

رؤية مبتكرة لتصميم قطاع الحائط الخارجي للمبنى السكني بالأقاليم الحارة الجافة

The Impact of Using the Optimum Insulation Thickness for Exterior Building Walls in Different Regions of Egypt on Energy Saving

المقدم، أشرف عبد الفتاح: أستاذ ورئيس قسم العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة بورسعيد
درويش، إسلام مصطفى: مدرس العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة بورسعيد
قنديل، أحمد أنور: مدرس مساعد بقسم العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة بورسعيد

ملخص البحث:

يعتبر الحائط الخارجي للمبنى من أهم المفردات البيئية للتصميم المعماري لأنه يقوم بدور رئيسي في نقل الحرارة من الخارج إلى الداخل والعكس. وقد تعددت الدراسات التي تبحث في أساليب ووسائل وتقنيات عزل الفراغ الداخلي حرارياً عن طريق تصميم حوائط خارجية تهدف أساساً إلى منع عملية التبادل الحراري من خلال الحائط لتوفير بيئة داخلية مريحة حرارياً. وبرغم اختلاف هذه الوسائل والطرق، إلا أنها كلها تشترك في هدف واحد وهو حماية الفراغ الداخلي من الحرارة الخارجية في المناطق الحارة، أو منع الحرارة الداخلية من التسرب خارجاً في المناطق الباردة. وبالفعل نجح العديد من تلك الوسائل في تحقيق هذا الهدف بدرجات متفاوتة. وفي الأقاليم الحارة الجافة - محور البحث، فإن ذلك يدعو إلى التساؤل عن كيفية التخلص من الحرارة المتسربة للداخل عبر فتحات الفراغ، والحرارة الصادرة من أنشطة المستعملين، والحرارة الناتجة عن الإضاءة الصناعية وتشغيل الأجهزة المنزلية بالفراغ، وكلها أنواع من الطاقة لا يستطيع الغلاف العازل التخلص منها، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة أحمال التبريد على الفراغ الداخلي، وبالتالي زيادة الطاقة اللازمة لتبريد الفراغ. وي طرح البحث تصميم مبتكر لقطاع الحائط الخارجي للمبنى السكني لا يكتفي بدور الدفاع ضد هجمات الحرارة الخارجية، وإنما ينتقل إلى مرحلة الهجوم ونقل الحرارة الداخلية إلى الخارج. والقطاع المطروح يستعمل الماء - وهو سائل يتميز بسعته الحرارية الكبيرة - لتبريد الفراغ وامتصاص الحرارة الزائدة عن الحاجة من الفراغ نهاراً، ثم يستغل المدى الحراري اليومي الكبير في هذا الإقليم للتخلص من هذه الحرارة ليلاً. وقد تم تصميم برنامج حاسوبي رقمي خاص بالبحث باسم EWA وهو اختصار لعبارة Exothermic Wall Assessment تكون مهمته المقارنة بين كفاءة القطاع المطروح للحوائط الطاردة للحرارة، وبين قطاعات أخرى تقليدية معزولة حرارياً لإثبات قدرته على التخلص من الحرارة الداخلية وطردها خارج الفراغ، وذلك اعتماداً على قوانين انتقال الحرارة الفيزيائية، والتي تعتمد على خواص المواد، وفروق درجات الحرارة، وحجم الفراغ، ومساحة الحائط الخارجي.

١. مقدمة:

إن توفير الظروف الحرارية الآمنة والمريحة للإنسان داخل المبنى أو التجمع العمراني هدف أساسي من أهداف عملية التصميم المعماري والعمراني، إلا أن معظم المباني بالأقاليم الحارة الجافة في المنطقة العربية لا تراعي معايير التصميم المناخي، حيث يتضح أن قطاع الأبنية مسئول عن النسبة الأكبر من استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالمنطقة، حيث يستهلك قطاع الأبنية ما نسبته ١٧,٩% من إجمالي إنتاج المنطقة من المشتقات البترولية ويستهلك ما نسبته ٥٥,٥% من إجمالي الطاقة الكهربائية المتولدة (إسكوا، ٢٠٠٢). وترجع أهمية ترشيد الطاقة للمباني السكنية بالأقاليم الحارة الجافة إلى عدة أسباب منها:

- المباني السكنية تحتل المركز الأول في استهلاك الطاقة في المنطقة بنسبة تصل إلى ٤٤% من إجمالي الطاقة الكهربائية المتولدة (إسكوا، ٢٠٠٢).

■ احتياج المباني السكنية لكميات كبيرة من الطاقة الكهربائية لتغطية أحمال التكييف، فقد بلغ معدل الطاقة الكهربائية اللازمة لأحمال تكييف الهواء في المباني السكنية بمدينة الرياض على سبيل المثال ٦٠,٦% من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة في المدينة (الجوير، ٢٠٠٦).

■ تعتبر بعض دول المنطقة مثل دول الخليج الأعلى في معدل استهلاك الفرد من الكهرباء المولدة، ففي قطر مثلاً بلغ معدل استهلاك الفرد من الكهرباء المولدة ١٦٦٣٠ ك.و.س/فرد وهو ما يعادل ٦,٧ ضعف المعدل العالمي (إسكوا، ٢٠٠٢).

ولما كانت البيئة العربية الصحراوية التي تنتمي إلى الإقليم الحار الجاف ذات مناخ له خصائص مميزة، كان من الواجب البحث في تلك الخصائص وتأثيرها على مفردات التصميم المعماري. ويعتبر الغلاف الخارجي للمبنى من أهم تلك المفردات لأنه يعمل بمثابة البشرة في جسم الإنسان، فهو الذي يحمي المبنى من مختلف العوامل الجوية الخارجية، وبقدر الاهتمام بتصميم هذا الغلاف يكون النجاح في توفير بيئة داخلية مناسبة تتمتع بشروط الراحة الحرارية.

٢. هدف البحث

يهدف البحث إلى التوصل لتصميم قطاع حائطي بالغلاف خارجي للمبنى السكني بالأقاليم الحارة الجافة لا يكتفي بالعزل الحراري للفراغ، وإنما يعتمد بشكل رئيسي على نقل الحرارة الداخلية إلى الخارج أو العكس في اتجاه واحد دون بذل طاقة.

٣. الخصائص البيئية للأقاليم الحارة الجافة

تتميز الأقاليم الحارة الجافة بالحرارة العالية معظم أيام السنة، حيث تصل إلى أعلى معدلاتها في فصل الصيف (حوالي ٤٢ درجة مئوية). كما يلاحظ أن فرق درجة الحرارة بين الليل والنهار عال جداً يصل إلى ١٩ درجة مئوية. كما تنخفض نسبة الرطوبة إلى أقل معدلاتها في ظل ارتفاع نسبة البخر. كما يصل تركيز الطاقة الشمسية إلى ٥ كيلووات على المتر المربع في اليوم الواحد. كما تتميز المنطقة بطول فترة سطوع الشمس خلال اليوم. وترجع سيطرة المجال شديد الحرارة على هذه المنطقة إلى ارتفاع زاوية أشعة الشمس وطول ساعات النهار مع صفاء السماء وخلوها من السحب (حنا، ١٩٩٨).

٤. الأطروحة البحثية (الحوائط الطاردة للحرارة)

تعتبر الحوائط الخارجية أهم عناصر الغلاف الخارجي للمبنى والذي يفصله عن عوامل البيئة الخارجية. وترجع أهمية الحوائط الخارجية إلى استقبالها لكمية كبيرة من أشعة الشمس خلال فترة النهار، بالإضافة إلى أنها تحتل غالباً المساحة الأكبر في الغلاف الخارجي للمبنى، ومن ثم فهي تقوم بدور الناقل الأكبر للحرارة من الخارج إلى الداخل. وقد تعددت الدراسات التي تبحث في أساليب ووسائل وتقنيات عزل الفراغ الداخلي حرارياً عن طريق تصميم حوائط خارجية تهدف أساساً إلى منع الحرارة الخارجية من الانتقال إلى داخل الفراغ لتوفير بيئة داخلية مريحة حرارياً. وبالرغم من تعدد المحاولات واختلاف الوسائل والطرق، إلا أنها كلها تشترك في هدف واحد وهو حماية الفراغ الداخلي من الحرارة الخارجية، أو بمعنى آخر إن صح التعبير الدفاع عن الفراغ الداخلي ضد هجمات الحرارة الخارجية. وبالفعل نجح العديد من تلك الوسائل في تحقيق هذا الهدف بدرجات متفاوتة. إلا أن ذلك يدعو إلى التساؤل عن كيفية التخلص من الحرارة المتسربة عبر فتحات الفراغ، والحرارة الصادرة من أنشطة المستعملين، والحرارة الناتجة عن الإضاءة الصناعية للفراغ وتشغيل الأجهزة المنزلية، وكلها أنواع من الطاقة تظل حبيسة داخل الفراغ ولا يستطيع الغلاف العازل التخلص منها، بل على العكس فإن الغلاف العازل في كثير من الأحيان

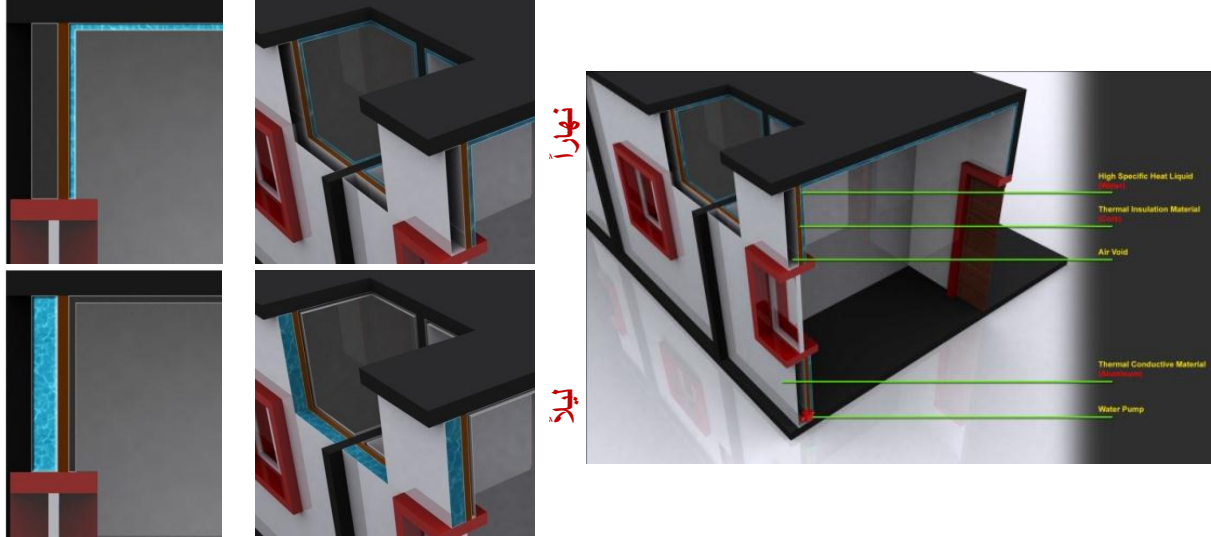
يمنع تلك الحرارة من الانطلاق للخارج، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الأحمال الحرارية على الفراغ الداخلي، وبالتالي زيادة الطاقة اللازمة لتبريد الفراغ. ومن هنا كان الدافع وراء البحث عن تصميم غلاف خارجي للمبنى لا يكتفي بدور الدفاع ضد هجمات الحرارة الخارجية، وإنما ينتقل إلى مرحلة الهجوم ونقل الحرارة الداخلية إلى الخارج. وكان التحدي أمام هذه الأطروحة أن الحرارة تنتقل دائما من الوسط الأعلى في درجة الحرارة إلى الوسط الأقل، وعليه فإنه من المستحيل نظريا نقل الحرارة مباشرة إلى الخارج دون بذل طاقة. إلا أنه بالبحث في خصائص المنطقة محل الدراسة يتضح أن المدى الحراري اليومي كبير ويصل في بعض الأحيان إلى ٢٠ درجة مئوية. إذن لو كان بالإمكان إيجاد مخزن للحرارة الداخلية معزول تماما عن الحرارة الخارجية مدمج بالحائط ويعمل على امتصاص الحرارة الداخلية فقط طوال ساعات النهار ثم يطلقها إلى الخارج أثناء ساعات الليل، ثم يتحول إلى الداخل ليكتسب الحرارة مجددا نهارا وهكذا فستنجح هذه الأطروحة، ويجب أن يكون هذا المخزن موجهها للداخل نهارا ثم يوجه للخارج ليلا. ولما كان من الصعب عمليا تغيير اتجاه الحائط الخارجي يوميا، فقد ذهب التفكير في السوائل. وعليه فالفكرة في حاجة إلى خزان داخلي يتسع لكمية من سائل ذو سعة حرارية كبيرة بحيث يستطيع امتصاص قدر كبير من الحرارة نهارا، ثم ينتقل السائل إلى خزان مماثل خارجي ليطلق الحرارة التي اكتسبها طوال النهار، ثم يعود السائل مرة أخرى إلى الخزان الداخلي عند ارتفاع درجات الحرارة نهارا وهكذا. أما الخزان المستعمل فيجب أن يكون جيد التوصيل للحرارة حتى يوصل الطاقة للسائل، وفي نفس الوقت يجب أن تكون سعته الحرارية منخفضة نسبيا حتى لا يختزن الحرارة ويطلقها للداخل مرة أخرى. وبالبحث المبدئي وجد أن الماء سائل مناسب والألومنيوم مادة مناسبة لصنع الخزان، والجدول التالي يبين السعة الحرارية ومعامل التوصيل لكل منهما (Randal, 2005).

جدول رقم (١): السعة الحرارية ومعامل التوصيل لكل من الماء والألومنيوم.

المادة	السعة الحرارية (J/kg.oC)	معامل التوصيل (W/m.oC)
الماء	4187	0.58
الألومنيوم	877	236

٤-١. وصف قطاع الحائط الخارجي المقترح

يتضح من الشكل رقم (١)، أن نموذج الحائط المقترح عبارة عن خزان داخلي من الألومنيوم يشمل الحائط الخارجي والحوائط الداخلية والسقف متصل من أسفله بخزان مماثل خارجي على الحائط الخارجي، ويفصل بين الخزانات طبقة عازلة للحرارة. وينتقل الماء من الخزان الداخلي إلى الخزان الخارجي عن طريق مضخة يتم تزويدها بثرموستات لتبدأ في ضخ السائل من الداخل إلى الخارج بمجرد ما تتساوى درجة الحرارة الداخلية مع درجة حرارة السائل، ثم تعود لضخ السائل من الخارج إلى الداخل مرة أخرى بمجرد ارتفاع درجة الحرارة الخارجية عن درجة حرارة السائل. ومن الممكن حماية الخزان الخارجي بمجموعة من كاسرات الشمس حتى لا يسخن بدرجة كبيرة يصعب معها التخلص من حرارة الماء ليلا.



شكل رقم (1): قطاع الحائط المقترح وطريقة عمله.

٤-٢. منهجية تقييم الأداء الحراري للقطاع المقترح

تعتبر هذه المنهجية هي محاولة لدراسة كل الحالات التي من الممكن أن يتعرض لها الفراغ والحائط، سواء كانت هذه الحالات شائعة أو نادرة الحدوث، حيث يتم التركيز على محورين أساسيين هما:

١. محور التقييم الرئيسي للدراسة وهو قدرة الحائط على امتصاص الطاقة من داخل الفراغ أثناء ارتفاع درجات الحرارة الداخلية وطرد هذه الحرارة إلى الخارج أثناء انخفاض الحرارة الخارجية، حيث أن التقييم لا يشمل قدرة الحائط على العزل الحراري للفراغ فهي مهمة الطبقة العازلة للحرارة ولها دراسة منفصلة سيأتي ذكرها في حينه.
 ٢. محور قوانين ومعادلات انتقال الحرارة. فكل هذه القوانين والمعادلات لا تعتمد على درجة الحرارة كعامل، وإنما تعتمد على فرق درجات الحرارة بين الأوساط التي تنتقل خلالها الحرارة. ومن خلال هذين المحورين يتم تقسيم السلوك الحراري التبادلي بين الحائط والفراغ إلى مرحلتين هما:
 ١. مرحلة تكون فيها درجة حرارة الفراغ أعلى من درجة حرارة الحائط وهو ما يحدث عادةً أثناء ساعات النهار وبالتالي تنتقل الحرارة من الفراغ إلى الحائط، وهنا تنخفض درجة حرارة الفراغ وترتفع درجة حرارة الحائط.
 ٢. مرحلة تكون فيها درجة حرارة الفراغ أقل من درجة حرارة الحائط وهو ما يحدث عادةً أثناء ساعات الليل وبالتالي تنتقل الحرارة من الحائط إلى الفراغ، وهنا ترتفع درجة حرارة الفراغ وتنخفض درجة حرارة الحائط.
- وعلى هذا الأساس فسوف تقوم الدراسة على أساس وجود فرق في درجات الحرارة بين الفراغ والحائط المعزول حتى الطبقة العازلة يتراوح من 1°C إلى 20°C وهو أعلى مدى حراري يومي مسجل بالمنطقة. ويتم ذلك بمعدل درجة واحدة مئوية في المرحلتين، بمعنى أنه سيتم افتراض أن درجة حرارة الفراغ أعلى من درجة حرارة الحائط بمقدار 20°C ، ثم يتم دراسة السلوك الحراري للحائط والفراغ حتى يحدث اتزان حراري، ومن ثم تحديد ثلاث قيم هامة عند حدوث الاتزان هي:

١. زمن الوصول إلى حالة الاتزان.
 ٢. مقدار التغير في درجة حرارة الفراغ.
 ٣. مقدار التغير في درجة حرارة الحائط.
- ولأن قوانين انتقال الحرارة تعتمد أساساً على مبدأ العناصر اللانهائية Finite Elements وهي طريقة تعتمد على نسبة ضئيلة من الخطأ، فإن حالة الاتزان لا يمكن الوصول إليها نظرياً. ومن ثم فإن حالة الاتزان الافتراضية يتم اعتبارها على أساس نسبة ثابتة من فرق درجات الحرارة الرئيسي وليكن 5%.

وسوف يتم على الحائطين موضع المقارنة لتحديد كفاءة النموذج المطروح. ثم يتم عكس العملية لدراسة المرحلة الثانية حيث يتم سيتم افتراض أن درجة حرارة الحائط أعلى من درجة حرارة الفراغ بمقدار 20°C وتكرار نفس الحسابات وتحديد نفس القيم الثلاث السابقة.

ويتضح من هذه المنهجية أنها استطاعت تغطية كل الحالات التي يمكن أن يتعرض لها الفراغ والحائط بغض النظر عن أسباب ارتفاع أو انخفاض درجة حرارة كل منهما فهذا قد يحدث لأسباب كثيرة ليست موضع دراسة في هذا البحث. ويلاحظ أيضاً في هذه المنهجية عدم اعتمادها على افتراض عدد كبير من المتغيرات التي قد تؤثر على واقعية النتائج، كما ركزت على الهدف الأساسي من الدراسة وهو تقييم قدرة النموذج المطروح على امتصاص الحرارة من داخل الفراغ ونقلها إلى الخارج. ولهذه الأسباب فقد تم اعتماد هذه المنهجية لتقييم أداء قطاع الغلاف موضع الدراسة.

٤-٣. الحالات الدراسية موضع المقارنة

سوف يتم اختيار فراغ مستطيل لتقييم الأداء الحراري للحائط المقترح بطول 4.00 m وعرض 3.00 m وارتفاع 3.00 m، وسيتم إجراء الحسابات على فراغ يطل على الخارج بواجهة واحدة أو واجهتين، وقد تم هذا الاختيار بناءً على أن الشكل المستطيل هو الشكل الأكثر شيوعاً في المساقط الأفقية للفراغات السكنية، وأن هذا الفراغ قد يطل بواجهة واحدة أو واجهتين على الأكثر على الخارج ومن النادر إيجاد فراغ يطل بأكثر من واجهتين على الخارج. أما بالنسبة لأبعاد الفراغ فمن الممكن إجراء الدراسات على عدد لا نهائي من أبعاد الفراغ المحتملة، خاصةً عند تصميم برنامج رقمي يستطيع إجراء آلاف الحسابات. وسيتم مقارنة الفراغ بأربعة نماذج لقطاعات حوائط تقليدية، وأربعة أبعاد مختلفة لسماك طبقات القطاع المقترح سيتم ذكرها بالتفصيل لاحقاً، وتغير اتجاه انتقال الحرارة من هواء الغرفة إلى الحائط أو العكس، وتغير إطلالة الفراغ على الخارج بواجهة واحدة أو واجهتين. وسيتم اعتبار كلا الحائطين موضع المقارنة معزولين تماماً عن الحرارة الخارجية.

٥. انتقال الحرارة عبر قطاعات الحوائط خلال الزمن

يمكن تقسيم مراحل انتقال الحرارة من الفراغ إلى الحائط أو العكس إلى مرحلتين رئيسيتين:

١. مرحلة انتقال الحرارة بين الفراغ الداخلي والسطح الداخلي من الحائط، ويتم هذا الانتقال عن طريق الحمل (Convection)، لأنه يتم بين مائع (الهواء) وجسم صلب (سطح الحائط).

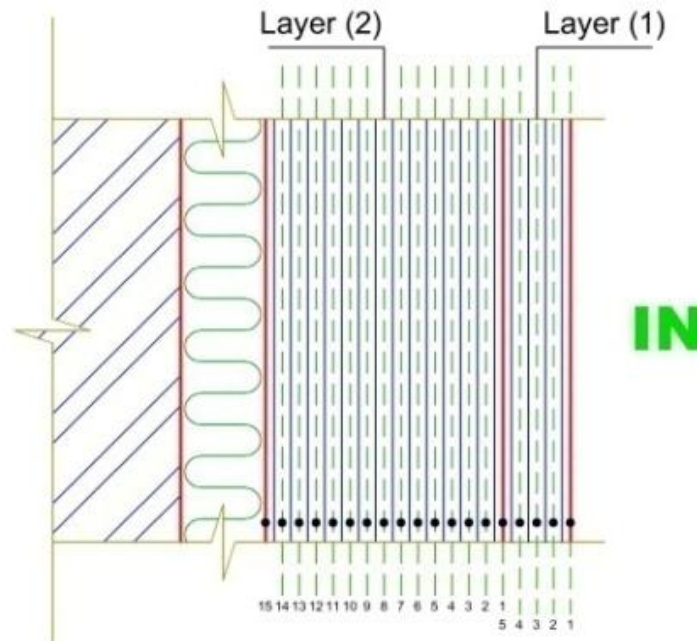
٢. مرحلة انتقال الحرارة عبر طبقات الحائط وصولاً إلى الطبقة العازلة للحرارة، ويتم هذا الانتقال عن طريق التوصيل (Conduction)، لأنه يتم بين طبقات الحائط الصلبة. وحتى في حالة وجود فراغ داخل قطاع الحائط من الهواء أو أي مائع آخر (كما في حالة القطاع المقترح)، فإن الحرارة تنتقل خلال هذا المائع عن طريق التوصيل وليس الحمل. حيث أثبتت الدراسات أن السمك الصغير للمائع مقارنةً بارتفاع الحائط إضافة إلى عدم تحرك المائع داخل الفراغ يجعل انتقال الحرارة عن طريق التوصيل أسرع منه عن طريق الحمل، الأمر الذي يمكن معه تجاهل كمية الحرارة المنتقلة عن طريق الحمل مقارنةً بالكمية التي تنتقل عن طريق التوصيل.

وفي أثناء انتقال الحرارة من الفراغ إلى الحائط تتغير درجات الحرارة بمرور الزمن لحظياً مع كل انتقال لأي كمية من الحرارة في كل من هواء الفراغ الداخلي، وطبقات الحائط الداخلية، بل إن كل طبقة من طبقات الحائط الداخلية تتغير درجة الحرارة خلال كل جزء من سمكها لحظياً، بل إن معدل انتقال الحرارة نفسه يتغير بمرور الزمن بتغير الفرق بين درجات الحرارة، الأمر الذي يؤدي لحالة تسمى "انتقال الحرارة غير المستقر Unsteady State Heat Transfer" (Kandil, 1995). وتعتبر هذه الحالة أكثر تعقيداً من حالة انتقال الحرارة المستقر Steady State Heat Transfer، حيث تكون درجات الحرارة ثابتة بمرور الزمن. ولحساب معدل انتقال الحرارة في الحالة غير المستقرة يتم تجزئة زمن انتقال

الحرارة إلى فترات زمنية صغيرة جدا تصل إلى أجزاء من المائة من الثانية، يفترض خلالها أن الفارق في درجة الحرارة ثابت، وبالتالي يكون معدل سريان الطاقة أيضاً ثابت، وبالتالي تتغير درجة الحرارة خطياً خلال هذه الفترة. ويتم تكرار عملية حساب كمية الحرارة المنتقلة ثم درجات الحرارة الجديدة لعدد كبير من المرات تغطي كل النطاق الزمني محل الدراسة. وبالطبع فإن إجراء هذه الحسابات قد يستحيل يدوياً، إلا أن برمجته على الحاسب الآلي ستناسب العمليات الحسابية التكرارية (الزعراني، ٢٠٠٠).

كذلك تتم تجزئة كل طبقة من طبقات قطاع الحائط إلى سلسلة شرائح صغيرة السمك يعامل كل منها على أنه عنصر حراري مستقل تتغير درجات الحرارة داخله خطياً، حيث تنتقل الحرارة باستمرار من شريحة إلى أخرى. ويتم حساب كمية الحرارة التي تكتسبها كل شريحة من الشريحة السابقة، وكذلك كمية الحرارة التي تفقدها الشريحة للشريحة التالية، وذلك خلال الفترة الزمنية القصيرة المحددة، لاستنتاج كمية الطاقة الكلية التي اكتسبتها الشريحة خلال هذه الفترة، وبالتالي حساب التغير الذي طرأ على درجة حرارتها. وبالطبع فإنه كلما كان سمك هذه الشرائح أقل وكلما قلت الفترة الزمنية التي يتم حساب معدل انتقال الحرارة خلالها كلما زادت دقة النتائج. ويتم تقسيم الشرائح بناءً على مجموعة من الافتراضات (الزعراني، ٢٠٠٠):

١. درجة حرارة الشريحة تمثل بدرجة حرارة نقطة فيها تسمى "العقدة Node".
٢. عقدة الشرائح الداخلية تقع في منتصفها، وعقدة الشرائح السطحية تقع على سطحها الخارجي.
٣. تدرج الحرارة بين كل عقدتين يكون خطياً.
٤. المقولة الحرارية بين كل عقدتين هي مجموع مقاومة المواد التي تشغل المسافة بين العقدتين.
٥. يتم تقسيم كل طبقة من طبقات الحائط إلى مجموعة من الشرائح الداخلية وشرائح سطحيين، بحيث يكون سمك الطبقة السطحية نصف سمك الطبقة الداخلية.



شكل رقم (٢): تقسيم قطاع كل طبقة إلى مجموعة من الشرائح صغيرة السمك.

١-٥. استنتاج معدل التغير في درجة الحرارة خلال الزمن

تنتقل الحرارة بين هواء الغرفة والغلاف الخارجي عن طريق الحمل Convection، وتنتقل بين طبقات الغلاف عن طريق التوصيل Conduction. ولاختيار سمك مناسب للشرائح في طبقات القطاع تتناسب مع الفترة الزمنية الصغيرة التي يتم خلالها حساب معدل انتقال الحرارة، فإن هناك علاقة تربط بينهما

تعتمد على كثافة المادة والسعة الحرارية لها ومعامل التوصيل الحراري والارتفاع، حيث يجب ألا تزيد الفترة الزمنية عن قيمة معينة بناءً على تلك المعطيات للخروج بنتائج صحيحة يمكن الاعتماد عليها. وتحدد هذه العلاقة من خلال المعادلة التالية (Lienhard, 2011):

$$T \leq \frac{\Delta x^2 * \rho * Cp}{2K * \left(\frac{\Delta x * h}{K} + 1\right)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث: T : التقسيمة الزمنية (Sec).
 Δx : سمك الشريحة (m).
 ρ : كثافة المادة (Kg/m^3).
 Cp : السعة الحرارية ($J/Kg.C^\circ$).
 K : معامل التوصيل الحراري ($W/m.C^\circ$).
 h : ارتفاع الشريحة (m).

وإذا ما تم حساب كمية الحرارة الكلية التي تكتسبها الشريحة خلال فترة زمنية محددة، يمكن حساب الاختلاف الذي طرأ على درجة حرارتها من خلال كتلة الشريحة والسعة الحرارية لمادتها. وبمعنى آخر فإنه يمكن معرفة التغير في درجة حرارة الشريحة خلال فترة زمنية من خلال كمية الحرارة التي اكتسبتها كتلة الشريحة خلال نفس الفترة. ويمكن معرفة كتلة الشريحة بمعلومية حجمها وكثافة مادتها من خلال المعادلة الآتية:

$$m = V * \rho \quad \dots \dots \dots (2)$$

حيث: m : كتلة المادة (Kg).
 V : حجم المادة (m^3).

ويتحدد الفرق في درجة حرارة الشريحة خلال فترة زمنية من خلال المعادلة الآتية (Kandil, 1995):

$$\Delta t_m^{n,n-1} = \frac{T * A * (Q_1 - Q_2)}{\rho * Cp * V} \quad \dots \dots \dots (3)$$

حيث: $\Delta t_m^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة m في اللحظة n عن اللحظة السابقة (C°).
 A : مساحة سطح الشريحة (m^2).
 Q_1 : كمية الحرارة التي تكتسبها الشريحة (J).
 Q_2 : كمية الحرارة التي تفقدها الشريحة (J).

وتحسب كمية الحرارة الكلية التي تنتقل بالتوصيل في زمن معين خلال مساحة الحائط من خلال المعادلة الآتية (Szokolay, 2008):

$$Q_{cond.} = \frac{T * K * A * \Delta t}{\Delta x} \quad \dots \dots \dots (4)$$

حيث: $Q_{cond.}$: كمية الحرارة الكلية بالتوصيل خلال زمن محدد (J).

أما كمية الحرارة الكلية التي تنتقل في زمن معين خلال مساحة الحائط عن طريق الحمل فتحسب من خلال المعادلة الآتية (Szokolay, 2008):

$$Q_{conv.} = T * A * h_c * \Delta t \quad \dots \dots \dots (5)$$

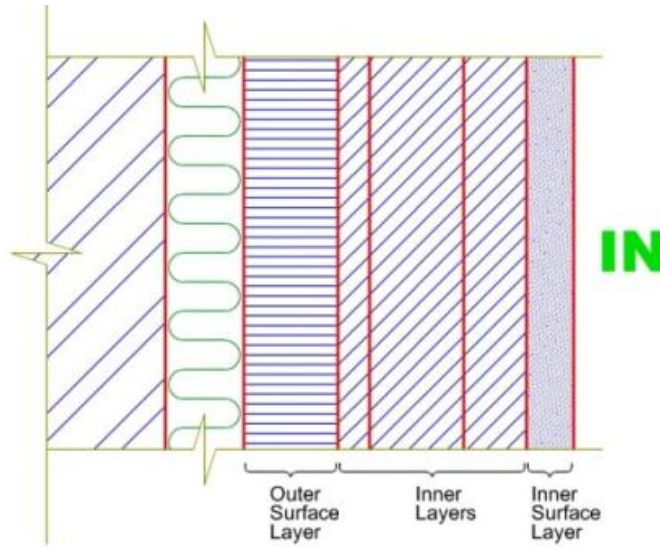
حيث: $Q_{conv.}$: كمية الحرارة الكلية بالحمل خلال زمن محدد (J).
 h_c : معامل التوصيل بالحمل ($W/m^2.C^\circ$).

٢-٥. انتقال الحرارة خلال قطاعات الحوائط التقليدية

تتكون قطاعات الحوائط التقليدية من مجموعة من الطبقات الصلبة قبل الطبقة العازلة للحرارة، وهي الطبقات التي سيتم التبادل الحراري بينها وبين هواء الغرفة، والتي يتم تقسيم كل منها إلى شرائح صغيرة السمك. وتخضع عملية التقسيم إلى عدد من الضوابط قبل البدء في الحسابات هي (الزعفراني، ٢٠٠٠):

١. يتم ترتيب طبقات القطاع وكذلك شرائح كل قطاع على حدة من الداخل إلى الخارج، شكل رقم (٣).
٢. ليس بالضرورة أن يكون سمك الشرائح متساوي لجميع الطبقات.

٣. يجب أن تكون التقسيمات الزمنية التي يتم خلالها حساب الحرارة المنتقلة متساوية لجميع الشرائح.
٤. مراعاة أن سمك الشرائح السطحية نصف سمك الشرائح الداخلية.
٥. مراعاة العلاقة بين سمك الشرائح وارتفاعها وخواص موادها وبين التقسيمات الزمنية التي يتم حساب كميات الحرارة على أساسها.
٦. تتم حسابات كل طبقة من طبقات الحائط على حدة حتى الانتهاء من شرائح الطبقة ثم الانتقال إلى الطبقة التالية.
- وعلى أساس هذه القواعد، وبناءً على معادلات انتقال الحرارة السابقة يمكن حساب تغير درجة الحرارة في كل من هواء الغرفة وشرائح كل كل طبقة من طبقات قطاع الحائط من خلال عدد من المعادلات المختلفة التي تتوقف على ترتيب طبقات القطاع، وترتيب الشرائح داخل كل طبقة، وطبيعة الطبقات والشرائح الملامسة لكل منها ويمكن تقسيم طبقات كل قطاع من حيث الترتيب إلى ثلاثة أنواع كما بالشكل رقم (٣) هي:
١. الطبقة السطحية الداخلية Inner Surface Layer التي تكون على اتصال مباشر بهواء الغرفة وتتبادل الحرارة معه.
 ٢. الطبقات الداخلية Inner Layers وهي كل طبقات القطاع قبل الطبقة العازلة للحرارة عدا الطبقة السطحية الداخلية، والطبقة السطحية النهائية التي تلامس الطبقة العازلة للحرارة.
 ٣. الطبقة السطحية النهائية Outer Surface Layer وهي الطبقة الملامسة للطبقة العازلة للحرارة، وتتبادل هذه الطبقة الحرارة مع آخر الطبقات الداخلية، ويتم تجاهل كميات الحرارة الصغيرة المنتقلة بينها وبين الطبقة العازلة للحرارة.
- وبذلك يمكن حساب السلوك الحراري لشرائح طبقات قطاعات الحوائط التقليدية حسب اتجاه انتقال الحرارة سواءً من الفراغ إلى الحائط أو العكس.



شكل رقم (٣): تقسيم طبقات القطاع إلى ثلاثة أنواع حسب ترتيبها من الداخل إلى الخارج.

وفيما يلي سيتم استعراض للمعادلات التي تم استنتاجها واستنباطها في البحث عن طريق ربط المعادلات السابقة ببعضها في إطار الضوابط العامة والشروط التي تم مراعاتها. وقد تم التعبير عن ترتيب الطبقة بالرمز (z)، وتم التعبير عن ترتيب الشريحة داخل الطبقة بالرمز (m)، وتم التعبير عن الشريحة البينية Intermediate Strip بالرمز (i) وتم التعبير عن اللحظة الزمنية بالرمز (n)، وتم التعبير عن عدد الطبقات أو الشرائح بالرمز (ns).

وبذلك نحصل على خمسة معادلات مختلفة لانتقال الحرارة من هواء الغرفة إلى الحائط أو العكس وهي:

أولاً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الغرفة خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{room}^{n,n-1} = \frac{T_t * hc_{air(h)} * \Delta t_{room,m_z=1}^{n-1} * A_f}{\rho_{air} * Cp_{air} * V_{room}} \dots \dots \dots (6)$$

- حيث: $\Delta t_{room}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الغرفة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 T_t : التقسيمة الزمنية للحائط التقليدي (sec.).
 $hc_{air(h)}$: معامل التوصيل الحراري بالحمل أفقياً للهواء (W/m².C°).
 $\Delta t_{room,m_z=1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الفراغ وأول شريحة (C°).
 A_f : المساحة الصافية للحائط الخارجي (m²).
 ρ_{air} : كثافة الهواء (Kg/m³).
 Cp_{air} : السعة الحرارية للهواء (J/Kg.C°).
 V_{room} : حجم الفراغ الداخلي (m³).

ثانياً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشريحة الأولى بالطبقة السطحية الداخلية خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{m_z}^{n,n-1} = 2T_t * \left(\frac{hc_{air(h)} * \Delta t_{m_z,room}^{n-1}}{\rho_z * Cp_z * \Delta x_z} - \frac{K_z * \Delta t_{m_z,m_z+1}^{n-1}}{\rho_z * Cp_z * \Delta x_z^2} \right) \dots \dots \dots (7)$$

- حيث: $\Delta t_{m_z}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 $\Delta t_{m_z,room}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الغرفة والشريحة الأولى (C°).
 ρ_z : كثافة مادة الطبقة السطحية الداخلية (Kg/m³).
 Cp_z : السعة الحرارية لمادة الطبقة السطحية الداخلية (J/Kg.C°).
 Δx_z : سمك الشريحة بالطبقة السطحية الداخلية (m).
 K_z : معامل توصيل مادة الطبقة السطحية الداخلية (W/m².C°).
 $\Delta t_{m_z,m_z+1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة الأولى والثانية (C°).

ثالثاً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشرائح الداخلية بأى طبقة خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{m_z}^{n,n-1} = \frac{T_t * K_z * (\Delta t_{m_z,m_z-1}^{n-1} - \Delta t_{m_z,m_z+1}^{n-1})}{\rho_z * Cp_z * \Delta x_z^2} \dots \dots \dots (8)$$

- حيث: $\Delta t_{m_z}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 $\Delta t_{m_z,m_z-1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة السابقة (C°).
 $\Delta t_{m_z,m_z+1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة التالية (C°).

رابعاً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشريحة البيئية خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{m_i}^{n,n-1} = \frac{2T_t * \left(\frac{K_{z-1} * \Delta t_{m_i,m_z-1}^{n-1}}{\Delta x_{z-1}} - \frac{K_{z+1} * \Delta t_{m_i,m_z+1}^{n-1}}{\Delta x_{z+1}} \right)}{\rho_{z-1} * Cp_{z-1} * \Delta x_{z-1} + \rho_{z+1} * Cp_{z+1} * \Delta x_{z+1}} \dots \dots \dots (9)$$

- حيث: $\Delta t_{m_i}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 K_{z-1} : معامل التوصيل الحراري لمادة الطبقة الأولى (W/m².C°).
 $\Delta t_{m_i,m_z-1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة السابقة (C°).
 Δx_{z-1} : سمك الشريحة بالطبقة الأولى (m).
 K_{z+1} : معامل التوصيل الحراري لمادة الطبقة الثانية (W/m².C°).
 $\Delta t_{m_i,m_z+1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة التالية (C°).
 Δx_{z+1} : سمك الشريحة بالطبقة الثانية (m).
 ρ_{z-1} : كثافة مادة الطبقة الأولى (Kg/m³).
 Cp_{z-1} : السعة الحرارية لمادة الطبقة الأولى (J/Kg.C°).
 Δx_{z-1} : سمك الشريحة بالطبقة الأولى (m).
 ρ_{z+1} : كثافة مادة الطبقة الثانية (Kg/m³).
 Cp_{z+1} : السعة الحرارية لمادة الطبقة الثانية (J/Kg.C°).
 Δx_{z+1} : سمك الشريحة بالطبقة الثانية (m).

خامساً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشريحة الأخيرة بالطبقة الأخيرة الخارجية خلال التقسيمة الزمنية.

$$\Delta t_{m_z}^{n,n-1} = \frac{2T_t * K_z * \Delta t_{m_z, m_z-1}^{n-1}}{\rho_z * C_{p_z} * \Delta x_z^2} \dots \text{if } m_z = ns_z \dots \dots \dots (10)$$

حيث: $\Delta t_{m_z}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 $\Delta t_{m_z, m_z-1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة السابقة (C°).

٣-٥. انتقال الحرارة خلال قطاعات الحائط المقترح

لا تختلف ميكانيكية انتقال الحرارة كثيراً في قطاع الغلاف المقترح عنها في القطاعات التقليدية، فبالرغم من دخول عوامل عديدة مختلفة، مثل وجود مواع كالماء والهواء في تركيب طبقات الحائط المقترح، وتغير تركيب ومكونات طبقات الحائط في حالة انتقال الحرارة من هواء الغرفة إلى الحائط والعكس حيث تتحول طبقة الماء في الحالة الأولى إلى طبقة هواء في الحالة الثانية، إلا أن وجود مائع ضمن طبقات الحائط لا يؤثر على طريقة وميكانيكية انتقال الحرارة كما تم التوضيح سابقاً. ولعل الاختلاف الأساسي بين الحالتين هو دخول مساحة الحوائط الداخلية والسقف كعامل أساسي في الحسابات. وعلى هذا الأساس فإن حسابات استنتاج السلوك الحراري في حالة القطاع المقترح ستكون بالشكل الآتي، مع اعتماد نفس الرموز السابقة.

وفي حالة الغلاف المقترح فإن طبقاته أكثر وضوحاً. حيث يتكون الغلاف من ثلاث طبقات داخلية معروفة قبل الطبقة العازلة للحرارة. وهي بالترتيب من الداخل إلى الخارج طبقة من المعدن، ثم طبقة من السائل أو الغاز طبقاً لحالة انتقال الحرارة من هواء الغرفة إلى الحائط أو العكس، ثم طبقة أخرى من المعدن تمثل الجدار الآخر للخزان.

وسيمت التعامل مع هذه الطبقات الثلاث بنفس الطريقة التي تم بها التعامل مع طبقات الأغلفة التقليدية من حيث تقسيم هذه الطبقات إلى شرائح صغيرة السمك، وكذلك تقسيم الزمن إلى فترات زمنية قصيرة جداً يفترض فيها أن انتقال الحرارة يتم بشكل خطي. وقد تم اختيار الألومنيوم كمعدن أساسي للخزان في الحسابات الخاصة بالبحث، لما يتمتع به المعدن من خواص تناسب الدور المنوط به في الغلاف، بالإضافة لانخفاض تكلفته نسبياً وخفة وزنه مقارنةً بمعدن أخرى، مع إمكانية تغيير المعدن وخواصه في الحسابات المستقبلية. كما تم اختيار الماء كسائل أساسي في الحسابات الخاصة بالبحث، نظراً لتمتعه بخواص تناسب دوره في الغلاف، بالإضافة إلى توفره وانخفاض تكلفته. وكذلك تم اختيار الهواء كغاز في تركيب الغلاف.

أولاً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الغرفة خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{room}^{n,n-1} = \left(\frac{T_e * \Delta t_{room,alf=1}^{n-1}}{\rho_{air} * C_{p_{air}} * V_{room}} \right) * \{ [hc_{air(h)} * (A_f + A_s + A_b)] + hc_{air(v)} * A_r \} (11)$$

حيث: $\Delta t_{room}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الغرفة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 T_e : التقسيمة الزمنية للقطاع المقترح (sec).
 $\Delta t_{room,alf=1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الفراغ وأول شريحة (C°).
 ρ_{air} : كثافة الهواء (Kg/m³).
 $C_{p_{air}}$: السعة الحرارية للهواء (J/Kg.C°).
 V_{room} : حجم الفراغ (m³).
 A_s : المساحة الصافية للحوائط الجانبية (m²).
 A_b : المساحة الصافية للحائط الخلفي (m²).
 $hc_{air(v)}$: معامل التوصيل الحراري بالحمل رأسياً للهواء (W/m².C°).
 A_r : المساحة الصافية لسقف الغرفة (m²).

ثانياً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشريحة الأولى بطبقة المعدن الداخلية خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{alf}^{n,n-1} = 2T_e * \left(\frac{\Delta t_{room,alf=1}^{n-1}}{\rho_{al} * Cp_{al} * V_{al}} \right) * \{ [hc_{air(h)} * (A_f + A_s + A_b)] + hc_{air(v)} * A_r \} - \left(\frac{K_{al} * \Delta t_{alf,alf+1}^{n-1}}{\rho_{al} * Cp_{al} * \Delta x_{al}^2} \right) \dots \dots \dots (12)$$

- حيث: $\Delta t_{alf}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة الأولى في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 $\Delta t_{room,alf=1}^{n-1}$: فرق درجة الحرارة بين هواء الغرفة والشريحة الأولى في اللحظة n-1 (C°).
 ρ_{al} : كثافة المعدن (Kg/m3).
 Cp_{al} : السعة الحرارية للمعدن (J/Kg.C°).
 V_{al} : حجم الشريحة بطبقة المعدن (m3).
 K_{al} : معامل التوصيل الحراري لمادة المعدن (W/m2.C°).
 $\Delta t_{alf,alf+1}^{n-1}$: فرق درجة الحرارة بين الشريحة الأولى والشريحة التالية في اللحظة n-1 (C°).

ثالثاً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشرائح الداخلية بأى طبقة خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{mz}^{n,n-1} = \frac{T_e * K_z * (\Delta t_{mz,mz-1}^{n-1} - \Delta t_{mz,mz+1}^{n-1})}{\rho_z * Cp_z * \Delta x_z^2} \dots \dots \dots (13)$$

- حيث: $\Delta t_{mz}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 K_z : معامل التوصيل الحراري لمادة الشريحة (W/m².C°).
 $\Delta t_{mz,mz-1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة السابقة (C°).
 $\Delta t_{mz,mz+1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة التالية (C°).
 ρ_z : كثافة مادة الشريحة (Kg/m³).
 Cp_z : السعة الحرارية لمادة الشريحة (J/Kg.C°).
 Δx_z : سمك الشريحة (m).

رابعاً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشريحة البينية خلال التقسيمة الزمنية:

$$\Delta t_{mi}^{n,n-1} = \frac{2T_e * \left(\frac{K_{z-1} * \Delta t_{mi,mz-1}^{n-1}}{\Delta x_{z-1}} - \frac{K_{z+1} * \Delta t_{mi,mz+1}^{n-1}}{\Delta x_{z+1}} \right)}{\rho_{z-1} * Cp_{z-1} * \Delta x_{z-1} + \rho_{z+1} * Cp_{z+1} * \Delta x_{z+1}} \dots \dots \dots (14)$$

- حيث: $\Delta t_{mi}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 K_{z-1} : معامل التوصيل الحراري لمادة الطبقة الأولى (W/m².C°).
 $\Delta t_{mi,mz-1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة السابقة (C°).
 Δx_{z-1} : سمك الشريحة بالطبقة الأولى (m).
 K_{z+1} : معامل التوصيل الحراري لمادة الطبقة الثانية (W/m².C°).
 $\Delta t_{mi,mz+1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة التالية (C°).
 Δx_{z+1} : سمك الشريحة بالطبقة الثانية (m).
 ρ_{z-1} : كثافة مادة الطبقة الأولى (Kg/m³).
 Cp_{z-1} : السعة الحرارية لمادة الطبقة الأولى (J/Kg.C°).
 Δx_{z-1} : سمك الشريحة بالطبقة الأولى (m).
 ρ_{z+1} : كثافة مادة الطبقة الثانية (Kg/m³).
 Cp_{z+1} : السعة الحرارية لمادة الطبقة الثانية (J/Kg.C°).
 Δx_{z+1} : سمك الشريحة بالطبقة الثانية (m).

خامساً: معادلة حساب الفرق في درجة حرارة الشريحة الأخيرة بالطبقة الأخيرة الخارجية خلال التقسيمة الزمنية.

$$\Delta t_{alb}^{n,n-1} = \frac{2T_e * K_{al} * \Delta t_{alb,alb-1}^{n-1}}{\rho_{al} * C_{pal} * \Delta x_{al}^2} \dots \dots \dots (15)$$

حيث: $\Delta t_{alb}^{n,n-1}$: فرق درجة حرارة الشريحة في اللحظة n عن اللحظة n-1 (C°).
 $\Delta t_{alb,alb-1}^{n-1}$: الفرق السابق لدرجة الحرارة بين الشريحة والشريحة السابقة (C°).

٦. تصميم برنامج EWA

في إطار محاولة التوصل إلى وسيلة عملية لتقييم الأداء الحراري للغلاف الخارجي المطروح فقد تم تصميم برنامج رقمي باسم EWA (Exothermic Wall Assessment) على الحاسب الآلي باستخدام برنامج Visual Basic تكون مهمته إجراء العمليات الحسابية المتكررة والمعقدة بسرعة ودقة. وقد تم تزويد البرنامج بقاعدة بيانات تحتوي العديد من الخواص الحرارية التي تحتاجها المعادلات لعدد كبير من المواد المستخدمة في البناء. مع إمكانية دائمة لإضافة أي بيانات أو قيم جديدة لا تتضمنها قاعدة البيانات الملحقة بالبرنامج، كما يمكن التعديل في أي قيمة من قيم قاعدة البيانات الحالية بناءً على رغبة المستخدم. وقد تم تصميم البرنامج ليقوم بحل معادلات انتقال الحرارة السابقة بكل حالاتها الممكنة، بحيث يتمكن البرنامج من تقييم الأداء الحراري لقطاع الغلاف الخارجي المقترح مع أي قطاع تقليدي آخر. مع إمكانية التغيير في الخامات والأبعاد المختلفة لكل طبقة من طبقات القطاع سواء في حالة القطاع المقترح أو في حالة القطاع التقليدي. كما يتمكن البرنامج من التعامل مع أي فراغ مستطيل بأي أبعاد مطلوبة، مع إمكانية تحويل البرنامج من حالة الفراغ الذي يطل بواجهة واحدة على الحائط الخارجي إلى حالة الفراغ الذي يطل على الفراغ الخارجي بوجهتين. ويوضح شكل رقم (٤) الواجهة الرئيسية لبرنامج EWA وهي نافذة إدخال البيانات المختلفة للبرنامج.

The screenshot shows the EWA software interface with the following sections:

- Room data:**
 - One or two façade: One façade, Two façade
 - Heat transfer direction: From air to wall, From wall to air
 - Temp. diff. between the air and the wall (C°): 20
 - Width W (m): 4, Length L (m): 3, Height H (m): 3
 - Volume V (m³): 36, Façade area Af (m²): 8.1, Back area Ab (m²): 31, Roof area Ar (m²): 12
 - Windows area Aw (m²): 0.9, Doors area Ad (m²): 2
- Air data:**
 - Density (kg/m³): 1.15
 - Conductivity K (w/m.C): 0.25
 - Specific heat Cp (J/kg.C): 1063
 - Hor. convection coeff.: 3
 - Ver. convection coeff.: 4.3
- Traditional wall data:**
 - Traditional wall data: Traditional wall data, Exothermic wall data
 - Layers table:

Layers No.	Layer name	Thickness X (m)	Conductivity K (w/m.C)	Specific heat Cp (J/kg.C)	Density (kg/m³)	No. of Segments	Temperature step T (C)	Delta X (m)
2		0	0	0	0	0		
	Cement cov	0.02	0.38	1000	1200	5	37.9747	.005
	Adobe block	0.12	1.25	1000	2050	13	80.0781	.01
							37.9747	

شكل رقم (٤): الواجهة الرئيسية، واجهة إدخال البيانات لبرنامج EWA الذي تم تصميمه بواسطة برنامج Visual Basic لتقييم الأداء الحراري لقطاع الغلاف الخارجي المقترح.

▪ وظيفة برنامج EWA

يقوم برنامج EWA بتقييم الأداء الحراري لقطاع الغلاف الخارجي المقترح عن طريق مقارنته بأي غلاف تقليدي آخر، وذلك عن طريق افتراض وجود فرق في درجات الحرارة بين هواء الغرفة والطبقات

الداخلية للغلاف الخارجي قبل طبقة العزل، حيث يتم افتراض أن درجة حرارة الفراغ أعلى من درجة حرارة الحائط بمقدار معين وليكن ٢٠ درجة مئوية كأعلى مدى حراري يومي مسجل بالمنطقة محل الدراسة، ثم يتم دراسة السلوك الحراري للحائط والفراغ حتى يحدث اتزان حراري. حيث يقوم بحساب كمية الحرارة التي تنتقل من وإلى كل شريحة رأسية في كل طبقة من طبقات الغلاف، بالتالي حساب الفرق الذي تحدثه في درجة حرارة الشرائح والفراغ، وذلك خلال فترة زمنية قصيرة (التقسيمية الزمنية) قد تصل في بعض الأحيان إلى ٠,٠٠٥ ثانية. ويتم تكرار هذه الحسابات على كل الشرائح كل تقسيمية زمنية حتى الوصول إلى حالة الاتزان (راجع معادلات انتقال الحرارة خلال قطاعات الحوائط). حيث تنتقل خلال كل تقسيمية زمنية كمية جديدة من الحرارة من الوسط الأعلى إلى الوسط الأقل في درجة الحرارة حتى يحدث الاتزان وتتساوى درجات الحرارة. ويقوم البرنامج بعد ذلك بتحديد ثلاث قيم هامة عند حدوث الاتزان هي:

١. زمن الوصول إلى حالة الاتزان.
 ٢. مقدار التغير في درجة حرارة الفراغ.
 ٣. مقدار التغير في درجة حرارة الحائط.
- وطبقاً لفرضيات البحث، فإنه من المتوقع أثناء ساعات النهار (حيث تكون درجة حرارة الفراغ أعلى من درجة حرارة الحائط) الحصول على النتائج التالية:

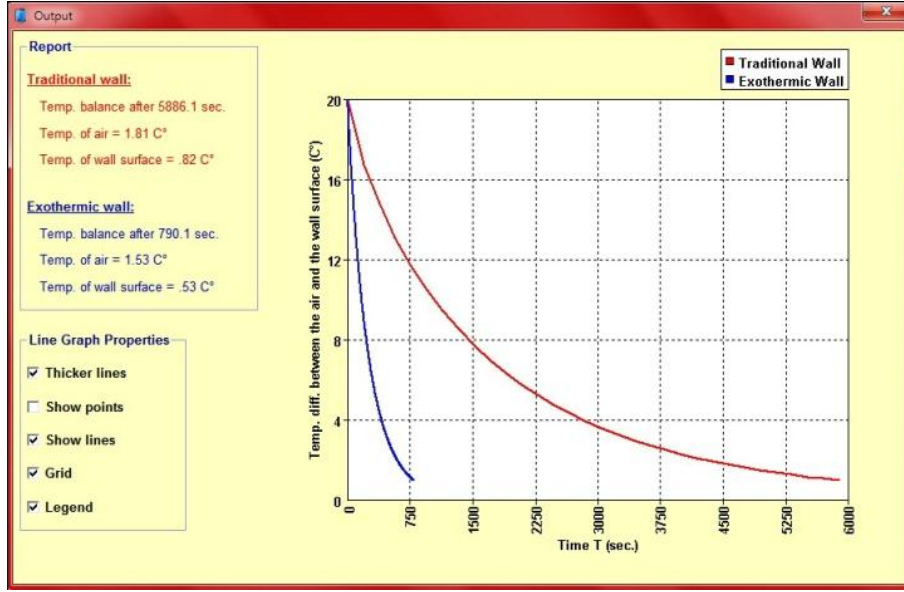
١. أن يحدث الاتزان في حالة قطاع الغلاف الخارجي المقترح في زمن أقل من قطاعات الحوائط التقليدية المعزولة.
٢. أن يكون مقدراً التغير في درجة حرارة الفراغ في حالة قطاع الغلاف الخارجي المقترح أعلى منه في حالة الحوائط التقليدية المعزولة، وإن كان من المتوقع ألا يكون هذا الفرق كبيراً نظراً لصغر قيمة السعة الحرارية للهواء مقارنةً بمواد البناء، والتي تجعل أقل مقدار من الحرارة يفقده الفراغ يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الفراغ بشكل كبير.
٣. أن يكون مقدار التغير في درجة حرارة الحائط في حالة الغلاف الخارجي المقترح أقل منه في حالة الحوائط التقليدية المعزولة، نظراً لكبير قيمة السعة الحرارية لمواد الغلاف الخارجي المقترح أثناء ساعات النهار، حيث يشكل الماء الجزء الرئيسي من مكونات الطبقات الداخلية لقطاع الغلاف المقترح أثناء ساعات النهار. وإن كان أيضاً من المتوقع ألا يكون هذا الفرق كبيراً لنفس السبب السابق.

أما أثناء ساعات الليل (حيث تكون درجة حرارة الحائط أعلى من درجة حرارة الفراغ) فإنه من المتوقع الحصول على النتائج التالية:

١. أن يحدث الاتزان في حالة قطاع الغلاف الخارجي المقترح في زمن أقل من قطاعات الحوائط التقليدية المعزولة.
٢. أن يكون مقدراً التغير في درجة حرارة الفراغ في حالة قطاع الغلاف الخارجي المقترح أقل بكثير منه في حالة الحوائط التقليدية المعزولة، نظراً لانخفاض قيمة السعة الحرارية لمواد الغلاف الخارجي للقطاع المقترح عن قيمتها لمواد قطاعات الأغلفة التقليدية أثناء ساعات الليل، حيث يشكل الهواء الجزء الرئيسي من مكونات الطبقات الداخلية لقطاع الغلاف المقترح أثناء ساعات الليل.
٣. أن يكون مقدار التغير في درجة حرارة الحائط في حالة الغلاف الخارجي المقترح أعلى منه بكثير في حالة الحوائط التقليدية المعزولة، نظراً لصغر قيمة السعة الحرارية لمواد الغلاف الخارجي المقترح أثناء ساعات الليل، حيث يشكل الهواء الجزء الرئيسي من مكونات الطبقات الداخلية لقطاع الغلاف المقترح أثناء ساعات الليل.

■ واجهة إظهار النتائج لبرنامج EWA

تتقسم واجهة إظهار النتائج لبرنامج EWA إلى ثلاثة أقسام، شكل رقم (٥):



شكل رقم (٥): واجهة إظهار النتائج لبرنامج EWA.

١. **قسم منحنى تغير فرق درجات الحرارة مع الزمن:** وهو المنحنى الذي يعبر عن تغير فرق درجات الحرارة بين هواء الفراغ الداخلي وبين السطح الداخلي للحائط الخارجي. هذا الفرق الذي يبدأ بعشرين درجة مئوية عند بداية الحسابات، كأقصى مدى حراري يومي مسجل بالإقليم الحار الجاف، ثم يبدأ في التناقص نتيجة التبادل الحراري بين هواء الفراغ الداخلي وبين الحائط الخارجي حتى يصل إلى حالة الاتزان التقريبي والتي تم اعتبارها على أساس الوصول إلى فرق في درجات الحرارة يساوي ما قيمته ٠,٠٥ من فارق درجات الحرارة عند البداية. ويظهر بهذا القسم منحنين، المنحنى الأحمر يعبر عن تغير فرق درجات الحرارة مع الزمن للحائط التقليدي، والمنحنى الأزرق يعبر عن تغير فرق درجات الحرارة مع الزمن للحائط المقترح. حيث يشير المحور الرأسي إلى الفرق في درجات الحرارة بين هواء الغرفة وبين السطح الداخلي للحائط الخارجي، ويشير المحور الأفقي إلى الزمن.

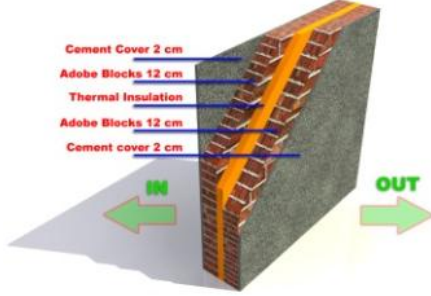
٢. **قسم التقرير المختصر:** هذا القسم يقدم تقريراً مختصراً لثلاث قيم هامة لكل من الحائط التقليدي والحائط المقترح هي:

- زمن الوصول لحالة الاتزان.
 - الاختلاف في درجة حرارة هواء الفراغ الداخلي عند الوصول لحالة الاتزان.
 - الاختلاف في درجة حرارة السطح الداخلي للحائط الخارجي عند الوصول لحالة الاتزان.
- هذه القيم الثلاث تعد مؤشراً هاماً في الأقاليم الحارة الجافة على مدى كفاءة الغلاف الخارجي في امتصاص الحرارة الداخلية في حالة انتقال الحرارة من الفراغ إلى الحائط، وهو ما يحدث عادةً خلال ساعات النهار. كما يعد مؤشراً هاماً على كفاءة الغلاف الخارجي في عدم نقل الحرارة إلى داخل الفراغ في حالة انتقال الحرارة من الغلاف إلى الفراغ الداخلي، وهو ما يحدث عادةً خلال ساعات الليل. هذه القيم تم الاعتماد عليها في البحث في إظهار نتائج المقارنات بين كفاءة الغلاف الخارجي المقترح وبين كفاءة الأغلفة التقليدية.

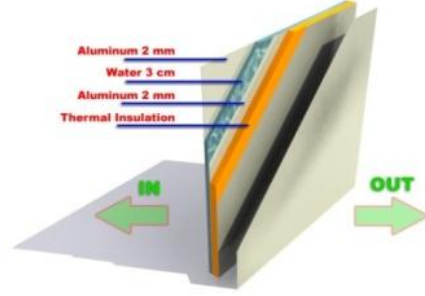
٣. **قسم خواص المنحنى:** وهو قسم يختص بطريقة إظهار منحنى تغير فرق درجات الحرارة مع الزمن، حيث يتم التحكم في سمك خطوط المنحنى، وإظهار أو إخفاء نقاط القياس على المنحنى، وإظهار أو إخفاء شبكة المحاور الثانوية الخلفية، وإظهار أو إخفاء مفتاح رموز المنحنى.

٧. مقارنة السلوك الحراري للحائط المقترح بالسلوك الحراري للحوائط التقليدية

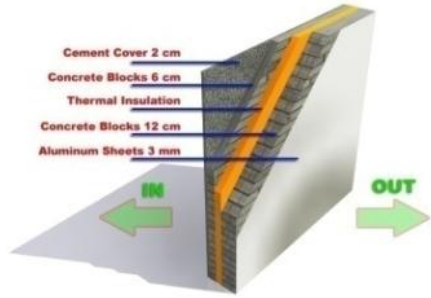
في هذا الجزء سيتم المقارنة بين الأداء الحراري لأربعة قطاعات مختلفة للغلاف المقترح، وبين أربعة قطاعات مختلفة لأغلفة تقليدية. تختلف قطاعات الغلاف المقترح من حيث سمك طبقة الماء أو الهواء الداخلية. سيتغير سمك هذه الطبقة بين 3 cm و 6 cm بزيادة قدرها 1 cm في كل مرة، شكل رقم (٦).



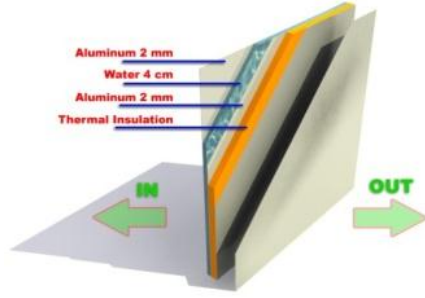
نموذج قطاع الغلاف التقليدي رقم (١).



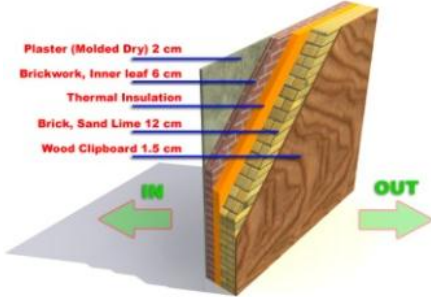
نموذج قطاع الغلاف المقترح رقم (١).



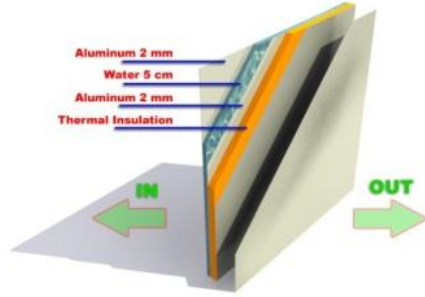
نموذج قطاع الغلاف التقليدي رقم (٢).



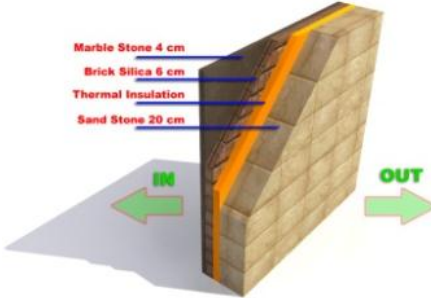
نموذج قطاع الغلاف المقترح رقم (٢).



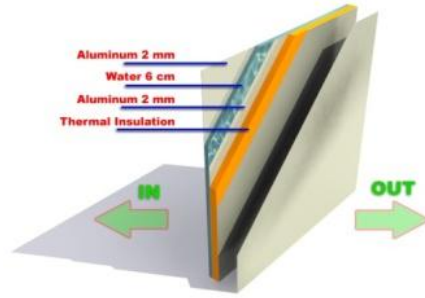
نموذج قطاع الغلاف التقليدي رقم (٣).



نموذج قطاع الغلاف المقترح رقم (٣).



نموذج قطاع الغلاف التقليدي رقم (٤).

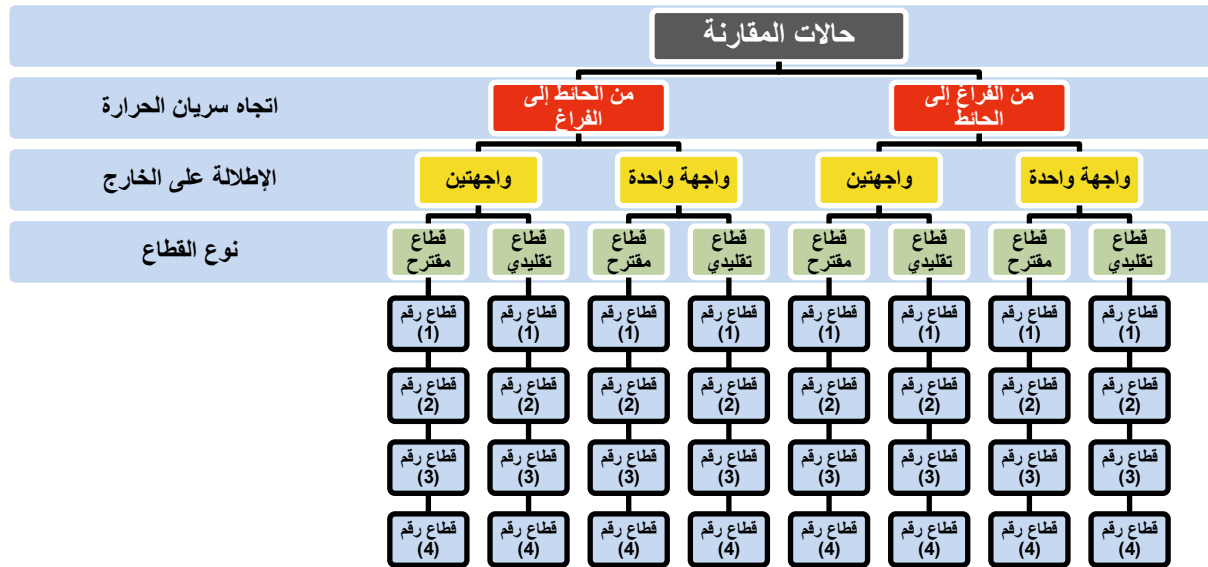


نموذج قطاع الغلاف المقترح رقم (٤).

شكل رقم (٦): النماذج المقترحة لقطاعات الغلاف المقترح والأغلفة التقليدية والتي سيتم مقارنتها باستخدام برنامج EWA.

■ تقسيم حالات المقارنة

يمكن توضيح تقسيم الحالات الدراسية التي سيتم مقارنتها والتي تم افتراضها من خلال الشكل التوضيحي رقم (٧). مع الأخذ في الاعتبار أن برنامج EWA قد تم تصميمه لتنفيذ أي حالة مقارنة خارج الحالات الدراسية المعروضة في البحث.



شكل رقم (٧): تقسيم حالات المقارنة بين قطاعات الغلاف المقترح وقطاعات الأغلفة التقليدية.

■ القيم الافتراضية التي سيتم تزويد برنامج EWA بها.

في إطار تثبيت نفس الظروف التي يتعرض لها كلا القطاعين موضع المقارنة، فقد تم افتراض وتثبيت بعض القيم بغرض الخروج بنتائج واقعية ومحايدة. يمكن تحديد هذه القيم من خلال الجدول رقم (١)، (Szokolay, 2008).

جدول رقم (١): القيم الافتراضية التي سيتم استخدامها في المقارنات.

4 m	طول الفراغ الداخلي	قيم خاصة بالفراغ الداخلي
3 m	عرض الفراغ الداخلي	
3 m	ارتفاع الفراغ الداخلي	
من مساحة الحائط الخارجي 10 %	مساحة النافذة / النوافذ	
2 m²	مساحة الباب	قيم خاصة بالخواص الفيزيائية للهواء
1.15 kg/m³	كثافة الهواء	
°0.025 w/m.C	معامل التوصيل الحراري للهواء	
°1063 J/kg.C	السعة الحرارية للهواء	
3	معامل التوصيل الحراري بالحمل للهواء أفقياً	قيم خاصة بقطاع الحائط المقترح
4.3	معامل التوصيل الحراري بالحمل للهواء رأسياً	
الألومنيوم	مادة صنع الخزان الداخلي	
الماء	الوسائل المستخدم	
0.002 m	سمك مادة الخزان	قيم خاصة بقطاع الحائط المقترح
°236 w/m.C	معامل توصيل الألومنيوم	
°877 J/kg.C	السعة الحرارية للألومنيوم	
2700 kg/m³	كثافة الألومنيوم	
°0.58 w/m.C	معامل توصيل الماء	
°4187 J/kg.C	السعة الحرارية للماء	
1000 kg/m³	كثافة الماء	

وفيما يلي عرض لنتائج المقارنات التي تمت بواسطة برنامج EWA على نماذج القطاعات المختارة، حيث تم عرض كل عملية مقارنة في جدول منفصل يحتوي على البيانات الأساسية والنتائج لكل لعملية المقارنة.

حالة المقارنة رقم (٣)		من الفراغ الداخلي إلى الحائط		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Water	0.05	0.58	4187	1000	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Plaster (Dry)	0.02	0.43	75	2340	
Brickwork (In Leaf)	0.12	0.62	800	1700	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				6049	792
Air Temp. (C°) From 20 C°				2.18	1.53
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°				1.18	0.53

حالة المقارنة رقم (١)		من الفراغ الداخلي إلى الحائط		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Water	0.03	0.58	4187	1000	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200	
Adobe Blocks	0.12	1.25	1000	2050	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				5933	792
Air Temp. (C°) From 20 C°				1.80	1.53
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°				0.81	0.53

حالة المقارنة رقم (٤)		من الفراغ الداخلي إلى الحائط		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Water	0.06	0.58	4187	1000	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Marble Stone	0.04	2.00	900	2500	
Brick Silica	0.06	0.89	840	2240	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				5444	792
Air Temp. (C°) From 20 C°				1.62	1.53
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°				0.62	0.53

حالة المقارنة رقم (٢)		من الفراغ الداخلي إلى الحائط		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Water	0.04	0.58	4187	1000	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200	
Concrete Blocks	0.06	0.19	1000	600	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				5423	792
Air Temp. (C°) From 20 C°				3.19	1.53
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°				2.19	0.53

حالة المقارنة رقم (٧)	من الفراغ الداخلي إلى الحائط واجهتين		اتجاه الحرارة عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Aluminum	0.002	236	877	2700
Water	0.05	0.58	4187	1000
Aluminum	0.002	236	877	2700
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Plaster (Dry)	0.02	0.43	75	2340
Brickwork (In Leaf)	0.12	0.62	800	1700
النتائج				
		Tr. Wall	Ex. Wall	
Balance Time (sec.)		2406	792	
Air Temp. (C°) From 20 C°		1.83	1.53	
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°		0.83	0.53	

حالة المقارنة رقم (٥)	من الفراغ الداخلي إلى الحائط واجهتين		اتجاه الحرارة عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Aluminum	0.002	236	877	2700
Water	0.03	0.58	4187	1000
Aluminum	0.002	236	877	2700
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200
Adobe Blocks	0.12	1.25	1000	2050
النتائج				
		Tr. Wall	Ex. Wall	
Balance Time (sec.)		2329	792	
Air Temp. (C°) From 20 C°		1.63	1.53	
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°		0.65	0.53	

حالة المقارنة رقم (٨)	من الفراغ الداخلي إلى الحائط واجهتين		اتجاه الحرارة عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Aluminum	0.002	236	877	2700
Water	0.06	0.58	4187	1000
Aluminum	0.002	236	877	2700
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Marble Stone	0.04	2.00	900	2500
Brick Silica	0.06	0.89	840	2240
النتائج				
		Tr. Wall	Ex. Wall	
Balance Time (sec.)		2191	792	
Air Temp. (C°) From 20 C°		1.33	1.53	
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°		0.35	0.53	

حالة المقارنة رقم (٦)	من الفراغ الداخلي إلى الحائط واجهتين		اتجاه الحرارة عدد الواجهات	
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Aluminum	0.002	236	877	2700
Water	0.04	0.58	4187	1000
Aluminum	0.002	236	877	2700
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200
Concrete Blocks	0.06	0.19	1000	600
النتائج				
		Tr. Wall	Ex. Wall	
Balance Time (sec.)		2169	792	
Air Temp. (C°) From 20 C°		2.27	1.53	
WallSurface Temp.(C°) From 0 C°		1.27	0.53	

حالة المقارنة رقم (١١)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (٣)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.05	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (٣)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Plaster (Dry)	0.02	0.43	75	2340	
Brickwork (In Leaf)	0.12	0.62	800	1700	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				6049	2205
Air Temp. (C°)				17.82	6.60
WallSurface Temp.(C°)				18.82	7.60

حالة المقارنة رقم (٩)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (١)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.03	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (١)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200	
Adobe Blocks	0.12	1.25	1000	2050	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				5933	2709
Air Temp. (C°)				18.20	7.15
WallSurface Temp.(C°)				19.19	8.15

حالة المقارنة رقم (١٢)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (٤)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.05	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (٤)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Marble Stone	0.04	2.00	900	2500	
Brick Silica	0.06	0.89	840	2240	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				5444	2100
Air Temp. (C°)				18.38	6.48
WallSurface Temp.(C°)				19.38	7.48

حالة المقارنة رقم (١٠)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهة واحدة		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (٢)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.04	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (٢)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200	
Concrete Blocks	0.06	0.19	1000	600	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				5423	2369
Air Temp. (C°)				16.80	6.78
WallSurface Temp.(C°)				17.81	7.78

حالة المقارنة رقم (١٥)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهتين		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (٣)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.05	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (٣)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Plaster (Dry)	0.02	0.43	75	2340	
Brickwork (In Leaf)	0.12	0.62	800	1700	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				2406	1289
Air Temp. (C°) From 0 C°				18.17	10.54
WallSurface Temp.(C°) From 20 C°				19.17	11.54

حالة المقارنة رقم (١٣)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهتين		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (١)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.03	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (١)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200	
Adobe Blocks	0.12	1.25	1000	2050	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				2329	1381
Air Temp. (C°) From 0 C°				18.37	10.83
WallSurface Temp.(C°) From 20 C°				19.35	11.83

حالة المقارنة رقم (١٦)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهتين		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (٤)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.05	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (٤)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Marble Stone	0.04	2.00	900	2500	
Brick Silica	0.06	0.89	840	2240	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				2191	1268
Air Temp. (C°) From 0 C°				18.67	10.47
WallSurface Temp.(C°) From 20 C°				19.65	11.47

حالة المقارنة رقم (١٤)		من الحائط إلى الفراغ الداخلي		اتجاه الحرارة	
		واجهتين		عدد الواجهات	
نموذج القطاع المقترح رقم (٢)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
Air Void	0.04	0.025	1063	1.15	
Aluminum	0.002	236	877	2700	
نموذج القطاع التقليدي رقم (٢)					
Material	Thickness (m)	Cond. (w/m.C°)	Sp. Heat (J/kg.C°)	Density (Kg/m3)	
Cement Cover	0.02	0.38	840	1200	
Concrete Blocks	0.06	0.19	1000	600	
النتائج					
				Tr. Wall	Ex. Wall
Balance Time (sec.)				2169	1320
Air Temp. (C°) From 0 C°				17.73	10.64
WallSurface Temp.(C°) From 20 C°				18.73	11.64

٨. النتائج

باستخدام برنامج EWA الذي تمت برمجته باستخدام برنامج Visual Basic لتقييم السلوك الحراري لقطاع الغلاف المقترح عن طريق مقارنته بأي غلاف تقليدي، تمت مقارنة أربعة قطاعات مختلفة للغلاف المقترح بأربعة أغلفة تقليدية تختلف في مكوناتها وخواص موادها. ويمكن اختصار نتائج هذه المقارنات في الجدول رقم (٢).

جدول رقم (٢): اختصار نتائج مقارنات قطاعات الغلاف المقترح بقطاعات الأغلفة التقليدية.

من الحائط إلى الفراغ الداخلي				من الفراغ الداخلي إلى الحائط				اتجاه انتقال الحرارة
واجهتين		واجهة واحدة		واجهتين		واجهة واحدة		الإطلالة
درجة حرارة الفراغ الداخلي من ٢٠°م (درجة مئوية)	زمن الوصول لحالة الاتزان بالتقريب (ثانية)	درجة حرارة الفراغ الداخلي من ٢٠°م (درجة مئوية)	زمن الوصول لحالة الاتزان بالتقريب (ثانية)	درجة حرارة الفراغ الداخلي من ٢٠°م (درجة مئوية)	زمن الوصول لحالة الاتزان بالتقريب (ثانية)	درجة حرارة الفراغ الداخلي من ٢٠°م (درجة مئوية)	زمن الوصول لحالة الاتزان بالتقريب (ثانية)	النماذج
18.4	2329	18.2	5933	1.6	2329	1.8	5933	نموذج تقليدي رقم (١)
17.7	2169	16.8	5423	2.3	2169	3.2	5423	نموذج تقليدي رقم (٢)
18.2	2406	17.8	6049	1.8	2406	2.2	6049	نموذج تقليدي رقم (٣)
18.7	2191	18.4	5444	1.3	2191	1.6	5444	نموذج تقليدي رقم (٤)
10.8	1381	7.2	2709	1.5	792	1.5	792	نموذج مقترح رقم (١)
10.6	1320	6.8	2369	1.5	792	1.5	792	نموذج مقترح رقم (٢)
10.5	1289	6.6	2205	1.5	792	1.5	792	نموذج مقترح رقم (٣)
10.5	1268	6.5	2100	1.5	791	1.5	791	نموذج مقترح رقم (٤)

يمكن الخروج بعدد من النتائج بعد تطبيق البرنامج لمقارنة أربعة قطاعات مختلفة للغلاف المقترح بأربعة قطاعات تقليدية مختلفة في مكوناتها وخواصها في ظروف مختلفة. هذه النتائج يمكن إبرازها في النقاط التالية:

• في حالة انتقال الحرارة من هواء الفراغ الداخلي إلى الحائط:

- أثبتت الدراسة العملية عن طريق المحاكاة أن قطاع الغلاف الخارجي المقترح قد نجح في خفض زمن الوصول إلى حالة الاتزان الحراري بشكل كبير يصل إلى أقل من سبع الزمن اللازم للوصول إلى حالة الاتزان الحراري في حالة قطاعات الأغلفة التقليدية في بعض الحالات، ويعود ذلك لطبيعة تركيب وتصميم ومكونات الغلاف الخارجي المقترح المتمثلة في الألومنيوم ذو القدرة الكبيرة على التوصيل الحراري، والماء ذو السعة الحرارية الكبيرة التي مكنته من امتصاص معظم حرارة الفراغ الداخلي في زمن صغير نسبياً (حوالي ١٣ دقيقة).
- حقق كل من قطاعات الأغلفة التقليدية وقطاعات الغلاف المقترح خفضاً كبيراً في درجة حرارة الفراغ الداخلي، وإن كان الغلاف المقترح قد حقق خفضاً أكبر بشكل طفيف، ويرجع ذلك إلى انخفاض قيمة السعة الحرارية للهواء مقارنة بالمواد الصلبة والسوائل، مما يجعل أقل كمية حرارة يفقدها الهواء لصالح الغلاف تؤثر بشكل كبير على درجة حرارته.
- لم يؤثر اختلاف سمك طبقة السائل في قطاع الغلاف المقترح على زمن الوصول لحالة الاتزان الحراري كما لم يؤدي زيادة هذا السمك إلى زيادة خفض درجة حرارة الفراغ، ويرجع ذلك أيضاً إلى انخفاض السعة الحرارية للهواء مقارنة بالماء و الألومنيوم، مما يجعل أقل سمك لطبقة الماء بالغلاف كافي لخفض درجة حرارة الفراغ بشكل كبير في وقت قصير، فلا تؤدي زيادة هذا السمك إلى خفض أكبر في درجة الحرارة أو زمن الوصول إلى حالة الاتزان.

٤. في حالة الأغلفة التقليدية فإن الإطالة على الخارج بواجهتين تؤثر بشكل كبير على زمن الوصول لحالة الاتزان حيث يصل هذا الزمن في حالة الإطالة بواجهتين إلى أقل من نصف الزمن اللازم في حالة الإطالة بواجهة واحدة، ويرجع ذلك إلى زيادة المساحة المعرضة للتبادل الحراري بين هواء الغرفة والغلاف الخارجي، الأمر الذي يؤدي لزيادة كمية الحرارة المنتقلة في وحدة الزمن (معدل انتقال الحرارة)، وبالتالي الوصول لحالة الاتزان الحراري في زمن أقل. كما تؤدي زيادة المساحة المعرضة للتبادل الحراري إلى خفض درجة حرارة هواء الغرفة عند الوصول لحالة الاتزان، ويرجع ذلك لزيادة حجم الغلاف الخارجي، مما يؤدي إلى زيادة كمية الطاقة التي يستطع امتصاصها من هواء الغرفة.

٥. على عكس الأغلفة التقليدية، ففي حالة الغلاف المقترح فإن الإطالة على الخارج بواجهتين لا يؤثر إطلاقاً على زمن الوصول إلى حالة الاتزان الحراري، كما لا يؤثر على درجة حرارة الفراغ الداخلي عند الوصول لحالة الاتزان الحراري، ويرجع ذلك إلى أن عملية التبادل الحراري في حالة الغلاف المقترح تتم بين هواء الفراغ الداخلي ومسطح واجهات الفراغ الداخلي الأربعة والسقف، وذلك سواء كانت الإطالة على الخارج بواجهة واحدة أو واجهتين. ورغم ذلك فإن الغلاف المقترح يظل متفوقاً على الأغلفة التقليدية في الوصول لحالة الاتزان الحراري في زمن أقل بكثير، حتى في حالة الإطالة على الخارج بواجهتين.

• في حالة انتقال الحرارة من الحائط إلى هواء الفراغ الداخلي:

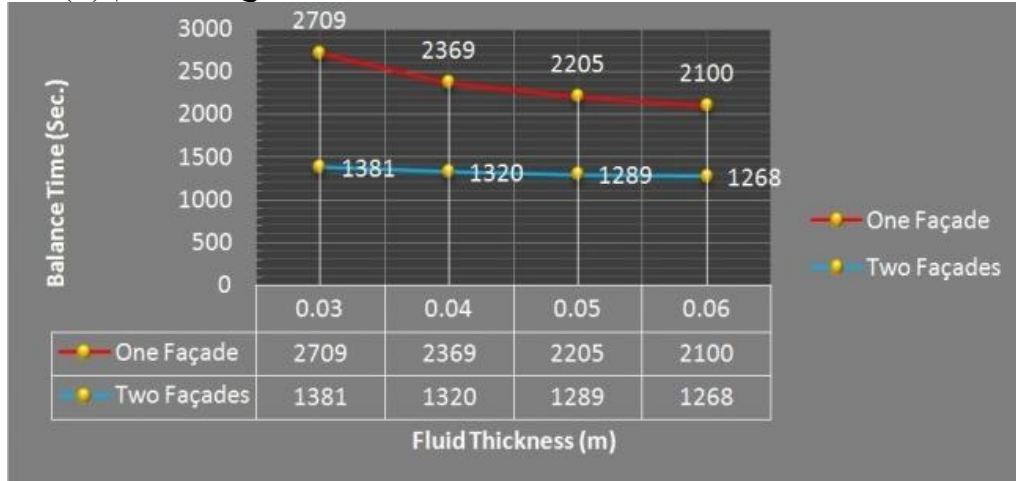
١. حقق الغلاف الخارجي المقترح زمناً للوصول إلى حالة الاتزان الحراري يقل عن نصف الزمن اللازم للقطاعات التقليدية، وذلك بسبب طبيعة تصميم الغلاف المقترح. فقد مكنته خواص المواد المكون منها الغلاف المتمثلة في الألومنيوم ذو القدرة الكبيرة على التوصيل الحراري، والهواء ذو السعة الحرارية الصغيرة نسبياً من انخفاض كمية الحرارة التي يحويها الغلاف رغم ارتفاع درجة حرارته، وبالتالي اختصار الوقت اللازم للوصول إلى حالة الاتزان الحراري.

٢. في حالة الأغلفة التقليدية فقد تسبب ارتفاع درجة حرارتها في ارتفاع درجة حرارة الغرفة بشكل كبير عند حدوث الاتزان الحراري، ويعود ذلك لانخفاض السعة الحرارية للهواء مقارنةً بالمواد الصلبة المكون منها الغلاف التقليدي، الأمر الذي يجعل أقل كمية حرارة تنتقل من الغلاف إلى فراغ الغرفة يتسبب بارتفاع كبير في درجة حرارتها.

٣. على عكس الأغلفة التقليدية فإن ارتفاع درجة حرارة الغلاف المقترح لم تؤدي إلى رفع درجة حرارة الغرفة بشكل كبير عند حدوث الاتزان الحراري، ويرجع ذلك إلى أن الهواء هو المكون الرئيسي في الغلاف المقترح في حالة انتقال الحرارة من الغلاف إلى الفراغ الداخلي. ونظراً لانخفاض السعة الحرارية للهواء فإن ارتفاع درجة حرارته مع صغر حجمه داخل الغلاف مقارنة بحجم الفراغ الداخلي لم يؤثر بشكل كبير في ارتفاع درجة حرارة الفراغ الداخلي عند حدوث الاتزان الحراري، فعلى سبيل المثال فقد ارتفعت درجة حرارة الفراغ بمقدار يتراوح من 6.5°C إلى 7.2°C في حالة الإطالة بواجهة واحدة على الخارج حسب سمك طبقة الهواء في الغلاف، في مقابل ارتفاع تراوح من 16.8°C إلى 18.4°C للأغلفة التقليدية في حالة الإطالة بواجهة واحدة على الخارج حسب مكونات القطاع. وكذلك فقد ارتفعت درجة حرارة الفراغ الداخلي عند استخدام الغلاف المقترح بمقدار يتراوح بين 10.5°C إلى 10.8°C في حالة الإطالة بواجهتين على الخارج حسب سمك طبقة الهواء في الغلاف، في مقابل ارتفاع تراوح من 17.7°C إلى 18.7°C للأغلفة التقليدية في حالة الإطالة بواجهتين على الخارج حسب مكونات القطاع. ويرجع هذا الارتفاع في درجة حرارة الفراغ الداخلي الصغير نسبياً في حالة استخدام الغلاف المقترح إلى ارتفاع درجة حرارة طبقة الألومنيوم، والتي رغم صغر سمكها إلا أن تأثيرها كان ملحوظاً، وإن كان أقل من تأثير الأغلفة التقليدية ذات السمك الكبير نسبياً.

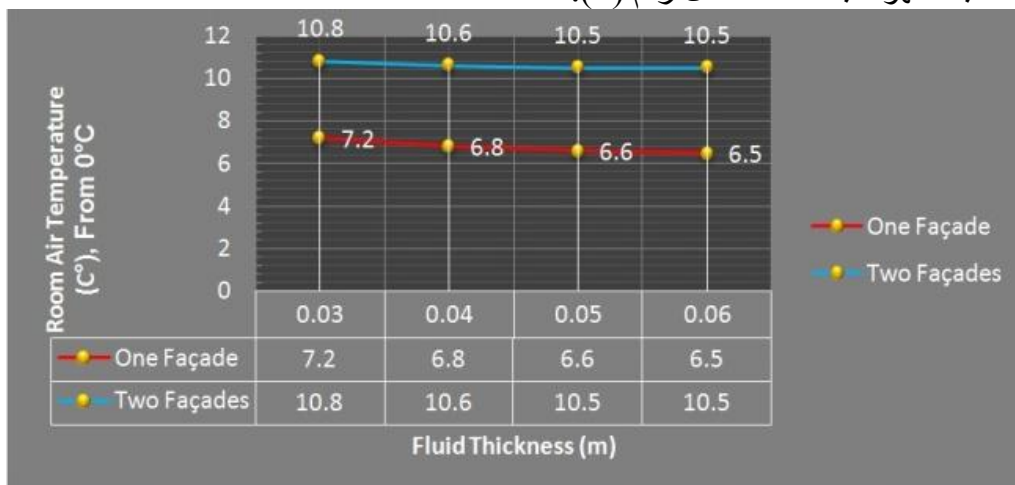
٤. على عكس حالة انتقال الحرارة من الفراغ الداخلي إلى الحائط، فإنه في حالة انتقال الحرارة من الحائط إلى الفراغ الداخلي يؤثر اختلاف سمك طبقة الهواء في قطاع الغلاف المقترح بشكل ملحوظ على زمن الوصول لحالة الاتزان الحراري، حيث يقل هذا الزمن بزيادة سمك طبقة الهواء، ويرجع

ذلك لزيادة حجم الهواء داخل الغلاف، الأمر الذي يزيد من معدل انتقال الحرارة من الهواء داخل الغلاف إلى طبقة الألومنيوم، وكذلك فإنه في مرحلة من المراحل ونظراً للسعة الحرارية المنخفضة للهواء فإن درجة حرارة طبقة الهواء قد تنخفض عن درجة حرارة طبقة الألومنيوم، مما يعطي فرصة لتفقد طبقة الألومنيوم جزءاً من طاقتها إلى داخل الغلاف وليس إلى الفراغ، ويكون هذا الفقد من الطاقة بمعدل أكبر كلما زاد سمك طبقة الهواء، فيقل بذلك زمن الوصول إلى حالة الاتزان. وينطبق ذلك على حالة الإطلالة بواجهة واحدة أو واجهتين على الخارج، شكل رقم (٧).



شكل رقم (٨): تأثير تغير سمك طبقة الهواء في الغلاف الخارجي على ارتفاع درجة حرارة الفراغ في حالة انتقال الحرارة من الحائط إلى الفراغ الداخلي.

هـ. أيضاً على عكس حالة انتقال الحرارة من الفراغ الداخلي إلى الحائط، فإنه في حالة انتقال الحرارة من الحائط إلى الفراغ الداخلي يؤثر اختلاف سمك طبقة الهواء في قطاع الغلاف المقترح بشكل طفيف على درجة حرارة الفراغ عند الوصول إلى حالة الاتزان، حيث تنخفض درجة حرارة الفراغ مع زيادة سمك طبقة الهواء. ويرجع ذلك لزيادة حجم الهواء داخل الغلاف، الأمر الذي يزيد من كمية الحرارة المنتقلة بين الهواء داخل الغلاف وبين طبقة الألومنيوم، وكذلك فإنه في مرحلة من المراحل ونظراً للسعة الحرارية المنخفضة للهواء فإن درجة حرارة طبقة الهواء قد تنخفض عن درجة حرارة طبقة الألومنيوم، مما يعطي فرصة لتفقد طبقة الألومنيوم جزءاً من طاقتها إلى داخل الغلاف وليس إلى الفراغ، وتكون هذه الكمية من الطاقة أكبر كلما زاد سمك طبقة الهواء، مما يؤدي إلى انخفاض كمية الحرارة المنتقلة إلى داخل الفراغ وبالتالي إلى انخفاض درجة حرارة الفراغ كلما زاد سمك طبقة الهواء بالغلاف، شكل رقم (٩).



شكل رقم (٩): تأثير تغير سمك طبقة الهواء في الغلاف الخارجي على ارتفاع درجة حرارة الفراغ في حالة انتقال الحرارة من الحائط إلى الفراغ الداخلي.

٦. تؤثر الإطالة بواجهتين على الخارج بشكل كبير على زمن الوصول لحالة الاتزان الحراري، وكذلك على درجة حرارة الفراغ الداخلي عند حدوث الاتزان الحراري، وذلك سواءً في حالة الغلاف المقترح أو الأغلفة التقليدية. حيث يقل الزمن اللازم للوصول لحالة الاتزان الحراري في حالة الإطالة على الخارج بواجهتين عن نصف الزمن اللازم للوصول لحالة الاتزان الحراري في حالة الإطالة على الخارج بواجهة واحدة، وذلك لزيادة المسطح المعرض للتبادل الحراري بين هواء الفراغ الداخلي والغلاف الخارجي، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة معدل انتقال الحرارة بين الغلاف والفراغ الداخلي. في حين ترتفع درجة حرارة الغرفة عند الوصول إلى حالة الاتزان الحراري في حالة الإطالة على الخارج بواجهتين عن نظيرتها في حالة الإطالة على الخارج بواجهة واحدة، وذلك لزيادة حجم الغلاف المعرض للتبادل الحراري مع هواء الغرفة، وبالتالي زيادة كمية الحرارة التي يحتويها الغلاف وتنتقل منه إلى هواء الغرفة، ومن ثم زيادة درجة حرارة الغرفة عند الوصول إلى حالة الاتزان الحراري.

٩. التوصيات

١. مواصلة تطوير التجربة ودراسة المواد التي يمكن استعمالها فيها، في حال تم انتشار الفكرة على مستوى تجاري، للوقوف على أفضل المواد التي يمكن صنع خزانات الماء منها، وكذلك أفضل السوائل التي يمكن استخدامها والتي تحقق أعلى كفاءة بيئية واقتصادية في نفس الوقت.
٢. الدعوة إلى تعاون مهندسين متخصصين في مجال انتقال الحرارة لصنع عدد من النماذج العملية المجسمة الدقيقة للغلاف المقترح بالحجم الطبيعي، وتعريضها لظروف مناخية تحاكي ظروف الأقاليم الحارة الجافة، وتسجيل السلوك الحراري للغلاف المقترح وتأثيره على درجة الحرارة داخل الفراغ للتأكد من فعالية القطاع المقترح في خفض درجة الحرارة داخل الفراغ بصورة عملية.
٣. مشاركة أجهزة الدولة المتخصصة في تطوير البحث العلمي، ورجال الأعمال، والمراكز البحثية، والجامعات في تمويل مشروع لتطوير هذا النموذج حتى يتم الحصول على أعلى كفاءة بيئية واقتصادية بحيث يمكن نشره على مستوى تجاري.
٤. يجب أن يهتم المعماريون والمهندسون بمبادئ العمارة الإيكولوجية عند تصميم المباني لا سيما السكنية منها، الأمر الذي سيعود بفائدة كبيرة على البيئة وعلى الأجيال القادمة.
٥. الاهتمام بدراسة البعد البيئي في أقسام العمارة وكليات الهندسة حتى يتدرب الطالب على احترام الجانب البيئي عند التصميم، ويجب أن يتم ادماج هذا الجانب في مواد التصميم المعماري لما له من أهمية قصوى، وليس الاكتفاء بكونه مادة منفصلة يدرسها الطالب لمرة واحدة خلال دراسته بالكلية.
٦. الاهتمام بعلم انتقال الحرارة في مواد التحكم البيئي بأقسام العمارة، لكونه محورياً أساسياً في تصميم الأغلفة الخارجية واختيار المواد المكونة لها.

المراجع:

• أولاً: المراجع العربية:

١. إسكوا، الأمم المتحدة (٢٠٠٢)، "ترشيد استهلاك الطاقة في قطاع الأبنية - أوراق موجزة"، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، جوهانسبرج، جنوب أفريقيا.
٢. إسكوا، الأمم المتحدة (٢٠٠٢)، "خصائص قطاع الطاقة في منطقة الإسكوا - أوراق موجزة"، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، جوهانسبرج، جنوب أفريقيا.
٣. الجوير، إبراهيم بن راشد بن سعد (٢٠٠٦)، "العزل الحراري للمباني السكنية بين الواقع والمأمول: حالة دراسية لمدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية"، جامعة أسيوط، المجلد ٣٤، العدد ٥، جمهورية مصر العربية.
٤. الزعفراني، عباس (٢٠٠٠)، "التصميم المناخي للمباني"، رسالة دكتوراة، جامعة القاهرة، جمهورية مصر العربية.
٥. حنا، جورج باسيلي - عبد القادر، مراد - يوسف، وجيه فوزي - الوكيل، شفق العوضي (١٩٩٨)، "دليل العمارة والطاقة"، جهاز تخطيط الطاقة، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

• ثانياً: المراجع الأجنبية:

6. Kandil, A. – Elkady, A.A. – Elkafrawy, A. (1995), "**Transient Thermal Stress Analysis of Thick-Walled Cylinders**", International Journal of Mechanical science, Elsevier, Ltd, Oxford, United Kingdom.
7. Lienhard, John H. (2011), "**A Heat Transfer Textbook**", Phlogiston Press, Cambridge, Massachusetts, United States of America.
8. Szokolay, Steven V. (2008), "**Introduction to Architectural Science- The basis of sustainable design**", Elsevier Ltd, Oxford, United Kingdom.