دراسة نظرية للحمل الحر الطباقي خلال جدار ترومب المسامي باستخدام الطاقة الشمسية السلبية[+]

A THEORETICAL STUDY OF LAMINAR FREE CONVECTION THROUGH POROUS TROMBE WALL WITH PASSIVE SOLAR ENERGY

عدنان محمد حسين [*]

المستخلص

أصبحت الطاقة الشمسية مصدرًا مهما في وقتنا الحاضر لدورها في ترشيد استهلاك الطاقة وخصوصًا في فصل الشتاء وجدار ترومب يعد من أهم تطبيقات الطاقة الشمسية في مجال التدفئة، وفي هذه الدراسة تم اختيار جدار مسامي مكون من حاويات معدنية مملوءة بالحجر وهناك فتحات في اسفل الجدار لدخول الهواء البارد وفتحات في أعلى الجدار لخروج الهواء ساخناً .

تم صياغة نموذج رياضي مع برنامج حاسبي لمحاكاة هذا النموذج وقد استخدمت طريقة الفروقات المحدودة المركزية لحل المعادلات التفاضلية الجزئية وقورنت النتائج مع جدار كونكريتي والتي بينت ان الجدار المسامي ذا الفتحات يمتلك معامل تدفئة شمسية اكبر من الجدار الكونكريتي لذلك فانه افضل من ناحية الخزن الحراري مما يؤدي الى التقليل من الطاقة الخارجية المضافة . وقد مثلت درجات الحرارة اللابعدية والسرعة اللابعدية مع عرض الجدار ولأوقات معينة باعتبار نموذج دارسي للجريان ، كما تم تمثيل عدد نسلت مع طول خط الجريان والذي يبين الانخفاض في عدد نسلت نتيجة نمو طبقة متاخمة حرارية .

Abstract

Solar energy has become an important source nowadays for reducing energy especially in winter ,and trombe wall is considered one of the most important applications of solar energy in heating . In this study porous wall container is selected , full of gravel with gaps below the wall to allow inter cold air to enter and upper gaps of the wall to exit hot air .

A mathematical model has been formulated with computer program to simulate this model using the central finite differences to solve the partial differential equations and the results are compared with concrete wall and show that porous wall with gaps has solar heat fraction larger than concrete wall , therefore it is the better in heat storing , this leads to reduce the added auxiliary energy . The non-dimensional temperature and velocity represents together with wall width for time limited with respect to Darcy model for flowing , and Nusselt number acts along with flow line showing the decrease in Nusselt number as a result of the growth in thermal boundary layer .

المقدمة

يعد جدار ترومب من أهم التطبيقات الشمسية السلبية وهي عبارة عن جدار سميك من السمنت ومواد أخرى مصممة في هيكل البناية مغطاة بطبقة أو طبقتين من الزجاج . أجرى الباحث عدنان محمد [١] دراسة لجدار ترومب

[+] تاريخ استلام البحث :٢٠٠٤/٧/١٢، تاريخ قبول النشر : ٢٠٠٥/١١/١٧

[*] مدرس مساعد/المعهد التقني / الحويجة/كركوك/العراق.

المسامي بحاويات مغلقة فكان انتقال الحرارة بالتوصيل تارة وبالحمل تارة أخرى اعتماداً على عدد رايلي وحسب سمك الحاوية ، توصل الباحث إلى أن زيادة سمك الحاوية يؤدي إلى زيادة الخزن الحراري اكثر من الجدار الكونكريتي الذي يعد مقياساً للخزن الحراري . كما قام الباحث M.T.Al-Kamil [٢] بدراسة عملية ونظرية على سخان ماء شمسي يعمل في الأساس على الحجر كمادة خزن حراري ، وضع الباحث معادلتين تفاضليتين الأولى للطور الصلب والثانية للطور السائل ثم دمج المعادلتين بنموذج واحد وحلهما عددياً، الشروط الحدودية نوقشت والنتائج النظرية كانت مطابقة للنتائج العملية . أما الباحث مكي زيدان [٣] فقد قام بإنشاء نموذجين في مدينة تكريت الأول عبارة عن صندوق خشبي بينما الثاني ملامس لبيت زجاجي كما استعمل غطاءين من البلاستك وفرشة من الحصو لتقليل فقدان الحرارة ولخزنها لوقت الليل ، استخدمت برامج الحاسبة الألكترونية لحل النموذج الرياضي وكانت النتائج النظرية موافقة للنتائج التجريبية أما في هذه الدراسة فقد استخدمت حاويات معدنية بشكل متوازي مستطيلات ومملوءة بالحجر وتحتوي فتحات في الأسفل والأعلى كما في الشكل (١) .

الهدف من البحث

يهدف البحث الى دراسة أداء جدار ترومب ذي الفتحات ومقارنته بجدار كونكريتي في تدفئة قاعة نموذجية في مدينة كركوك عن طريق بناء نموذج رياضي مع برنامج حاسبي لمحاكاة هذا النموذج وخلال ثلاثة اشهر في فصل الشتاء .

المعدلات الحاكمة

يتكون الجدار من حاويات بشكل متوازي مستطيلات بسمك (L) وارتفاع (H) وعرض (W) مملوءة بالحجر ومرتبة بشكل جدار وبفرض أن خواص المائع ثابتة والحرارة المتولدة بتأثير اللزوجة مهملة والسطوح عُدّت أجسام رمادية من ناحية الإشعاع الشمسي المنعكس والنافذ والوسط متساوي الخواص في جميع الاتجاهات(ISOTROPIC).

النموذج الرياضي

تم صياغة النموذج الرياضي بتقسيم الجدار إلى طبقات تعد كل طبقة حجم مسيطر وكما يأتي :

١ـ**سطح الزجاج** : كما مبين في شكل (٢) فان :

$$(Q_{in})_g-(Q_{conv})_{g-o}-(Q_{rad})_{g-sky}-(Q_{conv})_{g-A}-(Q_{rad})_{g-1}+(Q_{ref})_{1-g}=\rho_g c_g \Delta g \frac{\partial T}{\partial t} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1a)$$

$$\alpha_g .I - h(T_g^o - T_o) - \sigma\varepsilon_g (T_g^{o^4} - T_{sky}^4) + h(T_g^o - T_A) + \frac{\sigma(T_g^{o^4} - T_1^{o^4})}{\frac{1}{\varepsilon_g}+\frac{1}{\varepsilon_w}-1} + (\tau_g \rho_w) I =$$

$$\frac{\rho_g C_g \Delta_g}{\Delta t}(Tg^{\,1} - Tg^{\,o}) \quad (1aa)$$

بعد التبسيط وتعويض الثوابت تصبح المعادلة بالشكل الاتي (الثوابت مأخوذة من مصدر[١]):

$$T_g^{\,1}=T_g^{\,o}+A1.I-B1(T_g-T_o)-C1(T_g-T_{sky})+D1(T_g-T_A)+E1(T_g-T_1)+F1.I \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1b)$$

٢. **سطح الجدار الخارجي** : كما في شكل(٢) فان :

$$(Qin)_g-(Qconv)_{1-A}-(Qrad)_{1-g}-(Qcond)_{1-2}=\left[\phi(\rho Cp)_f+(1-\phi)(\rho C)_s\right]\frac{\Delta x}{2}\frac{\partial T}{\partial t} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

بعد التبسيط وتعويض الثوابت تصبح المعادلة بالشكل الآتي :

$T_1^1=(1-3.9\tau)T_1^0+0.073\tau T_2^0+1.84\tau T_A+0.01\tau I$ ……. (2b)

٣. سطح الجدار الداخلي : كما في الشكل(٢) فان :

$$(Q_{cond})_{N-1-N} - (Q_{conv})_{N-R} - (Q_{rad})_{N-R} = \left[\phi(\rho Cp)_f + (1-\phi)(\rho C)_s\right]\frac{\Delta x}{2}\frac{\partial T}{\partial t} \quad \ldots\ldots \quad (3a)$$

بعد التبسيط وتعويض الثوابت تصبح المعادلة بالشكل الآتي :

$T_N^1=(1-2.49\tau)T_N^o+2\tau T_{N-1}+120\tau+160$ …….. (3b)

لتحقيق الاستقرارية في الحل يجب أن يكون : $(1-3.9\tau)>=0$

وذلك لان اكبر معامل لـــτ ليس اكبر من واحد [٤] ،

لذلك فان : $\tau \le \frac{1}{3.9} \Leftrightarrow \frac{a\Delta t}{(\Delta x)^2} \le \frac{1}{3.9}$

فيكون $\Rightarrow \Delta t \le 213\text{sec}$

لذلك فان فترة التكرار تكون : $\Delta t=200\text{sec}$

<u>طبقات الجدار الداخلية</u>

إن المعادلات الحاكمة لانتقال الحرارة خلال الأوساط المسامية هي معادلة الزخم والطاقة إذ أن معادلة الزخم ذات البعد الواحد لنموذج دارسي هي :[٥]

$$u = -\frac{K}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

حيث K نفاذية الحجر وهي محسوبة كما في المصدر [١] ، أما معادلة الطاقة ذات البعدين فهي :

$$\sigma_P\frac{\partial T}{\partial t} + u\frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_P\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

<u>الصيغة اللابعدية</u>

بفرض أن القيم اللابعدية تكون كالآتي :

$$\theta = \frac{T-Tav}{T_1-T_N}, Tav = \frac{T_1+T_N}{2} \ , \ Y=y/b \ , X=x/L \ , \ \lambda = \frac{\alpha_P.t}{\sigma_P L^2} \ , \ U=u.b^2/L.\alpha_P$$

حيث أن λ دالة الزمن اللابعدية و θ درجة الحرارة اللابعدية .

بالتعويض في معادلة(٤) تكون معادلة الزخم بالشكل الآتي :

$$U = -K.\frac{b^2}{\rho\upsilon\alpha_P L}\left(\frac{\partial P}{\partial X}\right) \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

وبالتعويض في معادلة (٥) تكون معادلة الطاقة بالشكل الآتي :

$$\frac{\partial\theta}{\partial\lambda} + U\frac{\partial\theta}{\partial X} = \frac{\partial^2\theta}{\partial Y^2} \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

كذلك يمكن تحويل معادلة (2b)و(3b) إلى الصيغة اللابعدية كالآتي :

$$\theta_1^1 = (1-3.9\tau)\theta_1^0 + 2\tau\theta_2^0 + 0.01\tau.I \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

$$\theta_N^1 = (1-2.49\tau)\theta_N^0 + 2\tau\theta_{N-1}^0 + 120\tau + 160 \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

الحل العددي

استخدمت طريقة الفرو قات المحددة المركزية في الحل العددي فكانت معادلة الزخم كالآتي :[4]

$$Ui=K.G \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

ومعادلة الطاقة كانت كالآتي :

$$\frac{\theta^{1}_{i,j}-\theta^{o}_{i,j}}{\Delta\lambda}+U_j\frac{\theta_{i+1,j}-\theta_{i-1,j}}{2\Delta X}=\frac{\theta_{i,j+1}-2\theta_{i,j}+\theta_{i,j-1}}{\Delta Y^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

الظروف الحدية

إن الظروف الابتدائية والتي اعتبرت عند بداية الإشعاع الشمسي تكون كالآتي :

$\lambda=0$, $\theta=-1$,$U=0$,at any Y,$X=0$

$\lambda=0$, $\theta=1$,$U=0$,at any Y,$X=1$

أما الظروف الحدية فتكون كالآتي :

$\lambda>0$

$\theta=\theta_o$,$U=0$,at $Y=0$,any X

$\theta=\theta_N$,$U=0$,at $Y=0$,any X

$\frac{\partial\theta}{\partial X}=0$,$U=0$,at $X=0$,any Y

$\frac{\partial\theta}{\partial X}=0$,$U=0$,at $X=0$,any Y

حساب عدد نسلت

إن عدد نسلت يمثل صافي الحرارة المنتقلة بالحمل إلى الحرارة المنتقلة بالتوصيل وكالآتي :

$$Nu=\frac{Q_{net}}{Q_{cond}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12a)$$

وبعد التبسيط تصبح المعادلة كالآتي [١]

$$Nu=\frac{1}{keH\Delta T/L}\int_0^H -ke\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=0}dx \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12b)$$

$$Nu=\frac{\Delta Y}{6\Delta XA}\sum(-11\theta_{0,J}+18\theta_{1,J}-9\theta_{2,J}+2\theta_{3,J}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12c)$$

حساب الأداء الحراري

كمية الفيض الحراري الداخل إلى الغرفة

$$Q=Q_c+Q_R \quad (J) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

معدل الحرارة المخزونة لوحدة المساحة :

$$Q_{SR}=\tau_g\, I-\sigma\varepsilon\,(T_1^4-T_g^4)-ha(T_1-T_g)-Q \quad (J) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

كمية الحرارة المنتقلة شهريا (Q_T) إلى داخل البناية عبر الجدار المسامي نتيجة الإشعاع الشمسي هي :

$$Q_T=\frac{1}{n}\sum_{t=0}^{n}Q.\Delta t \quad (J) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

١- حساب معامل صافي الخسارة (Net Loss Coeff.)(NLC):

$$BSC=24*3600*\Sigma UiAi \quad (J) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

حيث أن :Building Skin Conductance (BSC) (معاملات التوصيل في البناية) يحسب من:[٦]

NLC=BSC+INF (J) ..... (17)

علما أن : (INF=0.5) كمية الهواء المصفى [٦]

٢- حساب معامل التدفئة الشمسية (SHF) والذي يمثل نسبة الطاقة المستفادة من الشمس إلى صافي الحمل الحراري شهريا ويحسب من المعادلة :

SHF=Q/Qnet ..... (18)

Qnet : صافي حمل التدفئة ويحسب من :

Qnet=NLC*DD ..... (19)

حيث أن DD يمثل الدرجات اليومية [٦]

٣-حساب الطاقة الخارجية (Qaux) والتي تمثل الحمل اللازم إضافته مع الحمل الشمسي لسد متطلبات التدفئة :

Qaux=(1-SHF)NLC(DD) ..... (20)

محاكاة النموذج الرياضي :

استخدمت لغة بيسك السريعة (Quick Basic) لمرونتها العالية في تنفيذ البرنامج المبين مخططه الانسيابي في الشكل(٣) والذي يقوم بحساب درجات الحرارة والسرعة لكل نقطة في الجدار ثم يعوضها في المرة الثانية وهكذا يستمر التكرار حتى يتحقق الشرط ($\left|T^1 - T^0\right| \le \varepsilon$) حيث أن ε=0.0001 وهذا يمثل الفرق بين درجة الحرارة السابقة واللاحقة [٤].

<u>مناقشة النتائج</u>

الشكل(٤) يبين توزيع عدد نسلت مع عرض الجدار حيث يبدا بـ١٦ في بداية منطقة الدخول الحراري نتيجة الفرق القليل بين درجة حرارة المائع والسطح ويقل عدد نسلت بفعل الزيادة في الطبقة المتاخمة الحرارية وتستمر الزيادة في الفرق بين درجة حرارة المائع والسطح إلى أن يثبت هذا الفرق وبذلك يكون سمك الطبقة المتاخمة الحرارية يساوي واحد أي اكبر قيمة لـ Y وينتهي طول منطقة الدخول الحراري ويثبت عندها عدد نسلت في منطقة تمام التشكيل الحراري الذي يساوي 3.5 كذلك يزداد عدد نسلت مع زيادة الإشعاع الشمسي إذ أن أعلى قيمة له عند الساعة التاسعة صباحا كانت ١٦ بينما تزداد حتى تصل أعلى قيمة في الساعة الواحدة مساءا وهي ٢٢ ويكون بنفس السلوك يتناقص حتى يثبت عند قيمة Nu=3.5 . يبين الشكل (٥) توزيع درجات الحرارة اللابعدية للمائع على طول البعد Y أي عرض الجدار لاماكن مختلفة من الجدار . يلاحظ ازدياد درجة الحرارة اللابعدية من صفر كلما ابتعدنا عن الجدار باتجاه المركز حتى تصل أعلى قيمة في المركز عندما Y=0.5 حيث كانت قيمتها 0.5 ، كما أنها تزداد اكثر كلما ازدادت قيمة X من الأرض إلى أعلى الجدار .أما الشكل(6) فيبين سرعة الجريان لانموذج دارسي ولأوقات مختلفة حيث تزداد السرعة مع زيادة الإشعاع الشمسي من الساعة السابعة صباحا إذ كانت السرعة صفر حتى الساعة الواحدة مساءا إذ كانت السرعة 4m/s ثم تتناقص بعد ذلك حتى انتهاء الإشعاع الشمسي عند الساعة السادسة مساءا وقد كانت السرعة صفر .الشكل (7) يبين تغير معامل التدفئة الشمسية حيث يلاحظ زيادة معامل التدفئة الشمسية في الوسط المسامي اكثر من الكونكريت فتكون أعلى قيمة لمعامل التدفئة الشمسية هي 0.85 في حالة الكونكريت بينما تكون 0.99 في حالة الوسط المسامي وان اقل قيمة 0.7 هي في حالة الكونكريت بينما تكون اقل قيمة 0.79 في حالة الوسط المسامي مما يدل على أن الكسب الشمسي أعلى في حالة الوسط المسامي من الكونكريت .الشكل (8) يبين أن أعلى قيمة للطاقة المخزونة هي 6200 MJ واقل قيمة هي 3000 MJ في حالة الكونكريت بينما تكون أعلى قيمة 8400 MJ واقل قيمة هي 4200 MJ في حالة الوسط المسامي وهذا يدل على إن الخزن الحراري في الوسط المسامي اكبر من الكونكريت . كما يبين الشكل نفسه أن أعلى قيمة للطاقة الخارجية 2500MJ واقل قيمة 1000 MJ

في حالة الكونكريت بينما تكون أعلى قيمة للطاقة الخارجية هي 1600 MJ واقل قيمة 750 MJ في حالة الوسط المسامي وهذا يبين أن إضافة طاقة إلى الحمل الشمسي يكون اكبر في حالة الكونكريت من الوسط المسامي .

الاستنتاجات

١- بما أن الطاقة الحرارية المخزونة في الوسط المسامي اكبر من الكونكريت وان الطاقة الخارجية اللازم إضافتها إلى الوسط المسامي اقل من الكونكريت لذا فان للوسط المسامي خواص حرارية افضل من الكونكريت فهو مناسب جداً لاستخدامه في جدار ترومب .

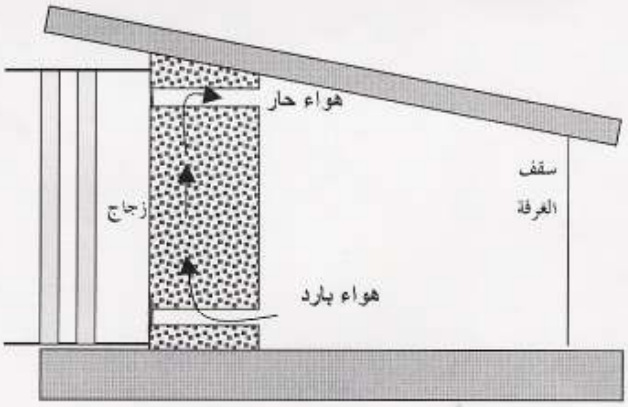
٢- بزيادة الإشعاع الشمسي يزداد عدد نسلت من ١٦ إلى ٢٢ .

٣- السرعة ثابتة مع عرض الجدار ولكنها تزداد مع زيادة الإشعاع الشمسي من صفر إلى 4m/s وتقل عند نقصان الإشعاع الشمسي .

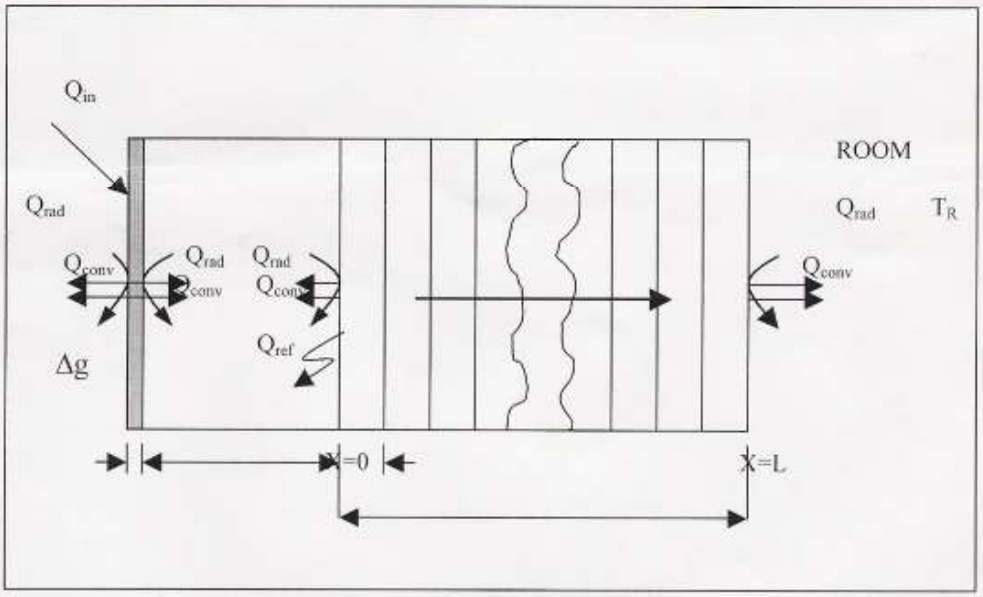
٤- معامل التدفئة الشمسية اكبر في حالة الوسط المسامي من الكونكريت .

تعريف الرموز

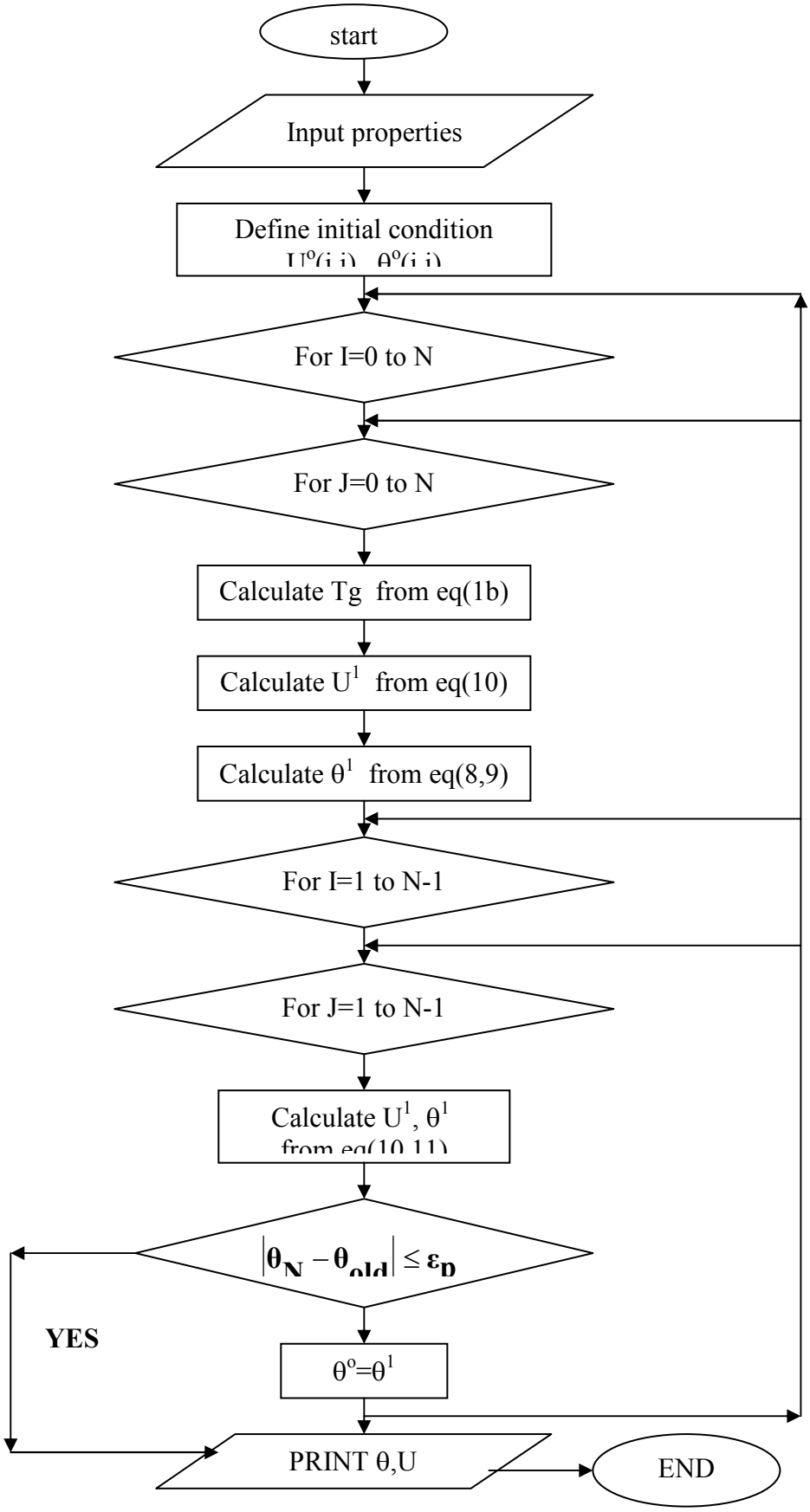
الرمز	المعنى	الوحدة	الرمز	المعنى	الوحدة
A	المساحة	m^2	T	درجة الحرارة	C
b	طول الجدار	m	t	الزمن	Sec
C	السعة الحرارية النوعية	W/kg.C	u	سرعة الهواء بالاتجاه الأفقي	m /s
DD	الدرجات اليومية	W/m^2	U	سرعة الهواء اللابعدية	-
g	التعجيل الأرضي	m/s^2	X	المحور الأفقي اللابعدي	–
H	ارتفاع الجدار	m	Y	المحور العمودي اللابعدي	–
h	معامل انتقال الحرارة بالحمل	$W/m^2.k$	x	المحور الأفقي	m
I	شدة الإشعاع الشمسي	W/m^2	y	المحور العمودي	m
K	معامل النفاذية للوسط المسامي	m^2	ϕ	المسامية	–
ke	معامل التوصيل الحراري المؤثر	W/m.k	α_p	الانتشاريةالحراريةللوسط المسامي	m^2/s
L	سمك الجدار	m	ε	ابتعاثية الإشعاع	–
n	عدد الثواني	Sec	λ	دالة الزمن اللابعدية	–
Nu	عدد نسلت (Nu=hL/k)	–	σ_p	القصور الحراري للوسط المسامي	–
P	الضغط	Pa	θ	درجة الحرارة اللابعدية	–
Q	كمية الحرارة (الفيض الحراري)	J	ρ	الكثافة	Kg/m^3



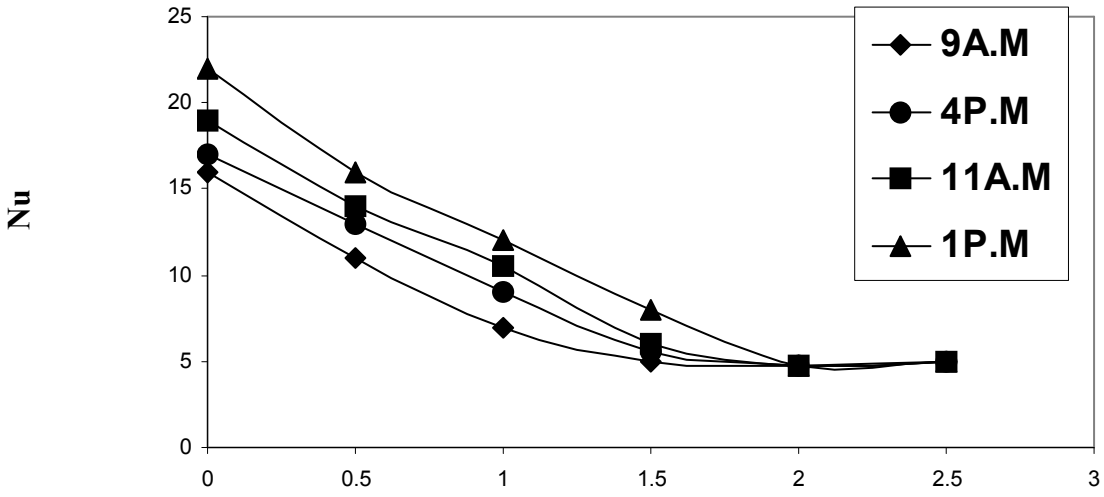
شكل(1) جدار الخزن الحراري ذو تهوية[1]



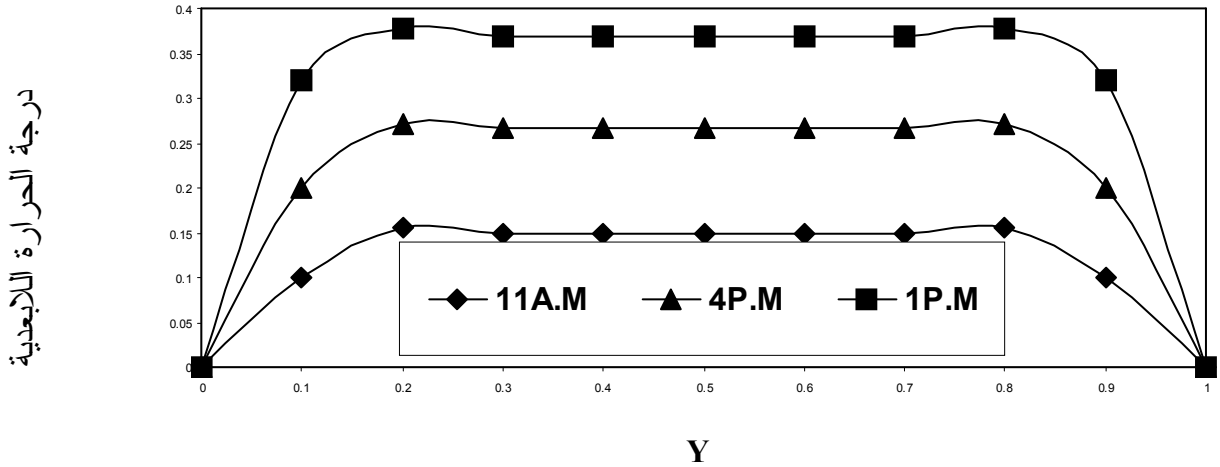
شكل(2) مخطط توضيحي يبين كل طبقة من طبقات الجدار



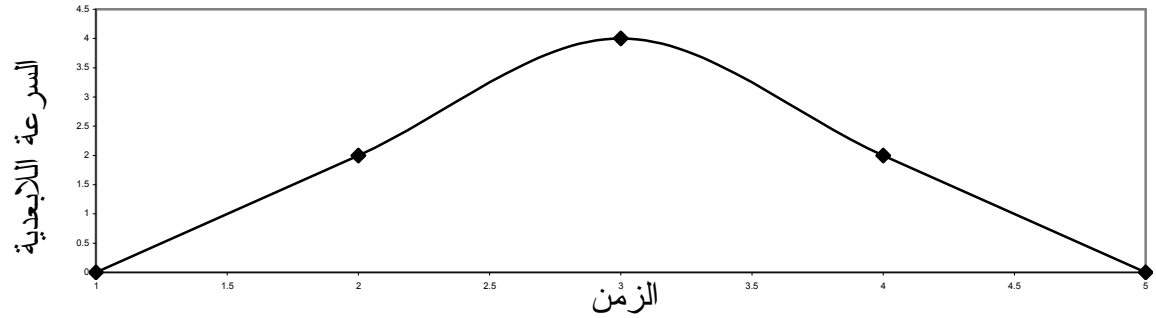
شكل(٣) المخطط الانسيابي للبرنامج



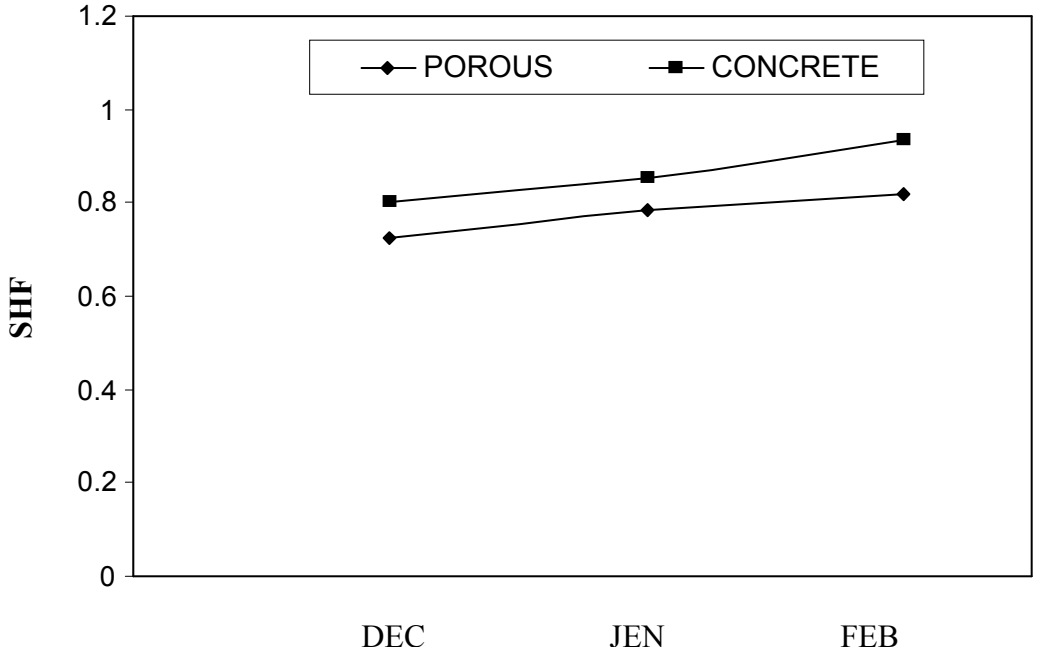
شكل(٤) :تغير عدد نسلت مع طول الجدار



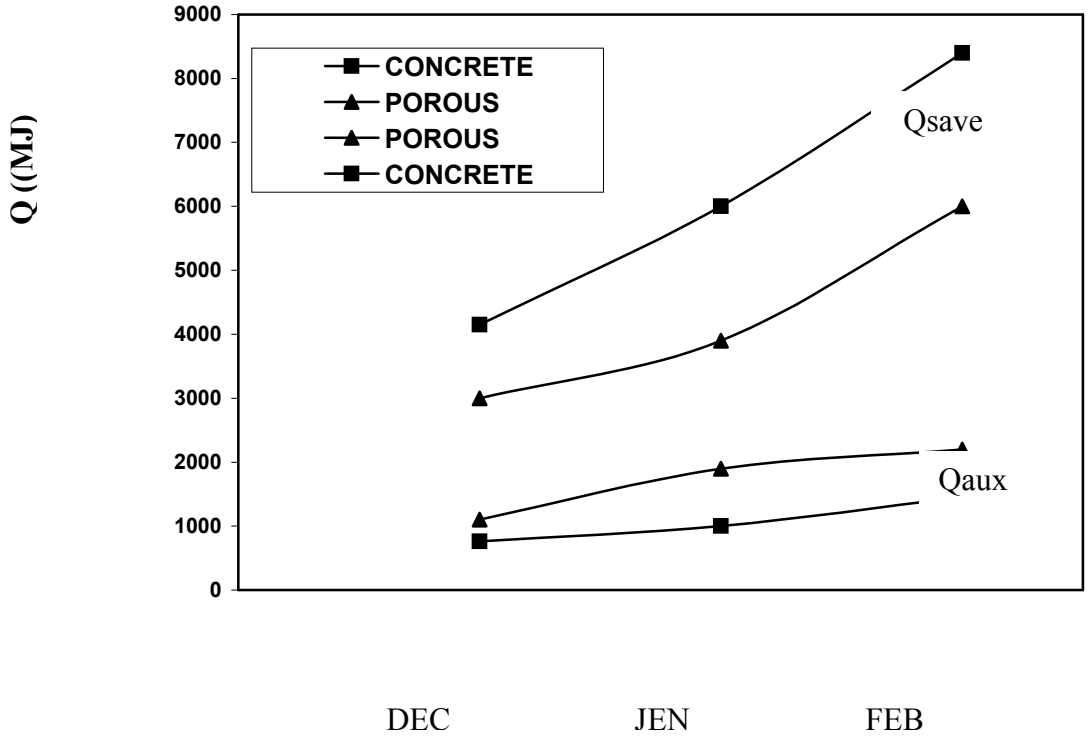
شكل(٥): توزيع درجات الحرارة اللابعدية مع عرض الجدار



شكل(٦): يبين توزيع السرعة اللابعدية مع الزمن



شكل(٧): يبين تغير معامل التدفئة الشمسية خلال فصل الشتاء



شكل(٨): يبين تغير الطاقة المخزونة والطاقة الخارجية خلال فصل الشتاء

المصادر

١. عدنان محمد حسين *"تحليل أداء جدار الخزن الحراري المسامي لغرض التدفئة بالاستخدام السلبي للطاقة الشمسية "* رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة تكريت ٢٠٠٢ .

2. AL-Kamil,M.T. *"A Packed Bed Solar Collector InThermo-sephon Water Heating System" Journal of Solar Energy Research* ,Vol.7, No.1, pp.17 , 1989 .
3. M.H.Zedan, "*Experimental and Theoretical Models of Iraqi Solar Houses".* Msc,Thesis, Mechanical Engineering ,Unversity of Tikrit , 1997 .
4. S.V.Patanker, "*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow"* . McGraw Hill , 1980 .
5. A.Bejan, *"Convection Heat Transfer".* New York , 1984 .

6. R.D..McFarland and J.D.Balcomb "*A Simple Empirical Method for Estimating The Performance of a Passive Solar State Heated Building of The Thermal Storage Wall Type*" Proceedings of The 2nd National Passive Solar State of The Arts , vol.2 , pp.377, 1978 .