

## دراسة عملية لتأثير الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق في تخفيض احمال تبريد الابنية

بشار كامل محمود  
قسم هندسة المكائن والمعدات  
الجامعة التكنولوجية

د. قصي جهاد عبد الغفور  
استاذ مساعد  
قسم هندسة المكائن والمعدات  
الجامعة التكنولوجية

### الخلاصة

أظهرت الدراسة العملية ان استخدام جدار ذي تجويف هوائي مغلق (سمك التجويف 5cm) يعمل على خفض حمل الكسب الحراري عبر الجدار بنسبة (21.5 %) بالمقارنة مع جدار تقليدي (بدون تجويف). وبينت النتائج ايضاً أن المقاومة الحرارية للتجويف المغلق كانت بمعدل (0.2 m<sup>2</sup>.°C/W). وأظهرت النتائج العملية للدراسة أن الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق يعمل على خفض متوسط درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم بمعدل (0.45 °C) مقارنة مع الجدار (بدون تجويف). وكذلك خفض مدى التغير في درجة الحرارة للسطح الداخلي للجدار خلال اليوم بمعدل (0.66 °C) مقارنة مع الجدار (بدون تجويف) ايضاً.

**الكلمات الرئيسية :** جدار ذي تجويف مغلق ، جدار تقليدي ، احمال التبريد

## Experimental Study of the effect of closed cavity wall on buildings cooling loads saving

Dr. Qussai Jihad Abdul Ghafour  
Asst. prof.  
University of Technology  
Mechanical Engineering Department  
kaisyqj@yahoo.com

Bashar Kamil Mahmoud  
University of Technology  
Mechanical Engineering Department

### ABSTRACT

The experimental study showed the use of closed cavity wall (the thickness of the cavity 5cm) made a percentage reduction in the cooling load caused by heat gain from the wall by (21.5 %) compared with the conventional wall. also the thermal resistance of the closed cavity was an average (0.2 m<sup>2</sup>.°C/W).

The experimental results of the study showed that the use of closed cavity wall reduced the average temperature of the inner surface of the wall during the day, and that the reduction was an average (0.45 °C) when compared with the conventional wall , as well as the use of closed cavity wall reduced the temperature difference range of the inner surface of the wall during the day, and that the reduction was an average (0.66 °C) when compared with the conventional wall .

## المقدمة :

أصبحت مسألة استهلاك الطاقة في مختلف قطاعات الحياة وخاصة قطاع المباني الذي يمثل الجزء الأكبر من هذا الاستهلاك مسألة جوهرية ، خصوصاً في العراق الذي يتميز مناخه بكبر نطاق الأشهر الحارة على الباردة وارتفاع معدلات درجة الحرارة خلال الصيف مما زاد من استخدام منظومات التكييف لضمان بيئة داخلية ملائمة للشاغلين وهذا يؤدي الى زيادة في معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية .

وفي هذا البحث ومن خلال تصميم جدار يحتوي على تجويف هوائي مغلق ممتد على طوله ، تمت دراسة تأثير استخدام الجدار (ذي التجويف الهوائي المغلق) في تخفيض حمل التبريد نتيجة الكسب الحراري عبر الجدار بالمقارنة مع جدار تقليدي (بدون تجويف) وكذلك دراسة تأثيره على درجة الحرارة للسطحين الخارجي والداخلي للجدار بالمقارنة مع الجدار التقليدي أيضاً.

فعندما يحاط الهواء بتركيب معين فان المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي المغلق يمكن ان تساهم في زيادة المقاومة الحرارية الكلية للتركيب وذلك بسبب الموصلية الضعيفة للهواء وان قيمة المقاومة الحرارية تعتمد على عدة عوامل منها (سمك التجويف، وميل التجويف الهوائي، واتجاه انتقال الحرارة، ومعدل درجة الحرارة داخل التجويف وكذلك درجة الحرارة والانبعائية للموجات الكهرومغناطيسية الطويلة لأسطح التجويف)، وأن انتقال الحرارة خلال التجويف يكون عن طريق (التوصيل والحمل والاشعاع)، فالجزء المتعلق بالاشعاع يعتمد على درجة حرارة وخصائص السطوح الحدية (الامتصاصية والنفاذية والانعكاسية)، أما سماكة التجويف الهوائي وموقعه واتجاه انتقال الحرارة فإنها غير مؤثرة ، وبالمقابل فان الجزء المتعلق بانتقال الحرارة عن طريق الحمل يتأثر ب (موقع التجويف الهوائي، واتجاه انتقال الحرارة، والاختلاف في درجة حرارة السطحين، وسماكة التجويف الهوائي) (ASHRAE, 2001).

ومن الدراسات التي تمحورت حول موضوع التجاويف الهوائية المغلقة ما قام به الباحثون (Robinson et al., 1954) من تجارب عملية، تم الاستناد اليها من قبل منظمة (ASHRAE) الامريكية في ادراج قيم للمقاومة الحرارية لتجاويف هوائية مغلقة عند ظروف مختلفة (ASHRAE, 2001) . كما قام الباحثان (Ridouane, and Marcus, 2011) بمحاكاة عددية لدراسة الاداء الحراري لحائط متعدد الطبقات يحتوي على تجويف هوائي عمودي (0.089m x 2.44m) مغلق ومعزول من الاعلى ومن الاسفل بتغيير عدة عوامل (درجة حرارة المحيط و درجة انبعائية أسطح التجويف و نسبة الطول الى العرض للتجويف)، حيث بينا ان المقاومة الحرارية للتجويف تقل بزيادة انبعائية الاسطح المحيطة للتجويف بينما تزداد المقاومة بزيادة النسبة الباعية للتجويف، وتبلغ أعلى قيمة للمقاومة الحرارية للتجويف عندما تكون درجة حرارة المحيط الخارجي والحيز الداخلي متساويتين وتتناقص قيمتها كلما زاد فرق درجات الحرارة. وقام الباحثون (Aviram, et al., 2001) بدراسة عملية عن طريق استخدام صندوق اختبار الحرارة (guarded hot box) حققوا من خلاله عملية انتقال الحرارة لنسب طول الى عرض متغيرة لتجويف هوائي مغلق، حيث وجدوا تناقصاً في شدة انتقال الحرارة (Circulation) وتزايداً بالمقاومة الحرارية للتجويف بزيادة نسبة الطول الى العرض. وبنفس المجال توصل الباحث (Manz, 2003) الى نتائج متوافقة من خلال دراسة عددية لعملية انتقال الحرارة خلال تجويف مستطيل بنسب طول الى عرض (20,40,80).

الجانب العملي :

المنظومة العملية :

من اجل اجراء الدراسة فقد تم بناء جدارين متجاورين من الطابوق بالاتجاه الشرقي بارتفاع (3.0m) وعرض (1.0m) لكل جدار، احدهما تقليدي (بدون تجويف) والاخر ذو تجويف هوائي مغلق (سمك التجويف 5cm)، وتم بناء

حيز يؤلف الجانب الشرقي له الجدارين المتجاورين أما بقية الجوانب والسقف فتتألف من جدران من الفلين، وتم وضع جهاز مكيف شباكي في الجانب المقابل للجدارين. وتم اجراء التجريبتين خلال فصل الصيف.

### الجدار التقليدي (بدون تجويف) :

تم بناء جدار بارتفاع (3m) وعرض (1m) وسمك (0.28m) مستند من الاسفل على قاعدة من الكونكريت بسمك (0.2m) متصلة بالارض والجدار معزول من الجهة العلوية والجوانب بواسطة عازل (فلين) بسمك (0.1m) والجدار متكون من ثلاث طبقات، وكما موضح بالشكل (1) :

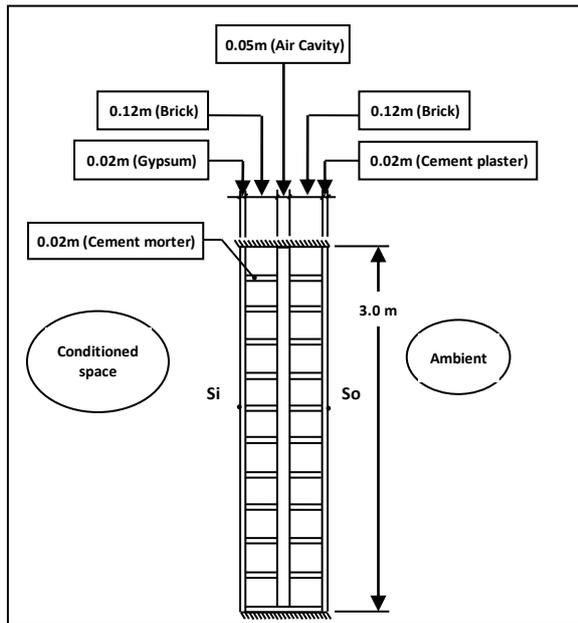
1. لبخ سمنتي بسمك (0.02m).
2. طابوق متقب بسمك (0.24m).
3. بياض جصي بسمك (0.02m).

ويبين الجدولين (1) و (2) معامل المواصلة الحرارية للطابوق المتقب ومعامل الموصلية الحرارية لمواد البناء المستخدمة (المدونة العراقية للعزل الحراري 2013).

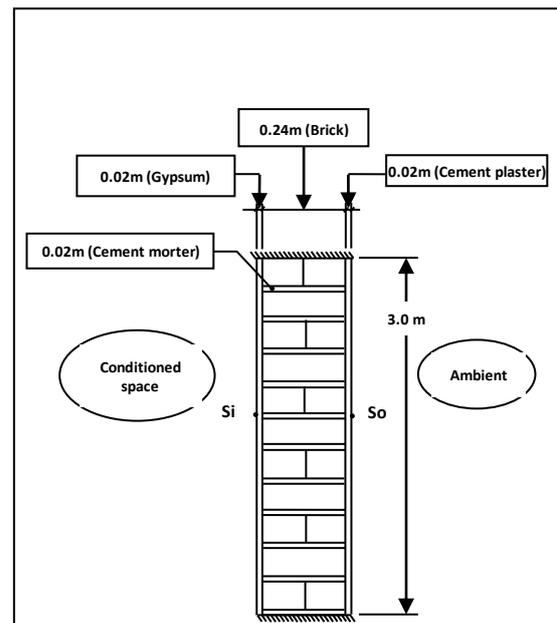
### الجدار ذو التجويف الهوائي المغلق :

وهو بارتفاع (3m) وعرض (1m) وسمك (0.33m) يحتوي في المنتصف على تجويف مغلق بسمك (0.05m) ممتد على طول الجدار ويستند الجدار من الاسفل على قاعدة من الكونكريت بسمك (0.2m) متصلة بالارض والجدار معزول من الجهة العلوية والجوانب من جهة العرض بواسطة عازل (فلين) بسمك (0.1m) والجدار متكون من خمسة طبقات وكما مبين في الشكل (2) :

1. لبخ سمنتي بسمك (0.02m).
2. طابوق متقب بسمك (0.12m).
3. تجويف هوائي مغلق بسمك (0.05m).
4. طابوق متقب بسمك (0.12m).
5. بياض جصي بسمك (0.02m).

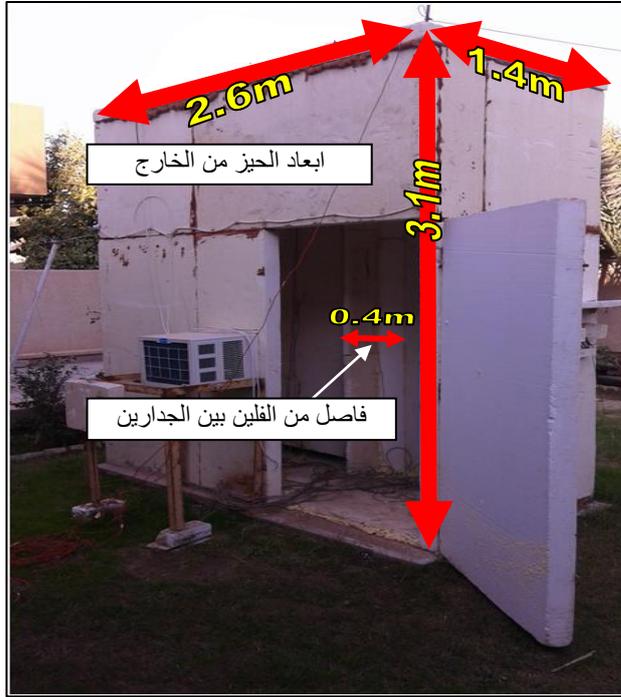


شكل (2) مقطع جانبي لجدار ذي تجويف مغلق



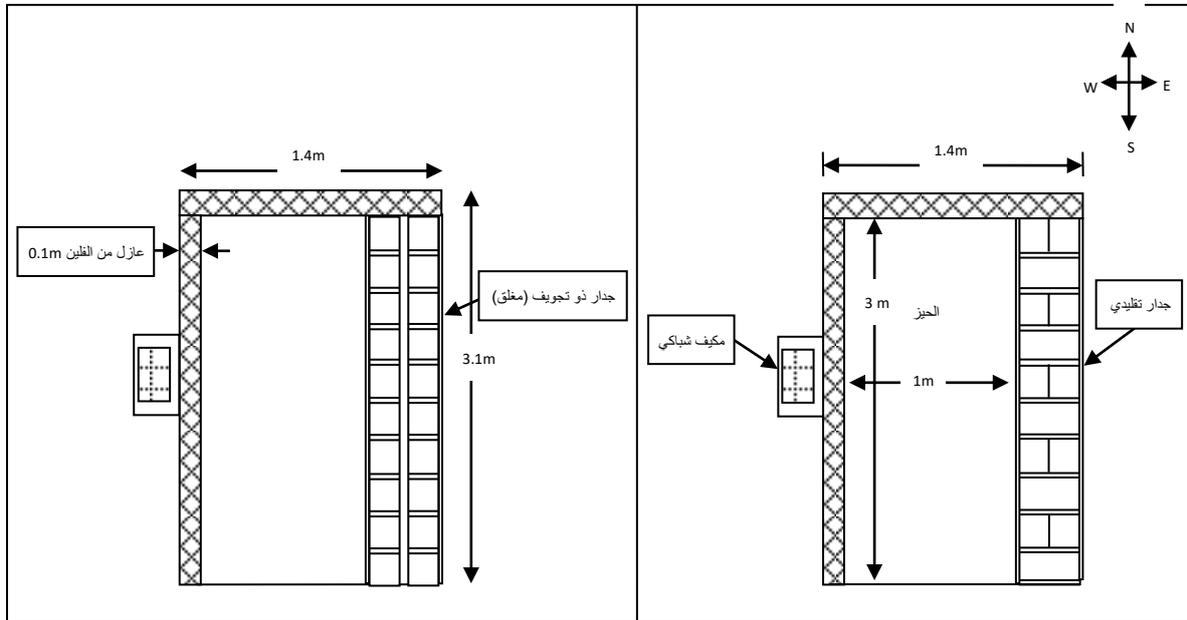
شكل (1) مقطع جانبي لجدار تقليدي (بدون تجويف)

### الحيز مع جهاز التكييف :



وهو بطول (1m) وعرض (2.4m) وارتفاع (3m) متكون من ثلاث جدران وسقف وأرضية من الفلين بسمك (0.1m) والجدار الرابع المواجه للشرق مكون من جزئين (الجدار الاعتيادي والجدار المجوف) يفصل بينهما في المنتصف طبقة من الفلين بعرض (0.4m) لمنع انتقال الحرارة بين الجدارين وتم وضع جهاز مكيف شبكي سعة تبريد (7500 BTU) في منتصف الجدار الفليني المقابل بطريقة تضمن توزيع الهواء بصورة منتظمة داخل الحيز للحفاظ على درجة حرارة التبريد المطلوبة ، وكما هو موضح بالشكل (3).

الشكل (3) الحيز مع جهاز التكييف



الشكل (4) مخطط يبين مقطعاً جانبياً لجداري الاختبار (جدار تقليدي بدون تجويف) ، جدار ذي تجويف مغلق مع الحيز وجهاز التكييف



الشكل (5) جداري الاختبار

## قياس درجة الحرارة :

تم قياس درجة الحرارة للجدران والحيز باستخدام نوعين من الاجهزة  
النوع الاول : مزدوجات حرارية (Thermo couples) من نوع (k) تتصل بـ (selector switch) للتحويل بين نقاط  
المزدوجات الحرارية ويتصل بدوره بـ (thermometer) موديل (DM6801A) لشركة (Victor)، Range: -50°C (to 200°C)  
لاخذ القراءات لدرجة حرارة السطح الخارجي للجدران، حيث تم وضع خمس مزدوجات حرارية لكل سطح  
جدار وتم توزيعها طوليا عند منتصف الجدار وبمسافات متساوية لحساب معدل درجة حرارة السطح الخارجي لكل جدار .  
النوع الثاني : مسجل بيانات الكتروني نوع (Data logger) لشركة (Lap Jack) موديل (U3-LV) يتصل بحاسبة  
الالكترونية من اجل تسجيل القراءات لدرجة حرارة السطح الداخلي للجدران، حيث تم استخدام حساسات الجهاز بواقع خمس  
حساسات لكل سطح جدار تم توزيعها طوليا عند منتصف الجدار وبمسافات متساوية لحساب معدل درجة حرارة السطح  
الداخلي لكل جدار .

## الاجراءات العملية :

تم اجراء تجربتين في فصل الصيف واستغرقت التجربة الواحدة ثلاثة ايام حيث ان اخذ القراءات يكون في اليوم  
الثالث ولمدة اربع وعشرين ساعة وذلك للحصول على اكبر قدر من الاستقرارية للمنظومة وتم اخذ القراءات للجدار التقليدي  
والجدار ذو التجويف الهوائي المغلق بنفس الوقت من اجل المقارنة بينهما.

## الحسابات :

### حساب متوسط الكسب الحراري للحيز عبر الجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال اليوم:

يتم حسابه عن طريق موازنة الطاقة حيث ان متوسط معدل الحرارة المنتقلة خلال اليوم من السطح الخارجي الى السطح  
الداخلي للجدار بواسطة التوصيل يساوي متوسط معدل الحرارة المنتقلة خلال اليوم نفسه من السطح الداخلي للجدار الى  
الحيز بواسطة الحمل والاشعاع (متوسط الكسب الحراري عبر الجدار خلال اليوم) (ASHRAE , 2001) وكما يأتي:

$$\overline{Q_{in(1)}} = \overline{Q_{cond(1)}} \quad (1)$$

حيث أن

$$\overline{Q_{cond(1)}} = U_{wall(1)} \times A_{wall} \times (\overline{T_{so(1)}} - \overline{T_{si(1)}}) \quad (2)$$

$$U_{wall(1)} = \frac{1}{R_{wall(1)}} \quad (3)$$

$$R_{wall(1)} = (l/k)_{cement.p} + \left[ \frac{A_{total}}{C_{brick(24)} \times A_{brick(24)} + \left(\frac{k}{l}\right)_{cement.m} \times A_{cement.m(24)}} \right] + (l/k)_{gypsum} \quad (4)$$

### حساب متوسط الكسب الحراري للحيز عبر الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق خلال اليوم :

يتم حسابه عن طريق المعادلة التالية :

$$\overline{Q_{in(2)}} = h_i \times A_{wall} \times (\overline{T_{si(2)}} - \overline{T_i}) \quad (5)$$

حيث ان

$$h_i = \frac{\overline{Q_{in(1)}}}{A_{wall} \times (\overline{T_{si(1)}} - \overline{T_i})} \quad (6)$$

## حساب نسبة التخفيض في حمل التبريد (RCL) (Reduction of Cooling Load):

سوف يتم حساب نسبة التخفيض في حمل التبريد اليومي نتيجة الكسب الحراري عبر الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) وحسب المعادلة التالية :

$$RCL(\%) = \frac{\overline{Q_{in(1)}} - \overline{Q_{in(2)}}}{\overline{Q_{in(1)}}} \quad (7)$$

حيث ان معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي للجدار بواسطة الحمل والاشعاع (الكسب الحراري للحيز) في وقت معين لايساوي بالضرورة حمل التبريد للحيز في الوقت نفسه إذ ان الكسب الحراري الاشعاعي في الحيز يمتص جزئيا أولا في سطوح ومحتويات الحيز ولا يؤثر على درجة حرارة الهواء الا في وقت لاحق (الجودي ، 1986). ولكن متوسط الكسب الحراري للحيز يساوي متوسط حمل التبريد للحيز خلال اليوم الواحد (ASHRAE , 2001)، (على اعتبار ان الظرف الخارجي وعملية انتقال الحرارة خلال الجدار متغيران خلال ساعات اليوم الواحد ولكن مستقران للأيام المتتالية)

## حساب معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي (R<sub>c</sub>) :

يتم حساب معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي خلال اليوم وذلك عن طريق موازنة الطاقة بين متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف عن طريق الحمل والاشعاع ومتوسط معدل الحرارة الداخلة خلال اليوم عن طريق التوصيل للجدار وايجاد معامل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدار بوجود تجويف وبالتالي يمكن حساب المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي وكما مبين في المعادلات التالية :

$$\overline{Q_{in(2)}} = \overline{Q_{cond(2)}} \quad (8)$$

$$\overline{Q_{cond(2)}} = U_{wall(2)} \times A_{wall} \times (\overline{T_{so(2)}} - \overline{T_{si(2)}}) \quad (9)$$

$$U_{wall(2)} = \frac{1}{R_{wall(2)}} \quad (10)$$

$$R_c = R_{wall(2)} - (R_{inner\ wall(2)} + R_{outer\ wall(2)}) \quad (11)$$

حيث ان:

$$R_{inner\ wall(2)} = (l/k)_{gypsum} + \left[ \frac{A_{total}}{C_{brick(12)} \times A_{brick(12)} + \left(\frac{k}{l}\right)_{cement.m} \times A_{cement.m}} \right] \quad (12)$$

$$(13) R_{outer\ wall(2)} = (l/k)_{cement.p} + \left[ \frac{A_{total}}{C_{brick(12)} \times A_{brick(12)} + \left(\frac{k}{l}\right)_{cement.m} \times A_{cement.m}} \right]$$

جدول (2) معامل التوصيلية الحرارية لمواد البناء

ت	المادة	معامل التوصيلية الحرارية (k) [W/m.°C]	الكثافة الكتلية [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	سمنت (2رمل:1سمنت)	1.08	2050
2	جص	0.57	1200

جدول (1) معامل الموصلية الحرارية للطابوق المثقب

ت	المادة	السلك (m)	معامل الموصلية الحرارية (C) [W/m <sup>2</sup> .°C]	الكثافة الكتلية [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	طابوق مثقب	0.24	1.37	1200
2	طابوق مثقب	0.12	2.78	1200

ملاحظة : في الجدول (2) اعطيت قيم الموصلية الحرارية (k) للمواد لأنها متجانسة، في حين اعطيت في الجدول (1) قيم معامل الموصلية الحرارية (C) للطابوق المثقب لأنها مواد غير متجانسة حيث يصعب ايجاد معامل موصليتها لوحدة الطول . وتحسب المقاومة الحرارية للمواد غير المتجانسة كالتالي :  $R = \frac{1}{C}$ .

## النتائج والمناقشة

### درجة حرارة السطح الداخلي للجدران :

من خلال الشكل (6) نلاحظ انخفاضاً لمنحني درجات الحرارة على مدار اليوم للسطح الداخلي للجدار ذي التجويف المغلق بالمقارنة مع الجدار التقليدي، فحينما يكون متوسط درجة حرارة السطح الداخلي للجدار التقليدي خلال اليوم بمعدل (27.51°C) للتجربتين المنفذتين نجد انه للجدار ذي التجويف المغلق يكون بمعدل (27.06 °C) أي ان مقدار التخفيض الحاصل يساوي (0.45 °C) وكما مبين في الجدول (3) (تكلمة) . ويعود سبب ذلك الى المقاومة الحرارية التي يبديها التجويف الهوائي المغلق نتيجة للسعة الحرارية للهواء، وكذلك الموصلية القليلة للهواء المحجوز داخل التجويف المغلق والتي تؤخر وصول الموجة الحرارية وبالتالي تعمل على تقليل الحرارة الداخلة الى الحيز، حيث نلاحظ ان اقصى قيمة لدرجة الحرارة التي يصلها السطح الخارجي لكلا الجدارين (تقليدي ، تجويف مغلق) بحدود الساعة الحادية عشر صباحاً بينما نجد ان اقصى قيمة لدرجة الحرارة التي يصلها السطح الداخلي للجدار التقليدي تتراوح بين الساعة الخامسة والسادسة عصراً وبذلك يكون التخلف الزمني للموجة الحرارية (Time lag) (الفارق الزمني الذي تستغرقه الموجة الحرارية في الانتقال من السطح الخارجي لعنصر ما الى سطحه الداخلي) (الكود العربي الموحد للعزل الحراري 2004) بحدود ست الى سبع ساعات بالنسبة للجدار التقليدي، بينما نجد ان اقصى قيمة لدرجة الحرارة التي يصلها السطح الداخلي للجدار ذي التجويف الهوائي المغلق بحدود الساعة الثامنة مساءً، اي ان التخلف الزمني للموجة الحرارية يكون بتسع ساعات للجدار ذي التجويف المغلق. وبذلك يكون الفارق بين التخلف الزمني للموجة الحرارية للجدار التقليدي والجدار ذي التجويف المغلق بحدود ساعتين الى ثلاث ساعات .

كذلك ونلاحظ من خلال الجدول (3) (تكلمة) أن مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم ( $\Delta t_{si}$ ) للجدار ذي التجويف المغلق كان بمعدل (1.02°C) للتجربتين المنفذتين عندما يكون للجدار التقليدي بمعدل (1.68°C) اي ان مقدار التخفيض الحاصل يساوي (0.66°C).

### درجة حرارة السطح الخارجي للجدران:

من خلال الشكل (7) نلاحظ أن درجة حرارة السطح الخارجي للجدار ذي التجويف الهوائي المغلق تكون اقل من درجة حرارة السطح الخارجي للجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال النهار (الفترة الواقعة بين الساعة السادسة صباحاً وحتى الساعة الثانية ظهراً تقريباً). أما لبقية اليوم فنلاحظ بان درجة حرارة السطح الخارجي للجدار ذي التجويف المغلق تكون اعلى بالمقارنة مع الجدار التقليدي.

### الحرارة الداخلة الى الحيز :

من خلال الجدول (3) نلاحظ انه عندما يكون متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر الجدار التقليدي خلال اليوم ( $\overline{Q_{m1}}$ ) بمعدل (49 W) للتجربتين المنفذتين نجد أن متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر الجدار ذي التجويف المغلق خلال اليوم ( $\overline{Q_{m2}}$ ) يكون بمعدل (38.5 W) اي ان نسبة التخفيض لحمل التبريد (RCL) تساوي (%) 21.5 ، وذلك بسبب المقاومة الحرارية التي يبديها التجويف ( $R_c$ ) والتي كانت بمعدل (0.2 m<sup>2</sup>.°C/W) والتي تزيد من مقاومة الجدار الكلية ، وهي قيمة تقع ضمن حدود القيم التي ادرجت من قبل منظمة (ASHRAE) الامريكية ، والتي تتراوح فيها قيمة المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي المغلق ذي السمك (5 cm) بين (0.15 – 0.22) m<sup>2</sup>.°C/W حسب درجة

الانبعاثية للأسطح (ASHRAE , 2001). ويبين الجدول (3) خلاصة للنتائج السابقة وكذلك يبين أن قيمة معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي والمحسوبة خلال التجريبتين كانت تتراوح بين  $(7.73-7.84) W/m^2 \cdot ^\circ C$

### الاستنتاجات :

من خلال التجربة المنفذة خلال شهر آب على جداري الاختبار المواجهان للاتجاه الشرقي ومن خلال الحسابات يمكن استنتاج ما يأتي :

1. إن استخدام التجويف الهوائي المغلق للجدار يعمل على تقليل حمل التبريد حيث بلغت نسبة التخفيض للجدار ذي التجويف المغلق بمقدار (21.5 %) بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) وهذا يساهم في تقليل الطاقة الكهربائية المصروفة على اجهزة التكييف.

2. إن استخدام التجويف الهوائي المغلق للجدار يعمل على تقليل معدل درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم مما يقلل من حمل التبريد للحيز ويعطي شعورا افضل للراحة الحرارية للأشخاص الموجودين داخل الحيز المكيف ، وكذلك يعمل على تخفيض مدى التغير في درجة الحرارة للسطح الداخلي للجدار خلال اليوم مما يعني تخميد الموجة الحرارية للسطح الداخلي وبالتالي نحصل على توزيع جيد (قليل التباين) لاحمال التبريد خلال اليوم وهذا يعمل على استقرارية وتقليل التذبذب في عمل اجهزة التكييف خلال اليوم ويعطينا سيطرة جيدة وسهلة على درجة الحرارة في تكييف الهواء .

3. ان قيمة المقاومة الحرارية المحسوبة للتجويف الهوائي المغلق للجدار كانت بمعدل  $(0.2 m^2 \cdot ^\circ C/W)$  وهي قيمة تقع ضمن حدود القيم المعتمدة من قبل منظمة (ASHRAE) الامريكية .

4. الفارق بين التخلف الزمني للموجة الحرارية للجدار بوجود تجويف مغلق والجدار التقليدي يكون بحدود ساعتين الى ثلاث ساعات .

### المصادر:

- ASHRAE "ASHRAE Fundamentals Handbook" Atlanta, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc, (2001).
- Aviram, D.P., Fried, A.N., and Roberts, J.J., 2001, Thermal Properties of a Variable Cavity Wall, Building and Environment, Vol. 36, No. 9, PP. 1057–1072.
- Manz, H. 2003, Numerical Simulation of Heat Transfer by Natural Convection in Cavities of Facade Elements. Energy and Buildings, Vol. 35, No. 3, pp. 305-311.
- El Hassan Ridouane and Marcus, V.A., (2011), Thermal performance of Uninsulated and Partially Filled Wall Cavities, ASHRAE Annual Conference Montreal, Quebec 2011.
- Robinson, H. E., Powlitch, F. J., and Dill, R.S., 1954, The thermal insulating value of airspaces, Housing Research Paper 32, Housing and Home Finance Agency.

- "مدونة العزل الحراري" مدونة بناء عراقية، وزارة الاعمار والاسكان، وزارة التخطيط الطبعة الاولى، (2013) .

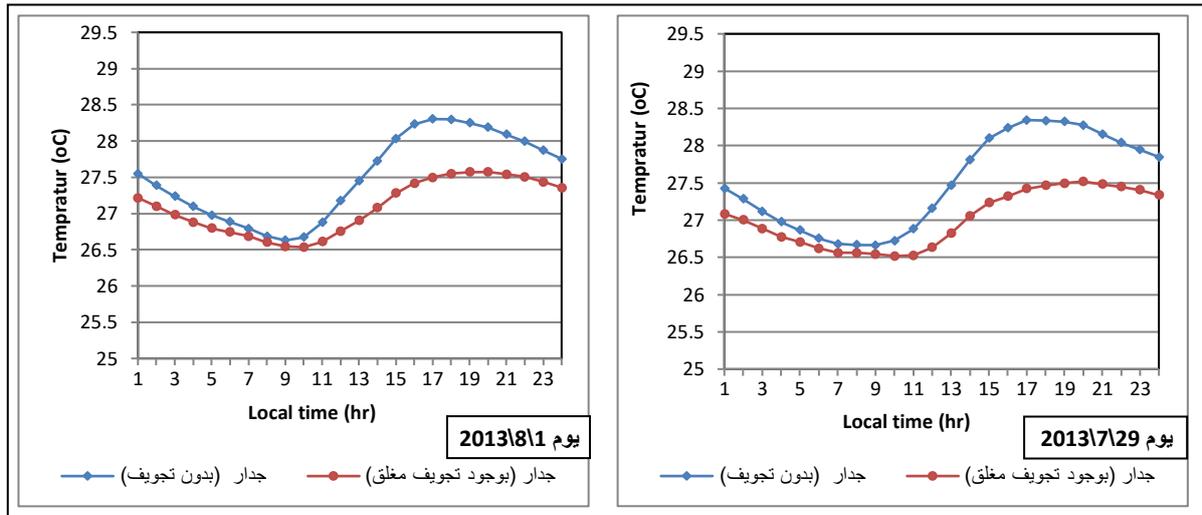
- الجودي ، خالد احمد "مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج" ، (1986).

- "الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني، كودة العزل الحراري" مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب ، (2004).

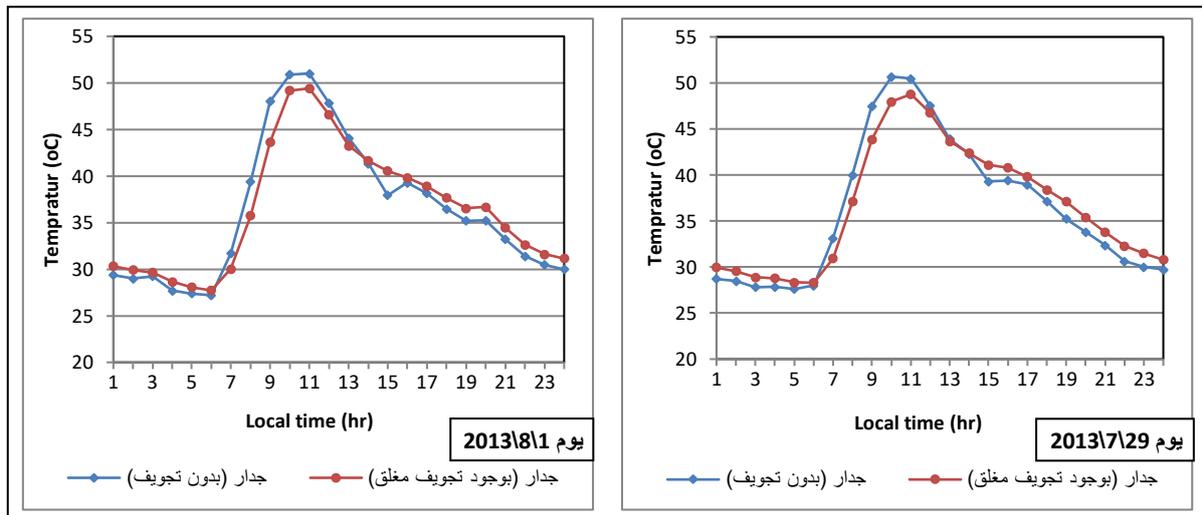
### الرموز المستخدمة

الرمز	المعنى	الوحدة
$A_{wall}$	مساحة الجدار	$m^2$
$A_{brick(12)}$	مساحة الوجه الخارجي للطابوق بسمك (12cm)	$m^2$
$A_{brick(24)}$	مساحة الوجه الخارجي للطابوق بسمك (24cm)	$m^2$
$A_{cement.m(12)}$	مساحة الوجه الخارجي لطبقة اللصق للطابوق بسمك (12cm)	$m^2$
$A_{cement.m(24)}$	مساحة الوجه الخارجي لطبقة اللصق للطابوق بسمك (24cm)	$m^2$
$l_{gypsum}$	سمك طبقة البياض الداخلي بالجبص	m
$l_{cement.p}$	سمك طبقة اللبخ الخارجي بالسمنت	m
$l_{cement.m}$	سمك طبقة اللصق بالسمنت بين الطابوق	m
$T_{si}$	درجة حرارة السطح الداخلي للجدار	$^{\circ}C$
$T_{so}$	درجة حرارة السطح الخارجي للجدار	$^{\circ}C$
$T_i$	درجة حرارة الحيز	$^{\circ}C$
$h_i$	معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي	$W/m^2.^{\circ}C$
$U_{wall}$	معامل انتقال الحرارة للجدار	$W/m^2.^{\circ}C$
$R_{wall}$	المقاومة الحرارية للجدار	$m^2.^{\circ}C/W$
$R_{ineer}$	المقاومة الحرارية للجزء الداخلي للجدار	$m^2.^{\circ}C/W$
$R_{outer}$	المقاومة الحرارية للجزء الخارجي للجدار	$m^2.^{\circ}C/W$
$R_c$	المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي للجدار	$m^2.^{\circ}C/W$
$Q_{cond}$	معدل الحرارة المنتقلة بواسطة التوصيل من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للجدار	W
$Q_{in}$	معدل الحرارة المنتقلة من السطح الداخلي للجدار الى الحيز	W
RCL	نسبة التخفيض في حمل التبريد (Reduction of cooling load)	%
$C_{brick(12)}$	معامل الموصلية الحرارية للطابوق بسمك (12 cm)	$W/m^2.^{\circ}C$
$C_{brick(24)}$	معامل الموصلية الحرارية للطابوق بسمك (24 cm)	$W/m^2.^{\circ}C$
$K_{cement.p}$	معامل الموصلية الحرارية لسمنت اللبخ الخارجي	$W/m.^{\circ}C$
$K_{cement.m}$	معامل الموصلية الحرارية لسمنت طبقة اللصق	$W/m.^{\circ}C$
$K_{gypsum}$	معامل الموصلية الحرارية للجبص	$W/m.^{\circ}C$
$\Delta t_{si}$	مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم	$^{\circ}C$

	$(t_{si\ max} - t_{si\ min}) =$	
<b>الرموز السفلية</b>		
	الجدار التقليدي ( بدون تجويف )	1
	الجدار ذي التجويف الهوائي المغلق	2
<b>الرموز العلوية</b>		
	المتوسط خلال اليوم	---



الشكل (6) توزيع درجات الحرارة للسطح الداخلي لجدار تقليدي (بدون تجويف) و جدار بوجود تجويف مغلق للتجربتين المنفذتين



الشكل (7) توزيع درجات الحرارة للسطح الخارجي لجدار تقليدي (بدون تجويف) و جدار بوجود تجويف مغلق للتجربتين المنفذتين



جدول (3) خلاصة نتائج التجريتين

درجة حرارة العنصر ( $T_m$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي ( $h_i$ ) ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ )	المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي ( $R_c$ ) ( $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	نسبة التخفيض (RCL) (%)	متوسط معدل الحرارة الداخلة الى العنصر خلال اليوم (جدار ذو تجويف) ( $\overline{Q_{in(2)}}$ ) ( $\text{W}$ )	متوسط معدل الحرارة الداخلة الى العنصر خلال اليوم (جدار بدون تجويف) ( $\overline{Q_{in(1)}}$ ) ( $\text{W}$ )	تاريخ التجربة
25.42	7.84	0.23	23.3 %	37.51	48.91	29/7
25.39	7.73	0.17	19.6 %	39.49	49.13	1/8
		<b>Ave = 0.20</b>	<b>Ave = 21.5 %</b>	<b>Ave = 38.50</b>	<b>Ave = 49.02</b>	

تكملة جدول (3) خلاصة نتائج التجريتين

مقدار التخفيض ( $\Delta t_{si(1)} - \Delta t_{si(2)}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار ذو تجويف) ( $\Delta t_{si(2)}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار بدون تجويف) ( $\Delta t_{si(1)}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	مقدار التخفيض ( $\overline{t_{si(1)}} - \overline{t_{si(2)}}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار ذو تجويف) ( $\overline{t_{si(2)}}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم (جدار بدون تجويف) ( $\overline{t_{si(1)}}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	تاريخ التجربة
0.68	1	1.68	0.48	27.02	27.50	29/7
0.63	1.04	1.67	0.42	27.09	27.51	1/8
<b>Ave = 0.66</b>	<b>Ave = 1.02</b>	<b>Ave = 1.68</b>	<b>Ave = 0.45</b>	<b>Ave = 27.06</b>	<b>Ave = 27.51</b>	