مصادر الطاقات الأخرى .

Study of Performance of Suspended Flat Plate air Heater

Y. Yakhour*

Abstract

In this communication, a heat transfer model to predict the transient behaviour of a suspended flat plate solar collector with constant flow of fluid (air) above the absorber has been presented. A reflection sheet with an air gap between the absorber plate and bottom insulation to reduce heat loss, has been used. The effect, on performance of the heater, of the parameters viz, spacing between cover and plate, heat capacity of air and absorber plat, flow rate of fluid and collector length have been studied. The effect of changing the averaging inlet temperature varying collector length has also been studied.

المراجع

Duffie l.A., Beckman, W.A.(1991) Solar Engineering of thermal processes, John Wiley & Sons.

Klein S.A. (1986) Calculation of monthly average insulation on tilted surfaces. Proceedings of the American section meeting of ISES.

Klein S.A.A (1976) Design of the procedure for solar heating systems. Ph.D. thesis. University of Wisconsin-Madison.

LofG.O.&, (1989) World Symp on Applied Solar Energy, Phoenix, AZ.

* Omar Al-Mukhtar University, El-Beida–Libya.