

تأثير الجدران المزدوجة على البيئة الداخلية الحرارية للمبنى

في مدينة بغداد

الباحثة: فاطمة جمعة عيدان²

arch.fatimah.91@gmail.com

أ.د. مقداد حيدر الجوادي¹

miqdad42@gmail.com

الجامعة التكنولوجية - قسم هندسة العمارة¹

المركز الوطني للاستشارات الهندسية²

العراق - بغداد

(تاريخ استلام البحث: 2015/4/19 ----- تاريخ القبول 2016/ 2/ 21)

المستخلص

تمثل الجدران الخارجية احد اهم العناصر الانشائية التي تؤثر تأثيرا مباشرا على الاداء الحراري للمبنى من هنا جاء الاهتمام بدراسة اساليب رفع كفاءة الاداء الحراري للمبنى من خلال التعرف على الخصائص الحرارية لمواد الانشاء والاكساء وأساليب البناء للجدران الخارجية ومنها استخدام الجدران المزدوجة، والكشف عن مقدار تأثيرها على البيئة الحرارية الداخلية للمبنى". والسعي لتوفير بيانات ومعلومات تجعل المعماري قادرا على توقع الظروف المناخية للفضاءات الداخلية من مراحل التصميم الاولى . ولتحقيق الهدف من البحث اعتمد المنهج التجريبي التحليلي في هذا البحث، حيث شمل البحث جانبين رئيسيين. اولهما الجانب النظري: والذي تضمن حساب عامل التأخر الزمني و أحمال التبريد باعتماد نظرية المتسلسلات الزمنية للاشعاع RTS التي تحقق الدقة والنتائج التفصيلية وسهولة التطبيق. أما الجانب الثاني فتضمن الاختبار والقياس العملي. وقد حققت النتائج النظرية تقاربا جيدا مع النتائج العملية بفارق 22.3% زيادة عند حساب الطاقة الكهربائية. وظهرت نتائج البحث ان مادة الاكساء الخارجي ذات الكتلة الكبيرة كالطابوق الفني - المتقرب بسمك 120mm حققت اعلى نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية وهي الأفضل حراريا، ومادة الاكساء الخارجي المرمر الاسود ومواد الاكساء قليلة الكتلة مثل مادة الاليكوبون، تمثل أسوأ اداء حراري حيث انها حققت اقل نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية. كما توصل البحث الى ان زيادة سمك الفجوة الهوائية من 25mm الى 100mm يقلل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بنسبة 4.3% خاصة عندما كانت مادة الانشاء للجدران هي الترمستون.

الكلمات المفتاحية: الجدران الخارجية المزدوجة، البيئة الحرارية الداخلية، الفجوة الهوائية، الخصائص الحرارية لمواد الانشاء والاكساء

Effect Of The Double Walls

On Thermal Internal Environment Of Buildings In Baghdad

Prof. Miqdad Haidar Al-Jawadi¹

miqdad@maljawadi.com

Fatma Juma Edan²

arch.fatimah.91@gmail.com

University of Technology - Architecture Engineering Department¹

The National Center for Engineering Consultancy²
Iraq-Baghdad

(Received on 19 /4 /2015 & Accepted on 21 /2 /2016)

Abstract

The external walls represent one of the most important structural elements that have a direct effect on the thermal performance of the building. In order to achieve the aim of the research the experimental approach and style of analytical study were adopted. The current study included two main aspects: first, the theoretical side: Which included the time delay factor calculation and cooling load depending on the Radiant Time Series (RTS) theory that achieved accurate and detailed results and ease of application. While the second aspect included the practical test and measurement. The theoretical results achieved good convergence with practical results margin 22.3% increase at the expense of the electric power. Results of the study showed that the Exterior cladding material with large mass by using perforated brick of 120 mm thickness recorded the highest proportion of the economy in the amount of electric energy which considered to be the best thermally. However, Exterior cladding material (such as black Marble) and cladding materials with fewer block (such as composite- panel) represent the worst thermal performance because they made the lowest economic proportion of the amount of electric power. As well as, concluded that increasing the thickness of cavities from 25mm to 100mm may reduce the consumed amount of electric power about 4.3%.

Keywords: Double external walls, internal thermal Environment, Air cavity, Thermal properties of construction and cladding materials

1- المقدمة

استعملت الجدران المزدوجة في بادئ الامر كوسيلة للحماية من تكاثف قطرات الماء على الجدران الداخلية في المناطق الباردة الممطرة، بعد ذلك بدأ المصممون يدركون مزاياها الاخرى والمتمثلة بمقاومتها للحرارة، ولانتقال الصوت والمقاومة العالية للحريق. ويزيادة الاهتمام باستعمال الجدران المزدوجة لجأ الباحثون الى المزيد من الاختبارات المكثفة عليها لتحديد الخواص الحرارية والاداء الحراري لها للاستفادة من هذه التقنية في تحسين الخصائص الحرارية للمباني لتساهم في التقليل من استهلاك الطاقة المصروفة للحصول على بيانات تلائم متطلبات الراحة الحرارية للشاغلين. يشير واقع استهلاك الطاقة للمباني في مدينة بغداد إلى إن معظم الطاقة المستهلكة تكون لإغراض التبريد وذلك بسبب طبيعة مناخ المنطقة المتميز بالحرارة. ومع تنامي الطلب على وسائل التبريد الميكانيكية في توفير الراحة الحرارية للشاغلين والتي تستهلك طاقة كهربائية كبيرة نسبيا تسبب هدرا للموارد وزيادة في التلوث البيئي.

جاءت الحاجة الى توفير بيانات للمصممين العاملين على تحقيق الراحة للمستخدمين وكذلك للمهتمين في مجال الاختصار من الطاقة والتقليل من التلوث البيئي وهذا مااعتبرناه هدفا في هذا البحث خدمة للممارسة المعمارية.

2- منهج البحث

لغرض تحقيق الهدف من هذا البحث، اعتمد المنهج الآتي:

- أ - تحديد طريقة حساب حمل تبريد الفضاءات الداخلية .
- ب - بناء الاطار النظري.
- ت - تطبيق بعض مفردات الاطار النظري المستخلص.
- ث - دراسة وتحليل نتائج الحسابات النظرية والقياسات الموقعية للوصول الى النسبة في الفروقات بين الحسابات النظرية والواقع العملي لغرض معرفتها عند اعتماد الحسابات النظرية
- ج - وضع الاستنتاجات النهائية.

3- تحديد طريقة حساب حمل تبريد الفضاءات الداخلية

تنوعت الدراسات في الاساليب والطرائق المستعملة في حساب حمل تبريد الفضاءات الداخلية وقد رشحت منظمة ASHRAE بعد دراسات مستفيضة طريقة المتسلسلات الزمنية للإشعاع RTS وقد اعتمد بحثنا على هذه الطريقة في جميع الحسابات.

4- دراسة ASHRAE (2009)^[1]

استندت الدراسة في حساب احمال التبريد على نظرية المتسلسلات الزمنية للإشعاع (The Radiant Time Series) ويرمز لها بالرمز (RTS).

5- الخطوات العامة لطريقة RTS:

1 حساب الكسب الحراري لكل مكون (الضوء، والشاغلين، والآلات، والجدران، والسقوف، والنوافذ، الخ) لـ 24/h ليوم تصميمي وعلى النحو التالي:

- من التوصيل الحراري خلال الجدران والسقوف، يحسب اولا التأخر الزمني (Time Lag) للتوصيل من خلال تطبيق المتسلسلات الزمنية للتوصيل (The Conduction Time Series) التي يرمز لها (CTS) وهي سلسلة من 24 عاملا تم جدولتها في ASHRAE لانواع مختلفة من الهياكل الانشائية للجدران والسقوف وتم تجميعها على وفق الخصائص الحرارية للهيكال المتمثلة (بقيمة U، والكثافة، والسعة الحرارية). ان هذه العوامل يرمز لها بالرمز (C_r) في الدراسة الحالية، وهي تمثل النسبة المئوية الساعية من تحويل التوصيل الحراري عبر اجزاء الهيكل الخارجي (من جدران وسقوف) الى كسب حراري ساعي.

- فيما يخص الكسب الحراري للمكونات الاخرى (الضوء، والشاغلين، والآلات، والنوافذ، الخ)، فأن عينات الاختبار للبحث الحالي لا تحتوي على اضاءة ولاعلى اشخاص ولاعلى الآلات لذلك سوف لن يتطرق البحث الى تفاصيل الكسب الحراري لهذه المكونات وسيتم التركيز على حسابات الكسب الحراري من خلال الجدران والسقوف فقط، اما بالنسبة لحسابات الكسب الحراري من خلال الزجاج فان الدراسة ستعتمد نتائج التطبيق العملي لاغراض المقارنة بين انواع الزجاج بدون التطرق الى الحسابات النظرية الخاصة بالكسب الحراري للزجاج، لأن غرف الاختبار المزمع بناؤها سوف لا تحوي شبابيك.

- 2- تقسيم الكسب الحراري الى أجزاء حمل وإشعاع (اجزاء الحمل الحراري والاشعاع نحصل عليها من الجدول (1).
- 3- تطبيق المتسلسلات الزمنية المناسبة للجزء الإشعاعي لحساب التأخر الزمني لتحويل الجزء الإشعاعي من الكسب الحراري إلى حمل تبريد.
- 4- يجمع جزء الحمل الحراري من الكسب الحراري والجزء الإشعاعي المتأخر من الكسب الحراري للحصول على حمل التبريد الساعي لكل مكون.

6- الخطوات التفصيلية لطريقة RTS:

في طريقة RTS، يتم حساب التوصيل الحراري من خلال الجدران الخارجية والسقوف باستعمال المتسلسلات الزمنية للتوصيل (CTS) وعلى النحو التالي:

تحسب الحرارة الداخلة بالتوصيل من الخارج خلال الجدار والسقف لـ n من الساعات الماضية من معادلة التوصيل المألوفة:

$$Q_{i,t-n} = UA(T_{e,t-n} - T_i) \quad (1)$$

$Q_{i,t-n}$ = الحرارة الداخلة من خلال السطح بالتوصيل لـ n من الساعات الماضية، W.
 U = معامل انتقال الحرارة الكلي للجدران محسوباً فيها المقاومة الحرارية للسطح الخارجي والسطح الداخلي، $W/(m^2 \cdot K)$.
 A = مساحة السطح، m^2 .
 $T_{e,t-n}$ = درجة حرارة الهواء الشمسية لـ n من الساعات الماضية، $^{\circ}C$.
 T_i = درجة حرارة هواء الغرفة، $^{\circ}C$.

الجدول (1): تقسيم الكسب الحراري الى أجزاء حمل وإشعاع / المصدر: [1، ص 23]

نوع الكسب الحراري	الجزء الإشعاعي من الكسب الحراري (%)	جزء الحمل الحراري من الكسب الحراري (%)
الكسب الحراري بالتوصيل		
خلال الجدران والأرضيات	46	54
خلال السقف	60	40

مقدار الكسب الحراري خلال الجدران أو السقوف يمكن حسابه باستعمال حمل الحرارة الداخلة للساعة الحالية و لـ 23 ساعة ماضية والمتسلسلات الزمنية للتوصيل. (ASHRAE 2009)

$$Q_t = c_{f0}Q_{i,t} + c_{f1}Q_{i,t-1} + c_{f2}Q_{i,t-2} + c_{f3}Q_{i,t-3} + \dots + c_{f23}Q_{i,t-23} \quad (2)$$

Q_t = الكسب الحراري لكل ساعة بالتوصيل، W.
 $Q_{i,t}$ = الحرارة الداخلة للساعة الحالية.
 $Q_{i,t-1}$ = الحرارة الداخلة خلال n من الساعات الماضية.
 $c_{f0}, c_{f1}, c_{f2}, \dots$ etc. هي تمثل عوامل المتسلسلات الزمنية للتوصيل. ان حاصل ضرب عوامل المتسلسلات الزمنية للتوصيل بقيمة U يعطي عوامل الاستجابة الدورية P_r فتصبح المعادلة:

$$Q_{\theta} = P_{r0}A(T_{e,\theta} - T_i) + P_{r1}A(T_{e,\theta-1} - T_i) + \dots + P_{r23}A(T_{e,\theta-23} - T_i) \quad (3)$$

المتسلسلات الزمنية للإشعاع أو المعاملات الزمنية للإشعاع (RTF) تتولد من إجراءات التوازن الحراري بين الكسب الحراري الإشعاعي للسطوح الداخلية للغرفة وهواء الغرفة لأنواع مختلفة من الهياكل الانشائية، هذه العوامل تم جدولتها في ASHRAE لحالات محددة، كما هو مبين في الجدول (2) لاستعمالها بصورة مباشرة لتطبيق معين.

يكون تحويل الجزء الإشعاعي من الكسب الحراري الساعي الى حمل تبريد ساعي بحسب المعادلة التالية:

$$Q_{clrt} = r_0Q_{r,t} + r_1Q_{r,t-1} + r_2Q_{r,t-2} + r_3Q_{r,t-3} + \dots + r_{23}Q_{r,t-23} \quad (4)$$

Q_{clrt} = حمل التبريد الإشعاعي Q_r للساعة الحالية θ ، W.

$Q_{r,t}$ = الكسب الحراري الإشعاعي للساعة الحالية.

$Q_{r,t-1}$ = الكسب الحراري الإشعاعي لـ n من الساعات الماضية.

$r_0, r_1, r_2, \dots$ etc. = معاملات وقت الإشعاع.

حمل التبريد للجزء الاشعاعي الساعي يضاف الى حمل التبريد لجزء الحمل الحراري الساعي للحصول على حمل التبريد الساعي الكلي لعنصر معين.
بعد حساب حمل التبريد لكل عنصر عن كل ساعة، تجمع هذه لتقدير حمل التبريد الكلي لكل ساعة واختيار ساعة الذروة للحمل لتصميم نظام التكييف.

يوضح الجدول (2) بيانات المتسلسلات الزمنية للإشعاع الشمسية للهياكل ثقيلة الوزن والمتوسطة والخفيفة .
بيانات المتسلسلات الزمنية للإشعاع الشمسية تستعمل من اكتساب الحرارة الشمسية المنتقلة بصورة مباشرة (الطاقة المشعة يفترض أن توزع على الارض والمفروشات فقط).

7- الاطار النظري

المفردات الاساسية المكونة للاطار النظري المتمثلة ب :

- مفردة انواع المواد البنائية.
- مفردة الخصائص الحرارية لمواد البناء.
- مفردة الفجوة الهوائية.
- مفردة التوجيه.

8- المفردة الاولى: انواع المواد البنائية

يمكن تصنيف مواد البناء المستعملة في الجدران الخارجية للمبنى الى:

1- مواد الإنشاء

لا تختلف المواد الإنشائية المتوفرة محلياً والمستعملة منذ عدة عقود في إنشاء الأبنية بمختلف استعمالاتها، كثيراً عما متوافر حالياً باستثناء المستورد منها (الطابوق الفني -المتقّب، الترمستون، الكتل الخرسانية المجوفة، حجر الحلان، الكتل الخرسانية الصلدة)، وتشير البيانات الاحصائية المتوفرة الى ان نسبة تنفيذ الأبنية للعام 2009 - 2008 باستعمال الطابوق كمادة أساسية كانت في حدود 79 % رغم ان إنتاجه مصاحب لتقليص الأراضي الزراعية، في حين ان نسبة استعمال الكتل الخرسانية المجوفة في حدود 17 %، اما استعمال حجر الحلان فقد كان في حدود 4 %، اما نسبة استعمال مادة الترمستون كمادة بناء أساسية فقد كانت في حدود 0.04 % من إجمالي عدد الأبنية المشيدة^[2، ص144] . علماً ان مادة الترمستون مادة ذات كثافات مختلفة المتوفرة منها في الاسواق المحلية من 500 kg/ m^3 الى 800 kg/ m^3 . كذلك أنها غير ملوثة للبيئة وذات عزل حراري يعادل ضعف العزل الحراري للطابوق المتقّب وأن النوع ذو الكثافة 500 kg/ m^2 يمكن البناء به فوق مادة مانع الرطوبة لطابقين من دون اعمدة وأن ذو الكثافة 800 kg/ m^2 يمكن أن يستخدم للأبنية ذات الاربع طوابق من دون اعمدة وله ممانعة للتسرب المائي (14) مرة أكثر من الطابوق^[3].

2- مواد الانهاء

ترجع جميع المواد المستعملة في انهاء الجدران الخارجية والتي هي تكون القشرة الخارجية للمبنى في تكوينها الى العناصر الآتية^[4، ص382] :

- مواد صخرية: كالتي توجد في الحالة الطبيعية مثل الحجارة والطين.
- مواد عضوية: مثل الخشب.
- مواد معدنية.
- مواد اصطناعية: كالزجاج والبلاستيك.
- مواد هجينة: كالخرسانة.

ويمكن تقسيم مواد الانهاء للجدران الخارجية الى نوعين هما: الاول ويتضمن اللبخ الناعم باستعمال السمنت والرمل، واللبخ الخشن باستعمال السمنت ومسحوق الحجر المطحون الممزوجين بالحجر المكسر حيث يمكن الحصول على ثلاث تدريجات من الخشونة باستعمال ثلاثة احجام مختلفة من الحجر المكسر وهي صغيرة الحجم ومتوسطة الحجم والخشنة، ويمكن خلطها باصباغ سمنتية مختلفة الالوان^[5، ص12]. أما النوع الثاني: وهي المواد التي تستعمل لانهاء اوجه الجدران الخارجية للمبنى بمادة تختلف عن مادة الانشاء وتسمى مواد الاكساء، وهي اما ان تكون مواد اكساء طبيعية، او مواد مسبقة الصنع^[6، ص62]

أ - مواد الاكساء الطبيعية

وهي تمثل الاحجار بانواعها والرخام والكرانيت. ولقد تنوعت احجار الاكساء في الشكل واللون والملمس، وتمكنت تقنيات البناء من تطوير الاحجار لتصبح مادة اكساء خارجية (Cladding) الى جانب كونها مادة بناء انشائية.

ب - مواد الاكساء مسبقة الصنع

يتم تصنيعها من قبل شركات انتاج خاصة بمواد البناء، وفكرتها الاساسية هي دمج مجموعة مواد مضغوطة ومركبة مع بعضها تحت درجة حرارة معينة لضمان معالجتها حرارياً، وتركب جاهزة بالموقع بشكل وحدات منفصلة ومن اشهر انواعها هي:

1 -الخرسانة مسبقة الصب

2 -الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجية .

3 -مواد الاكساء المعدنية: من امثلتها هي الواح الاليكوبون aluminium composite panel وتتكون من طبقتين من الالمنيوم بسمك 0.5mm تفصل بينهما طبقة من الـ polyethylene . وينتج الـ polyethylene Core بسمك مختلف وهو يكون الاساس لسمكها حيث تصنع بسمك 3mm، 4mm، 6mm والاكثر شيوعاً في الاسواق المحلية هو سمك 4mm. وتتميز بخفة وزنها والقابلية على التشكيل ومقاومة الظروف المناخية الخارجية وسهولة التنظيف. بالإضافة إلى ذلك، فانها تعطي خيارات واسعة من الألوان، كما تمتاز بعزلها الحراري [7، ص1].

9- المفردة الثانية: الخصائص الحرارية لمواد البناء

طور الإنسان معالجاته للظروف البيئية المحيطة به من خلال التجارب الطويلة والمستمرة في ممارسة البناء فاستطاع أن يتعرف على الخصائص الحرارية لمواد البناء فصار يستعملها بأقصى فعالية لتلبية احتياجاته ومتطلباته.

والمقصود من الخصائص الحرارية هي قدرة المادة على العزل الحراري والتي عادة ما تقاس بمعامل التوصيل الحراري والمقاومة الحرارية (التي تتناسب عكسياً مع معامل التوصيل الحراري)، وقدرة المادة على رد الاشعاعات والموجات الحرارية حيث تعتبر المواد العاكسة التي لها قدرة عالية على رد الاشعاعات والموجات الحرارية مواد فعالة في العزل الحراري. وتزيد قدرة هذه المواد على العزل بزيادة لمعانها ودرجة صقلها .

ان اختيار مواد البناء المناسبة لمبنى في موقع معين يجب ان يخضع لدراسة علمية لنوعية تعامل هذه المواد مع الحرارة كالتوصيل الحراري والسعة الحرارية ونسب امتصاصها او عاكسيتها للاشعة الساقطة عليها، حيث تؤدي مواد البناء المختلفة من خلال مواصفاتها، وخاصة مواصفات سطحها الخارجي، دوراً مختلفاً في نسب امتصاصها للاشعة الشمسية الساقطة عليها. ويكون لمواصفات سطحها الخارجي اهمية في تقييم ادائها الحراري. حيث تتمثل مواصفات السطح الخارجي لمواد البناء بـ : [5، ص56]

– درجة نعومة السطح وصقله اللتين تساعدان على عكس الاشعاع الشمسي الساقط ومن ثم سوف يكون الخزن الحراري للمادة قليلاً جداً او معدوماً.

– الدرجة اللونية لسطح المادة وتأثيرها في كمية الطاقة الممتصة .

– عمر المادة (حديثه التركيب او قديمه التركيب) ودرجة نظافة السطح اللذين يؤديان دوراً مهماً في تقدير كمية الاشعاع المنعكس والممتص من المادة.

– السطوح الباردة (Cool Rooftops) وهي المواد التي ينصف سطحها بنسبة منخفضة لامتصاص الاشعة الساقطة عليها، وهذه المواد تتخلص من الحرارة بشكل عام نتيجة عاكسيتها المرتفعة، لذلك يبقى سطحها بارداً بشكل عام بالنسبة للمحيط [17، ص17].

تتمثل السطوح الباردة في طلاء سطوح المنازل باللون الابيض مثل الفينيل الابيض، حيث يعمل اللون الابيض على عكس حوالي 80% من طاقة الاشعاع الشمسي الساقطة عليه نحو السماء، فيقل معدل امتصاص السطح للاشعاع الشمسي ومن ثم ستقل درجة حرارة السطح. حيث يعتمد معدل امتصاص الحرارة المشعة على طول موجات الاشعاع الساقط على السطح، فالسطح المطلي باللون الابيض يمتص حوالي 0.12 من الاشعة المباشرة في حين يبعث حوالي 0.9 من الاشعة غير المباشرة، حيث يتمتع هذا السطح بفعالية عالية في التخلص من الحرارة بواسطة الاشعاع غير المباشر. فكلما كان اللون فاتحاً زادت قدرته على عكس الاشعة المباشرة وانخفضت النسبة التي يمتصها من هذه الاشعة [9، ص195].

% Glass	Light						Medium						Heavy					
	With Carpet			No Carpet			With Carpet			No Carpet			With Carpet			No Carpet		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
Hour	Radiant Time Factor, %																	
0	53	55	56	44	45	46	52	54	55	28	29	29	47	49	51	26	27	28
1	17	17	17	19	20	20	16	16	15	15	15	15	11	12	12	12	13	13
2	9	9	9	11	11	11	8	8	8	10	10	10	6	6	6	7	7	7
3	5	5	5	7	7	7	5	4	4	7	7	7	4	4	3	5	5	5
4	3	3	3	5	5	5	3	3	3	6	6	6	3	3	3	4	4	4
5	2	2	2	3	3	3	2	2	2	5	5	5	2	2	2	4	4	4
6	2	2	2	3	2	2	2	1	1	4	4	4	2	2	2	3	3	3
7	1	1	1	2	2	2	1	1	1	4	3	3	2	2	2	3	3	3
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	2
12	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
13	1	1	0	1	0	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
14	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
15	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

10- المفردة الثالثة: الفجوة الهوائية

ان التوصيل الحراري للهواء هو اقل بكثير من معظم مواد البناء ولذلك ستمتلك التجاويف في الجدران او السقوف مقاومة حرارية عالية، ومع ذلك فان معظم الانتقال الحراري الحاصل عبر التجويف يحدث بالاشعاع بين السطوح المتقابلة من التجويف سوى كمية قليلة من الحرارة تنتقل بالتوصيل خلال الهواء. مع ذلك اذا تم تغليف الوجوه المتقابلة من التجويف برقائق معدنية لامعة (مثل رقائق الالمنيوم) كعازل عاكس فان مقاومته تزداد وذلك بسبب ان قابلية الامتصاص للرقائق المعدنية للامعة لدرجات الحرارة المنخفضة (الاشعاع طويل الموجة) هي منخفضة جدا و تساوي حوالي (0.05). في حين أن قابلية الامتصاص للطلاء الابيض هي عالية حيث تساوي حوالي (0.90)، وبالتالي اذا تم طلاء احد وجوه التجويف بطلاء ابيض بدلا من الرقائق المعدنية للامعة فانه لن يحدث اختلاف كبير في المقاومة الحرارية للتجويف [9، ص 10].

بشكل عام السطح المعدني اللامع هو المادة المثالية لعزل الاشعاع طويل الموجة، في حين ان طلاء السطح بطلاء ابيض يعتبر الاختيار الافضل تحت ظروف الاشعاع الشمسي [10، ص 100].

11- المفردة الرابعة: التوجيه

يغير توجيه المبنى من مقدار التعرض للإشعاع الشمسي ضمن ساعات النهار المختلفة ولا يغير من تأثير درجة حرارة الهواء، ويمكن به تحسين الاداء الحراري للمبنى لتقليل تأثير الإشعاع الشمسي صيفاً أو زيادته شتاءً. [34، ص 16] وتعد الواجهات الغربية من أسوأ الواجهات على الاطلاق لأنها تستلم كمية كبيرة من الاشعاع الشمسي صيفا قد تصل الى $2200W/m^2$ ، تليها الواجهات الشرقية التي تستلم $2000W/m^2$ ، اما افضل واجهة في التوجيه هي الواجهات الجنوبية التي تستلم كمية قليلة من الاشعاع الشمسي مقداره $550W/m^2$ حيث يعمل هذا التوجيه على موازنة كمية الطاقة المستلمة من قبل المبنى. اما الواجهات الشمالية فان كمية الطاقة المستلمة من قبلها هي $500W/m^2$ [5، ص 56].

12- الطريقة المقترحة لقياس تأثير الاداء الحراري للجدران المزدوجة على البيئة الحرارية الداخلية للمبنى

ان من اهم مؤشرات القياس للاداء الحراري للجدران المزدوجة ومقدار تأثيرها على البيئة الحرارية الداخلية للمبنى هي :

1 عامل التأخر الزمني (Time Lag) والذي يتم حسابه من خلال:

- حساب الكسب الحراري ساعيا (Heat Gain Hourly) للجدران الخارجية المزدوجة باعتماد طريقة (RTS) وتعيين ساعة الذروة للكسب الحراري خلال الجدران الخارجية المزدوجة للمبنى.
- حساب درجة حرارة الهواء الشمسية ساعيا (Sol-Air Temperature Hourly) وتعيين ساعة الذروة لها.
- عامل التأخر الزمني يمثل الفرق بين ساعة الذروة للكسب الحراري وساعة الذروة لدرجة حرارة الهواء الشمسية.
- 2 كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة اللازمة للوصول الى الظروف المناخية الملائمة داخل المبنى والتي يتم حسابها من خلال:
- حساب حمل التبريد ساعيا (Cooling Load Hourly) ، اللازم للوصول او للاقترب من حدود الراحة الحرارية داخل المبنى، باعتماد نظرية (RTS) .
- تحويل حمل التبريد الساعي الى طاقة كهربائية مستهلكة وذلك باعتماد المعادلات التالية:

$$(5) \dots\dots\dots = \frac{\text{مجموع حمل التبريد لـ 24 ساعة (Watt)}}{24} = \text{المعدل اليومي لحمل التبريد (Watt)}$$

$$(6) \dots\dots\dots = 24 * \frac{\text{المعدل اليومي لحمل التبريد (Watt)}}{1000} = \text{الطاقة الكهربائية المستهلكة (kWatt.hr)}$$

13- التطبيق العملي

تشديد غرفتي اختبار كعينات لاغراض الدراسة.

14- الموقع الجغرافي

في موقع قسم الآلية والانتاجية لشركة الفاو الهندسية الكائن في منطقة التاجيات، قرب جسر المثنى، ومقابل معهد النفط العربي في مدينة بغداد.

15- المواصفات العامة لغرف الاختبار

1 - الأبعاد

شيدت غرفتي الاختبار بأبعاد (صافي فضاء الغرفة من الداخل) (3000 x 2250)mm، وارتفاع (من مستوى الارضية الى مستوى السقف من داخل فضاء الغرفة) 2250mm. حيث ان هذه الأبعاد تمثل نسبة 75% من ابعاد اصغر غرفة ممكنة وهي (4000X3000)mm وارتفاع 3000mm

$$4000 \times 75\% = 3000$$

$$3000 \times 75\% = 2250$$

اعتمدت هذه النسبة وهذه الأبعاد لغرف الاختبار وذلك لتقليل الكلف والجهد واختصار وقت العمل.

2 - الفتحات (الابواب والشبابيك)

نظرا لان الدراسة تحاول التركيز على مكونات الغلاف الخارجي للمبنى المتمثلة بمادة الانشاء ومادة الانتهاء والفجوة الهوائية ودراسة تأثيرها على الظروف المناخية الداخلية بدون التركيز على المكونات الاخرى للغلاف الخارجي المتمثلة بالعناصر الشفافة (الشبابيك) لذا فقد تم تصميم وتنفيذ غرفتي الاختبار بدون شبابيك لتحديد هذه المصادر جهد الامكان وجعل انتقال الحرارة من خلال العناصر المعتمدة لغلاف المبنى (الجدران والسقوف) وهو المصدر المؤثر في تغيير مستوى الراحة الحرارية داخلها.

3 - التوجيه

كان توجيه غرف الاختبار باتجاه الشرق_ الغرب للضلع الاطول.

16- المواصفات الخاصة لكل غرفة

1 - الغرفة (A)

تمثل الغرفة (A) الحالة الاساس وهي الحالة المعتمدة لاغراض المقارنة بين الاداء الحراري لحالات البحث المختلفة بهدف التوصل الى كل من الحالة الافضل حراريا والحالة التي تمثل اضعف اداء حراري .

أ - الجدران

شيدت من مادة الطابوق الفني المثقب بسمك 240mm. لاحظ الشكل (1).

ب - السقف ومرد الماء

وهو من الخرسانة المسلحة بسمك 150mm وطبقات التسطيح الآتية:

تطلى خرسانة السقف طلاءً جيداً بمادة البرايمر، وتترك الى اليوم التالي، ثم يسكب القير السائل على السطح ويغطى مباشرة بمادة الجوت ومرة اخرى يسكب القير فوق الجوت، وبذلك يصبح السطح جاهزاً لعملية التسطيح الاضافي التي تتضمن طبقة خفيفة من الرمل فوق طبقة القير لتجنب تماس الستايربور مع القير، ثم توضع طبقة الستايربور بسمك 50mm، ويوضع فوقها طبقة الرمل النهري (الزميج) بسمك 100mm، ومن ثم يوضع بلاط التسطيح الخرساني (الشتايركر) بأبعاد (800x800)mm وبسمك 40mm.

أما مرد الماء فقد صب من الخرسانة بارتفاع 500mm وسمك 120mm.

ج - الأرضية: وهي من الخرسانة العادية بسمك 250mm.

2 - الغرفة (B)

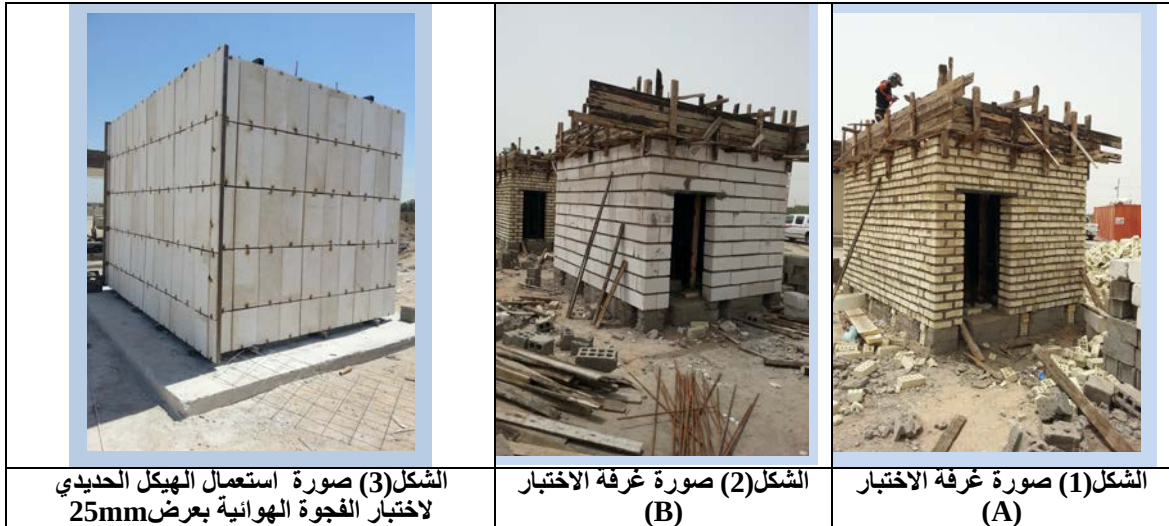
أ - الجدران : شيدت الجدران من مادة الثرمستون بسمك 200mm. لاحظ الشكل (2).

ب - السقف والأرضية

نفس مواصفات وتفاصيل الغرفة (A)

17- الهياكل الحديدية

ولغرض التعرف على تأثير سمك الفجوة الهوائية (25mm، 100mm) عند توزيعها مع تأثير مواد الأكساء المختلفة (المرمر الأبيض، أو المرممر الأسود، أو حجر باعذرة، أو الطابوق، أو الاليكوبون) تم تصميم وتنفيذ هيكليين حديديين اثنين، متحركين على عجلات (Ball Bearings) لغرض حمل واستبدال وتغيير مواد التغليف، وتغيير سمك الفجوة الهوائية، واستعماله لحمل الجدار المزدوج. لاحظ الشكلين (3) و(4).



18- تحديد المتغيرات موضوع التطبيق

الجدول(3): الجزء المختار من الاطار النظري للتطبيق

المفردات	المتغيرات	القيم الممكنة
مواد الانشاء	طابوق فني- مثقب	بسمك 240mm
	ثرمستون	بسمك 200mm
مواد الانتهاء	مواد الاكساء	حجر باعذرة بسمك 50mm
		مرمر ابيض بسمك 20mm
		مرمر اسود بسمك 20mm
		طابوق مثقب بسمك 120mm
		اليكوبون ذو لون احمر وبسمك 4mm
الفجوة الهوائية (air space)	السبك	25mm
		100mm
	اتجاه تدفق الحرارة	افقي
التوجيه	نوع التوجيه	شرق-غرب

19- ادوات وطريقة القياس

لحساب حمل التبريد لفضاءات الاختبار تم قياس درجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة السطوح الداخلية والخارجية للجدران الاربعة والسقف باستعمال اجهزة استشعار (متحسسات درجة حرارة الكترونية (Sensors))، ثرمستور (Thermistor) من النوع LM35/DZ والمصنعة من قبل شركة National Semiconductor ، وسجلت درجات الحرارة لكل ساعة اثناء فترة الاختبار لكل حالة دراسة بواسطة مجمع بيانات USB Data Acquisition من النوع U3-LV من انتاج شركة LabJack، يربط بجهاز كومبيوتر وكما موضح بالشكل (5).

20- اسلوب تثبيت وتوزيع المتحسسات

تم توزيع متحسسات درجة الحرارة (Sensors)، لكل غرفة اختبار على جدرانها وسقفها بالطريقة التالية:

- واحد من المتحسسات (Sensors) وضع في وسط الغرفة على ارتفاع 1100mm تقريبا من مستوى الارضية لقياس درجة حرارة الهواء الداخلي.
- لقياس درجة حرارة السطوح الداخلية والسطوح الخارجية لجدران الغرفتين (A) و (B) وزعت المتحسسات على السطح الخارجي لمادة الانشاء (الطابوق، أو الثرمستون) وعلى السطح الخارجي لمادة الاكساء (المرمر اسود، أو المرمر الابيض، أو الحجر، أو الطابوق، أو الاليكوبون) وعلى السطح الداخلي للجدار، وكما موضح بالشكل (6).
- لقياس درجة حرارة السطحين الداخلي و الخارجي للسقف وضعت المتحسسات عليهما بالكيفية الموضحة في الشكلين (7) و (8).

21- تطبيق نظرية RTS

ان الهدف الرئيس من التطبيق العملي هو تقويم التباين في كمية الطاقة المستهلكة وحمل تكييف الهواء المطلوب لكل غرفة من غرف الاختبار . ولضمان تقدير جيد لاحمال التبريد يتطلب معلومات تفصيلية عن الفضاء ومصادر الحمل الحراري. بالاضافة الى الوصف العام والوصف الخاص لغرفتي الاختبار الذي تم توضيحه في الفقرات السابقة فانه سيتم توضيح معلومات تفصيلية اخرى لغرفتي الاختبار والمتمثلة بنوع الهيكل الانشائي لكل حالة دراسة والخصائص الحرارية لمواد البناء وفترة الاختبار .

22- عوامل الاستجابة الدورية PRF للجدران والسقوف

لمطابقة القيم الحاصلة من التجارب العملية والقيم الحاصلة من الحسابات النظرية في معرفة الكسب الحراري الساعي وحمل التبريد الساعي فان قيم عوامل الاستجابة الدورية PRF المقترحة من قبل ASHRAE تتطلب اعادة حساب كونها معطاة لانواع من الهياكل الانشائية للجدران والسقوف غير مستعملة في غرفتي الاختبار للدراسة الحالية، حيث ان انواع الهياكل الانشائية للجدران والسقوف المستعملة في غرفتي الاختبار هي من الانواع التي يشيع استعمالها في معظم المباني العراقية، لذلك فان عوامل الاستجابة الدورية للهياكل الانشائية للجدران والسقوف المستعملة في غرفتي الاختبار تم حسابها

المجلة العراقية للهندسة المعمارية..... العدد (1) آذار لسنة 2016
باستعمال البرنامج الحاسوبي (PRF/RTF Generator Program)، ويعطي هذا البرنامج العوامل الزمنية للتوصيل C_f
وعوامل الاستجابة الدورية P_r وال U -Value.

23- مناقشة النتائج

بعد ان تم تطبيق الاطار النظري وتوضيح المستلزمات الاساسية للتطبيق وقياس المتغيرات، ستم مناقشة وتحليل نتائج التطبيق التي تتضمن:

1 - مناقشة وتحليل نتائج الحسابات النظرية: والتي تتمثل بانجاز العمل التحليلي لنتائج الحسابات النظرية لحالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) باستعمال النسخة الجديدة من البرنامج الحاسوبي MATLAB لاجراء العمليات الحسابية ساعيا. ويشمل العمل التحليلي حساب الكسب الحراري (Heat Gain) خلال جدران وسقوف حالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) وحساب حمل التبريد (Cooling Load) بطريقة (RTS) التي تعتبر من احداث النظريات التي اعتمدها ASHRAE (2009).

2 - مناقشة وتحليل نتائج التطبيق العملي: وذلك بتحليل ومناقشة البيانات التي تم الحصول عليها من اجراء القياسات الموقعية لحالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) .

3 - التحقق من مقدار التطابق بين نتائج الحسابات النظرية ونتائج التطبيق العملي وذلك من خلال المقارنة بين نتائج العمليات الحسابية المعتمدة على تطبيق نظرية RTS ونتائج القياسات الموقعية.

حققت النتائج النظرية تقاربا جيدا مع النتائج العملية بفارق 22.3% زيادة عند حساب الطاقة الكهربائية. ونتوقع حصول هذه الزيادة بسبب عدم الاخذ بنظر الاعتبار سرعة الرياح في الحسابات النظرية، وكذلك عدم توفر الصفاء الكامل للجو نتيجة الغبار الذي لايفارق المنطقة صيفا.



الشكل (6): صورة توزيع المتحسسات على السطح الخارجي لجدران غرف الاختبار



الشكل (5): صورة جهاز Labjack data acquisition



الشكل (8): صورة توزيع المتحسسات على السطح الداخلي لسقف غرفة الاختبار



الشكل (7): صورة توزيع المتحسسات على السطح الخارجي لسقف غرفة الاختبار

24- مناقشة النتائج المرتبطة بتأثير الخصائص الحرارية لمواد الانشاء ومواد الاكساء الخارجي على عامل التأخر الزمني

لقد اظهرت نتائج الحسابات النظرية لعامل التأخر الزمني لجدران حالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) تباينا باختلاف مواد الاكساء الخارجي للجدران وكما موضح ادناه:

ان عامل التأخر الزمني لجدران حالات الدراسة (B1-1) و (B1-2) و (B1-5) والتي مواد الاكساء لها هي المرمر الاسود والمرمر الابيض والاليكوبون، على التوالي، اظهرت تطابقا في نتائج الجانب النظري والعملي، حيث كان عامل التأخر الزمني لهذه الحالات وللجانبيين (النظري و العملي) هو (10) ساعات، وهو يعتبر اقل تاخر زمني بالنسبة للتركيب الانشائية من جدران حالات الدراسة الاخرى لغرفة الاختبار (B)، وذلك بسبب التوصيل الحراري العالي وقلة السعة الحرارية لمادتي المرمر الاسود والمرمر الابيض، وقلة كتلة مادة الاليكوبون.

وبالمقابل يلاحظ ان عامل التأخر الزمني لحالة الدراسة (B1-3) حيث مادة الاكساء للجدران هي مادة الحجر هو (12) ساعة للجانب النظري و (11) ساعة للجانب العملي وهو يمثل عامل تأخر زمني اعلى من حالات الدراسة السابقة.

مادة الاكساء للجدران في حالة الدراسة (B1-4) هي مادة الطابوق - الفني المثقب بسبك 120mm، اظهرت النتائج ان عامل التأخر الزمني لهذه الحالة وللجانبيين (النظري والعملي) هو (14) ساعة للجانب النظري و (12) ساعة للجانب العملي. وهو يمثل اعلى تاخر زمني بالنسبة للتركيب الانشائية من حالات الدراسة الاخرى لجدران غرفة الاختبار (B)، وذلك لانه زيادة السمك للجدران تجعلها تمتلك خزنا حراريا عاليا يعمل على تأخير ساعة الذروة للحمل الحراري الحاصل، الجدولين (4) و (5) يوضح التأخر الزمني لحالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) وللجانبيين (النظري والعملي).

25- مناقشة النتائج المرتبطة بتأثير سمك الفجوة الهوائية على عامل التأخر الزمني

من ملاحظة طرائق حساب المقاومة الحرارية للفجوة الهوائية في الدراسات السابقة ، اتضح ان طريقة Markus And Morris تتميز بالمرونة وسهولة التطبيق في حساب واختيار قيم المقاومة الحرارية للفجوة الهوائية، لذلك ستعتمد الدراسة الحالية على القيم المبينة في هذه الطريقة والموضحة في الجدول (6).

حيث ان قيمة المقاومة الحرارية لفجوة هوائية سمكها 25mm هي نفس قيمة المقاومة الحرارية لفجوة سمكها 100mm وتساوي $0.18 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$. بما ان قيم عوامل الاستجابة الدورية PRF تعتمد على قيم المقاومة الحرارية (الخصائص الحرارية) للعناصر الانشائية المكونة للجدران ومن ضمنها الفجوة الهوائية لذلك نلاحظ ان قيم PRF لحالة دراسة معينة بفجوة هوائية 25mm هي مشابهة لقيم PRF لنفس حالة الدراسة بفجوة هوائية 100mm لجدران غرفة الاختبار A ولجدران غرفة الاختبار B. وحيث ان مجموع قيم PRF لـ 24 ساعة يمثل قيمة U للتركيب الانشائية اي هي تعبير عن الخصائص الحرارية للعناصر الانشائية المكونة للتركيب الانشائية، وبما ان عامل التأخر الزمني يعتمد على الخصائص الحرارية للعناصر الانشائية دون الاعتماد على التوجيه ، لذلك تعتبر قيمة U والسعة الحرارية للمادة هي العامل المؤثر على عامل التأخر الزمني، وبالتالي يعتبر عامل التأخر الزمني للتركيب الانشائية بفجوة هوائية 25mm مشابها لعامل التأخر الزمني لنفس التركيب الانشائية بفجوة هوائية 100mm.

اما بالنسبة للنتائج المرتبطة بتأثير سمك الفجوة الهوائية على عامل التأخر الزمني للجانب العملي فقد تمت المقارنة بين عامل التأخر الزمني لحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm مع مايقابلها من حالات دراسة بنفس مادة الاكساء الخارجي وبفجوة هوائية 100mm، وقد اظهرت نتائج المقارنة ، ان زيادة سمك الفجوة الهوائية لحالة الدراسة (B1-1) التي تكون مادة الاكساء الخارجي للجدران هي مادة المرمر الاسود لم تؤثر على عامل التأخر الزمني، حيث ان عامل التأخر الزمني لحالتي الدراسة (B1-1) و(B2-1) بفجوة هوائية سمكها 25mm وفجوة هوائية سمكها 100mm، على التوالي، هو 10 ساعات.

كذلك بالنسبة لحالتي الدراسة (B1-2) و(B2-2) اللتين مادة اكساء جدرانها هي المرمر الابيض فان زيادة سمك الفجوة الهوائية من 25mm لحالة الدراسة (B1-2) الى 100mm لحالة الدراسة (B2-2)، لم تؤثر على عامل التأخر الزمني، حيث ان عامل التأخر الزمني لحالتي الدراسة (B1-2) و(B2-2) بفجوة هوائية سمكها 25mm وفجوة هوائية سمكها 100mm، على التوالي، هو 10 ساعات.

في حين ان حالتي الدراسة (B1-3) و(B2-3) اللتين بمادة اكساء خارجي للجدران هي الحجر، فان زيادة سمك الفجوة الهوائية من 25mm لحالة الدراسة (B1-3) الى 100mm لحالة الدراسة (B2-3) تعمل على زيادة التأخر الزمني لحالة الدراسة (B2-3) بمقدار ساعة واحدة عن التأخر الزمني لحالة الدراسة (B1-3) ، حيث ان التأخر الزمني لحالة الدراسة (B1-3) هو 11 ساعة بينما التأخر الزمني لحالة الدراسة (B2-3) هو 12 ساعة.

ان زيادة سمك الفجوة الهوائية لحالة الدراسة (B1-4) التي تكون مادة الاكساء الخارجي للجدران هي مادة الطابوق الفني-المتقنب بسمك 120mm لم تؤثر على عامل التأخر الزمني، حيث ان عامل التأخر الزمني لحالتي الدراسة (B1-4) و(B2-4) بفجوة هوائية سمكها 25mm وفجوة هوائية سمكها 100mm، على التوالي، هو 12 ساعة.

اما بالنسبة لحالتي الدراسة (B1-5) و(B2-5) اللتين كانت مادة الاكساء الخارجي لجدرانها هي الاليكوبون، فان زيادة سمك الفجوة الهوائية من 25mm لحالة الدراسة (B1-5) الى 100mm لحالة الدراسة (B2-5) يعمل على زيادة التأخر الزمني بمقدار ساعة واحدة . حيث ان التأخر الزمني لحالة الدراسة (B1-5) هو 10 ساعات في حين ان التأخر الزمني لحالة الدراسة (B2-3) هو 11 ساعة.

الجدول (4): عامل التأخر الزمني لحالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) وبفجوة هوائية سمكها 25mm (الجانب النظري)			
الرمز لحالات الدراسة المختلفة	طبقات الجدران لكل حالة دراسة (طبقات الجدار من الخارج الى الداخل)	التأخر الزمني Time Lag (hr.)	
حالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm	B1-1	معامل مقاومة السطح الخارجي + مرمر اسود 20mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	10
	B1-2	معامل مقاومة السطح الخارجي + مرمر ابيض + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	10
	B1-3	معامل مقاومة السطح الخارجي + حجر باعذرة 50mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	12
	B1-4	معامل مقاومة السطح الخارجي + طابوق 120mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	14
	B1-5	معامل مقاومة السطح الخارجي + الاليكوبون 4mm + فجوة هوائية 25mm + طابوق 240mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	10

الجدول (5): عامل التأخر الزمني لحالات الدراسة المختلفة لغرفة الاختبار (B) وبفجوة هوائية سمكها 25mm (الجانب العملي)			
الرمز لحالات الدراسة المختلفة	طبقات الجدران لكل حالة دراسة (طبقات الجدار من الخارج الى الداخل)	التأخر الزمني Time Lag (hr.)	
حالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm	B1-1	معامل مقاومة السطح الخارجي + مرمر اسود 20mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	10
	B1-2	معامل مقاومة السطح الخارجي + مرمر ابيض + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	10
	B1-3	معامل مقاومة السطح الخارجي + حجر باعذرة 50mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	11
	B1-4	معامل مقاومة السطح الخارجي + طابوق 120mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	12
	B1-5	معامل مقاومة السطح الخارجي + الاليكوبون 4mm + فجوة هوائية 25mm + طابوق 240mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm + معامل مقاومة السطح الداخلي.	10

الجدول (6): قيم المقاومة الحرارية للفجوة الهوائية مغلقة النهايات (بحسب طريقة (Markus And Morris) [275 ص 12]

Type or thickness of air-space	Surface emissivity	Thermal Resistance m ² .K/W	
		Heat flow horizontal or upwards	Heat flow down-wards
5mm	High	0.11	0.11
	low	0.18	0.18
20mm or more	High	0.18*	0.21
	low	0.35	1.06
High-emissivity planes and corrugated sheets in contact	-	0.09	0.11
Low-emissivity multiple- foil insulation with air-space on one side	-	0.62	1.76

*قيمة مقاومة الفجوة الهوائية المعتمدة في الحسابات النظرية للدراسة الحالية.

26- عامل التأخر الزمني لسقف غرفتي الاختبار (A) و (B)

عامل التأخر الزمني لسقف غرفتي الاختبار (A) و (B) ولجميع حالات الدراسة هو متشابه، بسبب التشابه في مادة الانشاء وطبقات التسطيح لسقوف غرفتي الاختبار (A) و (B).

ان التأخر الزمني لسقف كل من غرفتي الاختبار (A) و (B) هو (14) ساعة و (12) ساعة للجانبين النظري والعملي على التوالي، وهو يمثل تأخراً زمنياً عالياً نسبة الى التأخر الزمني لجدران حالات الدراسة المختلفة لغرفتي الاختبار (A) و (B). ويعزى هذا الى استعمال طبقة من الستايروبور بسمك 50mm ضمن طبقات التسطيح لسقف غرفتي الاختبار (A) و (B) التي ينتج منها الحد من اكتساب الحرارة وتأخير ساعة الذروة للحمل الحراري الحاصل.

27- مناقشة النتائج المرتبطة بتأثير الخصائص الحرارية لمواد الانشاء ومواد الاكساء الخارجي على كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة

ان نتائج العمليات الحسابية ونتائج القياسات الموقعية لكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة اللازمة للوصول الى درجة الحرارة المطلوبة للراحة الحرارية لفضاءات الاختبار، للتراكيب الانشائية المختلفة لجدران غرفة الاختبار (B) بمواد اكساء مختلفة وبفجوة هوائية 25mm والمتمثلة بحالات الدراسة (B1-1) و (B1-2) و (B1-3) و (B1-4) و (B1-5) والحالة الاساس (A-0) قد اظهرت مايلي:

استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل للحالة الاساس (A-0) مقدارها $2.7 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $2.3 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي على التوالي، حيث التركيب الانشائي لجدران الحالة الاساس مادة الطابوق الفني المثقب بسمك 240mm وبدون مادة اكساء خارجي، وهي تمثل الحالة المعتمدة لاغراض المقارنة بين الاداء الحراري لحالات الدراسة المختلفة بهدف التوصل الى كل من الحالة الافضل حرارياً والحالة التي تمثل اضعف اداء حراري.

استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B1-1) مقدارها $2.1 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $1.7 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، وهو اقل من استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل للحالة الاساس (A-0) بمقدار $0.6 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ (لجانبين النظري والعملي)، اي انها تحقق نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مقدارها 22.2% و 26.0% للجانبين النظري والعملي، على التوالي، قياساً بالحالة الاساس.

مادة الاكساء الخارجي لجدران حالة الدراسة (B1-2) هي المرمر الابيض، وهذه الحالة تبين ان استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل مقدارها $1.4 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $1.2 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ وهو اقل من استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل للحالة الاساس (A-0) بمقدار $1.3 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $1.1 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، اي انها تحقق نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مقدارها 48.0% و 47.8% للجانبين النظري والعملي، على التوالي، قياساً بالحالة الاساس.

اما بالنسبة لحالة الدراسة (B1-3) فان استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل مقدارها $1.1 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $0.9 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، وهو اقل من استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل للحالة

الاساس (A-0) بمقدار $1.6 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $1.4 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، وهذا يعني انها تحقق نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مقدارها 59.3% و 8.60% للجانبين النظري والعملي، على التوالي، قياسا بالحالة الاساس.

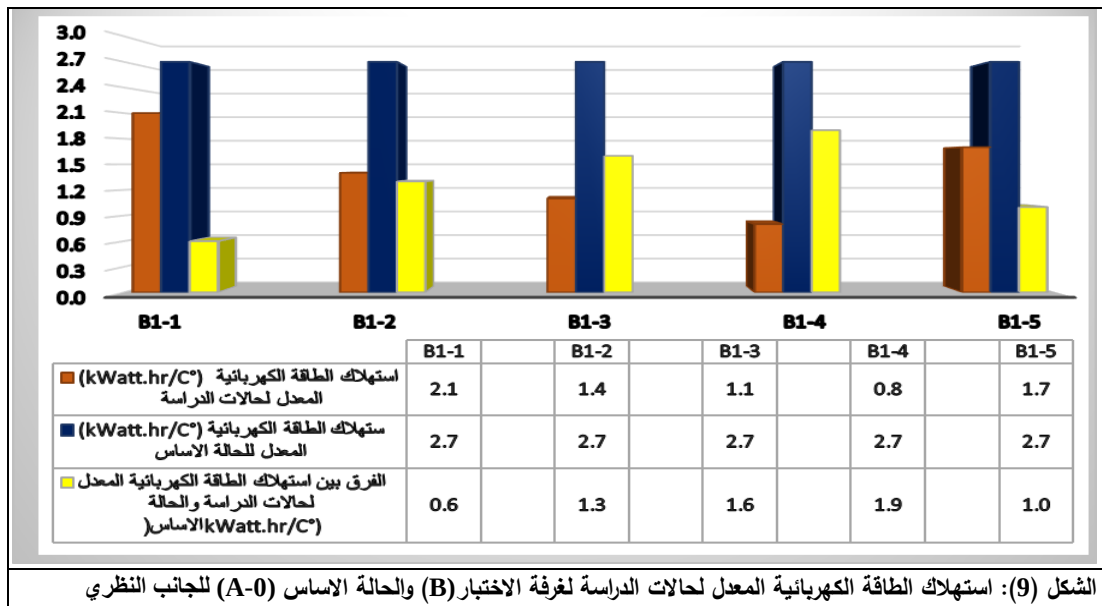
استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B1-4) مقداره $0.8 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $0.6 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، وهو اقل من استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل للحالة الاساس (A-0) بمقدار 1.9 kWatt.hr/C° للجانبين النظري والعملي، على التوالي، اي انها تحقق نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مقدارها 70.3% و 73.9% للجانبين النظري والعملي، على التوالي، قياسا بالحالة الاساس، وهي تمثل اعلى نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بالنسبة لحالات الدراسة الاخرى.

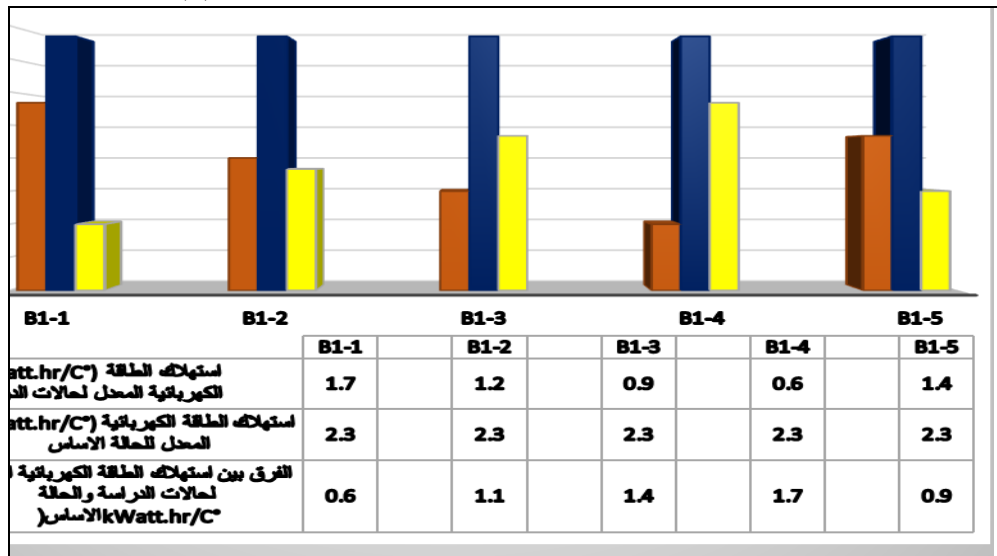
استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B1-5) مقداره $1.7 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ و $1.4 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، وهو اقل من استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل للحالة الاساس (A-0) بمقدار 1.0 kWatt.hr/C° و $0.9 \text{ kWatt.hr/C}^\circ$ للجانبين النظري والعملي، على التوالي، اي انها تحقق نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مقدارها 37.0% و 39.0% للجانبين النظري والعملي، على التوالي، قياسا بالحالة الاساس.

مما سبق يتضح ان حالة الدراسة (B1-4) بمادة اكساء خارجي طابوق فني- متقب هي الأفضل حراريا حيث انها حققت اعلى نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة قياسا بالحالة الاساس، وحالة الدراسة (B1-1) بمادة اكساء خارجي من المرمر الاسود، تمثل أسوأ اداء حراري حيث انها حققت اقل نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة قياسا بالحالة الاساس، والتي يوضحها الشكلين (9) و (10)

28- تأثير سمك الفجوة الهوائية على كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لغرفة الاختبار (B)

من الجدول (7) يتضح ان لحالات الدراسة المتقاربة او المتشابهة بمعدل درجة حرارة الهواء الخارجي كما في حالتي الدراسة (B1-2) و (B2-2)، ان استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B1-2) بفجوة هوائية 25mm اعلى من استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B2-2) بفجوة هوائية 100mm، حيث ان الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالتي الدراسة (B1-2) و (B2-2) هو (1.2 و 1.1) kWatt.hr على التوالي. اي ان استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B1-2) يزيد على استهلاك الطاقة الكهربائية المعدل لحالة الدراسة (B2-2) بنسبة 4.2% .





الشكل (10): استهلاك الطاقة الكهربائية للمعدل لحالات الدراسة لغرفة الاختبار (B) والحالة الاساس (A-0) / المصدر: (الجانب العملي)

كذلك بالنسبة لحالتي الدراسة (B1-3) و (B2-3)، المتطابقة بمعدل درجة حرارة الهواء الخارجي، حيث يكون استهلاك الطاقة الكهربائية للمعدل لحالة الدراسة (B1-3) بفجوة هوائية 25mm والذي يساوي 0.9 kWatt.hr هو اعلى من استهلاك الطاقة الكهربائية للمعدل لحالة الدراسة (B2-3) بفجوة هوائية 100mm والذي يساوي 0.8 kWatt.hr. وهذا يعني ان كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالة الدراسة (B1-3) تزيد على الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالة الدراسة (B2-3) بنسبة 4.4 % .

يتضح مما سبق ان زيادة سمك الفجوة الهوائية من 25mm الى 100mm يقلل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بنسبة 4.3%.

الجدول (7) : نسبة التباين وكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm وكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 100mm لغرفة الاختبار (B)/ المصدر: (الجانب العملي/ الباحثين)

حالات الدراسة	طبقات الجدران لكل حالة دراسة (طبقات الجدار من الخارج الى الداخل)	معدل درجة حرارة الهواء الخارجي للايام المعتمدة للاختبار C°	كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة KWatt.hr	كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة KWatt.hr/C°	نسبة التباين بين كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالات الدراسة مع الحالة الاساس	نسبة التباين بين استهلاك الطاقة الكهربائية للمعدل لحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm ولحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 100mm
A-0 الحالة الاساس	طابق 240mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm .	39.8	30	2.3	-	-
B1-2	مرمر ابيض + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm .	35.1	13	1.2	47.8%	4.2%
B2-2	مرمر ابيض 20mm + فجوة هوائية 100mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm .	35.2	12	1.1	52.0%	
B1-3	حجر باعذرة 50mm + فجوة هوائية 25mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm .	36.6	11	0.9	60.8%	4.4%
B2-3	حجر باعذرة 50mm + فجوة هوائية 100mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20mm + طبقة بورك 3mm .	37	10	0.8	65.2%	

					هوائية 100mm + ثرمستون 200mm + طبقة بياض بالجص 20m + طبقة بورك 3mm.
4.3%	معدل نسبة الاقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm وحالات الدراسة بفجوة هوائية سمكها 25mm لغرفة الاختبار (B)				

29- الاستنتاجات النهائية المرتبطة بنتائج الحسابات النظرية والتطبيق العملي

- تعمل السعة الحرارية للتركيبة الانشائية للجدران من خلال زيادة السمك للهيكال الانشائي للجدران باستعمال مواد الاكساء مثل مادة الطابوق الفني - المثقب بسمك 120mm او اختيار مواد الاكساء ذات حرارة نوعية عالية مثل مادة الحجر على زيادة الخزن الحراري للتركيبة الانشائية للجدران وتؤخر انتقال الحرارة الى المبنى الى الساعة التي تصل فيها درجة حرارة الهواء المحيط والاشعاع الشمسي الى قيم واطنة. وتأخير ساعة الذروة للحمل الحراري الحاصل. أما مواد الاكساء قليلة الكتلة مثل مادة الاليكوبون فأنها تعطي تأخراً زمنياً قليلاً على الرغم من وجود طبقة من مادة الـ polyethylene العازلة بسمك 3mm ضمن تركيب الواح الاليكوبون وذلك بسبب قلة الخزن الحراري .
- أن مادة الثرمستون لها تأخر زمني عالي بسبب توصيلها الحراري المنخفض.
- مقدار الزيادة في عامل التأخر الزمني للجدران يعتمد على الخصائص الحرارية لمواد الاكساء الخارجي ومواد الانشاء للجدران.
- حالات الدراسة بمادة اكساء الطابوق الفني - المثقب بسمك 120mm حققت نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة اعلى من النسبة المتحققة باستعمال مادة الحجر ، لكون السعة الحرارية لمادة الحجر اقل من السعة الحرارية لمادة الطابوق الفني - المثقب وذلك بسبب زيادة السمك للهيكال الانشائي، هذا يعني ان زيادة السمك للهيكال الانشائي يساعد في التقليل من استهلاك الطاقة الكهربائية في المباني.
- حالات الدراسة بمادة اكساء خارجي طابوق فني - مثقب بسمك 120mm هي الأفضل حرارياً حيث انها حققت اعلى نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة، وحالات الدراسة بمادة اكساء خارجي من المرمر الاسود، تمثل أسوأ اداء حراري حيث انها حققت اقل نسبة اقتصاد في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة وذلك بسبب التوصيل الحراري العالي للمرمر الاسود، وهذا يعني استعمال مواد اكساء ذات توصيل حراري منخفض هو واحد من الحلول الفعالة في التقليل من الكسب الحراري للمبنى.
- حالات الدراسة لغرفة الاختبار (B) حققت نسبة اقتصاد عالية في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة ، وذلك بسبب الكثافة القليلة والموصلية الحرارية المنخفضة لمادة الثرمستون التي ينتج منها الحد من اكتساب الحرارة والتقليل من حمل التبريد الكلي وكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة للوصول الى درجة الحرارة المطلوبة للراحة الحرارية لفضاءات الاختبار .
- استعمال اللون الفاتحة في السطوح الخارجية للجدران يزيد من الاشعاع الشمسي المنعكس الى الخارج، ويقلل من الامتصاصية للاشعاع الشمسي ودرجات حرارة الهواء.
- حققت نتائج الحسابات النظرية ونتائج التطبيق العملي للطاقة الكهربائية المستهلكة لحالات الدراسة المختلفة تقارباً جيداً، وهذا يعني ان من الممكن اعتماد نظرية (RTS) في الحسابات التخمينية لاحمال التبريد لانواع مختلفة من مواد الانشاء ومواد الاكساء ولمتغيرات اخرى غير المعتمدة في الدراسة الحالية من الهياكل الانشائية للجدران المزدوجة.
- وجود فجوة هوائية ضمن الجدران الخارجية يزيد من المقاومة الحرارية للجدران الخارجية ويعمل على تحسين الاداء الحراري للمبنى ويقلل من استهلاك الطاقة الكهربائية.
- ان زيادة سمك الفجوة الهوائية من 25mm الى 100mm يقلل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بنسبة 4.3%.

30-التوصيات

- للحد من اكتساب الحرارة من خلال الجدران الخارجية للمبنى والتقليل من معدلات استهلاك الطاقة، فإنه يجب مراعاة مايلي:
- استعمال مواد انشاء ومواد اكساء ذات سعة حرارية عالية وتوصيل حراري منخفض.
- اعتماد مادة الثرمستون كمادة اساسية للبناء لما تحققه من تقليل في حمل التبريد المطلوب وبالتالي التقليل من استهلاك الطاقة الكهربائية لاغراض تكييف المبنى لكونه ذو سعة حرارية عالية وتوصيل حراري منخفض.

- تضمين الفجوة الهوائية في الجدران الخارجية لتحسين الاداء الحراري للمبنى.
- استخدام الالوان الفاتحة في السطوح الخارجية للجدران.
- الابتعاد عن زيادة السطوح البنائية الموجهة نحو الشرق والغرب لتعرضها لاعلى طاقة شمسية صيفا وان يراعى ذلك في المراحل الاولى من عملية التصميم.
- المراحل الأولى من عملية تصميم المبنى لها تأثير واضح على الأداء الحراري للمبنى لذلك على المصمم أن يولي إهتماماً أكبر بدراسة العوامل التي تؤثر على الأداء الحراري للمبنى وفي مراحل التصميم الاولى.
- محاولة الاستفادة من نتائج واستنتاجات الدراسة الحالية في إعداد مدونات العزل الحراري والمواصفات الفنية العامة لتنفيذ المباني في العراق، التي تتبنى اعدادها وزارة الاعمار والاسكان وعدد من المؤسسات الاكاديمية.

31- المصادر العربية والانكليزية والانترنت

1 - دور الواجهات في تحقيق الراحة الحرارية.

" <http://www.cpasegypt.com/pdf/MonaElwazer/Ph.D/003.pdf> "

2- "Alucobond Product Information"

http://www.alucobond.com.au/uploads/news/id30/Alucobond_product%20info_0711.pdf

3- ASHRAE, "Handbook of Fundamentals -chapter18", Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009.

4- Harkness Edward L.& Mehta Madan L. "Solar Radiation Control in Buildings", Applied Science Publishers LTD, London, 1978.

5- Kannamma, "Optimizing Heat Gain By Building Materials Through Landscape Elements", International Journal Of Management, IT And Engineering, Volume2, Issue5. <http://www.ijmra.us/>

6- Maghrabi, Amjed. A. "Comparative Study of Thermal Insulation Alternatives for Buildings-Walls and Roofs in Makkah", Department of Islamic Architecture, College of Engineering & Islamic Architecture, Umm Al-Qura University, 2005.

7- Markus & Morris "Building, Climate and Energy", Pitman Publishing L.T.D London, (U.K), 1978.

8 - التميمي ،احمد هاني رشيد، "الاثار الحراري لانهاء جدران المباني الخارجية في المناخ الموضعي للبيئة الحضرية"، رسالة ماجستير، قسم الهندية المعمارية، الجامعة التكنولوجية، 2013.

9 -الجودي، خالد احمد، "مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج". كلية الهندسة، جامعة البصرة، 1986.

10 - شنيارة، د.بول "اختيار مواد البناء والاكساء من خلال مواصفاتها البيئية"، مجلة جامعة دمشق، العدد الثاني، 2002.

11 -نشرة المنشأة العامة لصناعة الكونكريت الخفيف -وزارة الصناعات الخفيفة -بغداد - العراق -1984

12 - يوسف، نيفين يوسف عزمي، "الجزر الحرارية في المدن المصرية"، وقائع المؤتمر الدولي الاول للعمارة، "الماضي والمستقبل في العمارة"، كلية الهندسة-جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا، 2010.