مجلة جامعة الملك سعود، م٤، العمارة والتخطيط، ص ص ٩٣ - ١٤٢، الرياض (١٤١٢هـ/١٩٩٢م).

مقارنة الأداء الحراري لمباني الطوب الفخاري المفرغ مع الطوب الأسمنتي المفرغ في المنطقة الحارة الجافة من المملكة العربية السعودية

محمد بن عبدالله بن صالح

أستاذ مشارك، قسم العمارة وعلوم البناء، كلية العمارة والتخطيط،

جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية

ملخص البحث. تم في هذا البحث، تقويم الأداء الحراري لأربع تقنيات بناء مختلفة للطوب الفخاري المفرغ، استخدمت كل تقنية منها في بناء الحوائط الخارجية لمبنى، مع ما يماثلها من أربع تقنيات بناء مختلفة للطوب الأسمنتي المفرغ، استخدمت كل تقنية منها أيضًا في بناء الحوائط الخارجية للمبنى السابق نفسه في المنطقة الحارة الجافة من المملكة العربية السعودية.

تم ذلك باستخدام برنامج محاكاة للأداء الحراري بواسطة الحاسب الآلي، أعدته ووثقته واعتمدته هيئة علمية متخصصة كأداة بحث، وذلك عند عدم توافر الظروف الملائمة لقياس الأداء الحراري لمباني مبنية. ويعمل برنامج المحاكاة المستخدم، حسب طريقة الانتقال الآني للحرارة وطريقة معامل الاستجابة الحرارية. ويقوم البرنامج بمحاكاة تأثير الطقس الخارجي على المبنى عند حساب درجة الحرارة الداخلية لحيز المبنى الداخلي وحساب كمية الحمل اللازم لتبريده وتدفئته.

نتج عن الدراسة، وجود تميز متناوب خلال ساعات اليوم للأداء الحراري، بين ثلاث تقنيات بناء مختلفة للطوب الفخاري المفرغ استخدمت كل تقنية منها في بناء الحوائط الخارجية لمبنى مع ما يماثلها من ثلاث تقنيات بناء مختلفة للطوب الأسمنتي المفرغ استخدمت كل تقنية منها أيضًا في بناء الحوائط الخارجية للمبنى السابق نفسه، وذلك من ناحية مقدار درجة الحرارة الداخلية لحيز المبنى الداخلي وكمية الحمل اللازم لتبريده وتدفئته.

كما نتج عن الدراسة تميز خلال ساعات اليوم، للأداء الحراري لتقنية بناء الحوائط الخارجية المبنية من حائط مركب طبقته الخارجية مبنية من الطوب الفخاري المفرغ وطبقته الداخلية مبنية من الطوب الأسمنتي المصمت وبينهما فراغ هوائي معزول بمادة عازلة للحرارة مع ما يماثلها من تقنية بناء للحوائط الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية مبنية من الطوب الأسمنتي المفرغ وطبقته الداخلية مبنية من الطوب الأسمنتي المصمت وبينهما فراغ هوائي معزول بمادة عازلة للحرارة وذلك من ناحية مقدار درجة الحرارة الداخلية لحيز المبنى الداخلي وكمية الحمل اللازم لتبريده وتدفئته.

مقدمة

شهد الإنسان القاطن في المملكة العربية السعودية خلال الأربعين سنة الماضية تغيرات جوهرية في المجالات الصناعية والاقتصادية والثقافية والتقنية. وقد أدى ذلك إلى شيوع حتمي لطرق وتقنيات جديدة في مجال تقنية البناء في المملكة [١].

ومن أكبر الأمثلة على ذلك، دخول تقنيات جديدة للبناء، تم فيها استخدام مادة الأسمنت والخرسانة من اعتيادية ومسلحة، والطوب الأسمنتي والفخاري المفرغ والمصمت، والخرسانة المقواة بالألياف الزجاجية أو اللدينية ومواد العزل الحراري والزجاج بحيث باتت تقنيات بناء أساسية أو ثانوية للمباني في المنطقة الحارة الجافة من المملكة. وقد حل استخدام هذه التقنيات الجديدة تدريجيًا محل تقنيات البناء التقليدية، المعمولة بالطين والحجر المتوافرتين محليًا، واللتين تستخدمان في بناء الحوائط الحاملة للمباني. ولهاتين المادتين خاصية عالية في تخزين الطاقة الحرارية من البيئة المحيطة وتباطؤ كبير في معدل توصيلها، مقارنة بالتقنيات المعاصرة وغير المعزولة حراريًا [٢].

كما حلّت أيضًا، بعض تقنيات البناء الجديدة في أعمال التسقيف، وخاصة الخرسانة المسلحة، محل مادتي الطين والخشب (ممثلة في جذوع النخيل والأثل وفروعها) وكانتا تستخدمان في تسقيف المباني الطينية، مع ملاحظة أن مواد تسقيف المباني الطينية تتصف بخاصية عزل حرارية تبرز في فاعليتها العزلية عن المواد الحالية المستخدمة في التسقيف وغير المعزولة حراريًا [٢].

وقد حلَّ استخدام تقنيات هذه المواد الجديدة تدريجيًّا محل استخدام تقنيات المواد التقليدية، وذلك لما لتقنيات بنائها من مميزات وإيجابيات تفوق تقنيات البناء بالمواد التقليدية، لكن لها سلبيات من حيث ملاءتها للبيئة المناخية، فهي سريعة التوصيل للحرارة وسريعة الفقدان لها، مما يجعل استخدامها في بناء المباني بدون عوازل حرارية أو تكييف لحيزاتها الداخلية غير مريح للإنسان. وقد أسهم استخدام تقنيات هذه المواد الجديدة، والذي يتصف بالعفوية وعدم التأني من المهندسين والمصممين، في فقدان الربط البيئي بين المباني الجديدة والبيئة المحلية، حيث أضعفت كثرة المباني الجديدة الشخصية المحلية لنمط البناء التي تميزت به مبانينا ومدننا القديمة.

المشكلة

استجدت في العقد الأخير ممارسة كثير من تقنيات البناء الجديدة في المنطقة الحارة الجافة من المملكة، ولم يمر بعد زمن كاف لاختبارها وإثبات فعاليتها وملاءمتها للبيئة الحرارية المبنية على ترابها، ومن أهم هذه الممارسات البناء بالطوب الفخاري المفرغ، حيث تتضارب الأفكار والآراء بين من لديهم رغبة في البناء وبين المعماريين أو المهندسين المعنيين بالبناء والتصميم المعماري أو المصنعين، حول فعالية الأداء الحراري لهذه التقنية الجديدة. وبما أن لهذه المادة نوعيات متنوعة أسوة بمواد البناء الشائعة، فكل نوعية تختلف عن الأخرى من حيث الخواص الحرارية والطبيعية. ولذلك فقد بنى الكثيرون حكمهم على الأداء الحراري لمادة الطوب الفخاري المفرغ من واقع «أن قيمة الموصلية الحرارية المكافئة للطوب الفخاري المفرغ تقل بحوالي (٥٠٪) عن قيمة الموصلية الحرارية المكافئة للطوب الأسمنتي المفرغ.» وقد بنى المرء الاعتيادي على هذا التصور فرضية «أن مباني الطوب الفخاري المفرغ توفر (٥٠٪) من استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لتبريدها وتدفئتها مقارنة بمباني الطوب الأسمنتي المفرغ.» مما مهَّد للاستفسار عن مدى صحة هذه الفرضية وعن إمكانية اعتبار مادة الطوب الفخاري المفرغ مادة عازلة للحرارة أسوة بمواد العزل الحراري (مثل البوليستيرين أو البيرلايت أو الصوف الزجاجي أو الألياف الزجاجية أو الخرسانة الخلوية).

الهـدف

غاية البحث إزالة الغموض والتضارب في الآراء عن فعالية الأداء الحراري لتقنيات البناء بالطوب الفخاري المفرغ.

ويهـدف البحث إلى معـرفـة مدى كفـاءة الأداء الحـراري لتقنيات البناء بالطوب الفخاري المفرغ، حيث ستساعد معرفتها في القدرة على الحكم على فعاليتها وتحسين الكيفية الملائمة لاستخداماتها في البيئة الحرارية للمنطقة الحارة الجافة من المملكة، من خلال بحث علمي.

كما يهدف البحث إلى، تقويم الأداء الحراري لتقنيات البناء بالطوب الفخاري المفرغ من خلال إيجاد دليل رقمي أو بياني يمكن مقارنته بأدلة رقمية أو بيانية أخرى للأداء الحراري لتقنيات بناء أخرى يتم استخدامها في مباني متماثلة من حيث الشكل والفراغ والوظيفة ومبنية بواسطة تقنيات مواد أخرى لها خواص نقل حرارية مختلفة كالطوب الأسمنتي المفرغ.

المعلومات المساندة

١ ـ مادة الطوب الفخاري المفرغ

ألهم الله الإنسان منذ فجر التاريخ فكرة حرق الطين[١] بهدف تقويته ليكون صالحًا للاستخدام في المباني التي تتعرض لرطوبة دائمة وتحتاج إلى ارتفاع نسبي. وقد مرت تقنية حرق الطين بمراحل تطويرية عديدة وذلك بإسهام المهتمين وأهل الصنعة، وأخيرًا جهود المهندسين الكيميائيين ورجال الصناعة، التي تمخضت عن تطوير أنواع لا حصر لها من المنتجات، من فخار وسيراميك وخلافه يومًا بعد يوم. وقد بدأ الإنتاج التجاري للطوب الفخاري المحروق في المملكة في المناطق التي يكثر فيها الطمي كمنطقة العاقول في المدينة النبوية منذ أكثر من ثلاثين سنة.[٢] ومع المحاولات الكثيرة التي أدخلت على تطوير صناعة

---

(١) قال الله تعالى ﴿فأوقد لي يا هامان على الطين﴾ سورة القصص، آية ٣٨.

(٢) منـاقشات مع الدكتور محمد بن عبدالرحمن الحصين حول تاريخ تصنيع الطوب الفخاري المفرغ ومشروع ابن لادن لتصنيع الطوب الفخاري المفرغ في منطقة العاقول بالمدينة النبوية.

الـطوب الفخاري والأسمنتي، أمكن صناعة طوب فخاري مفرغ له مميزات بنائية فائقة بحيث يسهم في تخفيف أحمـال الحـوائط بما يزيد عن (٥٠٪) عن نظائـرهـا من الطوب الأسمنتي المفرغ، كما أمكن صناعة طوب فخاري مفرغ له معامل توصيل حراري مكافىء يقل عمَّا يماثله من طوب أسمنتي مفرغ بما يصل إلى أكثر من (٥٠٪). [٣]

ومن أهم مميزات تقنية البنـاء بالـطوب الفخاري المفرغ مقارنة بالطوب الأسمنتي المفرغ، الملاءمة لأعمال الملاط، حيث أن معامل التمدد الحراري لمواد الملاط لا يختلف كثيرًا عن معامل التمدد الحراري للطوب الفخاري المفرغ، مما يساهم كثيرًا في التقليل من وجود التشققات الشعرية في أسطح الحوائط المملطة.

٢ ـ الخواص الحرارية والطبيعية لمادة الطوب الفخاري المفرغ

قبل أن نقوّم الأداء الحراري ككل لمادة الطوب الفخاري المفرغ، لا بد لنا من معرفة خواصها الحرارية والطبيعية ومقارنتها ببعض المواد شائعة الاستعمال في المنطقة الحارة الجافة من المملكة والتي يوضحها جدول رقم ١.

ويعتمد التأثير الحراري لأي مادة، على الخواص الحرارية والطبيعية لها. وتمثل هذه الخواص التي يوضحها جدول رقم ١ ولا تقتصر على:

أ ـ معامل توصيلها الحراري.

ب ـ مقدار حرارتها النوعية.

جـ ـ مقدار كثافتها.

د ـ مدى قدرتها على التخزين الحراري.

وستساعد معرفة هذه الخواص في بناء نماذج متكاملة للدراسة من أجل المقارنة.

---

(٣) تم الرجوع إلى بعض نشرات الطوب الفخاري والمعتمدة من قبل هيئات قياس واختبار معروفة. كما تم الرجوع إلى المرجع [٣].

جدول ١ . الخواص الحرارية والطبيعية لبعض المواد شائعة الاستعمال بالمباني في المنطقة الحارة الجافة من المملكة(٤).

المـــادة	معامل التوصيل الحـــراري وات/ م . م°	الحرارة النوعية كيلوجول/ كجم . م°	الكثافة كجم/ م٣	التخزين الحراري ميجا جول/ م٣ . م°
١ ـ مواد البناء:				
ـ الخرسانة المسلحة	١,٧٢٨	٠,٩٦	٢٤٠٠	٢,٦
ـ الطوب الفخاري المفرغ:				
سمك ١٠ سم (نوع أ)	٠,٤٤	٠,٨٤	٨٣٤	٠,٧٠
سمك ٢٠ سم (نوع ب)	٠,٦٥	٠,٨٤	٨١٢	٠,٦٨
ـ الطوب الأسمنتي المفرغ:				
سمك ١٠ سم (نوع أ)	٠,٩٦٠	٠,٨٤	١٨٢٧	١,٥٣
سمك ٢٠ سم (نوع ب)	١,٣٨٩	٠,٨٤	١٢٠٣	١,٠١
ـ الطوب الأسمنتي المصمت:				
سمك ١٥سم	١,٢١٩	٠,٨٤	٢١٢٢	١,٧٨
٢ ـ المواد العازلة للحرارة:				
ـ مادة عازلة للحرارة	٠,٠٢٧	٠,٦٦	٣٢	٠,٠٢

٣ ـ عزل الحرارة مقابل توصيل الحرارة

يمكن تعريف العزل الحراري أنه «إبطاء انتقال الطاقة الحرارية بواسطة التلامس أو / وتيارات الحمل أو / والإشعاع وذلك باستخدام حيزات مفرغة أومهواة أو / ومن مواد أو / وخليط من مواد لها خواص إبطاء معقول للانتقال الحراري حسب الظروف الاعتيادية». [٤]

(٤) انظر الحاشية رقم ٣.

٣ ـ ١ ـ الأدلة الرقمية لمعامل التوصيل الحراري

يتضح بمراجعة جدول رقم ١، أن نوعيات مادة الطوب الفخاري المفرغ، تختلف معاملات توصيلها للحرارة، عن نوعيات مادة الطوب الأسمنتي بنوعيه المفرغ والمصمت أو الخرسانة المسلحة. فلو ثبتنا مرجعًا رقميًّا لمعامل التوصيل الحراري لمادة العزل الحراري يمكن بعد ذلك استقراء أدلة رقمية أخرى لمواد المقارنة.

فلو اعتبرنا أن المرجع الرقمي لمعامل التوصيل الحراري للمادة العازلة للحرارة يعادل (واحد صحيح)، لكان الدليل الرقمي الذي يمثل معامل توصيل الحرارة لأي مادة أخرى هو خارج قسمة معامل التوصيل الحراري للمادة مقسومًا على معامل التوصيل الحراري لمادة المقارنة (المادة العازلة للحرارة). وبحساب الدليل الرقمي نجد أنه يعادل (١٦,٣) للطوب الفخاري المفرغ نوع (أ) ويعادل (٢٤,١) للطوب الفخاري المفرغ نوع (ب) كما أنه يعادل (٣٥,٦)، (٥١,٤) للطوب الأسمنتي المفرغ نوع (أ)، (ب) على الترتيب.

أما الدليل الرقمي للطوب الأسمنتي المصمت فهو يعادل (٤٥,٢) والدليل الرقمي للخرسانة المسلحة فهو يعادل (٦٤,٠) ضعفًا لمعامل التوصيل الحراري للمادة العازلة للحرارة.

٣ ـ ٢ الأدلة الرقمية لمعامل التخزين الحراري

عند نهج الطريقة نفسها الموضحة في الفقرة السابقة ٣ ـ ١، يمكن تثبيت مرجعًا رقميًّا فيما يخص القدرة على التخزين الحراري للمادة ويمكن بعد ذلك استقراء أدلة رقمية أخرى لمواد المقارنة.

فلو اعتبرنا أن المرجع الرقمي لمعامل التخزين الحراري لمادة الخرسانة المسلحة يعادل (واحد صحيح) لأصبح الدليل الرقمي الذي يمثل معامل التخزين الحراري لأي مادة أخرى هو خارج قسمة معامل التخزين الحراري للمادة مقسومًا على معامل التخزين الحراري لمادة المقارنة (الخرسانة المسلحة أو الطوب الأسمنتي المصمت).

يتضح مما سبق أن قدرة مادة الطوب الفخاري المفرغ نوع (أ)، (ب) على التخزين الحراري تقارب (٣٠٪) من قدرة مادة الخرسانة المسلحة و(٣٩٪) من قدرة مادة الطوب الأسمنتي المصمت، فعند ذلك يمكن وصف مادة الطوب الفخاري المفرغ بأنها مادة ضعيفة القدرة على تخزين الحرارة، متوسطة القدرة على توصيلها، بخلاف مادتي الخرسانة المسلحة والطوب الأسمنتي المصمت اللتين يمكن وصفهما بأن لهما قدرة جيِّدة على تخزين وتوصيل الحرارة معًا.

أما فيما يخص مادة الطوب الأسمنتي المفرغ نوع (أ)، (ب) فيتضح أن قدرة مادة الطوب الأسمنتي المفرغ نوع (أ) على التخزين الحراري تعادل (٦٧٪) من قدرة مادة الخرسانة المسلحة و(٨٦٪) من قدرة مادة الطوب الأسمنتي المصمت. وقدرة مادة الطوب الأسمنتي المفرغ نوع (ب) على التخزين الحراري تعادل (٤٤٪) من قدرة مادة الخرسانة المسلحة و(٥٧٪) من قدرة مادة الطوب الأسمنتي المصمت.

مما سبق نستنتج أنه يمكن وصف مادتي الطوب الأسمنتي المفرغ نوع (أ)، (ب) بأنهما مادتين لهما قدرة جيدة على توصيل الحرارة وحسنة في تخزينها.

أسلوب حل المشكلة

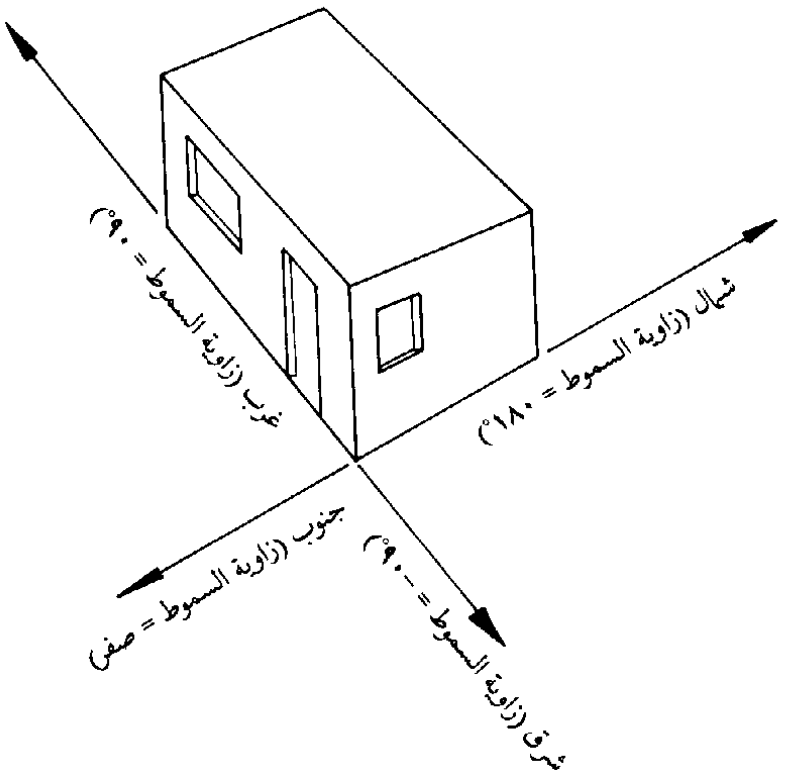
١ ـ أداة البحث

أداة البحث عبارة عن برنامج محاكاة للأداء الحراري بواسطة الحاسب الآلي، أعدته ووثقته واعتمدته هيئة علمية متخصصة. [٥] ويمكن أن يعد تطبيق هذا البرنامج من الناحية العلمية بديلاً مقبولاً عن القياس الحقيقي للأداء الحراري للمباني عند عدم توافر الظروف الملائمة للقياس الحقلي لمباني مبنية. ويقوم هذا البرنامج بمحاكاة تأثير الطقس الخارجي على المبنى، عند حساب درجة الحرارة الداخلية لحيزه الداخلي وحساب أحمال تكييفه ودرجات حرارة أسطحه الداخلية والخارجية طبقًا لتوصيف الطقس الخارجي ومواصفات الحيز الداخلي والمواد المستخدمة في بنائه والنشاطات البشرية داخله.

ويعمل هذا البرنامج حسب طريقة الانتقال الآني للحرارة، وطريقة معامل الاستجابة الحرارية [٥]، ويراعي البرنامج المستخدم عند الحساب، الخواص الطبيعية والحرارية لمواد البناء، وخاصة خاصية وزن كتلة مادة البناء، التي كثيراً ما أهملت عند استخدام الطرق التقليدية في حساب انتقال الحرارة مثل طريقة الحالة الثابتة وطريقة الحالة الدورية.

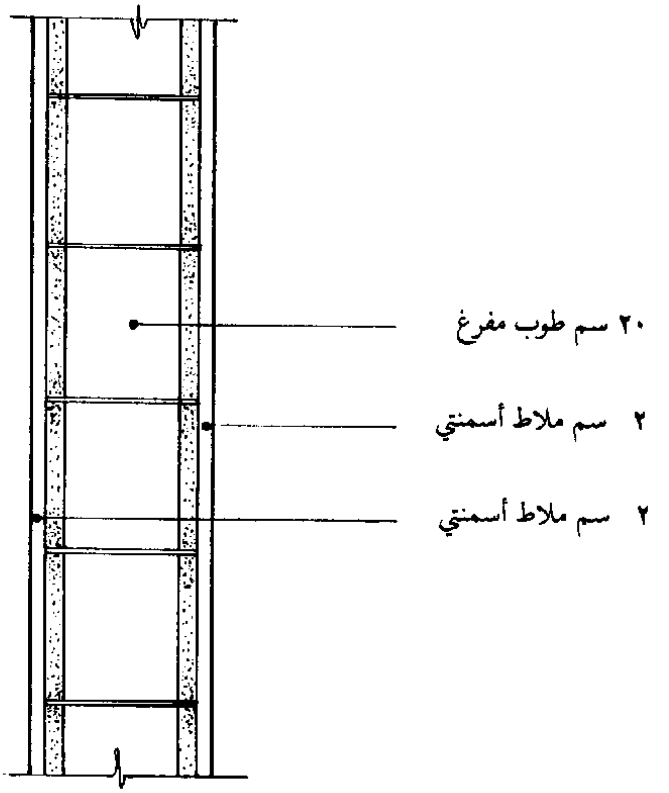
٢ ـ الوصف الطبيعي للمسكن النموذجي

عند استعراض المواد الموضحة في جدول رقم١ ، أمكن تمثيل عدة بدائل لمباني، يمثل كل منها مسكن نموذجي، عبارة عن فراغ واحد، يأوي أسرة سعودية. وتقدر مساحة الوحدة السكنية التي تبنى لأسرة سعودية نموذجية (يفرض أن عدد أفرادها سبعة أشخاص) بنحو (٤٣٢م٢) وتتكون في الغالب من طابقين (١٢م×١٨م×٢) ويوضح شكل١ المسكن النموذجي المستخدم في الدراسة.



شكل ١ . نموذج الدراسة

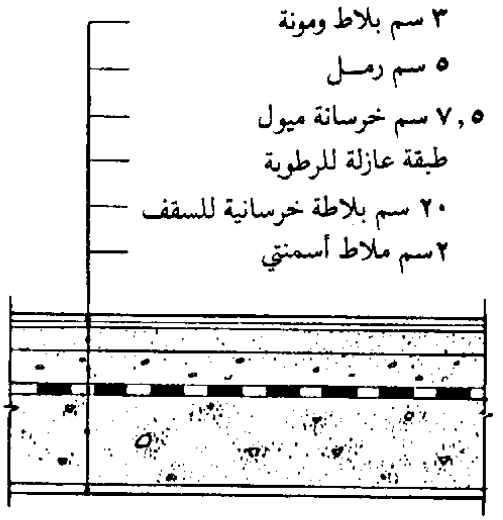
كما تم أيضًا، تمثيل وتوصيف أوجه نشاط الأسرة المقيمة بالمبنى حسب توقع نمط النشاط اليومي للأسرة. وتم أيضًا توصيف الأسطح الخارجية والمستخدمة كغلاف خارجي لمباني الدراسة طبقًا للقطاعات الموضحة بالأشكال ٢ ـ ٨.



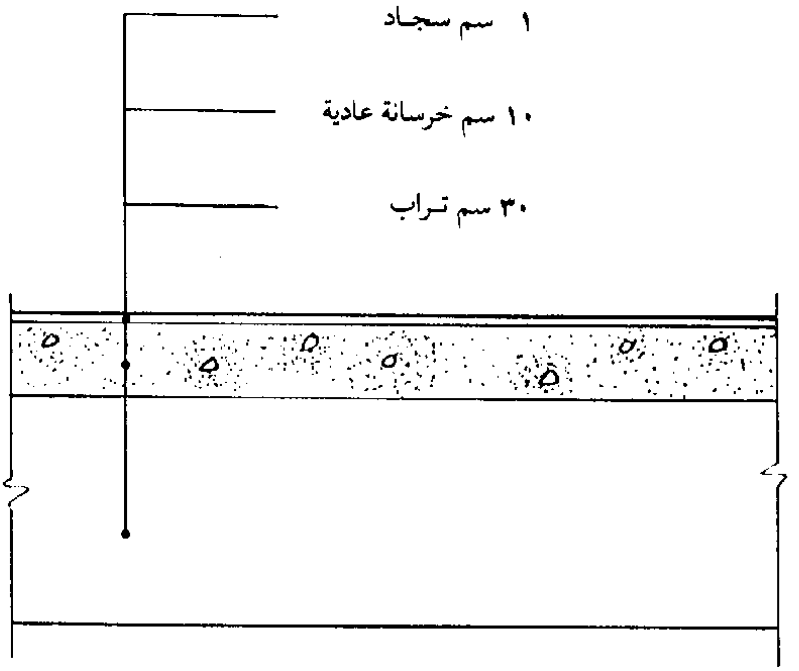
شكل ٢. حائط غير معزول حراريًا
معامل التوصيل الحراري الكلي:
لحائط الطوب الأسمنتي المفرغ = ٥,٠٨٤ وات/م٢ م°
لحائط الطوب الفخاري المفرغ = ٢,٥٥٠ وات/م٢ م°

٣ ـ مكان وزمان المحاكاة

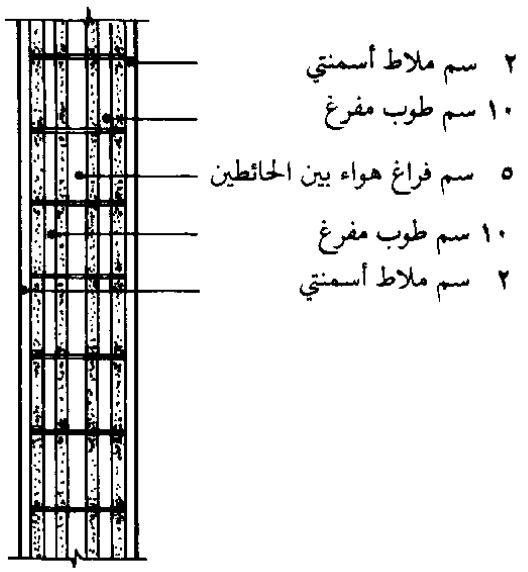
اختيرت مدينة الرياض التي تقع عند خط عرض (٢٤,٦ شمال خط الاستواء) وخط طول (٤٦,٧ شرق جرينتش) مكانًا للمحاكاة. وبعد دراسة مفصلة لطقس عام كامل للرياض، يتضح أن طقس الرياض يتصف صيفًا بالحراة وبالجفاف الشديدين وبالمدى الحراري المرتفع جدًّا (١٨ درجة مئوية).



شكل ٣ . بلاطة خرسانية للسقف غير معزولة حراريًا
معامل التوصيل الحراري الكلي = ٢,٨٥٧ وات/م^{٢} م°



شكل ٤ . أرضية مفروشة
معامل التوصيل الحراري الكلي = ١,٤٢٠ وات/م^{٢} م°

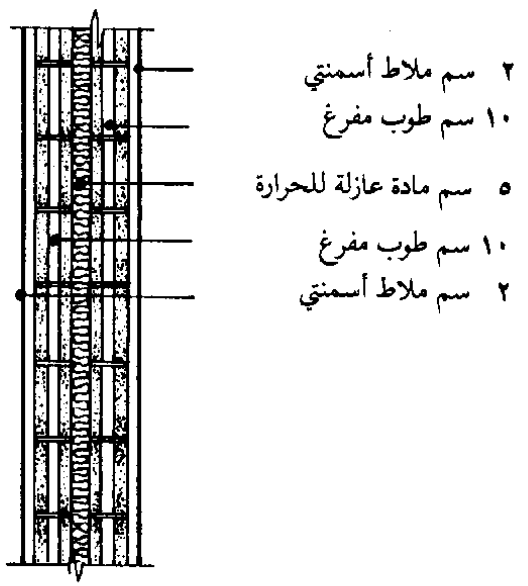


شكل ٥ . حائط مركب غير معزول حراريًا

معامل التوصيل الحراري الكلي:

للطوب الأسمنتي المفرغ = ٢,٢٨٣ وات/ م^{٢} م$^{\circ}$

للطوب الفخاري المفرغ = ١,٤٤٨ وات/م^{٢} م$^{\circ}$

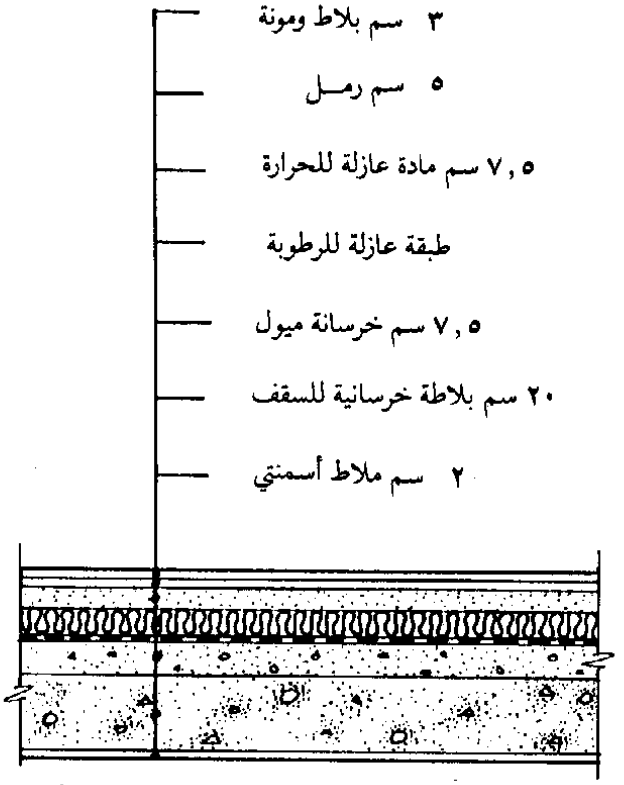


شكل ٦ . حائط مركب ومعزول حراريًا:

معامل التوصيل الحراري الكلي:

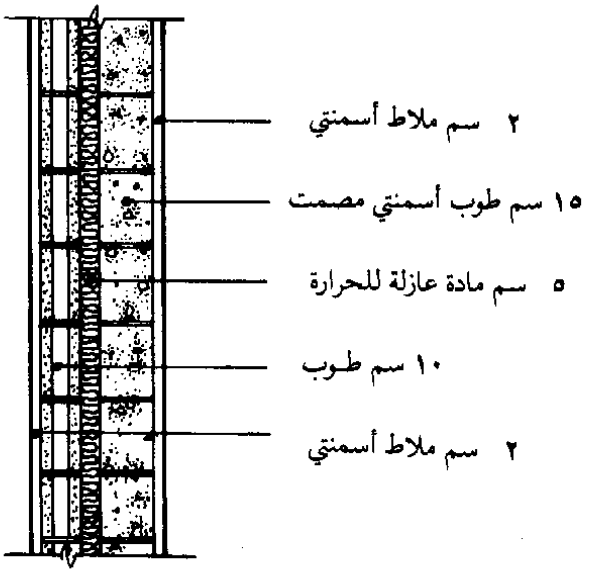
للطوب الأسمنتي المفرغ = ٠,٦٢٥ وات/ م^{٢} م$^{\circ}$

للطوب الفخاري المفرغ = ٠,٥٤٠ وات/م^{٢} م$^{\circ}$



شكل ٧ . بلاطة خرسانية للسقف معزولة حراريًا :

معامل التوصيل الحراري الكلي = ٠,٤٢٦ وات/م^{٢} م$^{\circ}$



شكل ٨ . حائط مركب ومعزول حراريًا (ذو كتلة بناء ثقيلة) .

معامل التوصيل الحراري الكلي :

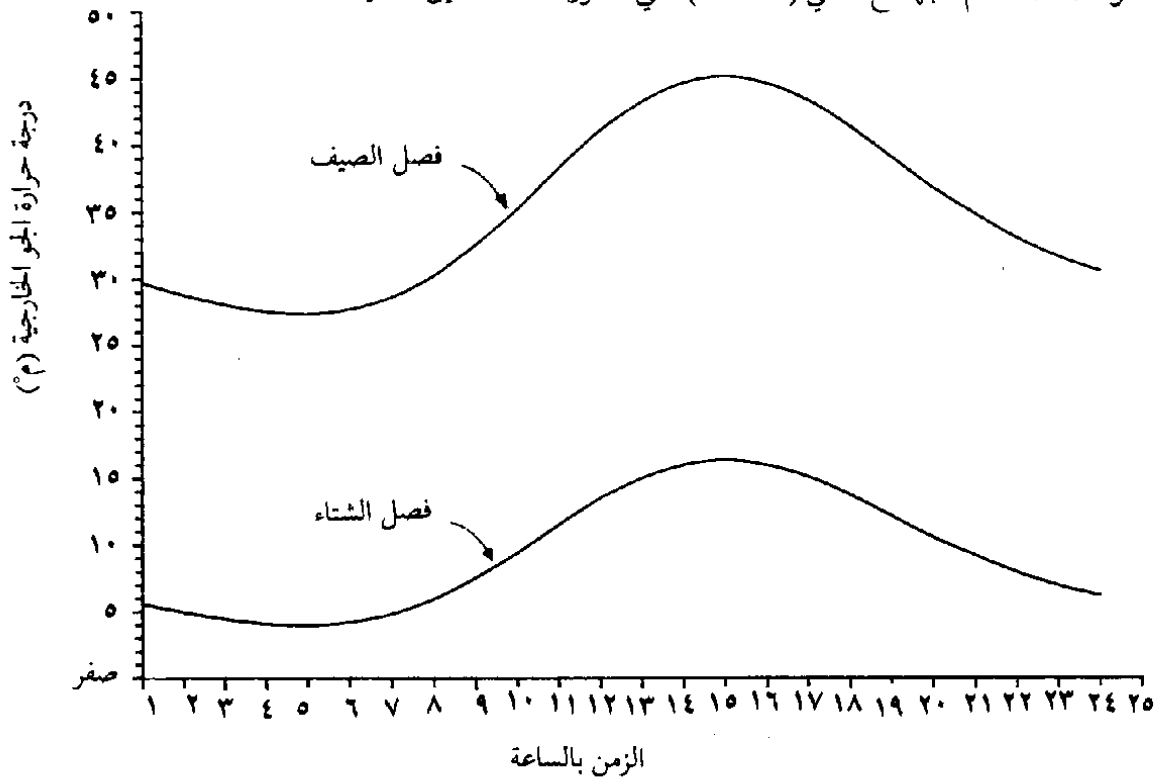
الطبقة الخارجية (طوب أسمنتي مفرغ) = ٠,٦١٩ وات/م^{٢} م$^{\circ}$

الطبقة الخارجية (طوب فخاري مفرغ) = ٠,٥٧٤ وات/م^{٢} م$^{\circ}$

كما يتصف طقس الرياض شتاءً بالبرودة القارسة أثناء الليل والسطوع الشمسي معظم النهار وبالمدى الحراري المرتفع (١٣ درجة مئوية) والرطوبة النسبية المتوسطة.

وقد اختير يومان من أيام العام المدروس ليمثل أحدهما فصل الصيف والآخر فصل الشتاء كأيام للمحاكاة ويوضحهما شكل ٩.

ملحوظة: قصد عدم دمجها مع شكلي (١٢، ١٣) لكي لا تؤول الأشكال إلى الأفقية



شكل ٩. مقارنة بين درجات حرارة الجو ليومي فصلي الصيف والشتاء.

وهذان اليومان يمثلان أحر يوم من أيام ذلك العام (٥ أغسطس) حيث أعطي أعلى درجة حرارة قدرها (٤٥ درجة مئوية)، وأدنى درجة حرارة لذلك اليوم (٢٧ درجة مئوية)، وأبرد يوم من أيام ذلك العام (١٣ يناير) حيث أعطي أعلى درجة حرارة قدرها (١٦ درجة مئوية) وأدنى درجة حرارة لذلك اليوم (٤ درجات مئوية). [٦]

٤ ـ نماذج المحاكاة

تم تمثيل ثمانية نماذج للمحاكاة، تمثل بعضًا من تقنيات البناء شائعة الاستعمال في مباني المنطقة الحارة الجافة من المملكة على النحو التالي:

أ ـ النموذج الأول يمثل مبنى بنيت حوائطه الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ وغير المعزولة حراريًا، سمك الحائط يعادل (٢٠سم). ويوضح قطاع الحائط شكل٢ وقطاع السقف شكل٣ وقطاع الأرضية شكل٤.

ب ـ النموذج الثاني يمثل مبنى بنيت حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وبينهما فراغ هوائي غير معزول حراريًا يعادل (٥سم) وسمك الحائط الكلي يعادل (٢٥سم) ويوضح قطاع الحائط شكل٥ وقطاع السقف شكل٣ وقطاع الأرضية شكل٤.

جـ ـ النموذج الثالث كسابقه مع عزل الفراغ الهوائي بمادة عازلة للحرارة سمك (٥سم) وسمك الحائط يعادل (٢٥سم) ويوضح قطاع الحائط شكل٦ وقطاع السقف شكل٧ وقطاع الأرضية شكل٤.

د ـ النموذج الرابع يمثل مبنى بنيت حوائطه الخارجية من الطوب الأسمنتي المفرغ وغير المعزولة حراريًا سمك الحائط يعادل (٢٠سم) ويوضح قطاع الحائط شكل٢ وقطاع السقف شكل٣ وقطاع الأرضية شكل٤.

هـ ـ النموذج الخامس يمثل مبنى بنيت حوائطه الخارجية من حائط مركب، طبقته الخارجية من الطوب الأسمنتي المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المفرغ سمك (١٠سم) وبينهما فراغ هوائي غير معزول حراريًا يعادل (٥سم) وسمك الحائط يعادل (٢٥سم) ويوضح قطاع الحائط شكل ٥ وقطاع السقف شكل٣ وقطاع الأرضية شكل٤.

و ـ النموذج السادس كسابقه مع عزل الفراغ الهوائي بمادة عازلة للحرارة سمك (٥سم) وسمك الحائط يعادل (٢٥سم) ويوضح قطاع الحائط شكل٦ وقطاع السقف شكل٧ وقطاع الأرضية شكل٤ .

ز ـ النموذج السابع يمثل مبنى بنيت حوائطه الخارجية من حائط مركب، طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المصمت سمك (١٥سم) وبينهما فراغ هوائي معزول بمادة عازلة للحرارة سمك (٥سم) وسمك الحائط يعادل (٣٠سم) ويوضح قطاع الحائط شكل٨ وقطاع السقف شكل٧ وقطاع الأرضية شكل٤ .

ح ـ النموذج الثامن يمثل مبنى بنيت حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الأسمنتي المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المصمت سمك (١٥سم) وبينهما فراغ هوائي معزول بمادة عازلة للحرارة سمك (٥سم) وسمك الحائط يعادل (٣٠سم) ويوضح قطاع الحائط شكل٨ وقطاع السقف شكل٧ وقطاع الأرضية شكل٤ .

٥ ـ نسب المسطحات والأحجام

٥ ـ ١ المسطحات

تم استخدام نوعين من المسطحات (معتمة وزجاجية) في تغليف نماذج الدراسة ومقارنتها مع بعضهما البعض كما في جدول٢ . تم ذلك بناءً على أبعاد المبنى الواردة سابقًا في (فقرة٢)، وبفرض مساحات النوافذ بكل حائط، (حسب الممارسة المعمارية السائدة في السوق المحلي). وقد استخدم زجاج اعتيادي مفرد له خاصية توصيل للحرارة تعادل (٣,٥٧ ـ وات/م^{٢} درجة مئوية) وذلك للنماذج غير المعزولة حراريًّا، (النموذج الأول والثاني والرابع والخامس)، كما استخدم زجاج مزدوج له خاصية توصيل للحرارة تعادل (١,٨ وات/م^{٢} ـ درجة مئوية) وذلك للنماذج المعزولة حراريًّا، (النموذج الثالث والسادس والسابع والثامن).

جدول ٢ . مقارنة مساحات العناصر الأساسية لتغليف نماذج الدراسة

العنصـــــر	المســاحـــة	النسبة المئوية بين العنصرين
النوافذ الجنوبية أو الشمالية	١٠م^{٢}	
الحائط الجنوبي أو الشمالي	٩٨م^{٢}	١٠,٢٪
النوافذ الغربية	٣,٥م^{٢}	
الحائط الغربي	٦٨,٥م^{٢}	٥٪
النوافذ الشرقية	٦م^{٢}	
الحائط الشرقي	٦٦م^{٢}	٩٪
السقف والأرضية	٢١٦م^{٢}	لا ينطبق

٥ ـ ٢ الأحجـام

تشكل نسب المسطحات المعرضة للطقس الخارجي والأحجام الفراغية الداخلة في تشكيل حجم المبنى أهمية لتحديد مدى سيطرة الطقس الخارجي على كمية الأحمال اللازمة لتبريد وتدفئة الحيز الداخلي للمبنى ، فكلما كبرت النسبة فيعني دلالة ذلك على أهمية المسطح الخارجي فيما يخص كمية حمل التبريد أو التدفئة اللازم له [٧] عند ذلك يكون :

$$\text{حجم المبنى} = ١٢ \times ١٨ \times ٦ = ١٢٩٦\text{م}^{٣}$$

$$\text{مساحات مسطحات الأسطح المعرضة للطقس الخارجي} =$$

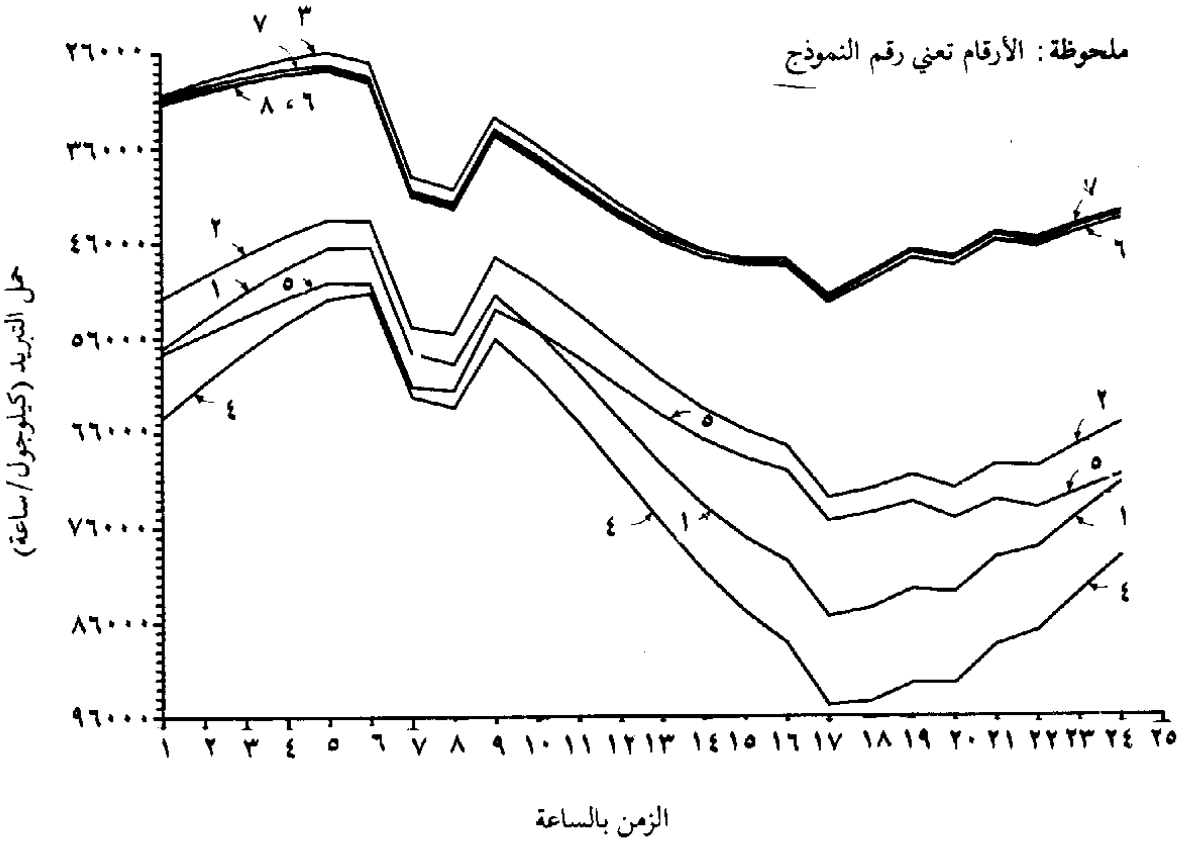
$$٢ \times ١٢ \times ٦ + ٢ \times ١٨ \times ٦ + ١٢ \times ١٨ = ٥٧٦\text{م}^{٢}$$

$$\text{نسبة} \frac{\text{مساحة الأسطح المعرضة للطقس الخارجي}}{\text{حجم المبنى}} = \frac{٥٧٦}{١٢٩٦} = ٠,٤٤$$

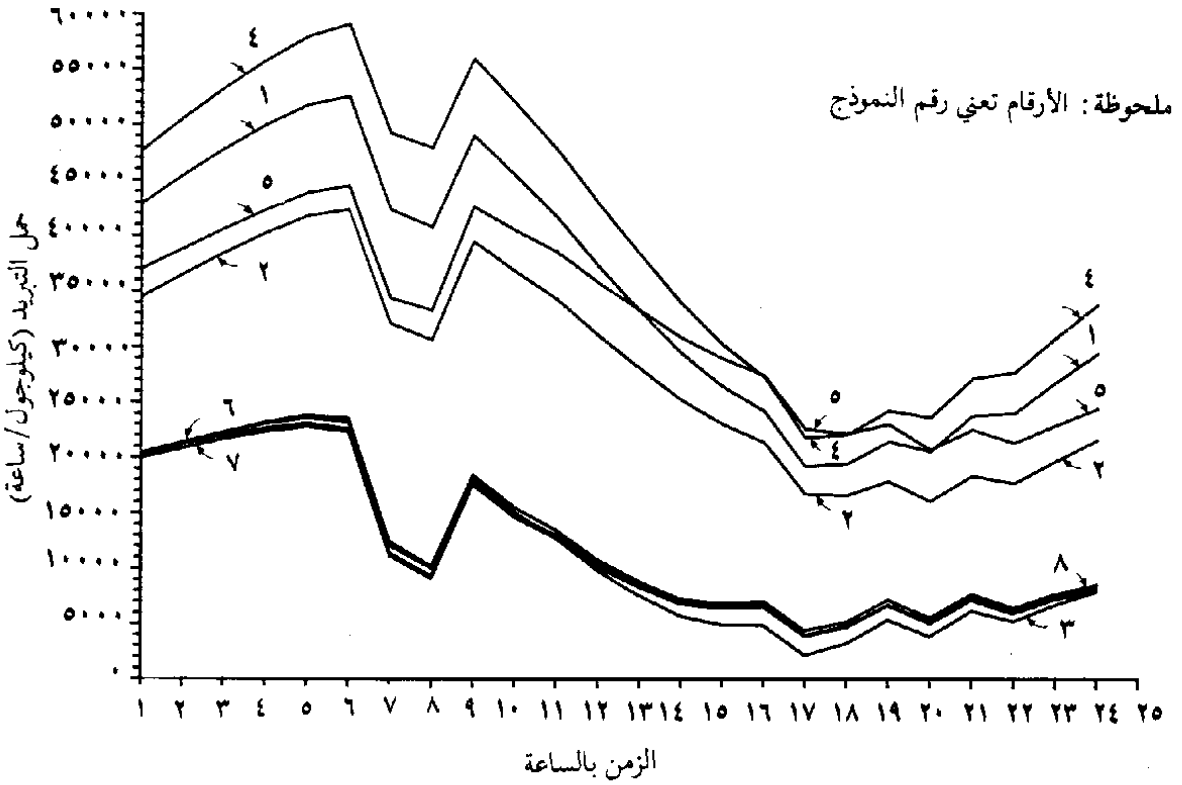
تحليل محاكاة الأداء الحراري للنماذج المدروسة

نتيجة لتشغيل برنامج المحاكاة للأداء الحراري حسب النماذج الموصفة كما في (فقرة٤)، والتوصيف للبيئة الخارجية والداخلية لها، تم الآتي:

١ ـ حساب ومقارنة الأداء الحراري للنماذج المدروسة من خلال رسم وتلخيص النتائج بصورة منحنيات، وتوضحها (الأشكال ١٠ ـ ١٣ والجدولين ٣، ٤). وتمثل هذه النتائج التباين في درجات الحرارة الداخلية للحيزات الداخلية للنماذج المدروسة وأحمال التكييف اللازمة لتبريدها وتدفئتها لفصلي الصيف والشتاء على التوالي.



شكل ١٠. مقارنة بين أحمال تبريد الحيز الداخلي للنماذج المدروسة والمتولدة من سريان الحرارة خلال الحوائط والسقف والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي خلال ساعات يوم فصل الصيف.



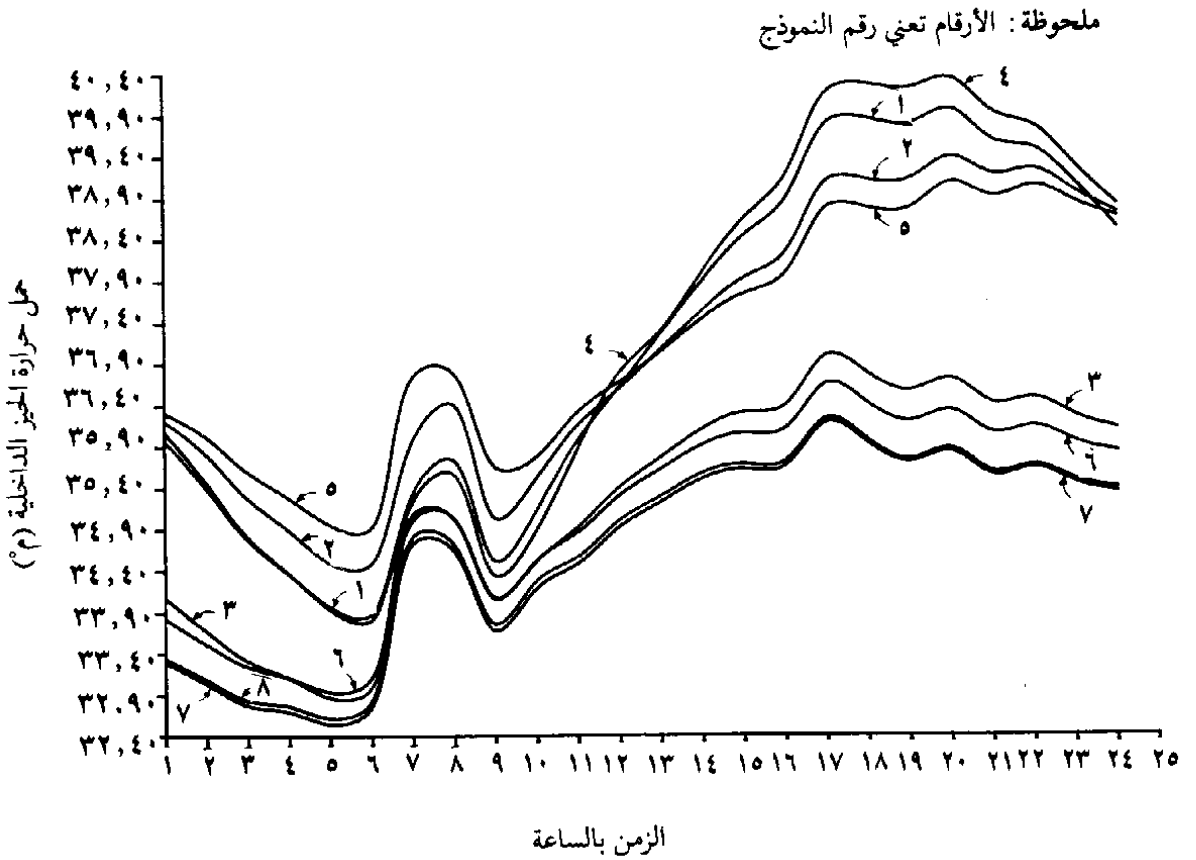
شكل ١١ . مقارنة بين أحمال تدفئة الحيز الداخلي للنماذج المدروسة والمتولدة من سريان الحرارة خلال الحوائط والسقف والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي خلال ساعات يوم فصل الشتاء .

٢ ـ رسم منحنيات تمثل كميات الإشعاع الشمسي الساقط والممتص على الأسطح الخارجية المختلفة للنماذج المدروسة وذلك لفصلي الصيف والشتاء ويوضحها (الشكلين ١٤، ١٥).

من خلال دراسة هذه الأشكال والكشوف أمكن استقراء التالي :

١ ـ الأداء الحراري للنماذج المدروسة لفصل الصيف

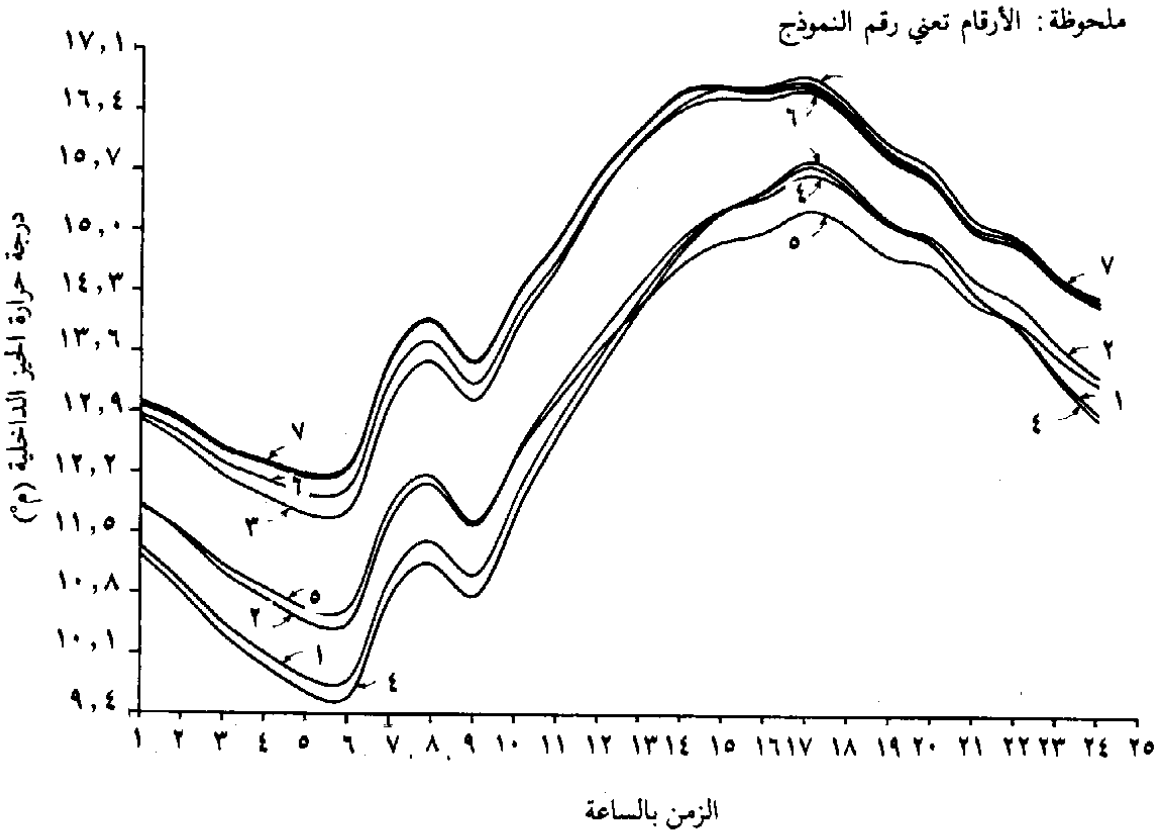
١ ـ ١ مقارنة النموذج الأول المبنية حوائطه الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ وغير المعزولة حراريًا، سمك (٢٠سم)، مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الرابع .



شكل ١٢ . مقارنة بين درجات حرارة الحيز الداخلي للنماذج المدروسة والمتولدة من سريان الحرارة خلال الحوائط والسقف والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي خلال ساعات يوم فصل الصيف .

أ ـ حمل التبريد: من دراسة منحنيات كميات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١٠)، يلاحظ وجود تميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الأول عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الرابع وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج عند توحيد درجة حرارته الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) صيفًا. ويقدر هذا التميز بتوفير (١٠٪) من حمل التكيف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج الرابع طوال اليوم.

وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح



شكل ١٣ . مقارنة بين درجات حرارة الحيز الداخلي للنماذج المدروسة والمتولدة من سريان الحرارة خلال الحوائط والسقف والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي خلال ساعات يوم فصل الشتاء .

المغلفة للنموذج الرابع أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج الأول .

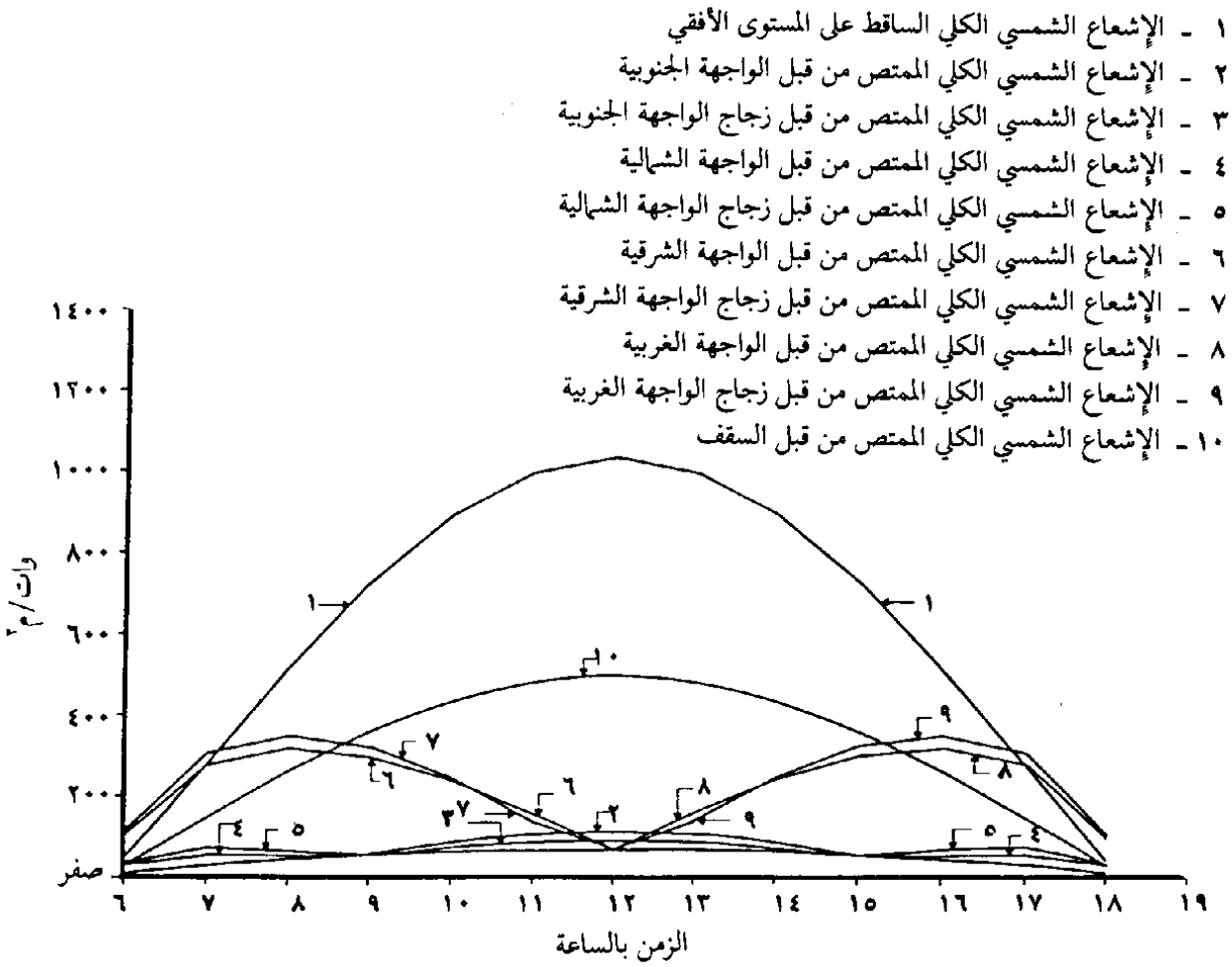
ب ـ **درجة الحرارة الداخلية** : من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين ، (شكل١٢) يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الرابع وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الأول وذلك فيما يخص مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي ، حيث يسجل النموذج الرابع انخفاضًا بسيطًا في مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي ، عن النموذج الأول وذلك فيما بين الساعة الخامسة والحادية عشر صباحًا من اليوم .

جدول ٣. مقارنة الحد الأدنى مع الحد الأقصى لدرجة حرارة وحمل تبريد الحيز الداخلي ليوم فصل الصيف.

النمـــوذج / المعـــدل	النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث	النموذج الرابع	النموذج الخامس	النموذج السادس	النموذج السابع	النموذج الثامن
أدنى درجة حرارة للحيز الداخلي (درجة مئوية)	٣٣,٨٨	٣٤,٤٩	٣٢,٨٧	٣٣,٨١	٣٤,٩٢	٣٢,٩٤	٣٢,٥٥	٣٢,٦٢
ساعـة الحـدوث	٦	٦	٥	٦	٦	٥	٥	٥
أقصى درجة حرارة للحيز الداخلي (درجة مئوية)	٣٩,٩٦	٣٩,٣٩	٣٧,٠٠	٤٠,٣٤	٣٩,٠٨	٣٦,٦٦	٣٦,١٩	٣٦,٢٤
ساعـة الحـدوث	٢٠	٢٠	١٧	٢٠	٢٠	١٧	١٧	١٧
أدنى كمية لحمل تبريد الحيز الداخلي (كيلوجول/ساعة)	٤٦٣٨٦	٤٣٥٠٦	٢٥٨٠٣	٥١٢٧٣	٥٠١٧٢	٢٧٥٨٥	٢٧١٩١	٢٧٧٥٠
ساعـة الحـدوث	٦	٥	٥	٦	٥	٥	٥	٥
أقصى كمية لحمل تبريد الحيز الداخلي (كيلوجول/ساعة)	٨٥٤٤١	٧٢٩٠٥	٥٢٣٩٨	٩٤٨٤٥	٧٥٣٧٣	٥٢٤٢٧	٥١٦٠٥	٥٢٠٠٦
ساعـة الحـدوث	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧
معدل الحمل الساعي (كيلوجول/ساعة)	٦٦٢٦٦	٥٨٩٩٤	٤٠٠٤٣	٧٣٢٧٦	٦٣٦٦٢	٤٠٩٤٥	٤٠٣٣٨	٤٠٨١٨
الحمل الكلي لتبريد الحيز الداخلي (كيلوجول/يوم)	١٥٩٠٣٨٨	١٤١٥٨٦٧	٩٦١٠٢٦	١٧٥٨٦٢٩	١٥٢٧٨٨٧	٩٨٢٦٧٤	٩٦٨١٠٨	٩٧٩٦٢١

جدول ٤ . مقارنة الحد الأدنى مع الحد الأقصى لدرجة حرارة وتدفئة الحيز الداخلي ليوم فصل الشتاء .

النمـــوذج / المعـــدل	النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث	النموذج الرابع	النموذج الخامس	النموذج السادس	النموذج السابع	النموذج الثامن
أدنى درجة حرارة للحيز الداخلي (درجة مئوية)	٩,٧٨	١٠,٤٤	١١,٧١	٩,٥٨	١٠,٦١	١١,٩٤	١٢,١٨	١٢,١٤
ساعـة الحـدوث	٦	٦	٥	٦	٦	٥	٥	٥
أقصى درجة حرارة للحيز الداخلي (درجة مئوية)	١٥,٧٦	١٥,٦٦	١٦,٨١	١٥,٨٢	١٥,٢٥	١٦,٦٤	١٦,٧٤	١٦,٦٩
ساعـة الحـدوث	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧	١٧
أدنى كمية لحمل تدفئة الحيز الداخلي (كيلوجول/ساعة)	١٩١٥٩	١٦٥٦٧	٢١٤٨	٢١٧٨٣	٢٢١٣٦	٣٩٧٣	٣٨٧٧	٤٣٩٠
ساعـة الحـدوث	١٧	١٨	١٧	١٧	١٨	١٧	١٧	١٧
أقصى كمية لحمل تدفئة الحيز الداخلي (كيلوجول/ساعة)	٥٢٥٢٣	٤٢٣٣١	٢٣٧٩٧	٥٩٠٣٤	٤٤٤٥٤	٢٣٥٥٤	٢٢٧٧٤	٢٣٠٧٤
ساعـة الحـدوث	٦	٦	٥	٦	٦	٥	٥	٥
معدل الحمل الساعي (كيلوجول/ساعة)	٣٥١٦٠	٢٨٣١٦	١١٥٠٧	٣٩٩٩٠	٣٢١٣٧	١٢٢٣٦	١١٧٤٤	١٢١٣٤
الحمل الكلي لتدفئة الحيز الداخلي (كيلوجول/يوم)	٨٤٣٨٥٠	٦٧٩٥٨٦	٢٧٦١٥٩	٩٥٩٧٥٨	٧٧١٢٨٤	٢٩٣٦٧٤	٢٨١٨٥٣	٢٩١٢١٤

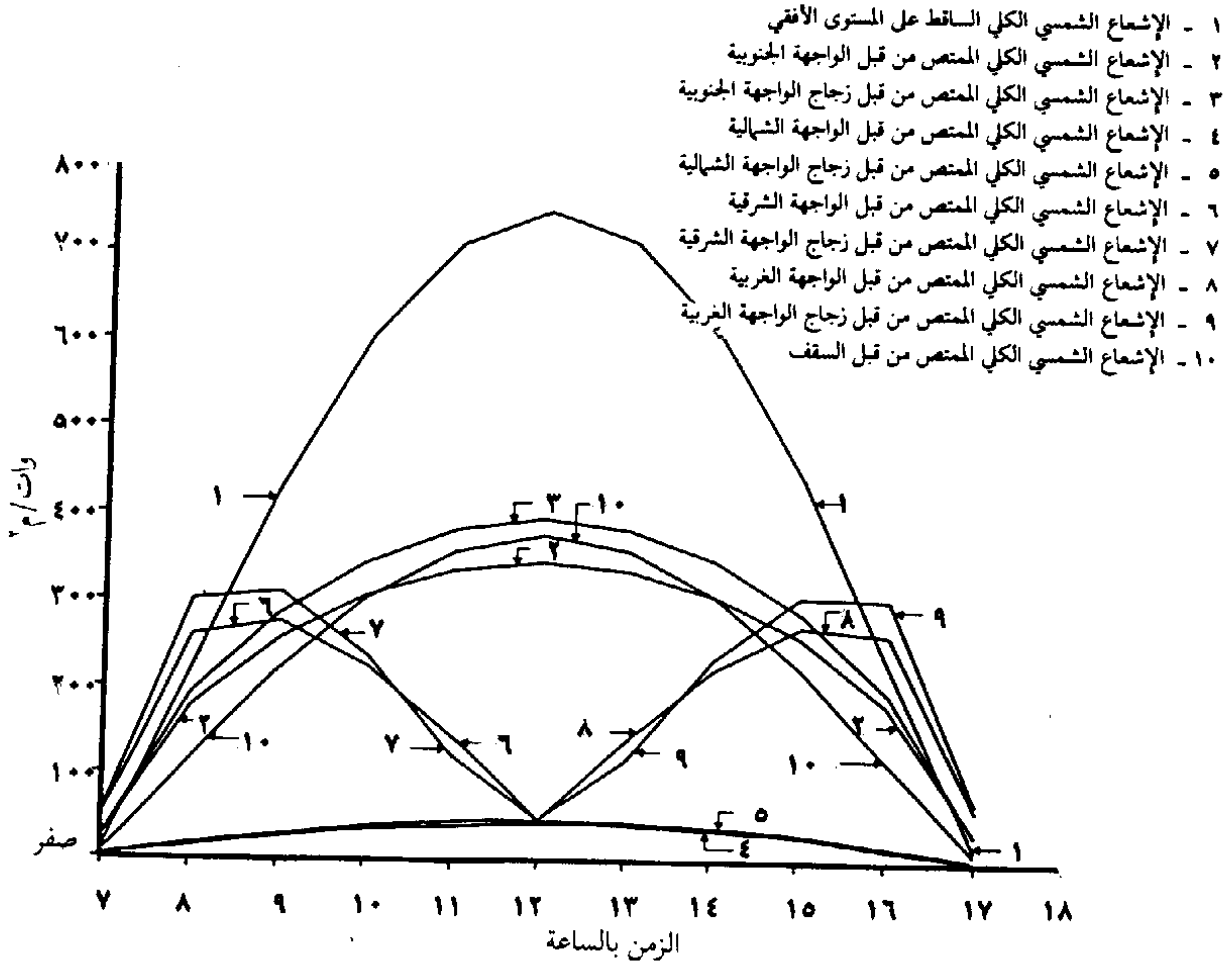


شكل ١٤. مقارنة بين كمية الإشعاع الشمسي الممتص من قبل الزجاج والحوائط والسقف للنماذج المدروسة خلال ساعات الإشعاع في يوم فصل الصيف.

وتنعكس الصورة بعد الساعة الحادية عشر صباحًا حتى الساعة الرابعة صباحًا من اليوم التالي، لتتميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الأول، عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الرابع.

وهذا التميز المتناوب عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج في تلك الساعات والتي غالبًا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج.

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول ١.



شكل ١٥ . مقارنة بين كمية الإشعاع الشمسي الممتص من قبل الزجاج والحوائط والسقف للنماذج المدروسة خلال ساعات الإشعاع في يوم فصل الشتاء.

ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي.

وهذا يؤدي إلى أن معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الرابع، أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الأول، عدا سبع ساعات من اليوم أي ما بين الساعة الخامسة والحادية عشر صباحًا من اليوم.

ومن دراسة منحنى درجة الحرارة الخارجية (شكل٩)، يلاحظ أن انخفاض درجة الحرارة للجو الخارجي تحدث عند الساعة الخامسة صباحًا ومن بعدها تبدأ درجة الحرارة في

الارتفاع حتى الساعة الثالثة ظهرًا حيث تصل إلى أعلى درجة حرارة في اليوم وبعدها تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض.

كما يلاحظ من دراسة منحنيات الإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية المغلفة للنماذج المدروسة (شكل١٤)، أن كمية الإشعاع الساقط والممتص تتفاوت درجة كميتها مع الزمن وحسب توجيه السطح المعرض للإشعاع الشمسي.

ويستنتج مما سبق، أنه بعدما تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض، تبدأ كتلة البناء المغلفة للنموذج المدروس في الاستمرار في إشعاع وفقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها للبيئة المحيطة (داخل أو خارج النموذج) حتى يبدأ الكسب الحراري عند الساعة الخامسة صباحًا، عندما تبدأ درجة حرارة الجو في الارتفاع. ويصحب هذا الفقد الحراري انخفاضًا في درجة حرارة أسطح كتلة البناء وبعد الساعة الخامسة صباحًا، يبدأ الكسب والتخزين الحراري للطاقة الحرارية من التأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي مرة أخرى.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والتأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية المغلفة للنموذج والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي للنموذج، كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة البناء وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للحوائط المغلفة للنموذج الأول، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الرابع، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بناء النموذج الأول، بطاقة حرارية أقل من كتلة بناء النموذج الرابع، حيث تستمر كتلة بناء النموذج الرابع، في تخزين الطاقة الحرارية من المصادر السابقة إلى أن تتشبع بها.

وبما أن قدرة كتلة بناء النموذج الرابع، على التخزين الحراري للطاقة الحرارية، تفوق كمًّا وكيفًا، كتلة بناء النموذج الأول، فينتج عنه أن الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح

المغلفة للنموذج الرابع، من الطاقة المحيطة أبطأ من الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الأول، وذلك لمواصلة كتلة بناء النموذج الرابع، التخزين الحراري للطاقة الحرارية. وتحتاج عملية مواصلة التخزين الحراري في كتلة بناء النموذج الرابع إلى زمن يقدر من الساعة الخامسة صباحًا حتى الحادية عشر صباحًا من اليوم.

وهذا يجعل من درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج الرابع أكبر من درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج الأول، طيلة (١٧ ساعة) أي ما بين الساعة الثانية عشر ظهرًا حتى الرابعة صباحًا من اليوم التالي.

١ ـ ٢ مقارنة النموذج الثاني المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ، سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الفخاري المفرغ، سمك (١٠سم) وبينهما فراغ هوائي غير معزول حراريًا، سمك (٥سم)، مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الخامس.

أ ـ حمل التبريد: من دراسة منحنيات كميات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١٠)، يلاحظ وجود تميز بسيط بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثاني وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الخامس، وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج عند توحيد درجة حرارته الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) صيفًا، ويقدر هذا التميز بتوفير (٧٪) من حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج الخامس طوال اليوم.

وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج الخامس، أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج الثاني.

ب ـ درجة الحرارة الداخلية: من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين (شكل١٢)، يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج

الخامس، وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثاني فيما يخص مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج، حيث يسجل النموذج الخامس انخفاضًا بسيطًا في مقدارها، وذلك فيما بين الساعة الواحدة ظهرًا حتى منتصف الليل وتنعكس الصورة بعد منتصف الليل حتى الظهيرة من اليوم التالي، لتتميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثاني عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الخامس.

وهذا التميز عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء أسطح الطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للحيز الداخلي للنموذج في تلك الساعات والتي غالبًا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج.

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول١.

ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي.

وهذا يؤدي إلى أن معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح الداخلية للطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للحيز الداخلي للنموذج الثاني أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح نفسها بالنسبة للنموذج الخامس وذلك طيلة (١٢ ساعة) أي ما بين الساعة الواحدة ظهرًا حتى منتصف الليل وبعدها تنعكس الصورة ليصبح معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح نفسها بالنسبة للنموذج الخامس أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح نفسها بالنسبة للنموذج الثاني وذلك طيلة (١٢ ساعة) أي ما بين الساعة الواحدة صباحًا حتى الظهيرة من اليوم التالي.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار، نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجيةوالطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي، كمصادر

للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة الطبقة الداخلية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للحيز الداخلي للنموذج الثاني، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الخامس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثاني بطاقة حرارية مخزنة أقل من كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الخامس وذلك طوال اليوم. كما أن التأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية، كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة أيضًا، بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الخامس، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الخامس أيضًا، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثاني بطاقة حرارية مخزنة أقل من تلك التي للنموذج الخامس طوال اليوم.

ومن استقراء الفقرة السابقة ١ ـ ١ ـ ب يستنتج، أنه بعدما تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض، فإن كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الخامس تفقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها للخارج وإلى الفراغ الهوائي بين طبقتي الحائط المركب بصورة أسرع وأكبر من تلك التي للنموذج الثاني، وذلك نظرًا لتشبعها بالطاقة الحرارية وتميز خواصها الحرارية والطبيعية. وبما أن معامل توصيلها الحراري أكبر من تلك التي للنموذج الثاني فإن الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الخامس تواصل عملية تخزين الطاقة الحرارية من السطح الخارجي لها (المطل على الفراغ الهوائي) بواسطة الحمل والإشعاع من السطح الداخلي للطبقة الخارجية للحائط المركب (المطل على الفراغ الهوائي) كما تواصل مبادلة وتخزين الطاقة الحرارية مع السطح الداخلي للسقف ريثما تتعادل مع الطاقة المحيطة وتستمر العملية حتى منتصف الليل وبعدها تبدأ في فقد الطاقة المخزنة فيها.

وهذا يجعل من درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج الخامس أصغر من درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج الثاني وذلك فيما بين الساعة الواحدة ظهرًا وحتى منتصف الليل.

ويستنتج مما سبق، أن الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الثاني من الطاقة المحيطة أسرع من الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الخامس وذلك فيما بين الساعة الواحدة ظهرًا حتى منتصف الليل وذلك لكون كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الخامس تواصل عملية التخزين الحراري للطاقة الحرارية. وهذا النمط من الأداء الحراري عائد إلى تأثير وجود الفراغ الهوائي (غير المعزول) الذي بين طبقتي الحائط المركب.

جـ ـ الأداء الحراري للفراغ الهوائي بين طبقتي الحائط المركب:

١ ـ *الأداء في النهار:* يتلخص أداء الفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب وغير المعزول حراريًا بكون الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للنموذج، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وإشباعها بالطاقة الحرارية المخزنة لتجعل منها سطحًا مشعًا للطاقة الحرارية للفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب. حيث تقوم الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من السطح الداخلي للطبقة الخارجية للحائط المركب بتسخين هواء الفراغ الذي بين طبقتي الحائط المركب حيث يرتفع الهواء الساخن إلى أعلى ثم يلامس السطح الخارجي للطبقة الداخلية للحائط المركب ناقلاً له حرارته (بواسطة الحمل والإشعاع معًا).

كما تقوم الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار، نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي، بتسخين السطح الداخلي لكتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب وإشباعها بالطاقة الحرارية بمساعدة الطاقة المشعة والمحمولة من خلال الفراغ الهوائي بواسطة الأسطح الداخلية للطبقة الخارجية للحائط المركب وجميع هذه المصادر للطاقة الحرارية كفيلة بإشباع كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثاني قبل كتلة بناء النموذج الخامس، حيث تواصل الكتلة للنموذج الخامس عملية التخزين الحراري للطاقة الحرارية ريثما تتشبع بها من جميع المصادر السابقة ولتجعل منها بعد ذلك سطحًا مشعًا للطاقة الحرارية للحيز الداخلي وللفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب.

٢ ـ *الأداء في الليل:* بما أن الحرارة تنتقل من البيئة الحارة إلى البيئة الباردة، فإن الصورة التي سبق شرحها في الفقرة السابقة (جـ ـ ١)، تنعكس بعدما تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض، حيث يتلخص أداء الفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب وغير المعزول حراريًّا، بكون كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب تبدأ في فقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها إلى الداخل وإلى الفراغ الهوائي. كما أن السطح الداخلي لكتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب تبدأ عملية التخزين الحراري مرة أخرى إلى أن تتشبع بها وتتعادل مع الطاقة المحيطة. وتبدأ بعد ذلك في فقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها إلى الخارج وإلى الفراغ الهوائي مرة أخرى ريثما تتعادل مع الطاقة المحيطة مرة أخرى.

١ ـ ٣ مقارنة النموذج الثالث المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وبينهما فراغ هوائي معزول حراريًّا، سمك (٥سم)، مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج السادس.

أ ـ حمل التبريد: من دراسة منحنيات كميات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١٠) يلاحظ وجود تميز بسيط بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثالث وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السادس وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج عند توحيد درجة حرارته الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) صيفًا ويقدرهذا التميز بتوفير (٢٪) من حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج السادس طول اليوم، سوى ثلاث ساعات في اليوم تتراوح ما بين الساعة (١٨ ـ ٢٠). وهذا التميز البسيط عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج السادس أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج الثالث عند ساعات التميز.

ب ـ درجة الحرارة الداخلية: من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين (شكل١٢)، يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السادس وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثالث فيما يخص مقدار درجة الحرارة

الـداخلية للحيز الـداخـلي للنموذج طيلة (١٩ ساعة) من اليوم، حيث يسجل النموذج السادس انخفاضًا بسيطًا في مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للمبنى وذلك فيما بين الساعة الحادية عشر صباحًا حتى منتصف الليل ومن الساعة الخامسة حتى التاسعة صباحًا من اليوم التالي، وسجلت درجة الحرارة الداخلية تساوٍ عند الرابعة صباحًا من اليوم التالي لكلا التقنيتين.

وهذا التميز عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء أسطح الطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للحيز الداخلي للنموذج والتي غالبًا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج.

وتعتمـد كمية الـطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما يوضحها جدول ١. ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي.

وهـذا يؤدِّي إلى أن معـدل مقـدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للحيز الـداخـلي للنموذج الثالث أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للنموذج السادس طيلة (١٩ ساعة).

وكـذلك الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الثالث من الطاقة المحيطة أسرع من الاستجـابـة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج السادس عند ساعات التميز.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي للمبنى كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب وتخزين الطاقة

الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للنموذج الثالث وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج السادس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بنائها بطاقة حرارية مخزنة أقل من تلك التي للنموذج السادس. وحيث إن التأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للنموذج كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثالث، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج السادس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية، تقوم بإشباع كتلة بناء النموذج الثالث بطاقة حرارية مخزنة أقل من تلك التي لكتلة بناء النموذج السادس، مع ملاحظة أن الطبقة العازلة للحرارة التي بين طبقتي الحائط المركب تسبب إبطاءً لسريان وكسب الطاقة الحرارية المخزنة من كتلة الطبقة الخارجية للحائط المركب إلى الطبقة الداخلية للحائط المركب وقت الكسب الحراري، كما تسبب أيضًا، إبطاءً لسريان وفقد الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة الطبقة الداخلية للحائط المركب إلى الطبقة الخارجية للحائط المركب وقت الفقد الحراري. ويستنتج عندئذ أن لها تأثيرًا إيجابيًا في النهار في التقليل من توصيل وتخزين الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وسلبيًا في الليل في التقليل من توصيل وفقد الطاقة الحرارية المخزنة بكتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب.

وتتميز كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج السادس في الاستمرار في تخزين الطاقة الحرارية بعدما يتم إشباع كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثالث بالطاقة الحرارية المخزنة، مما يجعل من الأسطح الداخلية لكتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثالث أسطحًا مشعة للطاقة الحرارية المخزنة فيها طيلة (١٩ ساعة) من اليوم.

١ ـ ٤ مقارنة النموذج السابع المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب

الأسمنتي المصمت سمك (١٥سم) وبينهما فراغ هوائي معزول بمادة عازلة للحرارة، سمك (٥سم)، مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الثامن.

أ ـ حمل التبريد: من دراسة منحنيات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١٠)، يلاحظ وجود تميز بسيط بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السابع وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثامن، وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج عند توحيد درجة حرارته الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) صيفًا ويقدر هذا التميز بتوفير (١٪) من حمل التكييف اللازم لتبريد الحيز الداخلي للنموذج الثامن طوال اليوم. وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج الثامن أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمكتسبة من الأسطح المغلفة للنموذج السابع.

ب ـ درجة الحرارة الداخلية: من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين (شكل١٢)، يلاحظ وجود تميز بسيط بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السابع وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثامن وذلك فيما يخص مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي طول اليوم. وهذا التميز عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج والتي غالبا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول ١. ويعتمد أيضًا مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي.

وهذا يؤدي إلى أن معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للنموذج الثامن أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للنموذج السابع. طول اليوم.

وكـذلـك الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الثامن من الطاقة المحيطة أسرع من الاستجابة الحرارية للأسطح المغلفة للنموذج السابع .

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الـزجاجية، والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي للمبنى، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معـامـل التوصيل الحراري للطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج السابع، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها مساوية لتلك التي للنموذج الثامن، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بتخزين الطاقة الحرارية فيها بصفة متساوية لكتلة بناء الطبقة الداخلية للنموذج الثامن .

كما أن التـأثـير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للطبقة الخارجية للحائط المركب كفيلة أيضًا، بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحـائط المـركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها، وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج السابع، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها، أقل من تلك التي للنمـوذج الثـامن، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بتسخين وتخزين الطاقة الحرارية بالطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج السابع بصفة أقل من تلك التي للنموذج الثامن، لذا فإن كمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الثامن، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بتوصيل وتخزين طاقة حرارية بكتلة بناء الطبقة الداخلية للنموذج السابع بصفة أقل إلى حدٍّ ما من تلك التي للنموذج الثامن .

ويسبب سريان الطاقة المخزنة في كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثامن زيادة في الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثامن عن تلك التي للنموذج السابع وذلك رغم وجود الطبقة العازلة للحرارة بين طبقتي الحائط المركب .

ويؤثـر وجود الطبقة العازلة للحرارة إيجابًا في إبطاء سريان وكسب الطاقة الحرارية المخزنة في الكتلة الخارجية للحائط المركب إلى الطبقة الداخلية للحائط المركب في النهار كما يؤثر سلبًا في إبطاء سريان وفقد الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب إلى كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب أثناء الليل.

٢ ـ الأداء الحراري للنماذج المدروسة لفصل الشتاء

٢ ـ ١ مقارنة النموذج الأول المبنية حوائطه الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ، وغير المعزولة حراريًا، سمك (٢٠سم) مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الرابع.

أ ـ حمل التـدفئـة: من دراسة منحنيات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١١) يلاحظ تميز تقنية بنـاء الحـوائط الخارجية للنموذج الأول عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الرابع وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازم لتدفئة الحيز الداخلي للنموذج عند توحيد درجة الحرارة الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) شتاء. ويقدر هذا التميز بتوفير (١٢٪) من حمل التكييف اللازم لتدفئة النموذج الرابع طوال اليوم.

وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج الرابع أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج الأول.

ب ـ درجـة الحـرارة الـداخليـة: من دراسـة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين (شكل١٣)، يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الرابع وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الأول وذلك فيما يخص مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي، حيث يسجل النموذج الرابع ارتفاعًا بسيطًا في مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي عن النمودج الأول وذلك فيما بين الساعة (١٦ ـ ٢٠) من اليوم. وتنعكس الصورة بعد الساعة الثامنة مساءً حتى الساعة الثالثة ظهرًا من اليوم التالي، لتتميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الأول عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الرابع.

وهذا التميز المتناوب عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة نهارًا في كتلة بناء الأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج والتي غالبًا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج .

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول ١ . ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي .

وهذا يؤدي إلى أن معدل درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الرابع أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الأول وذلك فيما بين الساعة (١٦ ـ ٢٠) من اليوم .

ومن دراسة منحنى درجة الحرارة الخارجية (شكل٩)، يلاحظ أن أقل درجة حرارة للجو الخارجي تحدث عند الساعة الخامسة صباحًا ومن بعدها تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع حتى الساعة الثالثة ظهرًا حيث تصل إلى أعلى درجة في اليوم وبعدها تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض .

كما يلاحظ، من دراسة منحنيات الإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية المغلفة للنماذج المدروسة (شكل١٥)، أن كمية الإشعاع تتفاوت درجة كميتها مع الزمن وحسب توجيه السطح المعرض للإشعاع الشمسي . ويستنتج مما سبق، أنه بعدما تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض، تبدأ كتلة البناء المغلفة للنموذج في الاستمرار في إشعاع وفقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها للبيئة المحيطة (داخل أو خارج النموذج) حتى يبدأ الكسب الحراري عند الساعة الخامسة صباحًا، عندما تبدأ درجة حرارة الجو في الارتفاع .

ويصحب هذا الفقد الحراري انخفاضًا في درجة حرارة أسطح كتلة البناء، وبعد

الساعة الخامسة صباحًا، يبدأ الكسب والتخزين الحراري للطاقة الحرارية من التأثير المباشر للحرارة والإشعاع الشمسي مرة أخرى.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والتأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة البناء وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للحوائط المغلفة للنموذج الأول، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الرابع، فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بناء النموذج الأول بطاقة حرارية مخزنة أقل من تلك التي في كتلة بناء النموذج الرابع، حيث تستمر كتلة بناء النموذج الرابع في تخزين الطاقة الحرارية من المصادر السابقة إلى أن تتشبع بها، وبما أن قدرة كتلة بناء النموذج الرابع على التخزين الحراري للطاقة الحرارية تفوق كمًّا وكيفًا كتلة بناء النموذج الأول، فينتج عنه أن الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الرابع من الطاقة المحيطة أسرع من الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الأول وذلك فيما بين الساعة (١٦ ـ ٢٠) من اليوم.

وهذا يجعل من الأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الرابع أسطحًا مشعة للطاقة الحرارية المخزنة بصورة أكبر عن تلك التي للنموذج الأول في تلك الساعات أي من الساعة (١٦ ـ ٢٠) من اليوم. وبعدها تكون كتلة بناء النموذج الرابع قد فقدت الطاقة الحرارية المخزنة فيها. وعند ذلك تكون درجة حرارة أسطحها الداخلية أقل من درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج الأول.

٢ ـ ٢ مقارنة النموذج الثاني المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب، طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وبينهما فراغ هوائي غير معزول حراريًّا، سمك (٥سم) مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الخامس.

أ ـ حمل التدفئة: من دراسة منحنيات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١١)، يلاحظ تميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثاني عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الخامس وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازم لتدفئة الحيز الداخلي للمبنى عند توحيد درجة حرارته الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) شتاءً ويقدر هذا التميز بتوفير (١٢٪) من حمل التكييف اللازم لتدفئة النموذج الخامس طول اليوم، وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج الخامس أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج الثاني.

ب ـ درجة الحرارة الداخلية: من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين (شكل١٣)، يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الخامس وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثاني فيما يخص مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي وذلك في الثلث الأول من اليوم أي من الساعة الثانية حتى الساعة التاسعة صباحًا من اليوم، ثم تنعكس الصورة بعد ذلك لتتميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثاني بقية اليوم (أي من الساعة العاشر صباحًا حتى الساعة الواحدة صباحًا من اليوم التالي) عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الخامس.

وهذا التميز عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء أسطح الطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للحيز الداخلي للنموذج في تلك الساعات والتي غالبًا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية للنموذج.

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول ١. ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي. وهذا يؤدي إلى أن معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح الداخلية للطبقة الداخلية للحائط المركب والمغلفة للحيز الداخلي للنموذج الخامس أكبر من معدل درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للنموذج الثاني طيلة (٨ ساعات) أي ما بين الساعة الثانية والتاسعة صباحًا من اليوم.

وكذلك معامل الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الخامس من الطاقة المحيطة أبطأ من معامل الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الثاني طيلة (٨ ساعات) أي ما بين الثانية والتاسعة صباحًا من اليوم.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي للمبنى، كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثاني وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للحوائط المغلفة للنموذج الثاني، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الخامس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثاني بطاقة حرارية مخزنة بصورة أسرع وأقل من تلك الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الخامس.

كما أن التأثير للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للنموذج كمصادر للطاقة الحرارية أيضًا، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثاني، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج الخامس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثاني بطاقة حرارية مخزنة بصورة أسرع وأقل من تلك التي للنموذج الخامس.

وهذا يجعل من الأسطح الداخلية للطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثاني أسطحًا مشعة للطاقة الحرارية عدا ثمان ساعات أي من الساعة (٢ ـ ٩) صباحًا من اليوم. وهذا النمط من الأداء الحراري عائد إلى تأثير وجود الفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب.

جـ ـ الأداء الحراري للفراغ الهوائي بين طبقتي الحائط المركب:

١ ـ *الأداء في النهار:* يتلخص أداء الفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب، وغير المعزول حراريًا بكون الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للنموذج، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وإشباعها بالطاقة الحرارية المخزنة لتجعل منها سطحًا مشعًا للطاقة الحرارية للفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب، حيث تقوم الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة بتسخين هواء الفراغ الذي بين طبقتي الحائط المركب حيث يرتفع الهواء الساخن إلى أعلى ثم يلامس السطح الخارجي للطبقة الداخلية للحائط المركب ناقلاً له حرارته (بواسطة الإشعاع والحمل معًا).

كما تقوم الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار، نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي، بتسخين السطح الداخلي لكتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب وإشباعها بالطاقة الحرارية بمساعدة الطاقة المشعة والمحمولة من خلال الفراغ الهوائي بواسطة الأسطح الداخلية للطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج وجميع هذه المصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بإشباع كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثاني قبل كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الخامس حيث تواصل كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الخامس تخزين الطاقة الحرارية طيلة النهار.

٢ ـ *الأداء في الليل:* وتنعكس الصورة بعدما تبدأ درجة حرارة الجو في الانخفاض أي بعد الساعة الثالثة ظهرًا، بكون كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب تبدأ في فقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها للخارج وإلى الفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب. كما أن كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب تبدأ أيضًا في فقد الطاقة الحرارية المخزنة فيها إلى الحيز الداخلي وتبدأ من الجهة الأخرى بكسب الطاقة الحرارية من كتلة بناء الطبقة الخارجية خلال الفراغ الهوائي ريثما تتعادل معها. وبعد ذلك يصبح الفراغ الهوائي مصدر فقد للطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب ومصدر كسب

للطاقة الحرارية للطبقة الخارجية للحائط المركب. وبما أن المحيط الخارجي أبرد في الليل من الحيز الداخلي للنموذج، لذا فإن الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة الطبقة الداخلية للحائط المركب تفقد لداخل الحيز الداخلي للنموذج وللخارج خلال الفراغ الهوائي الذي بين طبقتي الحائط المركب والطبقة الخارجية للحائط المركب.

٢ ـ ٣ مقارنة النموذج الثالث المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الفخاري المفرغ سمك (١٠سم) وبينهما فراغ هوائي معزول حراريًا، سمك (٥سم)، مع نظيره بالطوب الأسمنتي النموذج السادس.

أ ـ حمل التدفئة: من دراسة منحنيات أحمال التكييف للنموذجين (شكل١١) يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثالث وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السادس وذلك من ناحية كمية حمل التكييف اللازمة لتدفئة الحيز الداخلي للنموذج ويقدر هذا التميز بتوفير (٦٪) من حمل التكييف اللازم لتدفئة النموذج السادس، عند توحيد درجة حرارة الحيز الداخلية عند (٢٢ درجة مئوية) شتاءً، سوى خمس ساعات أي ما بين الساعة (٤ ـ ٨) صباحًا من اليوم. وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج السادس أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية المفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج الثالث ما عدا ساعات التميز.

ب ـ درجة الحرارة الداخلية: من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية للنموذجين (شكل١٣)، يلاحظ وجود تميز متناوب بين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السادس وبين تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثالث في النصف الأول من اليوم وذلك بارتفاع بسيط في درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للمبنى. وهذا التميز عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة نهارًا في كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج السادس والتي غالبًا ما تحدد مقدار درجة حرارة الأسطح الداخلية المشعة للطاقة الحرارية.

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول ١ . ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي.

وهذا يؤدي إلى أن معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية لأسطح الطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج السادس أكبر من تلك التي للنموذج الثالث وذلك في النصف الأول من اليوم أي من الساعة الواحدة صباحًا إلى الساعة الثانية عشرة ظهرًا.

كما أن الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج السادس من الطاقة المحيطة أسرع من الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الثالث في تلك الساعات.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي للمبنى كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج الثالث، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج السادس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بإشباع كتلة بنائها بطاقة حرارية مخزنة أقل من تلك التي للنموذج السادس. وحيث إن التأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للنموذج كمصادر للطاقة الحرارية، كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثالث، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي للنموذج السادس، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية، تقوم بإشباع كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج الثالث بطاقة حرارية مخزنة أقل من تلك التي للنموذج السادس، مع ملاحظة أن الطبقة العازلة للحرارة التي بين طبقتي

الحائط المركب تسبب إبطاءً لسريان وكسب الطاقة الحرارية المخزنة من كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب، إلى كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب نهارًا. كما تسبب أيضًا إبطاءً لسريان وفقد الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب إلى كتلة بناء الطبقة الخارجية للحائط المركب ليلاً، حيث إن لها تأثيرًا سلبيًّا في النهار في التقليل من توصيل وتخزين الطاقة الحرارية إلى الكتلة الداخلية للطبقة الداخلية للحائط المركب وإيجابيًّا في الليل في منع فقدها والاستفادة منها في تدفئة الحيز الداخلي.

وبما أن كتلة بناء الطبقة الداخلية للنموذج الثالث تفقد جميع الطاقة الحرارية المخزنة فيها ليلاً، فيحتاج تسخينها مرة أخرى وإشباعها بالطاقة الحرارية إلى زمن يقدر عند وقت الظهيرة. وهذا بالطبع يجعل من كتلة بناء الطبقة الداخلية للنموذج السادس مادة مشعة للحرارة في النصف الأول من اليوم بصورة أكبر عن تلك التي للنموذج الثالث.

٢ ـ ٤ مقارنة النموذج السابع المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ، سمك (١٠سم) وطبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المصمت سمك (١٥سم) وبينهما فراغ هوائي معزول حراريًّا، سمك (٥سم) مع نظيره بالطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الثامن.

ا ـ **حمل التدفئة**: من دراسة منحنيات أحمال التكييف للنموذجين، (شكل ١١) يلاحظ تميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السابع عن تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج الثامن، وذلك من ناحية كمية أحمال التكييف اللازمة لتدفئة الحيز الداخلي للنموذج عند توحيد درجة حرارة الحيز عند (٢٢ درجة مئوية) شتاءً، ويقدر هذا التميز بتوفير (٣٪) من حمل التكييف اللازم لتدفئة النموذج الثامن طول اليوم. وهذا التميز عائد إلى أن معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج الثامن أكبر من معدل كمية الطاقة الحرارية السارية والمفقودة من الأسطح المغلفة للنموذج السابع.

ب ـ **درجة الحرارة الداخلية**: من دراسة منحنيات درجات الحرارة الداخلية (شكل١٣)، يلاحظ تميز تقنية بناء الحوائط الخارجية للنموذج السابع عن تقنية بناء الحوائط

الخارجية للنموذج الثامن وذلك بارتفاع بسيط في درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي. وهذا التميز عائد أساسًا إلى التأثير الكمي للطاقة الحرارية المخزنة نهارًا في كتلة بناء الأسطح الداخلية للطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج والتي غالبًا ما تحدد مقدار الاختلاف في درجة حرارة الأسطح الداخلية المشعة للطاقة الحرارية.

وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المخزنة في كتلة البناء أساسًا على خاصية التخزين الحراري لكتلة بناء النموذج كما هو موضح بجدول ١ . ويعتمد أيضًا، مقدار درجة الحرارة الداخلية للحيز الداخلي للنموذج على كمية الطاقة الحرارية المشعة والمحمولة من الأسطح الداخلية إلى هواء الحيز الداخلي.

وهذا يؤدي إلى أن معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج السابع أكبر من معدل مقدار درجة الحرارة الداخلية للأسطح المغلفة للحيز الداخلي للنموذج الثامن طول اليوم.

كما أن الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج الثامن من الطاقة المحيطة أسرع من الاستجابة الحرارية الفورية للأسطح المغلفة للنموذج السابع.

إن الطاقة الحرارية المكتسبة في النهار نتيجة الإشعاع الشمسي المباشر خلال النوافذ الزجاجية، والطاقة الحرارية المتولدة من جراء النشاطات داخل الحيز الداخلي للمبنى كفيلة بتسخين كتلة بناء الطبقة الداخلية للحائط المركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها. وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الداخلية للحائط المركب للنموذج السابع، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها مساوية لتلك التي للنموذج الثامن، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بتخزين الطاقة الحرارية فيها بصفة متساوية لكتلة بناء الطبقة الداخلية للنموذج الثامن.

كما أن التأثير المباشر للحرارة الخارجية والإشعاع الشمسي الساقط على الأسطح الخارجية للطبقة الخارجية للحائط المركب كفيلة أيضًا، بتسخين كتلة بناء الطبقة الخارجية

للحـائط المـركب وتخزين الطاقة الحرارية فيها، وبما أن معامل التوصيل الحراري للطبقة الخارجية للحائط المركب للنموذج السابع، وكمية التخزين الحراري في كتلة بنائها أقل من تلك التي في النموذج الثامن، لذا فإن المصادر السابقة للطاقة الحرارية تقوم بتخزين طاقة حرارية بها أقـل إلى حدٍّ ما عن كمية الطاقة الحرارية المخزنة بكتلة بناء الطبقة الخارجية للحـائط المـركب للنموذج الثامن وتسمح بكمية طاقة حرارية مفقودة أقل من تلك التي للنموذج الثامن وذلك بفعل وجود الطبقة العازلة للحرارة التي بين طبقتي الحائط المركب حيث تسبب إبطاء لسريان وكسب الحرارة في كتلة بناء الطبقة الداخلية نهارًا وإبطاء لسريان وفقد الحرارة من كتلة بناء الطبقة الداخلية ليلاً.

٣ ـ ملاحظات عامة

١ ـ عند مقارنة الأداء الحراري للنماذج المعزولة حراريًّا (النموذج الثالث والسادس والسابع والثامن) مع النماذج غير المعزولة حراريًّا (النموذج الأول والثاني والرابع والخامس) سواء بنيت حوائطها الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ أو من الطوب الأسمنتي المفرغ، يلاحظ وجود تميز كبير للنماذج المعزولة حراريًّا عن النماذج غير المعزولة حراريًّا، حيث إن النـماذج المعزولة حراريًّا تنخفض درجة حرارة حيزاتها الداخلية وأحمال تكييفها انخفاضًا ملحوظًا مقارنة مع النماذج غير المعزولة حراريًّا. لذا يمكن اعتبار النماذج المعزولة حراريًّا تسلك سلوكًـا حراريًّا مميزًا، وذلـك مع ملاحـظة المـدى الحراري اليومي المقارن الممثل بمنحنيات درجات الحرارة (شكل ١٢، ١٣) للحيزات الداخلية للنماذج. وهذا يعود بالطبع إلى تأثير الاختلاف الكبير لمعامل التوصيل الحراري الكلي لحوائط وسقف النموذج المعزول حراريًّا مقارنة بغير المعزول حراريًّا.

٢ ـ عند مقارنة الأداء الحراري للنموذج المبنية حوائطه الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ وطبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المصمت وبينهـما فراغ هوائي معزول حراريًّا بمادة عازلة للحرارة، النموذج السابع مع نظيره المبنية حوائـطه الخـارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الأسمنتي المفرغ وطبقته الـداخلية من الـطوب الأسمنتي المصمت وبينهـما فراغ هوائي معزول حراريًّا، النموذج

الثامن، يلاحظ تميز النموذج السابع عن النموذج الثامن وذلك من ناحية درجة حرارة الحيز الداخلية وكمية أحمال التكييف اللازمة لتبريده وتدفئته (شكل ١٠، ١١، ١٢، ١٣).

٣ ـ عند مقارنة الأداء الحراري للنماذج المدروسة، يلاحظ عدم الإنسيابية في منحنيات التكييف ودرجة حرارة الحيز الداخلية، وذلك بسبب تأثير الطاقة الحرارية الناتجة من جراء النشاطات الأسرية داخل الحيز والتي تخضع كميتها إلى زمن ونوعية النشاط المؤدى داخل الحيز.

٤ ـ أشارت النتائج إلى أن درجة حرارة الأسطح الخارجية للنماذج المعزولة حراريًّا أعلى من درجة حرارة النماذج غير المعزولة حراريًّا، وهذا يسبب زيادة في الحرارة المشعة من الأسطح الخارجية للنماذج لمحيطها الخارجي. وهذا يعني، أنه يجب العناية بتصريف الحرارة المشعة من الأسطح الخارجية للنماذج المعزولة حراريًّا في فصل الصيف، وذلك بإيجاد قنوات للتهوية الطبيعية، أو تكثيف الأشجار حولها أو بهما معًا.

٥ ـ شهدت النماذج المعزولة حراريًّا أدنى درجة حرارة للأسطح الداخلية في فصل الصيف وأعلى درجة حرارة في فصل الشتاء من بين جميع النماذج المدروسة.

٦ ـ شهدت جميع النماذج المدروسة في الرياض احتياجًا للتبريد صيفًا وللتدفئة شتاءً على السواء، برغم الفارق بين أرقام أحمال التكييف اللازمة لتبريد وتدفئة الحيز الداخلي للنموذج (شكل ١٠، ١١).

الاستنتاج

١ ـ إن مبنى بنيت حوائطه الخارجية من مادة الطوب الفخاري المفرغ وغير المعزولة حراريًّا، النموذج الأول لا يوفر ما نسبته (٥٠٪) من حمل التكييف أو (٥٠٪) من استهلاك الطاقة الكهربائية مقارنة بمبنى مماثل بنيت حوائطه الخارجية من مادة الطوب الأسمنتي المفرغ وغير المعزولة حراريًّا، النموذج الرابع. وذلك لكون درجة حرارة الحيز الداخلية

للمبنى تقل بنسبة قليلة وكون حمل التكييف اللازم لتبريده أو تدفئته تقل بنسبة لا تتجاوز (١٢٪) عن نظيره الذي بنيت حوائطه الخارجية من الطوب الأسمنتي المفرغ. وتقل النسب في فرق درجات الحرارة الداخلية أو أحمال التكييف اللازمة لتبريد أو تدفئة الحيز الداخلي للنمـوذج، عند استخدام تقنيات أخرى لبناء الحوائط الخارجية كاستخدام حائط مركب وبينهما فراغ هوائي غير معزول حراريًّا، النموذج الثاني مقارنة بالنموذج الخامس، أو بينهما فراغ هوائي معزول حراريًّا، النموذج الثالث مقارنة بالنموذج السادس، أو استخدام حائط مركب طبقتـه الـداخلية عبارة عن كتلة بناء ثقيلة من الطوب الأسمنتي المصمت وطبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ، وبينهما فراغ هوائي معزول حراريًّا النموذج السابع مقارنة بالنموذج الثامن ويمكن أن تعد الفروقات غير جوهرية.

٢ ـ عند إدخال مادة العزل الحراري، للمباني المبنية حوائطها الخارجية من حائط مركب طبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ وطبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المصمت، وبينهما فراغ هوائي معزول حراريًّا، النموذج السابع، وذلك كأجزاء مساعدة في التخـزين الحراري وحفظ الطاقة للمبنى، تتحسن نتيجة الأداء بما نسبته (٤٥٪) مقارنة بالمبنى الغير معزول حراريًّا والمبنية حوائطه الخارجية من الطوب الأسمنتي المفرغ، النموذج الرابع، (انظر شكلا ١٠، ١١ وجدولا ٣، ٤).

٣ ـ يمكن اعتبار المباني المقامة حوائطها الخارجية من حائط مركب طبقته الداخلية من الطوب الأسمنتي المصمت وطبقته الخارجية من الطوب الفخاري المفرغ وبينهما فراغ هوائي معزول بمادة عازلة للحرارة، النموذج السابع أفضل الحلول المدروسة، (الأشكال ١٠، ١١، ١٢، ١٣ وجدولا ٣، ٤).

المراجـع

[١] Berkoz, Sina et al. *An Analytical Study of the Building Production Systems Recently Introduced in Saudi Arabia.* Riyadh: General Directorate of Research Grants Program, KACST, 1409H.

[٢] Saleh, M. A. Eben. "Adobe as a Thermal Regulating Material." *Solar and Wind Technologies,* Vol. 7, No.4, (1990), 409.

[٣] Abdelrahman, M. A., et al. "Thermal Conductivity of Some Major Building Materials in Saudi Arabia." *Journal of Thermal Insulation,* Vol. 13, (April, 1990), 294-300.

[٤] Wilkes, G. G. *Heat Insulation.* NY: John Wiley & Sons, 1950.

[٥] Kusuda, Tamami. *NBSLD, The Computer Program for Heating and Cooling Loads in Buildings.* Washington D. C.: National Bureau of Standards, July, 1976.

[٦] معلومات عن طقس وبيئة مدينة الرياض، مصلحة الأرصاد وحماية البيئة، جدة.

[٧] Watson, D. et al. *Climatic Design: Energy Efficient Building: Principles and Practices.* New York: McGraw-Hill Book Company, 1983.

Comparison of Thermal Performance of Buildings Using Hollow Clay Blocks and Hollow Cement Blocks in the Hot Dry Climate of Saudi Arabia

Mohammed A. Eben Saleh
Associate Professor, Department of Architecture and Building Sciences
College of Architecture and Planning, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

Abstract. The thermal performance of buildings using four different building techniques of hollow clay blocks for building external walls were studied, evaluated and compared with similar building techniques of hollow cement blocks, in the hot dry climate of Saudi Arabia.

A predefined computer program, using the transient heat transfer method and thermal response factor method, was utilized as the main research tool for investigating the impact of the external environment on the quantity of space indoor temperature and space cooling / heating loads.

This research showed alternating significance between three different building techniques utilized in the study in terms of space indoor temperature and space cooling / heating loads.

Also, this study demonstrated the significance of the building technique which utilizes a composite wall of hollow clay blocks, thermal insulation material, and dense cement blocks, as compared to the building technique which utilizes hollow cement block, thermal insulation material and dense cement blocks, in terms of thermal performance.