

دراسة عملية ونظرية للتوزيع الحراري داخل غرفة معزولة حرارياً مزودة بجدار ترومب بدون فتحات

د. جلال محمد جليل* ، د. عادل حنون* و ساجدة صبري فارس**

تاريخ الاستلام: 2011/2/23

تاريخ القبول: 2011/5/5

الخلاصة

يهتم البحث الحالي بدراسة توزيع وحساب درجات الحرارة للهواء المحصور في حيز مغلق (غرفة الاختبار) مزودة بجدار خازن للحرارة مصنوع من مادة الكونكريت (جدار ترومب) ومعزولة من جميع الجهات باستثناء الجهة المواجهة للشمس حيث تتكون من طبقة من الزجاج ويلبها فجوة هوائية محصورة بين طبقة الزجاج من الداخل وجدار ترومب، تضمنت الدراسة العملية أخذ القراءات ليومي (21,22) من شهر كانون الأول 2009.

تم حل المعادلات التفاضلية الجزئية والمتمثلة بمعادلة الاستمرارية، الزخم والطاقة ومعدل ضياعها باستخدام طريقة الحجوم المحددة (finite volume) مع الصيغ الجبرية للزوجية المضطربة (turbulent viscosity) ومعامل الانتشارية (diffusion coefficient) باستخدام موديل الاضطراب $(k - \epsilon)$ ، تم بناء برنامج حاسوبي بلغة البرمجة (الفورتران 90) لحساب وتوزيع درجات الحرارة داخل غرفة الاختبار وخلال الجدار الخازن للحرارة.

أظهرت النتائج ان التوزيع الحراري للغرفة مع الوقت لهذين اليوميين اعلى قيمة لهما عند الساعة الواحدة ظهراً حيث تصل اعلى درجة الحرارة عند تلك الساعة 40°C ، تمت مقارنة النتائج للحالتين العملية والنظرية لمعدل درجة حرارة الغرفة وقد وجد ان ارتفاع درجة الحرارة في الحالة العملية اعلى من الحالة النظرية ولكن تنخفض اسرع بينما الحالة النظرية تحتفظ بالحرارة اكثر، بالرغم من الفروقات بين الحالتين فان النتائج مقبولة.

Economic Energy Consumption Using Tromb Wall Without Openings By Solar Radiation

Abstract

The present study deals with the prediction and distribution of temperature of air that is contained in an enclosure (test room). The test room is equipped with a concrete thermo storage wall (Trombe wall). All walls of the room are thermally insulated except the one that is facing the sun light. The latter is composed of an external layer of glass followed by an air gap and the Trombe wall. Temperature readings were taken on 21st and 22nd of December 2009.

The theoretical investigation of this study is done by solving continuity, momentum and energy equations using Finite Volume method. The solution includes the use of the algebraic expressions of turbulent viscosity and diffusion coefficient using $(k - \epsilon)$ turbulent model. A FORTRAN computer program is built and used to obtain the temperature and its distribution inside the room and across the wall. The variation of the temperature with time during the two days, mentioned above, has marked a highest temperature of 40°C at one clock pm. The comparison between theoretical and experimental results indicated that the rate of rising of the mean room temperature observed experimentally is higher than that observed theoretically. However, the latter has faster rate of drop and the wall keeps the heat for longer time. The comparison is considered acceptable despite of the observed discrepancies.

Keywords: Trombe wall (CFD), Thermal Storage of wall, passive solar

2- الرموز المستخدم

الرمز	العنوان	الوحدة	الرمز	العنوان	الوحدة
U , V	مركبة السرعة باتجاه الاحداثي x , y	m/s	μ_{eff}	اللزوجة المؤثرة	N.s/m ²
ρ_m	كثافة مادة الجدار	kg/m ³	Γ	حد الانتشار	N.s/m ²
k	الطاقة الحركية الاضطرابية	m ² /s ²	ϕ	المتغير المعتمد	-
ϵ	معدل التبدد بالطاقة الحركية	m ² /s ³	G	التعجيل الارضي	m/s ²
L	طول الجدار	m	Δt	التغيير في الزمن	s
P	الضغط	N/m ²	E _{lement}	حجم الشريحة	m ³
Q	الفيض الحراري على وحدة المساحة	W/m ²	C _v	الحرارة النوعية	J/kg.°C
R _e	عدد رينولد	-	E	التغيير في الطاقة الداخلية للحجم المحدد	-
S _{ϕ}	حد المصدر	-	x , y	الاحداثيات الكارتزية	m

3- المقدمة

ان الاهتمام المتزايد من قبل الباحثين لاجاد بدائل عن الطاقة التقليدية بالاستفادة من المصدر الطبيعي (الشمس) وخزن هذه الطاقة المنبعثة منها لاستخدامها في الاوقات التي لا تتوفر فيها اشعة الشمس وذلك باستخدام مستودعات حرارية من بعض المواد الانشائية على شكل جدار خازن للحرارة (جدار ترومب) وهو احد انواع استخدامات الخزن السلبي للطاقة الشمسية في تكييف المباني , يتكون من جدار خازن للحرارة السطح الخارجي مواجهة للشمس يتكون من شريحة او شريحتين من الزجاج تترك فجوة هوائية بين سطح الزجاج من الداخل وسطح الجدار الحراري وعند اختراق اشعة الشمس لسطح الزجاج , يمتصها الجدار, وبهذا ترتفع درجة حرارة الجدار ويسخن ومن ثم يسخن هواء الغرفة, عن طريق انتقال الحرارة من سطح الجدار الداخلي الى الغرفة, بطريقة الحمل والاشعاع وخلال الجدار بالتوصيل وبذلك يكون الجدار قد قام بتجميع الحرارة وخزنها ومن ثم تحريرها الى الغرفة . اجريت بحوث عديدة في هذا المجال منها.

في عام (1999) قدم الباحث , Saad [1] دراسة نظرية للجريان الحر الطبقي للهواء المحصور على سطوح مجرى الجدار, تم حساب سرعة الهواء, وتوزيع الضغط خلال المجرى. استخدم طريقة الفروق المحددة لحل معادلات الزخم, الطاقة والاستمرارية , استخدم جدار ترومب مع وبدون تهوية وكذلك مع وبدون عزل , توصل الباحث الى امكانية اعتماد الحل الاحادي البعد للتوصيل الحراري لسطوح المجرى وان اداء نظام ذو تهوية هو الافضل في الظروف الباردة من الانواع الاخرى . في عام (2000) قام الباحث [2] Jamal بحل معادلة فوريير لانتقال الحرارة باتجاه واحد خلال جدار مستوي مائي مبني من حاويات معدنية صغيرة مملوءة بالماء, سطحها الخارجي مواجهة للجنوب مع وجود فجوة هوائية بين سطح الزجاج وسطح الجدار الحراري , وقد توصل الباحث الى ان الجدار المائي هو الافضل من حيث الاداء الحراري والاستقرارية وان الجدار ذات السمك القليل يستفاد منه في البنائات التي تتطلب الاستفادة السريعة من اشعة الشمس في التدفئة بينما الجدران السمكية مناسبة للحصول على درجة حرارة مستقرة

تم بناء برنامج حاسوبي بلغة البرمجة (الفورتران 90) لمعرفة نتائج الحل العددي ومقارنتها مع النتائج العملية، استخدم برنامج الرسم (Tecplot) لرسم جميع الأشكال الموجودة في الجزء العملي والنظري .

4- الجزء العملي

تم تصنيع هيكل غرفة الاختبار (الحيز المغلق) من مادة الحديد بالابعاد $100 \times 80 \times 80$ cm وتكون الغرفة قابلة للدوران للحصول على أشعاع شمسي عمودي. وكذلك تحتوي على قواعد حديدية على الجوانب لحمل أجهزة القياس . تم تصنيع الحامل (قاعدة الجهاز) من مادة الحديد والتي تحمل غرفة الاختبار بواسطة شفت مسنن ويمكن فصلها عن غرفة الاختبار بواسطة الشفت المسنن عند فتحه والمستخدم لغرض تدوير غرفة الاختبار باتجاه الأشعاع الشمسي. تم تغليف اوجه الغرفة بمادة البيرسيبيكس (الباعجة) وتكون شفافة لغرض مشاهدة داخل الغرفة بعد رفع المادة العازلة للحرارة التي تغلف بها غرفة الاختبار وتكون من مادة الصوف الزجاجي اما قاعدة الغرفة فتم عزلها بمادة الخشب المضغوط وتغليفها من الداخل بمادة الصوف الزجاجي. اما الجدار (جدار الترمب) تم اختيار مادة الكونكريت له وحسب المواصفات (نسبة الخلط 4 حصو، 2 رمل، 1 سمنت) وابعاد $5 \times 80 \times 80$ cm .

تصنيع أجهزة القياس وملحقاتها:

1. جهاز الـ (Selecter Switch) تم تصنيع جهازين في الاسواق المحلية، يتضمن كل جهاز 24 اختيار (مفتاح كهربائي) وقارئ لدرجات الحرارة (Temperature Reader) لقراءة درجات الحرارة مباشرة، وذلك لان الاجهزة المتوفرة في الاسواق المحلية لا تحتوي على هذا العدد من المفاتيح وكذلك لا تحتوي على قارئ لدرجات الحرارة يتكون كل جهاز من الاجزاء التالية:

أ- صندوق الجهاز

ب- قارئ درجات الحرارة : تم اختيار قارئ نوع (K) ليكون مطابق مع

خلال اليوم مع تأخير زمني للحرارة المنتقلة. في عام (2002) استخدم الباحث [3] Dohamness طريقة النمذجة الرياضية لهذا الصنف من الانظمة والحالة المستقرة في الحل حيث استخدم نموذج من نوع (جدار- نافذة)، وظهرت النتائج المستحصلة طريقة حساب وتقييم درجات الحرارة في الفجوات، ثم حساب الفيض الحراري للسطوح للحالة المدروسة، وعلى ضوء النتائج المستحصلة تم اعطاء مقترحات تصميمية تتعلق بموقع الفجوات داخل التركيب او الهيكل، وكذلك تم دراسة العوامل المؤثره عند تغيير مجرى الهواء والاشعاع الشمسية وعلى ضوء ماتوصل اليه الباحث يجب ان توضع الفجوات بالقرب من السطح الداخلي للتركيب الكلي لتقليل فقدان الحرارة الى المحيط الخارجي. في عام (2005) قدمت الباحثة [4] Sajda دراسة عددية للتكهن بسلوك الجريان، وخصائص انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل المختلط لجدار ترومب بوجود فتحات تهوية اعلى واسفل الجدار داخل حيز مغلق، واستخدمت طريقة الحجوم المحددة (Finite Volume) لحل معادلات نافير- ستوك (Navier-Stokse) والطاقة ثنائيتا البعد (2D) وقد حلت هذه المعادلات سوية مع الصيغ الجبرية للزوج الاضطرابية (Turbulent- Viscosity) بوجود موديل الاضطراب المسمى $(k - \epsilon)$. توصلت الباحثة الى ان اعلى معدلات انتقال الحرارة في الجريان الاضطرابي تحدث عند نقصان سرعة الهواء الداخلي وزيادة درجة حرارة الهواء الخارجي.

البحث الحالي يتضمن دراسة عملية ونظرية للخزن الحراري الذي يحدث داخل جدار ترومب، وتوزيع درجات الحرارة داخل الجدار والغرفة، استخدم نظام ترومب بدون وجود فتحات، استخدم مادة الكونكريت لتصنيع الجدار وبسمك (5 cm)، تم استخدام طبقة واحدة من الزجاج، وتم عزل النظام من جميع الجهات باستثناء الجهة المواجهة للشمس، تم تصنيع النظام الذي يمثل (غرفة الاختبار) وبالمواصفات التي يتم شرحها بالجزء العملي من البحث .

4. يتم قراءة درجات الحرارة عن طريق المزدوجات الحرارية المثبتة على الجدار وفي داخل الغرفة وذلك بالضغط على المفاتيح الكهربائية بالتسلسل.
5. تكرر عملية القراءة كل ساعتين في النهار وثلاث ساعات في الليل.

5- الجزء النظري

تم في هذا الجزء وضع المعادلات الأساسية في البحث بصيغتها النهائية حيث استخدم في هذا البحث غرفة اختبار تحتوي على جدار خازن للحرارة (جدار ترومب) كما في الشكل رقم (1)، استخدام معادلة الاستمرارية ومعادلتى الزخم والطاقة خلال الحيز المغلق (غرفة الاختبار) والجدار، واستخدم موديل الاضطراب المسمى $(k - \epsilon)$ وهو احد اهم الطرق لتمثيل الجريان الاضطرابي وأكثرها شيوعاً ويمكنها تمثيل معظم حالات الجريان الاضطرابي للموائع، [6,5].

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0$$

$$(1) \quad \frac{\partial}{\partial x}(\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho u v) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$(2) \quad + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u v) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v v) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

$$(3) \quad + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \rho g \beta (T - T_0)$$

المزدوجات الحرارية المستخدمة ويكون مثبت في الوجه العلوي للصندوق ويعمل بالبطارية.

ج- المفاتيح الكهربائية: يحتوي كل جهاز على 24 مفتاح (Switch) من نوع (بوش بتم) حيث ربطت الى قارئ درجات الحرارة بواسطة اسلاك حرارية نوع (K) بطريقة تمكننا من قراءة درجات الحرارة لـ 24 موقع داخل غرفة الاختبار وعلى الجدار الكونكريتي حسب موقع المزدوج الحراري.

د- بطارية: وهي من النوع الجاف وبمواصفات 6 A - 12 V.

2. المزدوجات الحرارية: تم شراء المزدوجات الحرارية من السوق المحلية وكانت من النوع (K).

تم تثبيت المزدوجات الحرارية في الوجه الامامي والخلفي للجدار الكونكريتي وبواقع خمسة مزدوجات في كل وجه لغرض معرفة درجات الحرارة في الوجهين وكمية الحرارة المنتقلة الى داخل الغرفة. تثبيت المزدوجات الحرارية داخل الغرفة بواسطة استخدام شبكة من الاسلاك المعدنية تثبت عليها المزدوجات الحرارية حيث تم اختيار اربع مستويات ويحتوي كل مستوي على تسعة مزدوجات حرارية. تم ترقيم المزدوجات الحرارية حسب المواقع وترقيم المفاتيح الموجودة على اجهزة الـ Selector Switch. ربط نهاية المزدوجات الحرارية في اجهزة الـ Selector Switch ومن ثم أخذت القراءات.

تم معايرة الاجهزة المستخدمة وهي (Thermo couple) و (Selector Switch) و (Temperature Reader) باستخدام ماء بدرجة حرارة 100°C و 0°C ومقارنتها بمحاريير، لوحظ عدم وجود فرق في درجات الحرارة.

طريقة عمل الجهاز

1. تدوير الجهاز باتجاه اشعة الشمس.
2. تثبيت وقت القراءة (قراءة درجات الحرارة)
3. تثبيت درجة حرارة الجو عن طريق استخدام مثبت على هيكل الغرفة.

7- انتقال الحرارة داخل الجدار

تم بناء برنامج حاسوبي ثنائي الأبعاد لحساب وتوزيع درجات الحرارة في الجدار، حيث تم بناء الشبكة العنقودية التي تخص الجدار وقد تعرضت الى انتقال حرارة بالإشعاع والتوصيل باتجاه الاحداثي (x,y)، ان انتقال الحرارة الغير مستقرة تتغير فيه درجة الحرارة مع الزمن وكذلك مع الموقع. [8,9]

$$\left[\begin{array}{l} \text{Heattransfer} \\ \text{into or out of the} \\ \text{volumelement} \\ \text{fromallof its} \\ \text{surfaceduring} \Delta t \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Heatgenerated} \\ \text{withinth} \\ \text{volumelement} \\ \text{during} \Delta t \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Thechangeinthe} \\ \text{energycontentof} \\ \text{thevolume} \\ \text{elementduring} \Delta t \end{array} \right]$$

$$\Delta t \sum_{\text{All side}} Q + \Delta t G_{\text{element}} = \Delta E_{\text{element}}$$

$$(8) \quad \Delta E_{\text{element}} = m c_v \Delta T$$

$$\Delta T = \rho_m A_{\text{element}} c_v \Delta T$$

$$G_{\text{element}} = 0$$

تقسم المعادلة رقم (8) على Δt

$$\sum_{\text{All sides}} Q = \frac{\Delta E_{\text{element}}}{\Delta t} = \rho_m A_{\text{element}} c_v \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (9)$$

تم استخدام الطريقة الواضحة او الصريحة (explicit) لحل معادلات انتقال الحرارة داخل الجدار وعلى هذا الاساس تصبح المعادلة رقم (9) كالتالي.

$$\sum_{\text{All sides}} Q = \rho_m A_{\text{element}} c_v \frac{T_{(m,n)}^{i+1} - T_{(m,n)}^i}{\Delta t}$$

(10)

ان قيمة الاشعاع الشمسي المسلط على الوجة الامامي للجدار تم قراءته بواسطة مقياس الاشعاع الشمسي بصورة مباشرة ومن ثم ادخال قيمته مباشرة على البرنامج الحاسوبي، اما معامل التوصيل الحراري لمادة للجدار (الكونكريت) تم اخذها من الجداول الخاصة بقيم التوصيل الحراري الموجودة في المصدر [10].

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v T) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v k) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial y} \right)$$

معادلة الطاقة الحركية الاضطرابية :

$$+\mu \left(2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right) - \rho \epsilon$$

(5)

معادلة معدل التبدد بالطاقة الحركية:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \epsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \mu$$

$$\left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right\} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

(6)

جدول رقم (1) قيم ثوابت موديل الاضراب (k - ε) [6]

6- الحل العددي

تم استخدام الحل العددي لايجاد النتائج النهائية للمتغيرات (U, V, T, k, ε) التي تتعلق بظاهرة انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل الحر خلال حيز مغلق، سيتم في هذا الجزء تحويل المعادلات التفاضلية اللاخطية الحاكمة للجريان الى معادلات جبرية خطية باستخدام طريقة الحجوم المحددة، والتي تعتبر اساس الحل العددي، استخدمت طريقة الارخاء لحل نظام معادلات الحجوم المحددة، حيث ان معادلة الحجم المحدد تحل لكل عقدة، والمعادلة التالية تمثل المعادلة العامة للحل العددي ولكل المتغيرات السابقة [7].

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi$$

(7)

8- مناقشة النتائج

يتناول هذا الجانب من البحث تحليل النتائج العملية والنظرية التي تم التوصل إليها، حيث سجلت النتائج ليومي (22,21) من شهر كانون الأول 2009، الأشكال (1, 2, 3, 4) تمثل مخطط للغرفة والغرفة من الداخل والخارج ومن عدة اتجاهات حيث يوضح الشكل (2) الغرفة من الداخل لبيان كيفية توزيع المزدوجات الحرارية. شمل التوزيع تنظيم أربعة مقاطع بشكل x ، في كل مقطع تسعة مزدوجات حرارية، المجموع ستة وثلاثون مزدوجاً، استخدمت هذه المزدوجات وباستخدام التقريب في بناء الصورة الحرارية للغرفة. بالنسبة للجدار الكونكريتي استخدمت عشر مزدوجات حرارية، خمسة في كل جانب لحساب كمية الحرارة الداخلة أو الخارجة عبر الجدار. استخدم مزدوجان حراريان لقراءة درجة حرارة الجو، يجري تغيير اتجاه الجدار الخازن باتجاه الشمس كل ربع ساعة.

النتائج ليوم 2009-12-21

النتائج العملية : شكل (5)، يوضح التوزيع الحراري للغرفة مع الوقت ليوم 2009-12-21، ويتضمن الصورة (A)، وتمثيل التوزيع الحراري عند الساعة التاسعة صباحاً حيث تمثل الألوان التدرج الحراري، اللون الأزرق أقل درجة الحرارة بينما اللون الأحمر أعلى درجة حرارة. يمثل الوجه الامامي عند ($x=0$) الوجه المواجه للشمس وتكون أعلى درجة حرارة فيه. معدل درجة الحرارة كان 19°C للون مابين الأزرق والأخضر.

الصورة (B)، التوزيع الحراري عند الساعة الحادية عشر، ارتفعت معدل درجة الحرارة إلى 38°C وظهر اللونين الأصفر والأحمر مع الأخضر.

الصورة (C)، عند الساعة الواحدة، تستمر درجة الحرارة بالارتفاع إلى أعلى قيمة $^{\circ}\text{C}$ 40 حيث يغطي اللونين الأحمر والأصفر معظم الغرفة.

الصورة (D)، عند الساعة الثالثة، تبدأ درجة الحرارة بالنزول بظهور اللون

الأخضر الفاتح، تصل درجة الحرارة إلى 38°C .

الصورة (E)، عند الساعة السابعة، تستمر درجة الحرارة بالانخفاض إلى 22°C بتغطية اللون الأخضر الغامق لمعظم الغرفة. **الصورة (F)**، عند الساعة الثانية عشر ليلاً، تستمر درجة الحرارة بالانخفاض إلى 15°C بتغطية اللون الأزرق الفاتح والغامق للغرفة.

النتائج النظرية : شكل (6)، يبين التوزيع الحراري العددي للغرفة مع الفراغ الامامي (الفراغ المحصور بين الزجاج والجدار الكونكريتي. في هذا الحل العددي تم تسليط الأشعاع الشمسي على الوجه الامامي للغرفة وكما تم قراءته بواسطة مقياس الأشعاع الشمسي وكما في الجدول رقم (2) ليوم 2009-12-21 حيث تم حساب التوزيع الحراري عددياً كما تم ايضاحه في الجزء العددي.

الصورة (A)، عند الساعة 06 صباحاً، معدل درجة الحرارة 16°C ، الألوان الأزرق والأخضر الغامق والفاتح. الحاجز الكونكريتي يقع عند 0.2 m في المحور x . الصورة توضح مكائين منفصلين، الفراغ بين الزجاج الامامي ($x=0$) والحاجز الكونكريتي ($x=0.2$)، الغرفة بين ($x=0.2-1.0$). اللون الأزرق الغامق يقع في الفراغ ويبين ابرد منطقة لقربيها من المحيط الخارجي (الوجه الايسر حيث درجة حرارة الجو 7°C)، اما الوجة الاخرى فمعزولة. درجة حرارة الغرفة أعلى من المحيط الخارجي لاحتفاضها بالحرارة من اليوم الماضي.

الصورة (B)، عند الساعة 09 صباحاً، معدل درجة الحرارة 18°C اللون الأخضر يغطي الغرفة و بداية ظهور اللون الاصفر في الجدار الكونكريتي. عموماً في جميع الصور العدديّة، درجة الحرارة في الجزء العلوي أعلى من الجزء السفلي بسبب تأثير الحمل الطبيعي. **الصورة (C)**، عند الساعة 12 صباحاً، معدل درجة الحرارة 25°C . دوامات الحمل الطبيعي واضحة في الشكل، درجة الحرارة تصل عند الجدار إلى 40°C . كذلك درجة الحرارة في الجزء

ويسبب الفرضيات التي تبسط الحل وذلك باعتبار الحمل الطبيعي مستقر والعزل التام للجدران فقد تأخر درجة الحرارة العظمى للغرفة الى الثالثة عصراً.

شكل(10), يبين تغير كمية الحرارة الداخلة عبر الجدار الكونكريتي مع الوقت ليوم 21-12-2009 حيث ترتفع كمية الحرارة لغاية الثانية عشر ظهراً ثم تبدأ بالنزول.

النتائج ليوم 22-12-2009

النتائج العملية : **شكل(11)**, الذي يمثل الصور (A,B,C,D) يبين التوزيع الحراري العملي ليوم 22-12-2009.

شكل(12), يبين تغير معدل درجة الحرارة للغرفة مع الوقت من التاسعة صباحاً لغاية الثانية ظهراً حيث يظهر ارتفاع درجة الحرارة مع الوقت ثم تبدأ بالنزول.

شكل(13), يبين تغير كمية الحرارة الداخلة عبر الجدار الكونكريتي مع الوقت ليوم 22-12-2009 حيث ترتفع كمية الحرارة لغاية الواحدة ظهراً ثم تبدأ بالنزول.

شكل(14), يبين تغير قيمة الاشعاع الشمسي على الوجه الامامي للغرفة مع الوقت .

شكل(15), يبين تغير درجة حرارة الجو مع الوقت .

9- الاستنتاجات

بعد مناقشة النتائج تم التوصل الى ماياتي :

- 1- الخزن الحراري للجدار كانت اعلى قيمة لة عند الساعة الواحدة بعد الظهر وبالتالي فان التوزيع الحراري للغرفة يكون افضل عند تلك الساعة .
- 2- جدار ترومب من مادة الكونكريت جيد للخزن الحراري لما تتمتع به هذه المادة من موصلية حرارية عالية .
- 3- استخدام نظام جدار ترومب في التدفئة من الانظمة الفعالة وتتلائم مع ظروف مدينة بغداد المناخية .

10- المصادر

- [1] Saleh, Saad .M , "Performance Analysis of Vented Trombe Wall Passive Solar Heating System for Baghdad Climatic conditions "

العلوي اعلى من الجزء السفلي بسبب تأثير الحمل الطبيعي.

الصورة (D) , عند الساعة 3 بعد الظهر, معدل درجة الحرارة 32°C . دوامات الحمل الطبيعي واضحة في الشكل, درجة الحرارة عند الجدار تهبط الى $30-40^{\circ}\text{C}$. كذلك درجة الحرارة في الجزء العلوي اعلى من الجزء السفلي بسبب تأثير الحمل الطبيعي.

الصورة (E), عند الساعة 9 ليلاً, معدل درجة الحرارة 30°C . دوامات الحمل الطبيعي واضحة في الشكل, درجة الحرارة عند الجدار تهبط الى $20-30^{\circ}\text{C}$. كذلك درجة الحرارة في الجزء العلوي اعلى من الجزء السفلي بسبب الحمل الطبيعي.

شكل(7), يمثل توزيع معدل درجات الحرارة داخل الغرفة في الحالة العملية , حيث ان اعلى درجة حرارة عند الساعة الواحدة بعد الظهر 40°C .

شكل(8), يمثل توزيع معدل درجات الحرارة داخل جدار ترومب في الحالة العملية , حيث ان اعلى درجة حرارة عند الساعة الواحدة بعد الظهر تصل الى 43°C .

مقارنة النتائج العملية والنظرية

شكل(9), يبين المقارنة بين النتائج العملية والنظرية لمعدل درجة حرارة الغرفة حيث ترتفع درجة الحرارة في المنحني العملي اعلى من المنحني العددي ولكن تنخفض اسرع بينما المنحني النظري احتفض بالحرارة اكثر. بالرغم من الفروقات بين المنحنيين فان النتائج تبدو مقبولة, وان اعلى قيمة لمعدل درجات الحرارة في الحالة العملية عند الساعة الواحدة بعد الظهر ام في الحالة النظرية اعلى قيمة لمعدل درجة حرارة الغرفة عند الساعة الثالثة عصراً, في الحالة النظرية تم اعتبار انتقال الحرارة في الجدار (unsteady) بينما اعتبر الحمل الطبيعي (steady). تم ذلك بانجاز الحمل الطبيعي كل ثلاث ساعات لكي يتواكب مع التغير الزمني للجدار. في الدراسة العملية الحقيقية كان توقيت درجة الحرارة العظمى في الساعة الواحدة ظهراً بسبب (صغر حجم الغرفة والعزل الغير تام للجدران) فان درجة حرارة الغرفة تتغير بسرعة مع الاشعاع الشمسي. في الدراسة النظرية

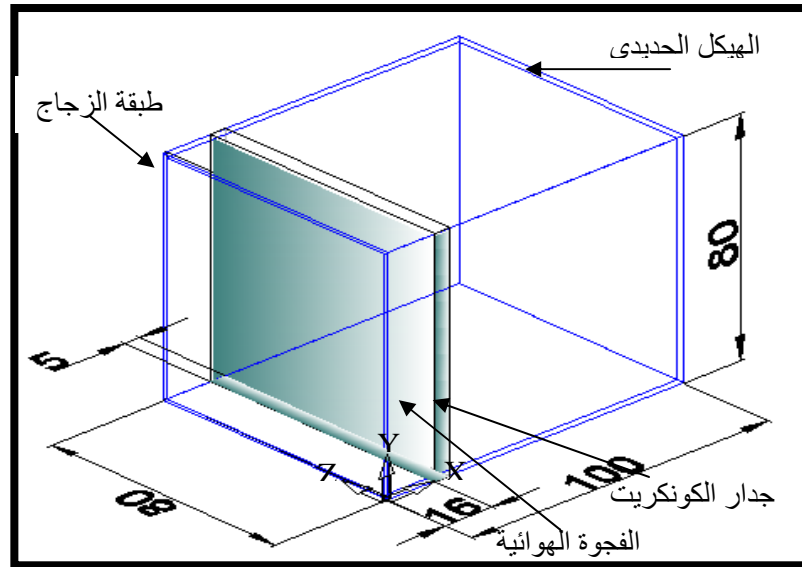
- By Buoyancy and Shear" ,
Journal of Mechanical
Engineering Science, Vol.22,
Pp.287-295, 1984.
- [6] Launder, B.E. and Spalding,
D.B. "Mathematical Models of
Turbulence", Academic Press,
London, 1972.
- [7] Awbi H.B. "Ventilation of
Building", by E & FN spot, 1998.
- [8] Arpact, V.S., "Conduction Heat
Transfer", Addison-Wesley, 1966.
- [9] Gengle, Y. A., "Heat Transfer",
International Edition, Mc Graw-
Hill, 1998.
- [10] Holman, J.P., "Heat Transfer",
McGraw-Hill Book Company
1989.
- Department of Mechanical
Engineering , University of
Technology, PhD., 1999.
- [2] Wahib, Jamal .H., "Simulation
Analysis of Passive Solar
Heating Building ", Department
of Mechanical Engineering,
University of Technology,
phD., 2000.
- [3] Schmidt, Dohamness, "Model
For The Thermal Performance
of
Double Air Gap Wall", Nordic
Journal of Building Physics,
Vol.2,2002.
- [4] Sajda. S. Faris, "Simulation of
Trombe Wall in Mixed
Convection plus Conduction"
, Department of Technical
Education, University of
Technology, M.Sc., 2005.
- [5] Ideriah F. J. E, "Prediction of
Turbulent Cavity Flow Driven

جدول رقم (1) قيم ثوابت موديل الاضراب [6] $(k - \varepsilon)$

C_{μ}	σ_k	σ_{ε}	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$
0.09	1.00	1.30	1.44	1.92

جدول رقم (2) الاشعاع الشمسي على الوجه الامامي للغرفة

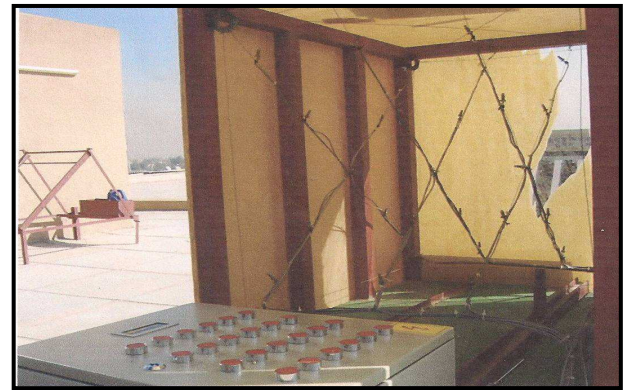
ت	الوقت (hr)	درجة حرارة الجو (°C)	قيمة الاشعاع الشمسي (W/m ²)
1	03-00	07	0
2	06-03	06	0
3	09-06	09	73
4	12-09	14	286
5	15-12	15	367
6	18-15	12	66
7	21-18	09	0
8	24-21	07	0



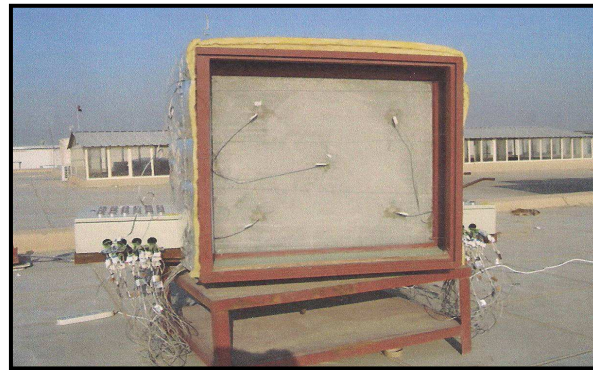
شكل (1) يمثل مخطط لغرفة الاختبار جميع الابعاد ب (cm)



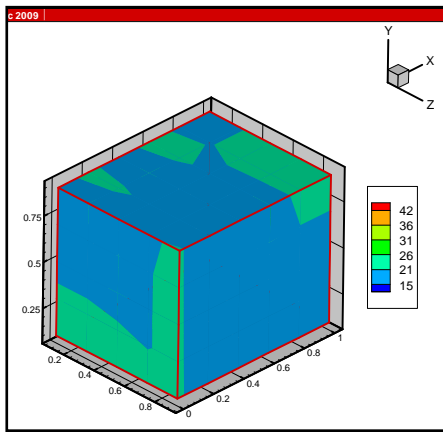
شكل (3) يوضح الغرفة بعد وضع العازل



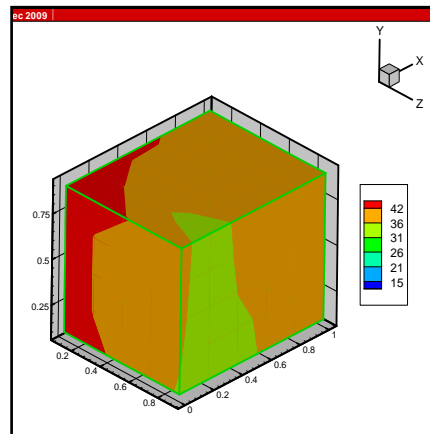
شكل (2) يوضح الغرفة من الداخل



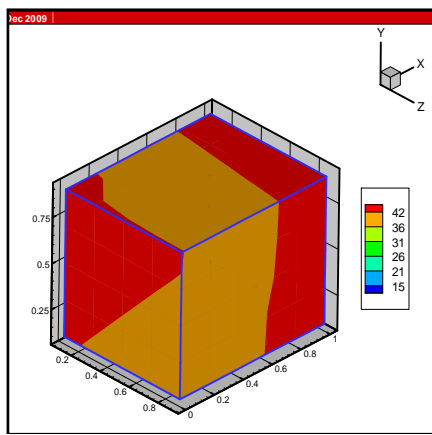
شكل (4) يوضح الغرفة من الامام المقابل للشمس



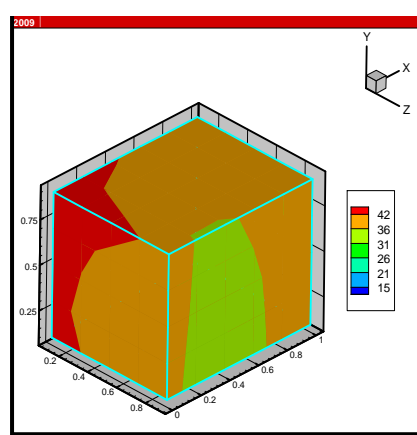
A



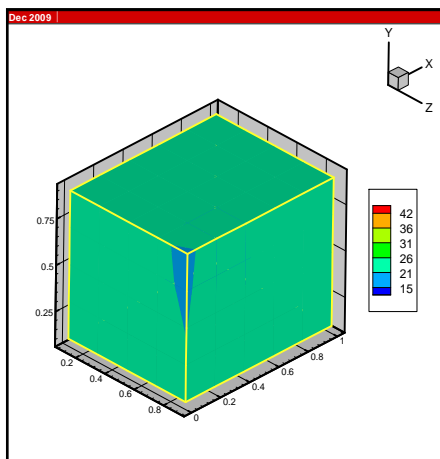
B



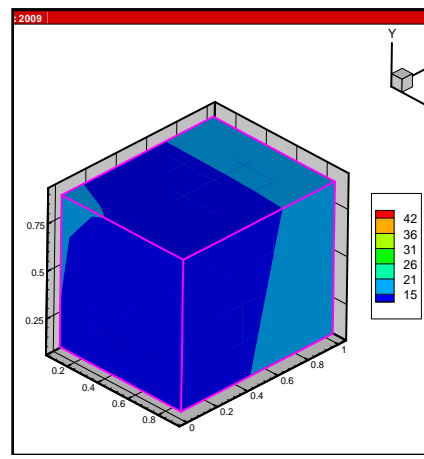
C



D

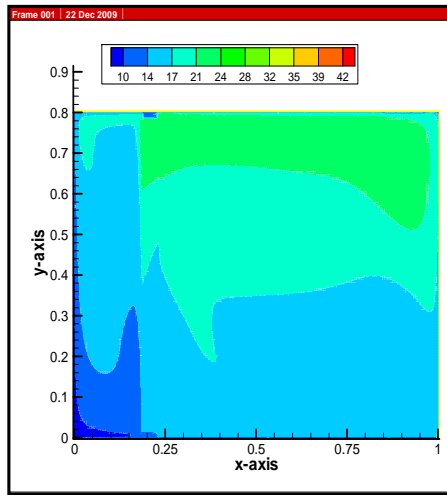


E

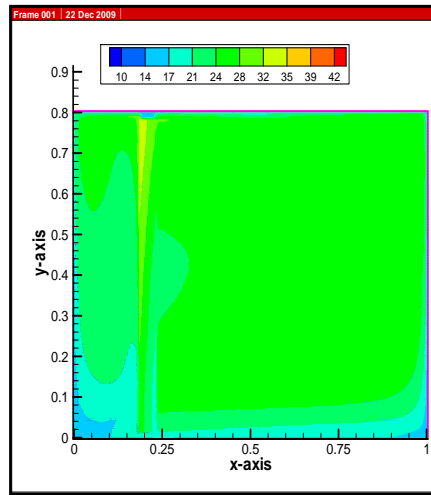


F

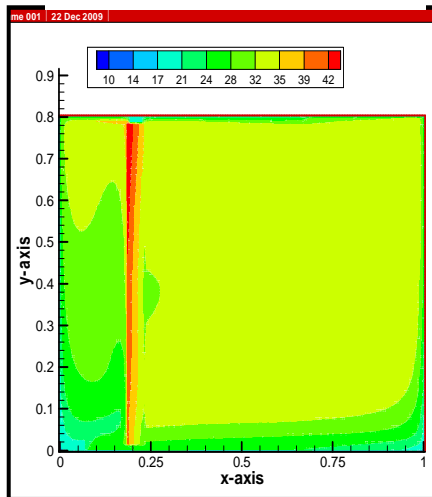
شكل (5) التوزيع الحراري العملي للغرفة مع الوقت ليوم



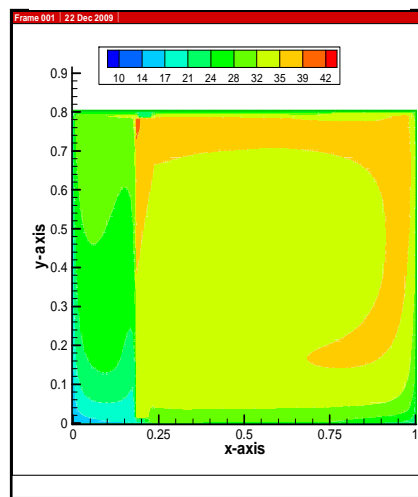
A



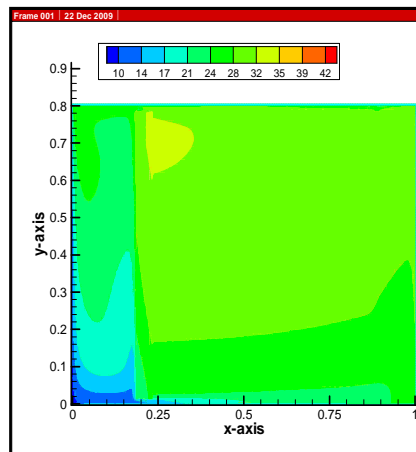
B



C

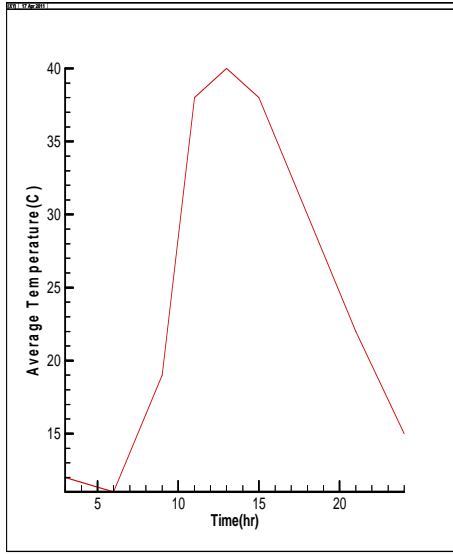


D

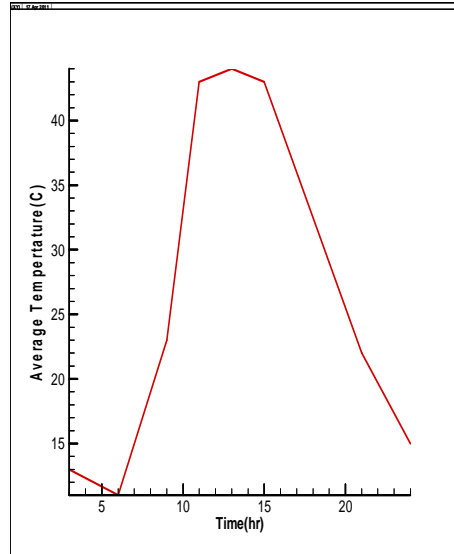


E

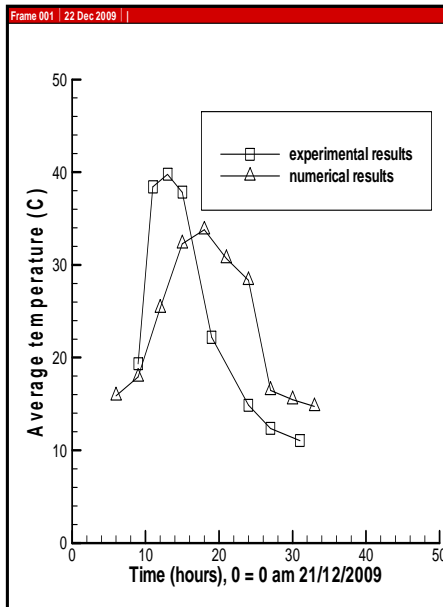
شكل (6) التغير العددي لدرجات الحرارة ليوم 21-12-2009



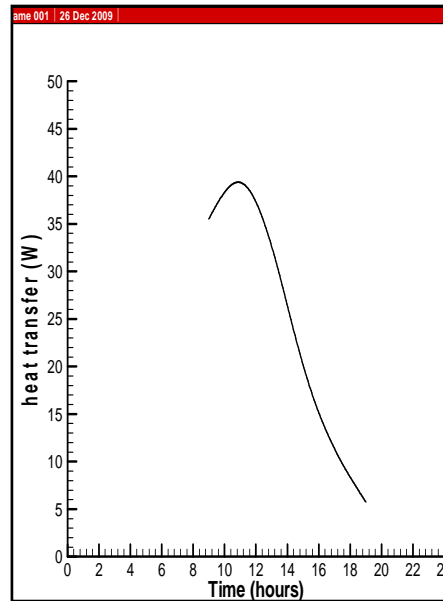
شكل (7) معدل درجة حرارة الغرفة مع الوقت



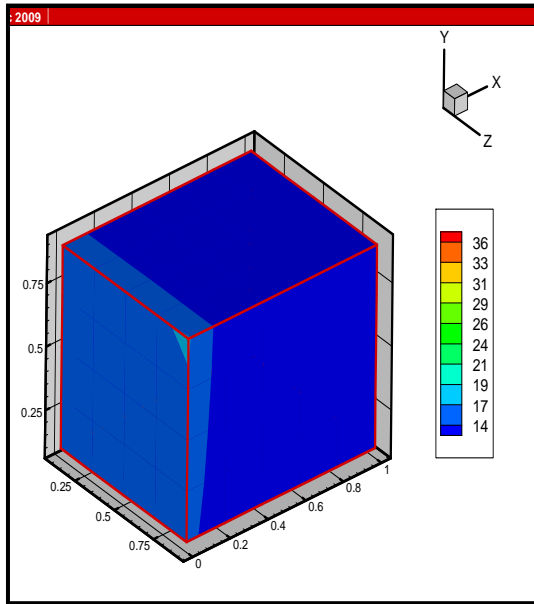
شكل (8) معدل درجة حرارة



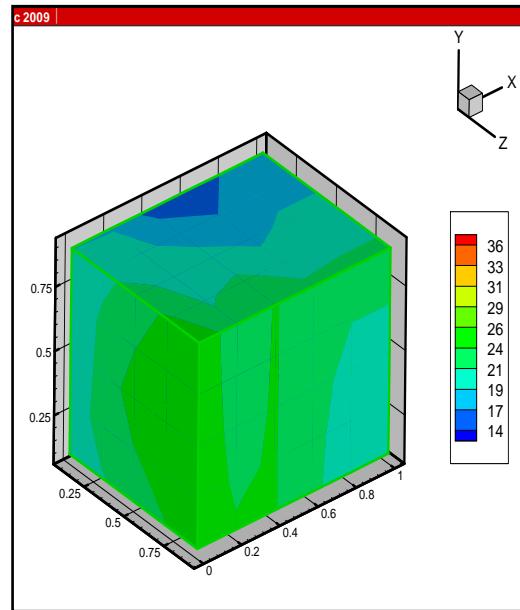
شكل (9) تغير معدل درجة الحرارة للغرفة مع الوقت ليوم 2009-12-21



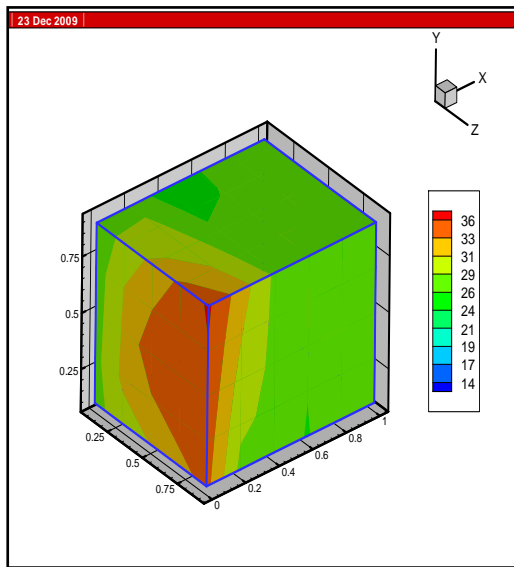
شكل (10) تغير كمية الحرارة المنتقلة الى الغرفة مع الوقت ليوم 2009-12-21



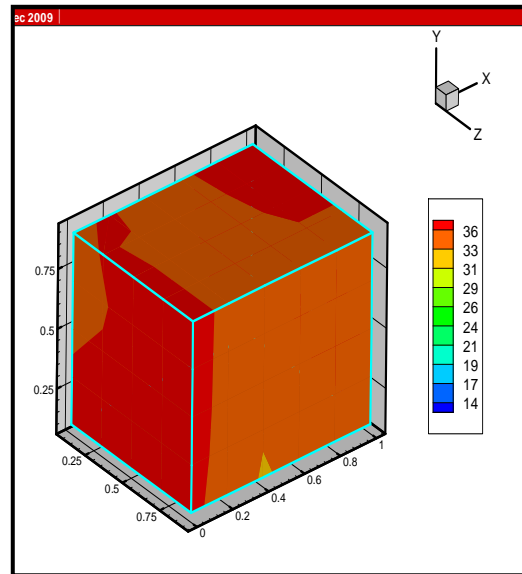
(A)



(B)

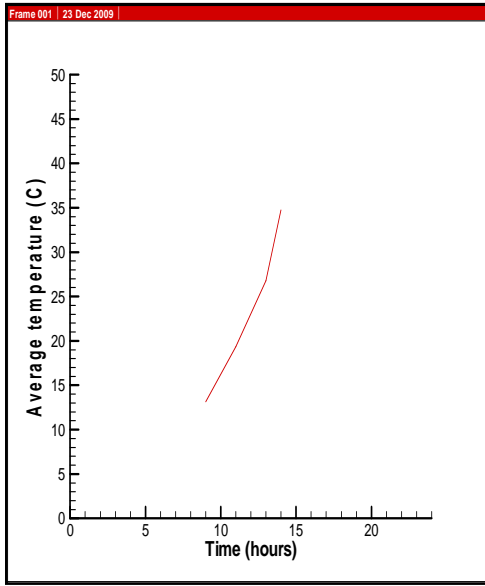


(C)

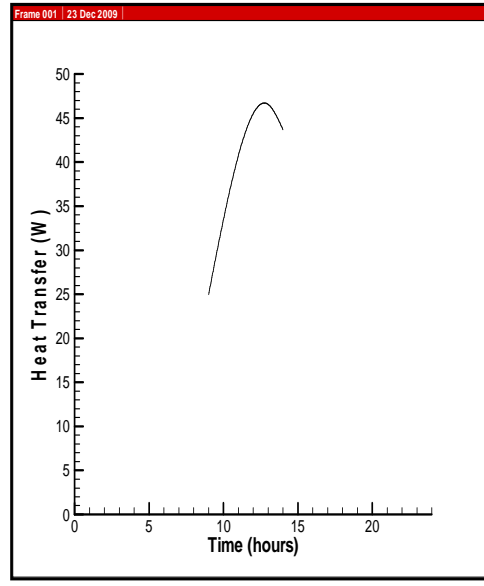


(D)

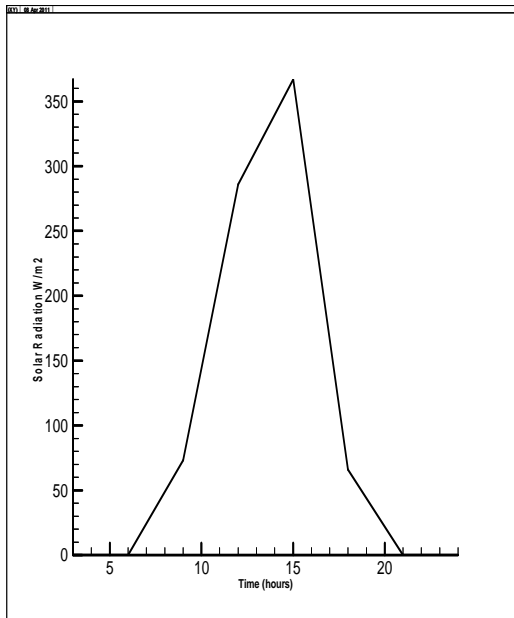
شكل (11) التوزيع الحراري العملي للغرفة ليوم 22-



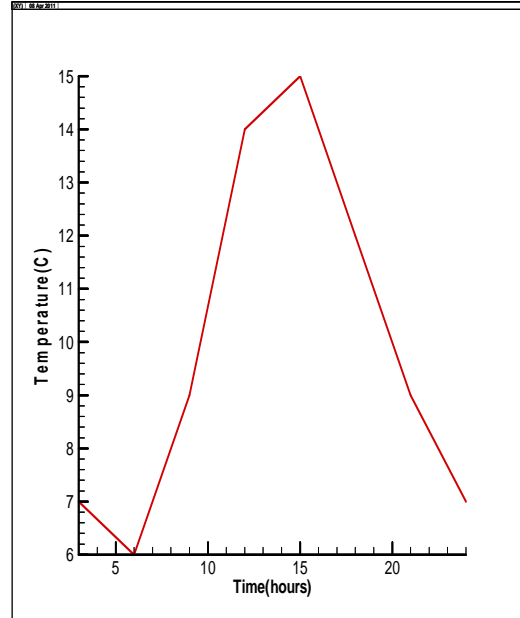
شكل (12) تغير معدل درجة حرارة الغرفة
مع الوقت ليوم 2009-12-22



شكل (13) تغير كمية الحرارة المنتقلة الى
الغرفة مع الوقت ليوم 2009-12-22



شكل (14) كمية الاشعاع الشمسي مع الوقت على الوجه
الامامي



شكل (15) درجة حرارة الجو مع
الوقت