

Experimental Study of the Effect of Ventilated Cavity Wall on Building Cooling Load

Dr. Qussai J. Abdul Ghafour

Mechanical Engineering Department, University of Technology/ Baghdad

Email :kaisyqj@yahoo.com

Bashar Kamil Mahmoud

Mechanical Engineering Department, University of Technology/ Baghdad

Abstract

The study, which was made during August showed through calculations, that the use of ventilated cavity wall by air with temperature equal to the temperature of the space (about 25.5°C) and within air velocities range (0.0785,0.157,0.282m/s) made a percentage reduction in the cooling load caused by heat gain from the wall by (65.1,70.7,75.7%) compared with the conventional wall. Also the study showed an increase in the cavity thermal resistance with increasing ventilated air velocity and a linear relationship is obtained within the test velocities range.

The experimental results of the study showed that the use of ventilated cavity wall reduced the average temperature of the inner surface of the wall during the day, and that the amount of reduction was an average (1.45,1.53,1.71°C) during August when compared with the conventional wall and within the test velocities range, as well as the use of ventilated cavity wall reduced the temperature difference range of the inner surface of the wall during the day and that the amount of reduction was close within the range of test velocities, the average of reduction ranged between (0.94,1.01°C) during August when compared with the conventional wall .

دراسة عملية لإيجاد تأثير جدار ذي تجويف مهوى على حمل تبريد حيز معين

الخلاصة :

تظهر الدراسة التي اجريت خلال شهر آب ومن خلال الحسابات ان استخدام الجدار ذي التجويف المهوى بهواء ذي درجة حرارة مساوية لدرجة حرارة الحيز (بحدود 25.5°C) وضمن مدى سرعة تهوية (0.0785, 0.157, 0.282 m/s) ادى الى تخفيض حمل التبريد نتيجة الكسب الحراري عبر الجدار وبنسب (65.1, 70.7, 75.7 %) بالمقارنة مع الجدار التقليدي. كذلك بينت الدراسة زيادة المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي للجدار عند زيادة سرعة التهوية له وتم ايجاد علاقة (خطية) لذلك وضمن مدى سرعة الاختبار. وبينت النتائج العملية للدراسة ان استخدام الجدار ذي التجويف المهوى يعمل على تخفيض متوسط درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم، وان مقدار التخفيض كان بمعدل (1.45, 1.53, 1.71°C) خلال شهر آب عند المقارنة مع الجدار التقليدي وضمن مدى سرعة الاختبار، وكذلك يعمل على تخفيض مدى التغير في درجة الحرارة للسطح الداخلي للجدار خلال اليوم، وان مقدار التخفيض الحاصل كان متقارباً ضمن مدى سرعة الاختبار حيث تراوح معدله بين (0.94, 1.01°C) خلال شهر آب عند المقارنة مع الجدار التقليدي.

الكلمات المرشدة : جدار مجوف ، تهوية التجويف ، جدار ذي تجويف مهوى ، أحمال التبريد

<https://doi.org/10.30684/etj.33.7A.18>

2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq

This is an open access article under the CC BY 4.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

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 بكبير نطاق الأشهر الحارة على الباردة وارتفاع معدلات درجة الحرارة خلال الصيف مما زاد من استخدام منظومات التكييف لضمان بيئة داخلية ملائمة للشاغلين وهذا يؤدي إلى زيادة في معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية .

ولأهمية الموضوع سعت دراسات وبحوث عديدة إلى محاولة إيجاد حلول عملية تقلل من صرفيات الطاقة في المباني من خلال تصميم المبني أو باتباع تقنيات مختلفة كتقنيات التبريد الذاتي الغير مستهلكة للطاقة، أو الفعال والتي تكون أكثر كفاءةً من تقنية التبريد الذاتي إلا انها تستهلك طاقة ولكن بصورة قليلة [1].

لقد أجرى الباحثون (Stazi et. al.) (2011) [2] دراسة عملية لتقييم الاداء الحراري لعملية التهوية الطبيعية خلال التجويف الهوائي لجدار مركب وقد تمت العملية لجدارين مختلفين بالارتفاع (6m و 12m) لبنانية تقع تحت تأثير مناخ (البحر الأبيض المتوسط) صيفاً. واثبتت النتائج ان قيم درجة حرارة الجدار الخارجي ودرجة حرارة وسرعة الهواء خلال التجويف الهوائي عند نهار الصيف هي اعلى للجدار ذي ارتفاع (12m) بينما في الليل عند انخفاض درجة حرارة المحيط تكون اعلى للجدار ذو ارتفاع (6m). وقام الباحثان (Sahar&yahyah) (2012) [3] في العراق بتجربة عملية لتقليل صرف الطاقة لحمل التبريد بالاستفادة من هواء التبريد التخيري الذي يمرر خلال تجويف فوق السطح وكان من ضمن النتائج التي توصلوا اليها عن طريق حساب حمل التبريد باستخدام برنامج التحليل والمحاكاة (Ecotect v 5.2) وعلى اساس خفض درجة حرارة الحيز إلى (26 °C) أن التبريد السطحي بإمكانه تخفيض حمل التبريد بمقدار (33%). كما قام الباحثان بتجربة اخرى وفي نفس المجال من خلال تبريد الجدار بواسطة المبردة التخيرية عن طريق بناء جدار من شقين كل منهما بسمك (12 cm) من الطابوق بينهما فراغ هوائي بعرض (7 cm) وكان من ضمن النتائج التي توصلوا اليها عن طريق حساب حمل التبريد باستخدام برنامج التحليل والمحاكاة (Ecotect v5.2) وعلى اساس خفض درجة حرارة الحيز إلى (26°C) أن التبريد الجداري بإمكانه تخفيض حمل التبريد بمقدار (18%). وقام الباحثون (et al.Chebil) (2003) [4] بدراسة تأثير تسرب الهواء إلى الحيز (بمسارات ومعدلات مختلفة) خلال فصل الشتاء على الاداء الحراري لجدار متعدد الطبقات عن طريق محاكاة نموذج عددي ثلاثي الابعاد للجدار، باستخدام طريقة الفروقات المحددة وكانت النتائج التي توصلوا اليها باعتبار أن حمل التدفئة (نتيجة الحرارة المفقودة من السطح الداخلي للجدار وتسرب الهواء إلى الحيز) محسوب بالاعتماد على مسار وكمية تسرب الهواء ، فعندما يكون معدل تسرب الهواء يساوي (0.001 kg/s) خلال المسارات المختلفة فإن معامل استرجاع الحرارة يكون بين (7%) و (15%) بالاعتماد على مسار التسرب. كذلك ولمسارات مختلفة للتسرب ولمعدل تسرب (0.001 kg/s) فقد وصلت نسبة التخفيض لحمل التدفئة بالمقارنة مع جدار يكون تسرب الهواء بصورة مباشرة إلى الحيز إلى (8%). كما قام مجموعة من الباحثين اليابانيين (Sihwan et. al.) (2011) [5]، بتصميم منظومة تكييف يكون نظام التهوية فيها مفصول وذلك من اجل استثمارها في تقنية العزل الديناميكي (Dynamic Insulation) من خلال تمرير الهواء خلال التجويف الهوائي بين الزجاج المزدوج لتقليل الحرارة المكتسبة للحيز خلال الصيف والحرارة المفقودة من الحيز خلال الشتاء . كما قام الباحثون بعملية محاكاة حاسوبية باستخدام الـ (CFD) (Computational fluid dynamics) لغرفة ثلاثية الابعاد لمعرفة أداء العزل الديناميكي خلال النافذة ذات الزجاج المزدوج. حيث استنتجوا من خلال الدراسة ان المقاومة الحرارية للعزل الديناميكي تزداد بزيادة عرض التجويف إلى ان يصل إلى عرض (24.0mm) وبعد ذلك لا تكون لزيادة عرض التجويف تأثير في زيادة العزل الديناميكي، كذلك وجدوا ان التغير في درجة حرارة الهواء المجهز للحيز عبر التجويف الهوائي يزداد مع ازدياد الفرق بين درجة حرارة داخل وخارج الحيز وأوجدوا علاقة خطية لذلك. تم في هذا البحث استخدام تقنية جديدة للجدران تقلل من استهلاك الطاقة نتيجة استخدام اجهزة التكييف، والتي تتضمن عمل تجويف على طول الجدار وتهويته، وتمت دراسة تأثير استخدام الجدار ذي التجويف المهورى في تخفيض حمل التبريد بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) وكذلك دراسة تأثيره على درجة الحرارة للسطحين الخارجي والداخلي للجدار بالمقارنة مع الجدار التقليدي ايضاً، ودراسة تأثير سرعة التهوية على المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي والجدار.

المنظومة العملية :

من اجل اجراء الدراسة فقد تم بناء جدارين متجاورين من الطابوق تواجه الشرق بارتفاع (3.0m) وعرض (1.0m) لكل جدار، احدهما تقليدي (بدون تجويف) والاخر ذو تجويف مفتوح تمت تهويته بواسطة منظومة تهوية (سحب)، وتم بناء حيز يولف 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 التجارب العملية

خلال شهر آب. يكون مصدر تجهيز هواء التهوية (لغرض اجراء التجربة) من الحيز على اعتبار ان مصدر التهوية للتجويف من المفترض أن يؤخذ من احد المصدرين والذين تكون فيهما درجة حرارة الهواء مقاربة أو مساوية لدرجة حرارة الحيز .

المصدر الاول : استخدام مبادل حراري مع باطن الأرض (Earth-Air Heat Exchanger) على اعتبار ان درجة حرارة باطن الارض تنخفض كلما اتجهنا للأسفل وتبقى ثابتة تقريباً على مدار العام عند عمق (3m)[6]، وأنه في مدينة بغداد يكون متوسط درجة الحرارة عند عمق(1.6 m) بحدود (24.11°C)[7].
المصدر الثاني : الهواء المزاح من الحيز نتيجة دخول هواء التهوية الخارجي المستخدم في منظومات تكييف الهواء الخارجي كلياً او منظومات التكييف ذات التهوية المفصولة[5].

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 بالأرض، والجدار معزول من الجهة العلوية والجوانب بواسطة عازل (فلين) بسمك (0.1m)، ويتكون الجدار من ثلاث طبقات :

1. الطبقة الخارجية (المواجهة للبيئة): متكونة من السمنت بسمك (0.02m).
2. الطبقة الوسطى: متكونة من الطابوق المثقب بسمك (0.24m).
3. الطبقة الداخلية (المواجهة للحيز): متكونة من الجص بسمك (0.02m).

ومن الجدير بالملاحظة ان مواصفات الجدار الأنفة الذكر هي مطابقة لمواصفات الجدران التقليدية للمباني العراقية [8].

الجدار ذي التجويف المهوى :

وهو بارتفاع (3m) وعرض (1m) وسمك (0.33m) يحتوي في المنتصف على تجويف بسمك (0.05m) ممتد على طول الجدار ومتصل من الاسفل بشق موجود في الجزء السفلي للجزء الداخلي من الجدار المواجه للحيز ويستند الجدار من الاسفل على قاعدة من الكونكريت بسمك (0.2m) متصلة بالأرض والجدار معزول من الجهة العلوية والجوانب من جهة العرض بواسطة عازل (فلين) بسمك (0.1m) والجدار يتكون من اربعة طبقات:

1. الطبقة الخارجية (المواجهة للبيئة): متكونة من السمنت بسمك (0.02m).
2. الطبقة الوسطى الخارجية : متكونة من الطابوق المثقب بسمك (0.12m).
3. الطبقة الوسطى (التجويف): عبارة عن تجويف هوائي بسمك (0.05m).
4. الطبقة الوسطى الداخلية : متكونة من الطابوق المثقب بسمك (0.12m).
5. الطبقة الداخلية (المواجهة للحيز): متكونة من الجص بسمك (0.02m).

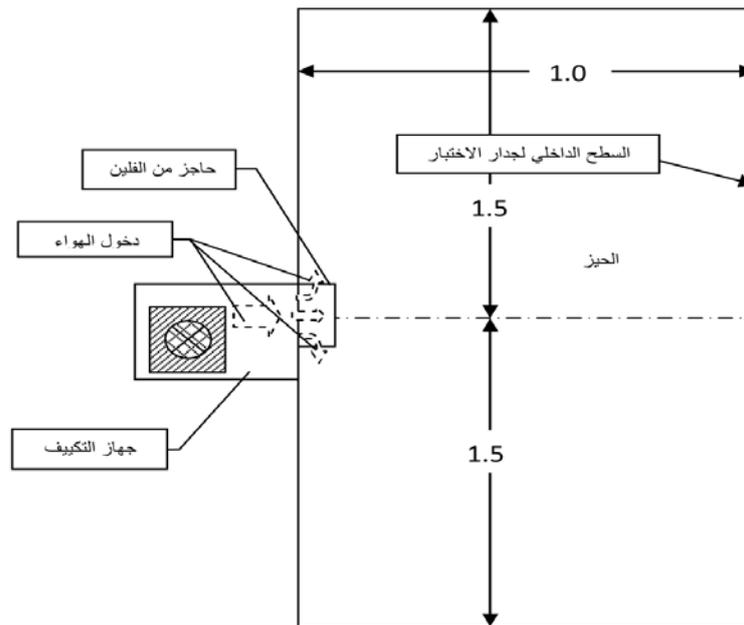
التجويف الهوائي مفتوح من الاعلى والاسفل حيث يمر الهواء من داخل الحيز الى اسفل التجويف مارا خلال التجويف بفعل منظومة التهوية (السحب) المتصلة بالجزء العلوي للتجويف.

الحيز مع جهاز التكييف

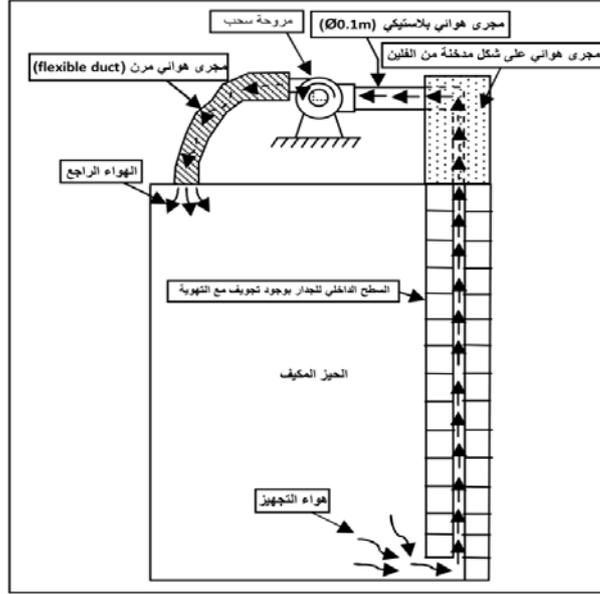
وهو بطول (1m) وعرض (2.4m) وارتفاع (3m) (تمثل ابعاد الحيز من الداخل)، متكون من ثلاث جدران وسقف وأرضية من الفلين بسمك (0.1m) والجدار الرابع المواجه للشرق مكون من جزئين (الجدار الاعتيادي والجدار المجوف) يفصل بينهما في المنتصف طبقة من الفلين بعرض (0.4m) لمنع انتقال الحرارة بين الجدارين وتم وضع جهاز مكيف شبكي سعة تبريد (7500 BTU/hr) في منتصف الجدار الفليني المقابل بطريقة تضمن توزيع الهواء بصورة منتظمة داخل الحيز من خلال وضع حاجز من الفلين امام فتحة خروج الهواء من المكيف للحفاظ على درجة حرارة التبريد المطلوبة للحفاظ على درجة حرارة التبريد المطلوبة ، وكما موضح بالشكلين (1) و (2) .



شكل (1) الحيز مع جهاز التكييف



شكل (2) مخطط يبين مقطع جانبي للحيز مع جهاز التكييف



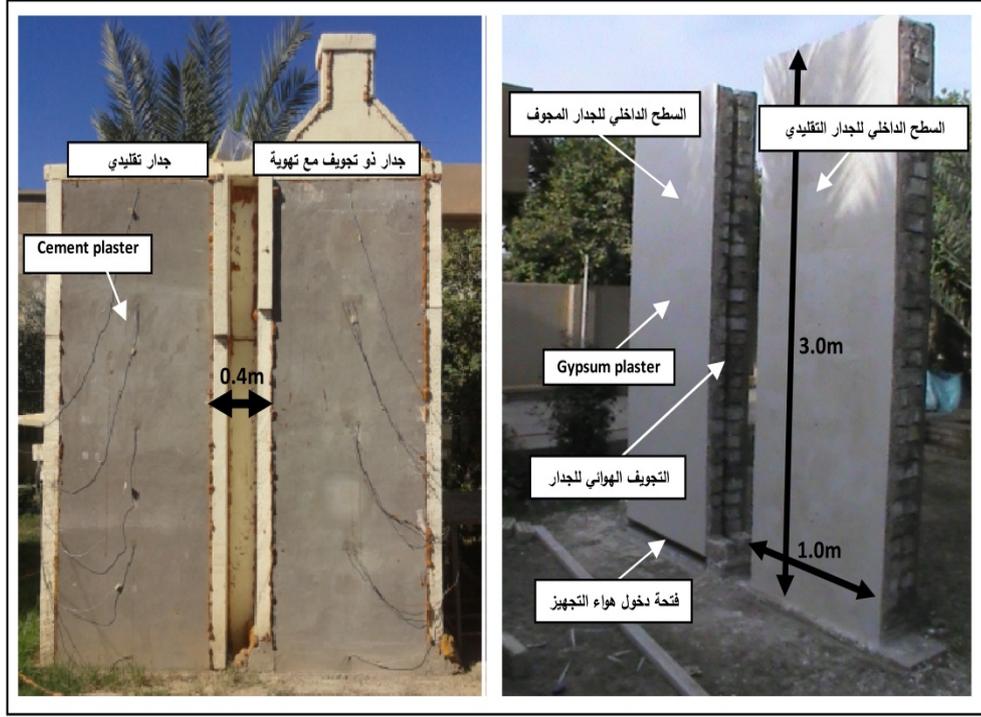
شكل (3) مقطع جانبي لمنظومة التهوية (السحب)

منظومة التهوية (السحب) :

تتألف وكما موضح في الشكلين (3)،(4) من مجرى هوائي مصنوع من الفلين على شكل مدخنة، يحوي من الداخل ريش معدنية بصورة متوازية للحفاظ على توزيع منتظم للجريان على عرض فتحة التهوية، يوضع فوق الجدار المجوف ويتصل جزؤه السفلي بتجويف الجدار والجزء العلوي بمجرى هوائي من البلاستيك بقطر (0.1m) في نهايته متصل بمروحة سحب هوائية نوع (Centrifugal) تحتوي في جانبها على بوابة للتحكم في معدل التدفق ويتم ارجاع هواء السحب الى الحيز من الاعلى بواسطة مجرى هوائي (flexible duct) (والذي من المفترض ان يطرح خارجاً حيث ان في تصميم منظومات التكييف تكون هنالك نسبة من هواء الحيز تطرح الى الخارج ويتم التعويض بهواء نقي (fresh air) من الخارج، وان هذه النسبة من هواء الحيز والتي تكون باردة نسبياً يتم استغلالها في هذه الدراسة من خلال امرارها عبر تجويف الجدار) وإن سبب ارجاع هواء السحب الى الحيز بواسطة منظومة السحب، وذلك لتقليل حمل هواء التجهيز الخارجي للمكيف عند اجراء التجربة (ويكون ذلك فقط لغرض اجراء التجربة ولكن عند التصميم الفعلي فإن هواء السحب يطرح الى الخارج).



شكل (4) منظومة التهوية (السحب)



شكل (5) جداري الاختبار

التجارب العملية :

تم اجراء احدى عشرة تجربة خلال شهر آب وكانت التجربة الواحدة تستغرق يومي تشغيل مستمر للمنظومة على مدار الساعة واخذ القراءات يكون في اليوم الثالث ولمدة اربع وعشرين ساعة وذلك للحصول على اكبر قدر من الاستقرار للمنظومة وتم اخذ القراءات للجدار الاعتيادي والجدار ذو التجويف المهوى بنفس الوقت من اجل المقارنة بينهما .

ومن اجل دراسة تأثير تغيير سرعة التهوية للتجويف فقد تم اجراء التجارب لثلاثة سرع مختلفة عبر تجويف الجدار (0.0785,0.157,0.282) m/s عن طريق التحكم ببوابة مروحة السحب (centrifugal fan) وكانت التجارب الاحدى عشر توزعت على نحو ثلاثة تجارب لكل سرعة تهوية من اجل اخذ المعدل لها لتجاوز الفروقات التي تحصل بسبب التغيرات الجوية للأيام المختلفة خلال الشهر الواحد والتي تؤثر على الاستقرار الحرارية للجدار خلال ايام الشهر وبالتالي الحصول على نتائج اكثر دقة يتم من خلالها حساب معدل نسبة التخفيض لحمل التبريد بالمقارنة مع الجدار التقليدي وكذلك حساب معدل مقاومة التجويف خلال شهر آب .

❖ حساب الكسب الحراري للحيز عبر الجدار التقليدي (بدون تجويف) :

يتم حساب الكسب الحراري للحيز عبر الجدار التقليدي (بدون تجويف) عبر الخطوات التالية :

[1] يتم حساب متوسط معدل الحرارة المنتقلة من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال اليوم عن طريق التوصيل بواسطة المعادلة التالية :

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

[2] يتم حساب معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي 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 نفسها من السطح الداخلي للجدار الى الحيز بواسطة الحمل والاشعاع (متوسط الكسب الحراري عبر الجدار خلال اليوم) [9] وكما يأتي:

$$\overline{Q_{\text{cond}(1)}} = \overline{Q_{\text{in}(1)}} \quad \dots (2)$$

$$\overline{Q_{\text{in}(1)}} = h_i \times A_{\text{wall}} \times (\overline{T_{\text{si}(1)}} - T_i) \quad \dots (3)$$

وبالتعويض في المعادلة (2) يمكن إيجاد معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي

$$h_i = \frac{\overline{Q_{\text{cond}(1)}}}{A_{\text{wall}} \times (\overline{T_{\text{si}(1)}} - T_i)} \quad \dots (4)$$

[3] يمكن الآن حساب الكسب الحراري للحيز عبر الجدار بدون تجويف بواسطة المعادلة التالية :

$$Q_{\text{in}(1)} = h_i \times A_{\text{wall}} \times (T_{\text{si}(1)} - T_i) \quad \dots (5)$$

❖ حساب الكسب الحراري للحيز عبر الجدار ذي التجويف المتهوى :

يتم حساب الكسب الحراري للحيز عبر الجدار ذي تجويف مفتوح مع تهوية عن طريق المعادلة التالية:

$$Q_{\text{in}(2)} = h_i \times A_{\text{wall}} \times (T_{\text{si}(2)} - T_i) \quad \dots (6)$$

h_i : معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي ويتم اعتماد نفس القيمة المحسوبة للجدار بدون تجويف [10] والتي تم إيجادها عن طريق المعادلة (4).

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

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

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

حيث ان معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي للجدار بواسطة الحمل والاشعاع (الكسب الحراري للحيز) في وقت معين لا يساوي بالضرورة حمل التبريد للحيز في الوقت نفسه إذ ان الكسب الحراري الاشعاعي في الحيز يمتص جزئياً أولاً في سطوح ومحتويات الحيز ولا يؤثر على درجة حرارة الهواء الا في وقت لاحق [10]. ولكن متوسط الكسب الحراري للحيز يساوي متوسط حمل التبريد للحيز خلال اليوم الواحد [9]، (على اعتبار ان الطرف الخارجي وعملية انتقال الحرارة خلال الجدار متغيران خلال ساعات اليوم الواحد ولكن مستقران للأيام المتتالية) .

❖ حساب معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي (R_c) :

يتم حساب معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي (مفتوح مع تهوية) خلال اليوم وذلك بأجراء 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 وإيجاد معامل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدار بوجود تجويف وبالتالي يمكن حساب المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي وكما مبين في المعادلات التالية:

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

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

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

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

جدول (1) معامل الموصلية الحرارية للطابوق المثقب [8]

ت	المادة	السمك (m)	معامل الموصلية الحرارية (C) [W/m ² .°C]	الكثافة الكتلية [kg/m ³]
1	طابوق مثقب	0.24	1.37	1200
2	طابوق مثقب	0.12	2.78	1200

جدول (2) معامل الموصلية الحرارية لمواد البناء [8]

ت	المادة	معامل الموصلية الحرارية (k) [W/m.°C]	الكثافة الكتلية [kg/m ³]
1	سمنت (2رمل:1سمنت)	1.08	2050
2	جص	0.57	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 إيجاد معامل موصليتها لوحدة الطول . وتحسب المقاومة الحرارية للمواد غير المتجانسة كالتالي : $R = \frac{1}{C}$

النتائج والمناقشة

درجة حرارة السطح الداخلي للجدارين :

تم قياس درجة حرارة السطح الداخلي للجدارين بواسطة حساسات الكترونية متصلة بمسجل بيانات نوع (Data logger) لشركة (Lap Jack) موديل (U3-LV) يكون موصولاً بحاسبة الكترونية من أجل تسجيل القراءات، وتم استخدام حساسات الجهاز بواقع خمس حساسات لكل سطح جدار تم توزيعها طولياً عند منتصف الجدار وبمسافات متساوية لحساب معدل درجة حرارة السطح الداخلي لكل جدار وتم تثبيتها بنفس مادة الجدار من جهة الداخل (Gypsum Plaster) .

حيث نلاحظ من خلال الشكل (6) انخفاضاً لمنحنى درجات الحرارة على مدار اليوم للسطح الداخلي للجدار ذي التجويف المهيى بالمقارنة مع الجدار التقليدي فعندما تكون سرعة التهوية لتجويف الجدار (0.0785 m/s) نجد أن مقدار التخفيض في متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف المهيى بالمقارنة مع الجدار التقليدي يكون بمعدل (1.45°C) خلال شهر آب.

كذلك ويزداد مقدار التخفيض بزيادة سرعة التهوية ليصل إلى (1.71°C) عند سرعة تهوية (0.282 m/s)، ويعزى ذلك إلى المقاومة التي يبديها التجويف الهوائي المفتوح نتيجة عملية التهوية التي تعمل على طرد قسم من الحرارة إلى الخارج عبر التجويف. ويبين الجدول (3-تكملة) خلاصة للنتائج السابقة .

كذلك نلاحظ من خلال الجدول (3-تكملة) أن مقدار التخفيض الحاصل في مدى التغير لدرجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم $[\Delta t_{si}]$ للجدار ذي التجويف المهيى عند المقارنة مع الجدار التقليدي كان متقارباً ضمن مدى سرعة الاختبار حيث تراوح معدله بين (0.94-1.01)°C خلال شهر آب. ويوضح الشكل (14) معدل التخفيض في متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف المهيى بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) $(\overline{t_{si(1)}} - \overline{t_{si(2)}})$ خلال شهر آب . بينما يوضح الشكل (15) معدل التخفيض في مدى التغير لدرجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف المهيى بالمقارنة مع الجدار التقليدي $(\Delta t_{si(1)} - \Delta t_{si(2)})$ خلال شهر آب .

درجة حرارة السطح الخارجي للجدارين :

تم قياس درجة حرارة السطح الخارجي للجدارين بواسطة مزدوجات حرارية (Thermo couples) نوع (k) تتصل بـ (selector switch) للتحويل بين نقاط المزدوجات الحرارية ويتصل بدوره بـ (thermo meter)

لأخذ القراءات، حيث تم وضع خمس مزدوجات حرارية لكل سطح جدار وتم توزيعها طولياً عند منتصف الجدار وبمسافات متساوية لحساب معدل درجة حرارة السطح الخارجي لكل جدار وتم تثبيتها بنفس مادة الجدار من جهة الخارج (cement plaster).

حيث نلاحظ من خلال الشكل (7) نلاحظ انخفاض لمعظم منحني درجة الحرارة للسطح الخارجي للجدار ذو التجويف المفتوح مع التهوية خلال اليوم بالمقارنة مع الجدار التقليدي ويبدو ذلك التأثير أكثر وضوحاً كلما زادت سرعة التهوية خلال التجويف وذلك نتيجة التهوية التي تعمل على طرد قسم من الحرارة الداخلة عبر الجدار الخارجي والمخزونة فيه عبر الفتحة العليا للتجويف المفتوح مما يؤدي لانخفاض درجة حرارة السطح الخارجي

الحرارة الداخلة الى الحيز :

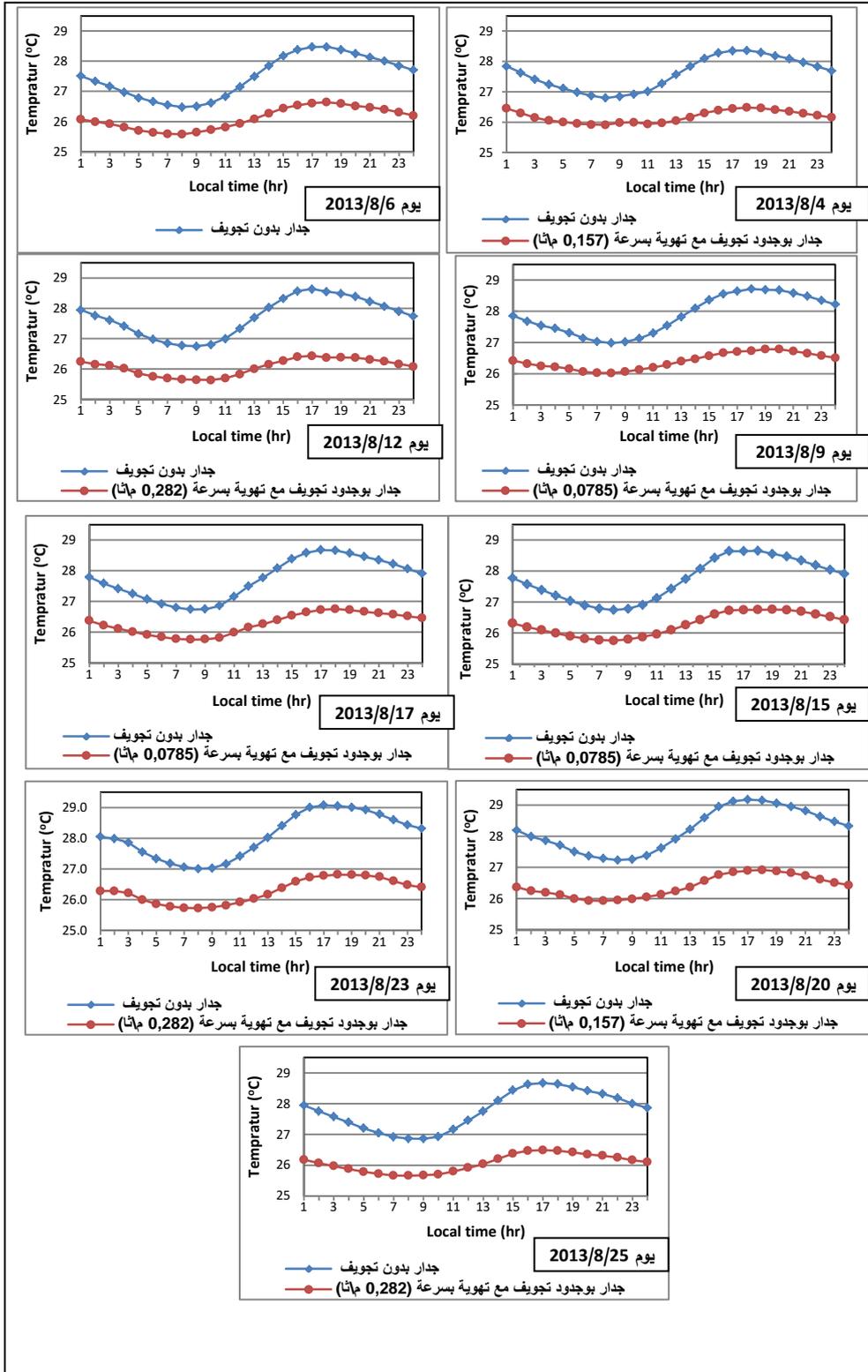
من خلال الشكل (8) نلاحظ انخفاضاً لمنحني معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي للجدار ذي التجويف المهوى على مدار اليوم بالمقارنة مع الجدار التقليدي ، وذلك نتيجة زيادة مقاومة الجدار الذي زادت مقاومة تجويفه الهوائي نتيجة التهوية التي تعمل على طرد قسم من الحرارة الداخلة عبر الجدار الخارجي والمخزونة فيه عبر الفتحة العليا للتجويف المفتوح وبالتالي تقليل معدل الحرارة الداخلة الى الحيز خلال اليوم فعند سرعة تهوية 0.0785 m/s نجد أن نسبة التخفيض لحمل التبريد (RCL) كانت بمعدل (65.1%) خلال شهر آب ومقاومة التجويف (R_c) بمعدل $1.15 \text{ (m}^2 \cdot \text{C/W)}$.

وتزداد نسبة التخفيض لحمل التبريد (RCL) ومقاومة التجويف (R_c) بزيادة سرعة التهوية لتصل نسبة التخفيض الى (75.7%) ومقاومة التجويف الى $1.87 \text{ (m}^2 \cdot \text{C/W)}$ عند سرعة تهوية 0.282 m/s . ويبين الشكل (9) متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز للتجارب المنفذة في شهر آب. ويبين الشكلان (10)، (11) معدل المقاومة الحرارية لجداري الاختبار والتجويف الهوائي، ويبين الشكل (14) تأثير تغيير سرعة التهوية على مقاومة التجويف، حيث نلاحظ ان مقاومة التجويف تزداد بصورة خطية مع زيادة سرعة التهوية وذلك ضمن مدى السرعة التي تم اجرائها. ويوضح الشكل (12) معدل نسبة التخفيض لحمل التبريد للجدار ذي التجويف المهوى بسرعه تهوية مختلفة بالمقارنة مع الجدار التقليدي خلال شهر آب. ويبين الجدول (3) خلاصة للنتائج السابقة، وكذلك يبين أن قيمة معامل انتقال الحرارة للسطح الداخلي والمحسوبة خلال التجارب كانت تتراوح بين $7.02 - 7.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$.

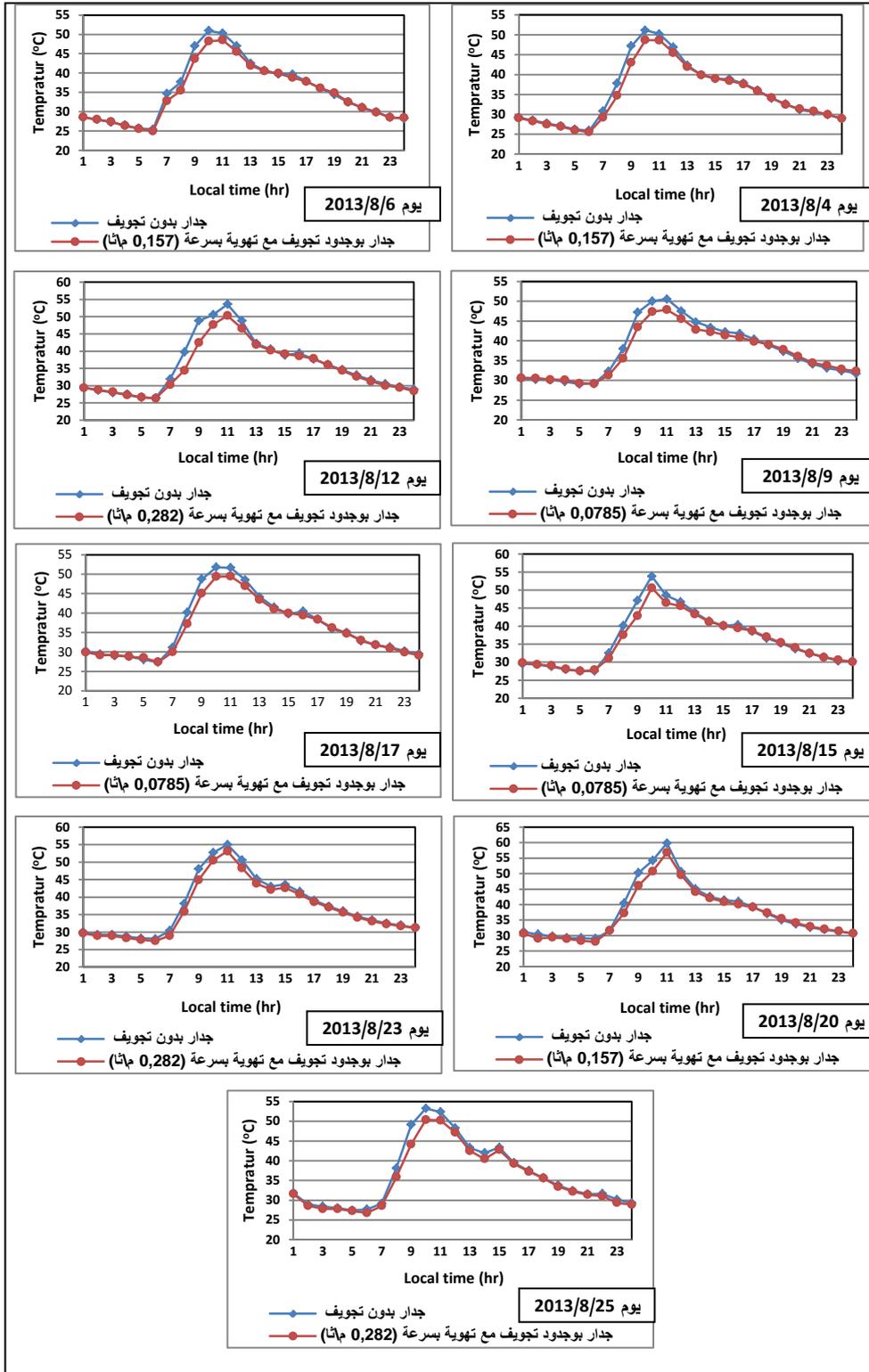
الاستنتاجات :

من خلال التجارب التي اجريت خلال شهر آب على جدران الاختبار المواجهة للاتجاه الشرقي ومن خلال الحسابات يمكن استنتاج ما يأتي :

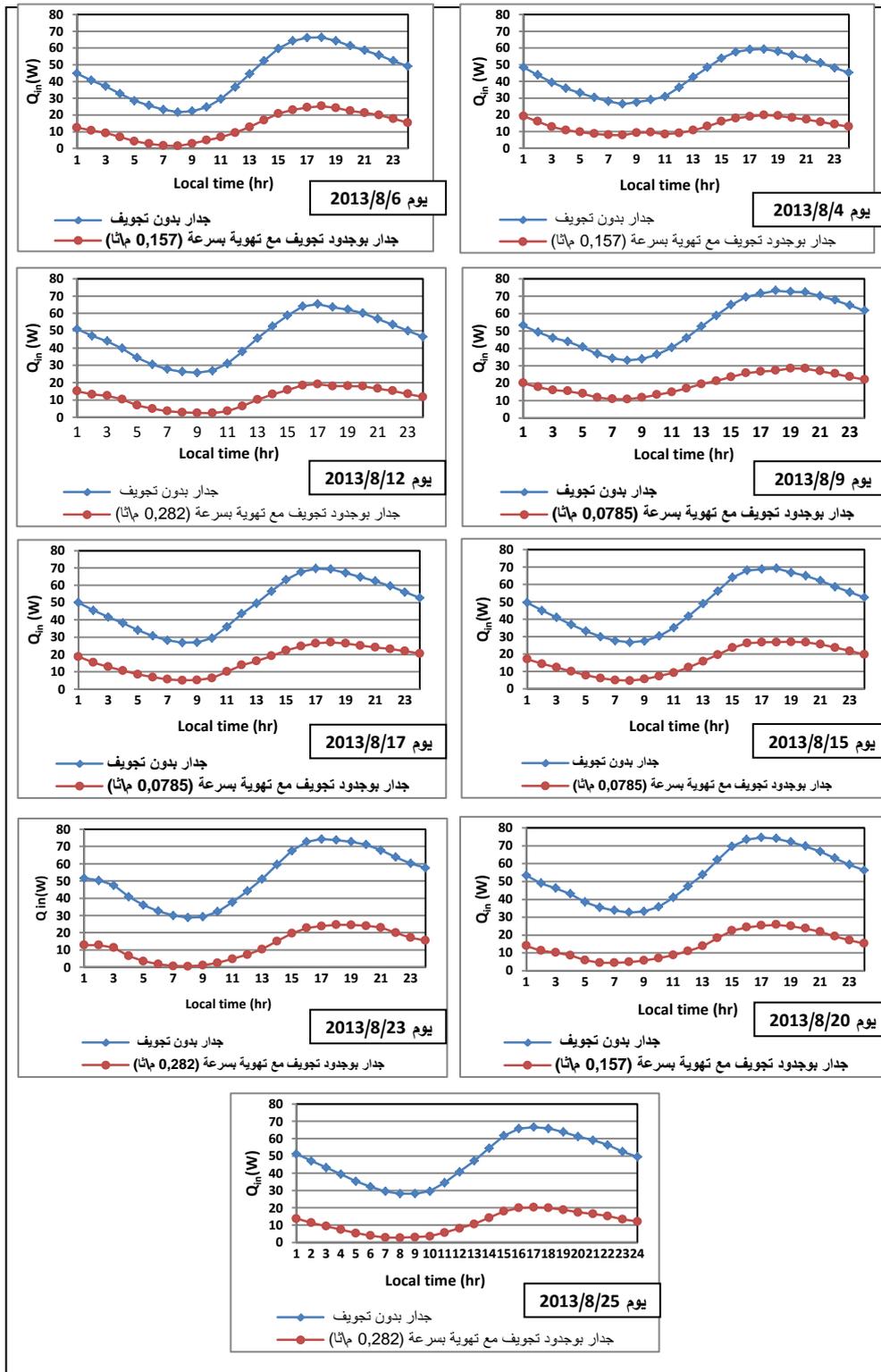
1. ان استخدام الجدار ذي التجويف المهوى بهواء ذي درجة حرارة مساوية لدرجة حرارة الحيز (بحدود 25.5°C) وضمن مدى سرع ($0.0785, 0.157, 0.282 \text{ m/s}$) يؤدي الى تخفيض حمل التبريد نتيجة الكسب الحراري عبر الجدار وبنسب (65.1, 70.7, 75.7 %) بالمقارنة مع الجدار التقليدي ويعتبر هذا تقليل هام يساهم في تقليل حمل التبريد للأبنية وبالتالي تقليل الطاقة الكهربائية المصروفة على اجهزة التكييف.
2. زيادة مقاومة التجويف الهوائي بصورة خطية مع زيادة سرعة التهوية وضمن مدى سرع الاختبار وتم ايجاد علاقة لذلك .
3. عملية التهوية للتجويف تعمل تخفيض متوسط درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم مما يقلل من حمل التبريد للحيز، وكذلك تعمل 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) لأحمال 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.



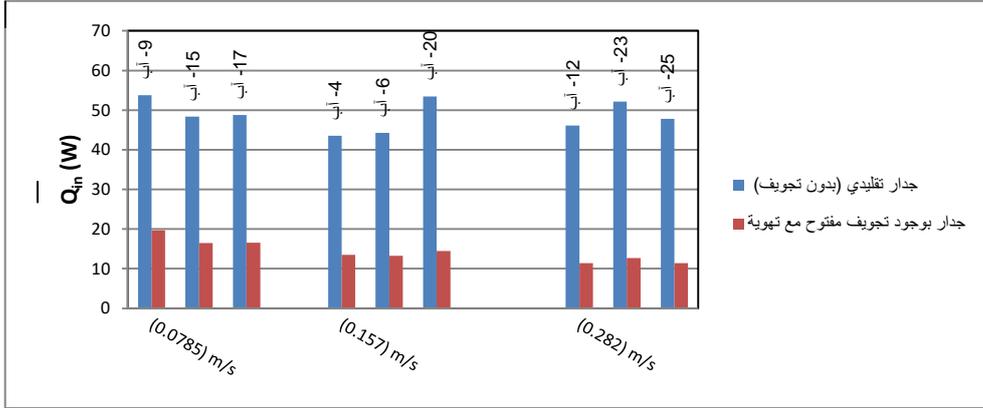
شكل (6) توزيع درجات الحرارة للسطح الداخلي لجدار تقليدي (بدون تجويف) وجدار بوجود تجويف مفتوح مع تهوية بسرعات مختلفة للتجارب المنفذة خلال شهر آب



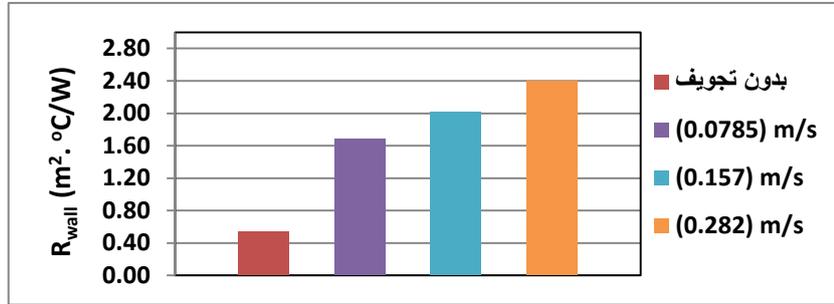
شكل (7) توزيع درجات الحرارة للسطح الخارجي لجدار تقليدي (بدون تجويف) وجدار بوجود تجويف مفتوح مع تهوية بسرعات مختلفة للتجارب المنفذة خلال شهر آب



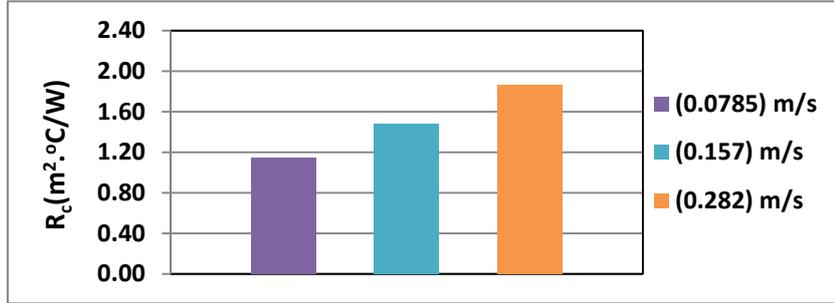
شكل (8) معدل الحرارة الداخلة الى الحيز عبر السطح الداخلي لجدار تقليدي (بدون تجويف)



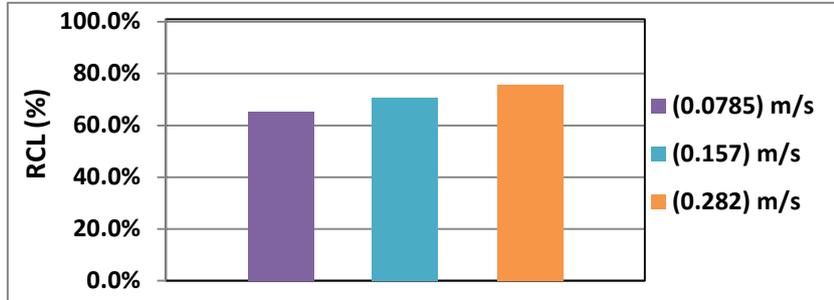
شكل (9) متوسط معدل الحرارة الداخلة الى الحيز خلال اليوم عبر جداري الاختبار للتجارب المنفذة خلال شهر آب



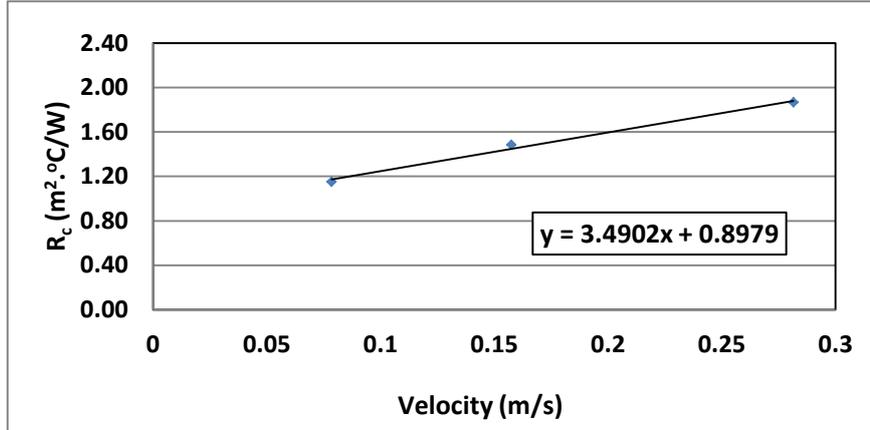
شكل (10) معدل المقاومة الحرارية لجداري الاختبار (شهر آب)



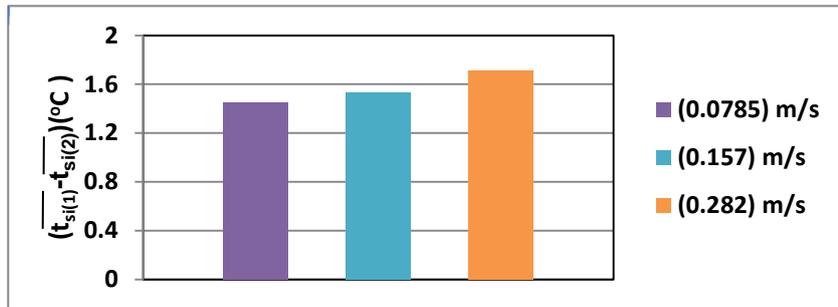
شكل (11) معدل المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي للجدار عند سرعة تهوية مختلفة (شهر آب)



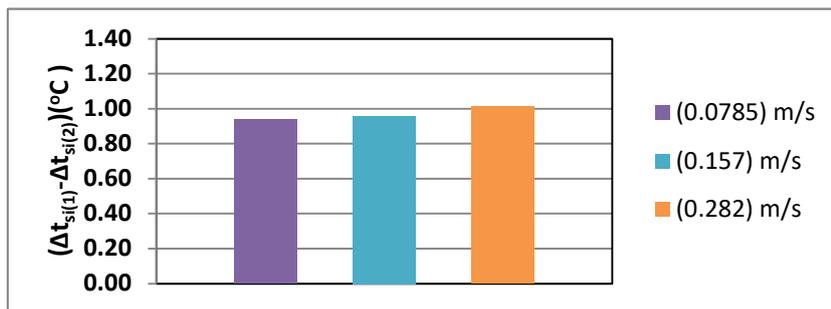
شكل (12) معدل نسبة التخفيض في حمل التبريد للجدار ذي التجويف المهوى بالمقارنة مع الجدار التقليدي خلال شهر آب



شكل (13) تأثير سرعة التهوية على المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي للجدار (شهر آب)



شكل (14) معدل التخفيض في متوسط درجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف المهوى بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال شهر آب $(t_{si(1)} - t_{si(2)})$



شكل (15) معدل التخفيض في مدى التغير لدرجة حرارة السطح الداخلي خلال اليوم للجدار ذي التجويف المهوى بالمقارنة مع الجدار التقليدي (بدون تجويف) خلال شهر آب $(\Delta t_{si(1)} - \Delta t_{si(2)})$

الرموز المستخدمة:

الرمز	المعنى	الوحدة
A_{wall}	مساحة الجدار	m^2
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	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
U_{wall}	معامل انتقال الحرارة للجدار	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
R_{wall}	المقاومة الحرارية للجدار	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
R_{ineer}	المقاومة الحرارية للجزء الداخلي للجدار	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
R_{outer}	المقاومة الحرارية للجزء الخارجي للجدار	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
R_c	المقاومة الحرارية للتجويف الهوائي للجدار	$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
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)	%
Δt_{si}	مدى التغير في درجة حرارة السطح الداخلي للجدار خلال اليوم = ($t_{si \max} - t_{si \min}$)	$^{\circ}C$
الرموز السفلية		
1	الجدار التقليدي (بدون تجويف)	
2	الجدار ذو التجويف	
الرموز العلوية		
---	المتوسط خلال اليوم	

المصادر:

- [1] وائل عواد العقيلي " تقليل حمل التبريد بتطبيق منظومة غلاف المبنى الذكي " رسالة مقدمة الى قسم الهندسة المعمارية لنيل شهادة الماجستير, الجامعة التكنولوجية,(2007).
- [2] F. Stazi , F. Tomassoni , A. Vegliò , C. Di Perna. "Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding" Renewable Energy, 36,p.p. 3373-3385, (2011).
- [3] Sahar N. Kharrufaa, YahyahAdilb"Upgrading the building envelope to reduce cooling loads" Energy and Buildings, 55, p.p. 389-396, (2012).
- [4] Chebil, S.,Galanis, N., Zmeureanu, R. "Computer simulation of thermal impact of air infiltration through multilayered exterior walls"Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands,(2003).

- [5] Sihwan Lee, Tanaka Miho, Shinsuke Kato, Yutaka Oura, Satoshi Sawaki, Yoshikazu Nomura, Katsuhiko Mori "Dynamic insulation applied to the residential building (part 2), Numerical Evaluation of Thermal Insulation Effect on Air Supply Window System" 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November, (2011).
- [6] Sayiegh, A, A, M., "Solar Energy Application In Building" Academic Press.Inc. (1972).
- [7] عاطف علي حسن "توزيع درجات الحرارة خلال التربة في مدينة بغداد- دراسة تجريبية" مجلة ديالى للعلوم الهندسية ، المجلد الخامس ، العدد الثاني ، (2012) .
- [8] "مدونة العزل الحراري" مدونة بناء عراقية، وزارة الاعمار والاسكان، وزارة التخطيط الطبعة الاولى،(2013) .
- [9] ASHRAE "ASHRAE Fundamentals Handbook" Atlanta, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc, (2001)
- [10] خالد احمد الجودي "مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج" ، (1986).
- [11] "الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني، كودة العزل الحراري" مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب.