

الأداء الحراري للمباني بملاصقة التربة في مناخ حار وجاف بالمملكة العربية السعودية

ناصر بن عبدالرحمن الحمدي

أستاذ مساعد بقسم العمارة وعلوم البناء، كلية العمارة والتخطيط،

جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية

(قُدِّم للنشر في ٢٤/١٠/١٤١٨ هـ ؛ وقُبِّل للنشر في ٢٤/٥/١٤١٩ هـ)

ملخص البحث. يركز هذا البحث على دراسة الأداء الحراري للمباني بملاصقة التربة، والتي تم إجراؤها خلال فترة الصيف لعامي ١٤١٥-١٤١٦ هجرية (الموافق ١٩٩٥-١٩٩٦ ميلادية)، في محطة أبحاث كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود بالرياض. تهدف الدراسة إلى تخفيض درجة حرارة التربة الطبيعية الملاصقة للمبنى حتى يستفاد منها في تبريد المبنى، لأن حرارة التربة الطبيعية، في المناطق الحارة الجافة، ليست منخفضة ولا يتاح استخدامها مصدر تبريد طبيعياً مباشراً للمبنى. ولقد أجريت التجربة على أربع مراحل وتم جمع قراءات لدرجات حرارة التربة وسطحها وداخل غرف اختبارية وتم عمل تحليل رسومات بيانية وعرضها. خلصت نتائج الدراسة إلى استخدام التربة في تغطية المباني في المناطق الحارة الجافة ذات فاعلية جيدة عندما يتم تغطية سطح التربة بوضع طبقة من مواد متوافرة في البيئة المحلية مثل كسر الحجر أو الرمل أو الخوص وبسمك ١٠ سم فوق سطح التربة. فقد وجد بالتجربة التطبيقية أن درجة حرارة التربة الطبيعية ودرجة حرارة الهواء الداخلي تقلل من درجة حرارة الهواء الخارجي بحوالي ٢.٥°م و ٥.٥°م، على التوالي. ولكن عند استخدام طبقة من المواد الطبيعية فوق التربة فإن درجتي حرارة التربة والهواء الداخلي تنخفضان عن درجة حرارة الهواء الخارجي بمعدل حوالي ٤.٥°م و ٧°م، على التوالي. وأن ترطيب التربة بالماء يسهم في خفض درجتي حرارة التربة والهواء الداخلي بالمقارنة مع درجة حرارة الهواء الخارجي بحوالي ٤.٥°م و ١١.٥°م، على التوالي. كما تبين أن تظليل التربة بمظلة من قماش الحيام، تخفض درجتي حرارة التربة والهواء الداخلي بالمقارنة مع درجة

حرارة الهواء الخارجي بحوالي 16°C و 13°C م، على التوالي. كما أن التهوية لل الفراغ الداخلي للمبنى نهاراً، يسبب أثراً عكسياً في فاعلية التربة، وبالتالي لا يمكن الاستفادة من التربة الملاصقة للمبنى. ويختتم البحث بعرض بعض التوصيات المعمارية المناسبة لاستخدام التربة الملاصقة للمباني في المناطق الحارة الجافة.

مقدمة

أنظمة التبريد الطبيعية

تستخدم في الأوساط العلمية عدة مصطلحات منها أنظمة التبريد السلبي وأنظمة التبريد غير الميكانيكية أو (Passive cooling systems). وتلك المصطلحات يراد بها وصف أنظمة تبريد طبيعية تعتمد على ظواهر طبيعية لتبريد الهواء طبيعياً داخل المباني، وبدون استخدام الوسائل الميكانيكية والتي تحتاج إلى الطاقة الكهربائية مثل أنظمة مكيفات الهواء (Air conditioning systems). تتميز الأنظمة الطبيعية بمعامل كفاءة (Coefficient of Performance ; "C.O.P") أعلى عادة ما يصل إلى خمسة أضعاف معامل الكفاءة للأنظمة الميكانيكية [١، ص ١].

لاشك أن توظيف الظواهر الطبيعية للحصول على درجات حرارة منخفضة داخل المساكن، خاصة في المناطق الحارة، قد عرفت منذ الأزمان المتقدمة، وتم الاستفادة منها وبكفاءة عالية في العمارة التقليدية، خاصة في المناطق ذات المناخ الحار [٢، ص ٩]. فقد استخدمت الكهوف داخل الجبال وباطن الأرض والحوائط السميكة المبنية من الطين والحجر والرمل لإيجاد مساكن ملائمة لعيش الإنسان في بيئته الطبيعية. من الأمثلة الجيدة التي تعكس إمكانية الاستفادة من خصائص التربة المساكن التي تم تشييدها في صحراء تونس إذ يتكون المسكن من فناء مكشوف تحيط به غرف محفورة في الأرض. لقد أثبتت الدراسات أن درجة الحرارة داخل الغرف كانت حوالي 27°C م عندما كانت درجة الحرارة الخارجية 49°C م في فترة الصيف ١٩٨١ م [٣]. ومن الأمثلة المشابهة، استخدام المساكن المحفورة بالأرض في منطقة عسير جنوب غرب المملكة العربية السعودية. فقد تم تشييد المساكن بطريقة حفر الأرض، وعمل غرف تحت مساحة كبيرة تسمى "ثرى" الموجودة شمال شرق جبل دهلا في مدينة أبها [٤، ص ٥٢].

ومما لاشك فيه أنه من الصعب توافر أمثلة مشابهة في المناطق الحارة الجافة من المملكة العربية السعودية والتي تبين وجود مساكن محفورة في التربة كما هو الحال في صحراء تونس وشرق جبل دهلا، ولكن معالجة عرض كيفية استخدام التربة وأثرها في تغطية غلاف المبنى بهدف تبريده بطريقة طبيعية هو غاية هذا البحث.

في الوقت الحاضر، نتيجة التطور في تقنيات البناء الحديثة مثل ظهور الخرسانة وحديد التسليح في عمليات البناء ظهرت تصميمات معمارية حديثة افتقدت فيها تقاليد وأعراف كانت تحكم العمارة التقليدية، والتي ظلت ولفترة طويلة متلائمة مع أحوال المناخ وملمية لراحة الإنسان بالرغم من عدم توافر الطاقة الكهربائية في ذلك الوقت. هذا التطور أوجد مشكلة في معظم المباني، وبصفة خاصة مساكن ذوي الدخل المحدود، وفي ظل نظم البناء المعاصرة وقوانينها، تستهلك طاقة كهربائية كبيرة لتوفير جومريح بداخلها باستخدام المكيفات الميكانيكية المكلفة ماليا مما حث وزارة الصناعة والكهرباء على وضع برامج في مجال ترشيد استهلاك الطاقة لحل هذه المشكلة، وتطبيق نظم التبريد والتدفئة الطبيعية والتسخين بالطاقة الشمسية [٥].

إن توظيف أنظمة التبريد الطبيعية لتبريد المباني في الدول المتقدمة ساهم بشكل كبير في تحسين البيئة العمرانية، وتقليل الاعتماد على الطاقة الكهربائية، وخاصة في مباني المساكن الصحراوية، لذوي الدخل المتوسط، كما هو الحال في مدينتي "سنتا في" و"بارسو" في ولاية نيوميكسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية. هؤلاء السكان ينظرون لتلك التقنيات نظرة التميز في التصميم المعماري الموائم للبيئة الطبيعية، وكذلك التوفير في استهلاك الطاقة وليس لذلك صلة بالفقر، كما هو الحال في مساكن الدول النامية.

تعتمد هذه الأنظمة الطبيعية على مصادر أربعة. وتنتقل الحرارة من المبنى إلى تلك المصادر، وتختلف أنواعها وأداؤها باختلاف طريقة انتقال الحرارة بواسطة التوصيل أو الحمل أو الإشعاع. وتسمى هذه المصادر الطبيعية [٦، ص ٤]:

- الهواء البارد خارج المبنى أثناء الليل.
- الفضاء الخارجي ليلاً بواسطة الإشعاع الحراري.

- تبخير الماء.

- تربة سطح الأرض.

إن المصدر الطبيعي الأخير هو المعني في هذه الدراسة، فقد استخدمت التربة لتغطي كل أسطح المبنى من حوائط وأسطح بحيث تصبح كتلة التربة ملاصقة للسطح الخارجي للمبنى مباشرة، وبدون استخدام عوازل حرارية. وتعمل التربة في هذه الحالة مصدر تبريد طبيعياً يوفر الراحة الحرارية واقتصاداً في الطاقة الكهربائية وتقليل تشغيل المكيفات الميكانيكية وقت الذروة، خاصة في المناطق التي من خصائصها المناخية التطرف في السخونة والبرودة [٧، ص ١٤٤].

تعد التربة الملاصقة لحوائط المبنى وسقفه مباشرة تصميمًا استراتيجيًا مناسباً في المناطق ذات المناخ المعتدل صيفاً، لأن درجة حرارة التربة عند عمق قليل من الأمتار تحت سطح الأرض تكون أقل من معدل درجة حرارة الهواء، وبالتالي يمكن استخدامها مصدر تبريد طبيعياً أو ما يسمى كتلة ماصة للحرارة (Heat sink) [٨، ص ٢٠٧]. ولكن في المناطق الصحراوية الحارة الجافة، كما هو موجود في المنطقة الوسطى من المملكة العربية السعودية، فإن درجة حرارة التربة الطبيعية ليست باردة بقدر كاف حتى تستخدم مصدر تبريد طبيعياً مباشراً للمبنى. إن السبب في ذلك، يرجع لأن سطح التربة وطبقات التربة بأسفله تكتسب حرارة من أشعة الشمس الساقطة مباشرة عن طريق الإشعاع (Radiation)، وبالتالي تنتقل الحرارة من سطح الأرض إلى ذرات الهواء الملامسة مباشرة لها بواسطة التوصيل (conduction)، ويتصاعد الهواء الساخن إلى الطبقات العليا، ويحل مكانه هواء بارد نسبياً [٩، ص ٦].

أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تسليط الضوء بالتحليل لبيان إمكانية تقليل درجة حرارة التربة التي تغطي غلاف المبنى بمعدل أقل من درجة حرارتها الطبيعية بواسطة التظليل والتبخير بالماء لسطح التربة، وذلك بطريقة تجارب تطبيقية لتحقيق الأهداف التالية:

- ١- معرفة أثر معالجة سطح التربة التي تغطي غلاف المبنى في الأداء الحراري للفراغ الداخلي للمبنى باستخدام مواد متوافرة في البيئة والترطيب والتظليل من أشعة الشمس المباشرة.
- ٢- اقتراح بعض التوصيات المناسبة لاستخدام التربة مصدر تبريد طبيعيا للمباني في المناطق الحارة والجافة.

منهج البحث

نظرا لأن طبيعة الدراسة تجريبية تطبيقية، فقد صمم منهج البحث وفق الخطوتين التاليتين:

الخطوة الأولى، الرجوع إلي مطبوعات وأبحاث وتقارير منشورة عن التجارب والملاحظات التي أنجزت بواسطة باحثين متخصصين في دراسة تبريد المباني طبيعيا، وبملاصقتها للتربة مباشرة.

الخطوة الثانية، إجراء تجربة تطبيقية خلال فترة الصيف لعامي ١٤١٥ / ١٤١٦ هـ (الموافق ١٩٩٥ / ١٩٩٦ م)، واشتملت على:

١- استخدام مبان تجريبية مصغرة وتغطيتها بالتربة الطبيعية، ثم تغطية سطحها بطبقات مختلفة وتقسيم مراحل التجربة إلى:

أ) المباني الاختبارية في وضع حالة أساسية (Base case)، غير مهواة وغير مرطبة بالماء وغير مظلمة، بهدف معرفة الأداء الحراري للغرف وبدون تهوية طبيعية داخل الغرف وبدون ترطيب سطح التربة، وتعريض سطح التربة لأشعة الشمس المباشرة.

ب) المباني الاختبارية غير مهواة ومرطبة بالماء وغير مظلمة، بهدف معرفة أثر مفعول ترطيب سطح التربة بالماء، عندما ينعدم أثر التهوية داخل المبنى وعدم تظليل سطح التربة.

ج) المباني الاختبارية غير مهواة، وغير مرطبة بالماء ومظللة، بهدف معرفة أثر مفعول تظليل سطح التربة باستخدام تغطية بمظلة تحجب أشعة الشمس المباشرة، عندما ينعدم أثر التهوية داخل المبنى، وعدم ترطيب سطح التربة بالماء.

د) المباني الاختبارية مهواة ومرطبة بالماء ومظللة، بهدف معرفة أثر المفعول المشترك للتهوية داخل المبنى مع استمرار ترطيب سطح التربة بالماء، ووجود مظلة تمنع أشعة الشمس عن سطح التربة.

٢ - جمع قراءات تشتمل على: درجات حرارة كل من الهواء في منتصف فراغ المبنى النموذجي المغطى بالتربة، وكتلة التربة الملاصقة للمبنى، أحوال الطقس من الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء الجافة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح واتجاهها.

وصف الموقع والغرف الاختبارية

الموقع

تم اختيار مدينة الرياض - التي تقع في هضبة نجد على خط عرض 24° و 42° شمال خط الاستواء وخط طول 46° و 44° شرق جريتشش وعلى ارتفاع 624 متراً فوق سطح البحر - لكونها مكاناً مناسباً للدراسة. كما تم اختيار موقع التجربة في شمال أرض جامعة الملك سعود، بالرياض، لأن هذا الموقع يتصف صيفاً بالحرارة والجفاف الشديدين وبالمدى الحراري المرتفع الذي يقدر بحوالي 18° م. ولقد سجلت أحوال الطقس بواسطة مصلحة الأرصاد وحماية البيئة لمتوسط قراءات 10 سنوات ($1986-1995$ م). ويلاحظ أن فصل الصيف يمتد من شهر يونيو إلى شهر سبتمبر ويتراوح المعدل الشهري لدرجة حرارة الهواء الجافة للنهاية الصغرى بين 22.0° م و 25.4° م، أما المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى فتتراوح بين 44.0° م و 47.4° م. أما بالنسبة للرطوبة للمدة نفسها فإن المعدلات العليا تتراوح بين 32.0% و 66.0% والمعدلات الصغرى تتراوح بين

٢٪ و ٣٪. وتهب رياح حارة وجافة على مدينة الرياض، تُعرف برياح "السموم" ويتراوح المعدل الشهري لهبوبها صيفا ما بين ٤ عقدات إلى ٨ عقدات واتجاهها غالبا ما يكون شمالا. ويتراوح الضغط الجوي ما بين ٩٣٧.١ ساعة ضغط و ٩٤٠.٤ ساعة ضغط. كما أن المعدل الشهري لهطول الأمطار ٠.٠ مم في أشهر الصيف بينما يصل إلى ٣٩.٥ مم في شهر إبريل. ويتميز المناخ في مدينة الرياض بوجود أشعة الشمس شبه العمودية والتي تتراوح حرارتها بين ٨١٣ و ٩٢٩ واط/م^٢، وتكون النتيجة ارتفاعا في درجة حرارة سطح الأرض، مما يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة الهواء الملاصق لسطح الأرض، وترتفع إلى أعلى ليحل هواء بارد نسبي، وبالتالي تنتشر زوايا رميلية في فترة شدة أشعة الشمس [١٠].

الغرف الاختبارية

استخدمت أربع غرف اختبارية مكعبة مصنوعة من الصاج، لأنه جيد التوصيل الحراري مما يسمح بانتقال الحرارة بفاعلية بين الهواء في الغرفة الاختبارية والتربة الملاصقة لها، مما يؤثر في زمن الانتقال والإزاحة الحرارية بين الهواء الداخلي للغرفة الاختبارية والتربة [١١]. أبعاد الغرفة الاختبارية الواحدة هي ١ م × ١ م × ١ م وزودت الغرفة بباب ٠.٤ م × ٠.٦ م ونافذة ٠.٢٥ م × ٠.٢٥ م. تم وضع تلك الغرف الاختبارية في أحواض من البلوك الأسمنتي المفرغ وبارتفاع ١.٥ م، كما وُضع المحور الطولي للغرف والأحواض بالاتجاه الشمالي والجنوبي. وتم تغطيه هذه الغرف جميعها بتربة صفراء جافة والتي توجد بكثرة في المناطق الصحراوية. وتم عمل تلك الأحواض بهدف منع انزلاق التربة حول الغرفة الاختبارية. وقد تم ترك حيز مملوء بالتراب بين حوائط الأحواض والجوانب الرأسية للغرفة الاختبارية. تبلغ المسافة الأفقية لهذا الحيز الترابي ٠.٦ م. كما تم تغطية سطح الغرفة الاختبارية بطبقة من التراب بارتفاع ٠.٦ م. كما تم تركيب مجرى على باب الغرفة الاختبارية ونوافذها كي يمكن تغطية التربة للغرفة الاختبارية ما عدا فتحتي الباب والنافذة لكل غرفة اختبارية. تم تغطية سطح تربة الغرف الثلاث بطبقات مختلفة، وهي كسر حجر

الرياض بسمك ١٠ سم والرمل الناعم بسمك ١٠ سم والخوص (سعف النخيل المجفف) بارتفاع ١٠ سم، وبقي سطح تربة الغرفة الأخيرة غرفة تحكم أي بدون معالجة. يبين الشكل رقم (١) مسقط وقطاع ومنظر وأنواع تغطية سطح التربة للغرف الاختبارية.

الأجهزة المستخدمة في التجربة

استخدمت أجهزة خاصة في إجراء الدراسة، يمكن تصنيفها إلى ثلاثة أجزاء

رئيسة:

أولاً: المجسات

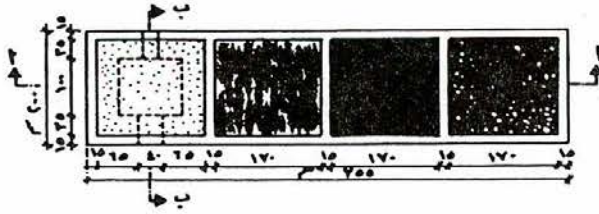
١ - تم استخدام ١٨ مجساً حرارياً (Thermocouples, type T) لقياس درجة حرارة هواء الغرف الاختبارية وحرارة سطح التربة وحرارة وسط سمك كتلة التربة التي تغطي الغرف الاختبارية. وقد تم عمل تصحيح قراءات المجسات الحرارية بواسطة الباحث إذ حصل على قراءات للمجسات ومعيار حراري زئبقي (Sper Scientific) لمدة ثلاثة أيام، عندما وضعت جميعها في ماء ساخن وماء متجمد وماء دافئ، وتم عمل معادلة علاقة خطية بين قراءة المجس الواحد وقراءة المعيار الزئبقي بهدف الحصول على معامل تصحيح لكل مجس حراري.

٢ - استخدم مجس بيرانوميتر (perineometer model LI-COR, type LI2003S) لقياس كمية الإشعاع الشمسي.

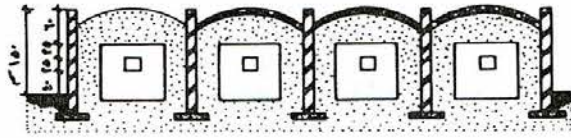
٣ - مجس قياس سرعة الرياح واتجاهها (A Met One anemometer, type 014A-U).

٤ - مجس درجة حرارة الهواء الجافة والرطوبة النسبية نوع (VAISALA, type)

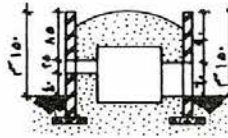
(HMP35C).



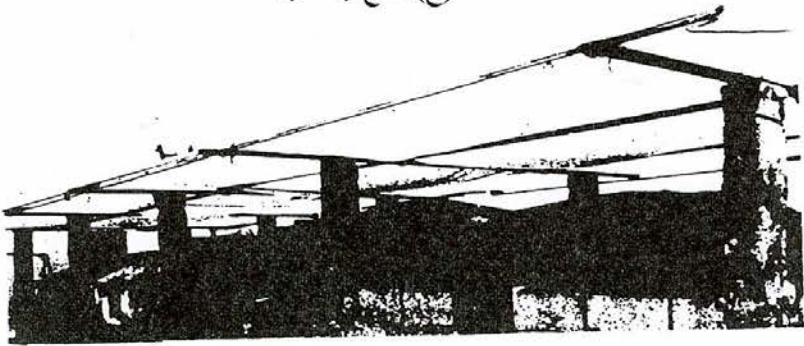
(أ) مسقط أفقي للغرف الاختبارية



(ب) قطاع أ - أ



(ج) قطاع ب - ب



(د) منظر للغرف الاختبارية

شكل رقم (١). مسقط وقطاعان للغرف الأربعة الاختبارية الملاصقة للتربة والمعالجات المختلفة لسطح التربة ومنظر لتظليل الغرف من أشعة الشمس.

ثانياً: نظام تجميع القراءات وتخزينها

تم استخدام نظام (CR10) المصنوع بواسطة شركة كامبل العلمية (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA). يقوم هذا الجهاز بتسجيل متوسطات للقراءات من جميع المجسات كل ١٠ دقائق ثم كل ٣٠ دقيقة ثم كل ٢٤ ساعة.

ثالثاً: وحدة الحاسب الآلي

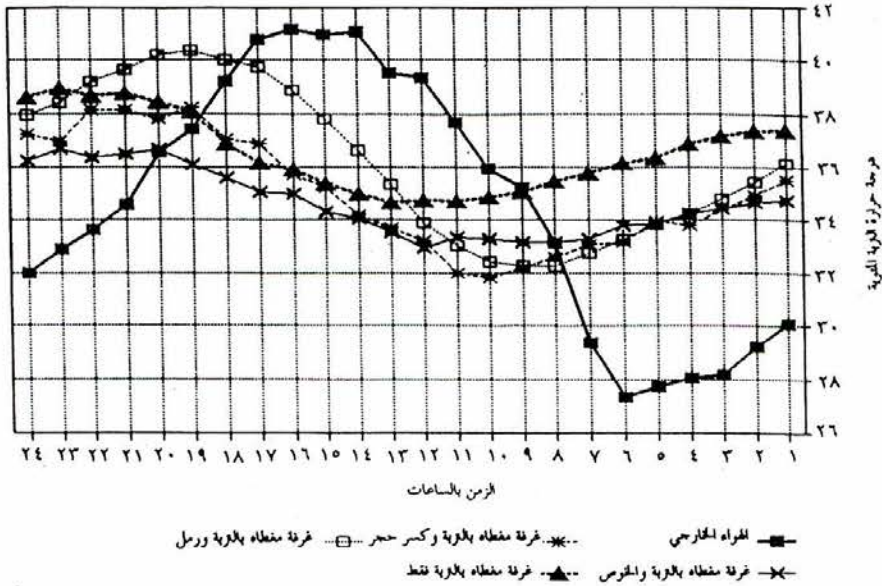
تم استخدام جهازين من أجهزة الحاسب الآلي، يعملان على برنامج (PC208)، لتشغيل نظام (CR10) ومعالجة القراءات وتخزينها يوميا، ومشاهدة رسومات بيانية وقت تسجيل القراءات لجميع أجهزة القياس لأحوال الطقس والمجسات الحرارية. كما استخدم محلل بيانات (Excel) لعمل رسومات بيانية وتحليل المعلومات المسجلة.

تحليل المعلومات

إن التجربة التطبيقية منحت فرصة التعرف على كثير من التساؤلات التي في مقدمتها تحليل مقارن لقراءات درجات الحرارة للفراغ الداخلي للغرف الاختبارية ودرجة حرارة التربة بشكل عام واقتراح بعض التوصيات المناسبة لاستخدام التربة المعالج سطحها في المباني التي تقع في المناطق الحارة الجافة.

نُشير إلى أن استمرار مراحل التجارب التي أجريت في هذه الدراسة تعرضت لبعض المشكلات الفنية التي تطرأ على جهاز الحاسب الآلي أو إمداد التيار الكهربائي أو المجسات، وأحيانا قد ترد بعض القراءات التي تفتقد منها الدقة ومصداقية القراءات، ولهذا تم استبعادها نهائيا. وقد يستمر تسجيل قراءات كل المجسات في كل مرحلة من مراحل الدراسة لمدة أربعة أيام أو خمسة أيام أو ستة أيام بينما في الواقع تم جمع قراءات لمدة خمسة عشر يوما وأكثر لكل مرحلة. وبهدف توضيح الصورة للتحليل المقارن بين الأداء الحراري للغرف الاختبارية فإنه تم عرض قراءات لمدة ٢٤ ساعة تمثل لكل مرحلة دراسية، وهي حقيقة تمثل متوسط قراءات لمدة خمسة أيام.

يوضح الشكلان رقما (٢ و ٣) والجدول رقم (١) الأداء الحراري للغرف الاختبارية في المرحلة الأولى عندما كانت التربة ليست مرطبة بالماء ولا مظلمة من أشعة الشمس والغرف لم تكن مهواة.

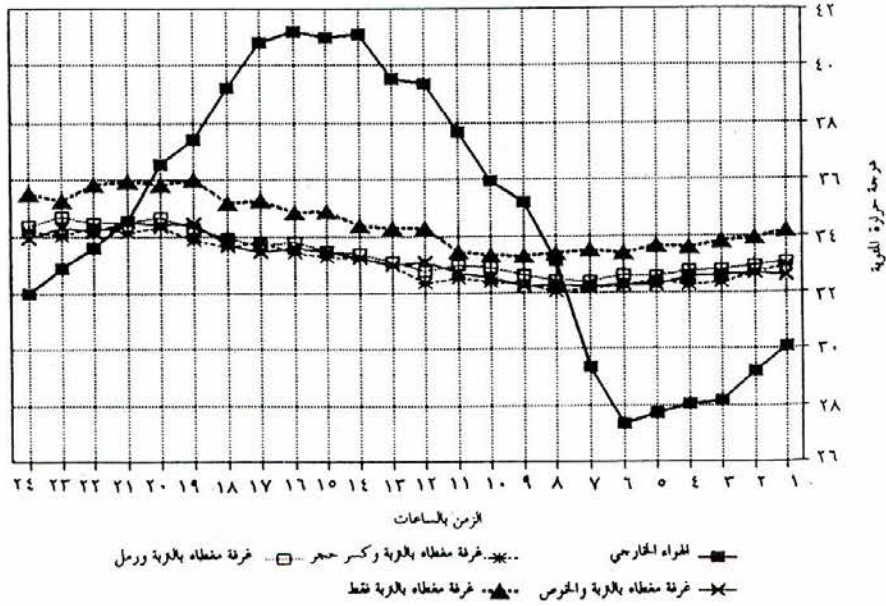


شكل رقم (٢). نمط التغير في حرارة التربة الملاصقة للغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الأولى.

يبين الشكل رقم (٢) نمط التغير في حرارة التربة التي تغطي الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط خلال ٢٤ ساعة. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى 41°C ، كانت درجة حرارة التربة التي تغطي غرفة التحكم 38.5°C وكانت درجات حرارة التربة للغرف الاختبارية الثلاث (كسر حجر، رمل، خوص) هي 38 ، 40.5 ، 36.5°C ، على التوالي. أي أن معامل التناقص Time lag بين الهواء الخارجي والتربة لغرف التحكم والغرف الأخرى التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل

وخصوص هي ٤ ، ٢ ، ٤.٥ ، ٢.٥ م، على التوالي. وهذا يوضح فاعلية تغطية سطح التربة الطبيعية لحفض درجة التربة، وذلك بوضع طبقة بسمك ١٠ سم من مواد متوافرة بالبيئة الطبيعية مثل الخوص. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين معدل أعلى درجة حرارة الهواء الخارجي والتربة استغرق ما يتراوح ٤ و ٨ ساعات. وهذا يبين خاصية التخزين الحراري أو السعة الحرارية Heat capacity للتربة والاحتفاظ بها والتي ساعدت على تأخير مرور الحرارة من السطح الخارجي إلى السطح الداخلي، وبالتالي وصولها إلى الهواء الداخلي بواسطة الإشعاع والحمل مسببا ارتفاعا في درجة حرارة الهواء الداخلية. ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى ٢٧.٥ م، كانت درجة حرارة التربة لغرفة التحكم ٣٤.٥ م وللغرف الثلاث حوالي ٣٢.٥ م، أي بفارق حوالي ٢ م أقل من درجات الحرارة للهواء الخارجي عن غرفة التحكم، و ٥ م بالنسبة للغرف الأخرى. وهذه النتيجة ساعدت على البحث لإيجاد وسيلة لتخفيض هذا الفارق بطريقة التبخير، كما سيتضح في المرحلة التالية.

يبين الشكل رقم (٣) نمط التغير في حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط خلال ٢٤ ساعة. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى ٤١ م، كانت درجة حرارة الهواء داخل غرفة التحكم "بدون تغطية لسطح التربة" ٣٦ م وكانت درجات حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الثلاث متقاربة حوالي ٣٤ م أي أن معامل التناقص Time lag بين الهواء الخارجي والداخلي لغرفة التحكم والغرف الأخرى التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي ٥ ، ٦.٥ ، ٦.٥ م، على التوالي. وهذا يوضح فاعلية تغطية سطح التربة الطبيعية لحفض درجة التربة والهواء بداخل المبنى وذلك بوضع طبقة بسمك ١٠ سم من مواد متوافرة بالبيئة الطبيعية مثل الخوص. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين معدل أعلى درجة حرارة الهواء الخارجي والداخلي للغرف الاختبارية استغرق ما يتراوح بين ٤ و ٥ ساعات. وهذا يبين خاصية التخزين الحراري للتربة والاحتفاظ بها والتي ساعدت على تأخير مرور الحرارة من السطح الخارجي إلى السطح الداخلي والذي يؤثر مباشرة في درجة حرارة الهواء الداخلية.



شكل رقم (٣). نمط التغير في حرارة هواء الغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الأولى.

الجدول رقم (١). مقارنة لدرجات الحرارة التربة والغرف ومفعول السعة الحرارية في المرحلة الأولى.

مفعول السعة الحرارية		مقارنة قراءات درجات الحرارة المتوية						
زمن التأخير ساعة	معامل التناقص م° عن الحد الأعلى للهواء الخارجي	عند حد أعلى للهواء الخارجي م° ٤١	عند حد أدنى للهواء الخارجي م° ٢٧,٥	التربة	الهواء	التربة	الهواء	
٥	٨	٣٦	٣٤,٥	٣٣,٥	٣٤,٥	٣٨,٥	٣٦	بدون تغطية
٤	٤	٣٤,٥	٣٢	٣٢	٣٢	٣٨	٣٤,٥	بالحجر
٥	٦	٣٤,٥	٣٢,٥	٣٢,٥	٣٢,٥	٤٠,٥	٣٤,٥	بالرمل
٥	٨	٣٤	٣٣,٥	٣٢,٥	٣٣,٥	٣٦,٥	٣٤	بالخوص

ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 27.5°C ، كانت درجة حرارة الهواء بداخل جميع الغرف حوالي 32.5°C ، أي بفارق حوالي 5°C . وهذه النتيجة ساعدت على البحث لإيجاد وسيلة لتخفيض هذا الفارق بطريقة التبخير، كما سيتضح في المرحلة التالية.

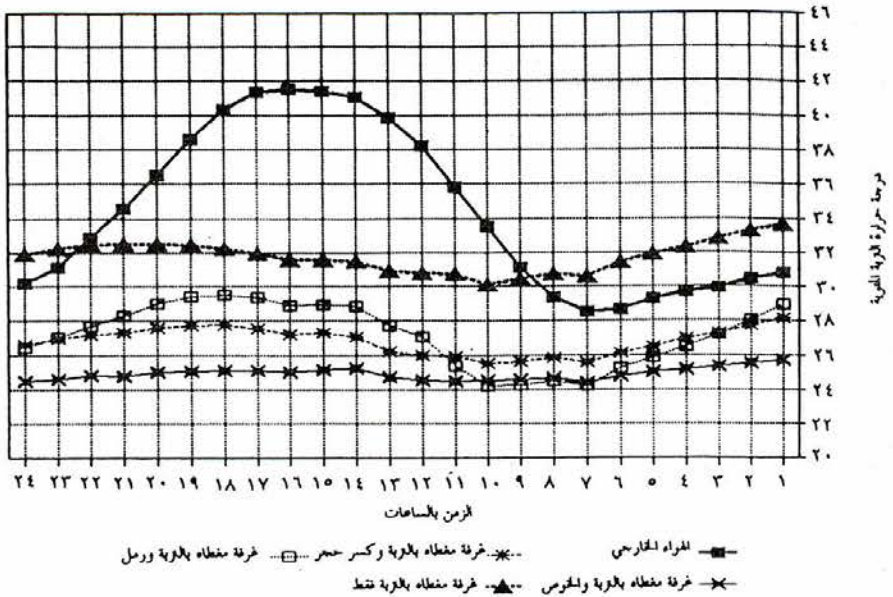
يوضح الشكلان رقما (٤ و ٥) والجدول رقم (٢) نتائج الأداء الحراري للغرف الاختبارية في المرحلة الثانية. وتبين الأشكال درجة حرارة الهواء في الغرف وحرارة التربة، عندما كان سطح التربة مرطبا بالماء وكانت التربة غير مظلمة وغير مهواة خلال ٢٤ ساعة. وقد تم رش سطح التربة لكل غرفة بكمية من الماء مقدارها حوالي 40 لترا في الساعة السابعة مساء يوميا.

الجدول رقم (٢). مقارنة لدرجات الحرارة التربة والغرف ومفعول السعة الحرارية في المرحلة الثانية.

مفعول السعة الحرارية		مقارنة قراءات درجات الحرارة المتوية						
زمن التأخير ساعة	معامل التناقص $^{\circ}\text{C}$ عن الحد الأعلى للهواء الخارجي	عند حد أدنى للهواء الخارجي 28.5°C	عند حد أعلى للهواء الخارجي 41.5°C	التربة الداخلي	التربة الداخلي	الهواء الداخلي	التربة الداخلي	
١-	٥	٨.٥	٢.٥	٣١	٣٠	٣٣.٥	٣٢.٥	بدون تغطية
٢-	٢	٨.٥	٤	٢٨	٢٥.٥	٣٣	٢٨	بالحجر
٢-	٢	٩	٢	٢٨	٢٤.٥	٣٢.٥	٢٩.٥	بالرمل
٢-	٢-	١١.٥	٤.٥	٢٨	٢٤.٥	٣٠	٢٥	بالخوص

يبين الشكل رقم (٤) نمط التغير في حرارة التربة التي تغطي الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى 41.5°C ، كانت درجة حرارة التربة التي تغطي غرفة التحكم 33.5°C وكانت درجات حرارة التربة للغرف الاختبارية الثلاث "كسر حجر، رمل، خوص" هي 28 ، 29.5 ، 25°C ، على التوالي. أي أن معامل التناقص Time lag بين الهواء الخارجي والتربة لغرف

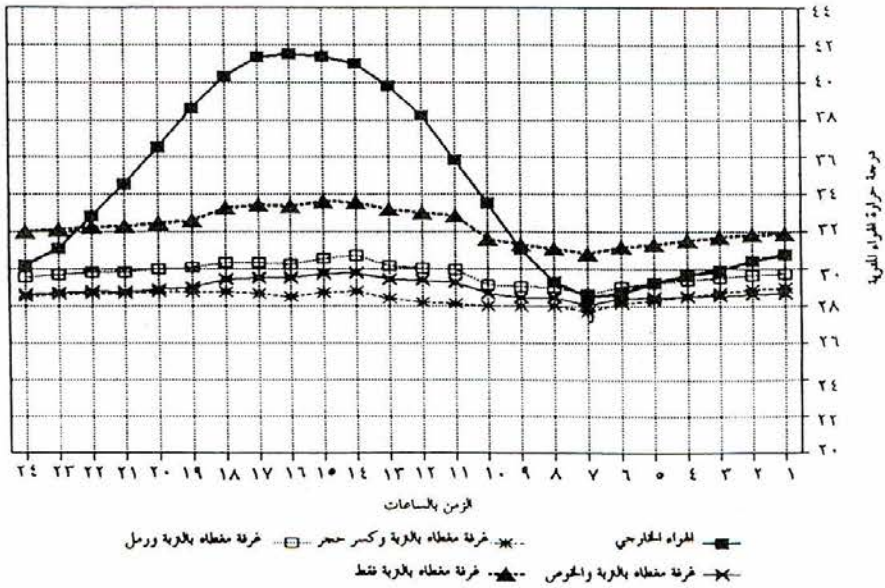
التحكم والغرف الأخرى التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي ٤، ٢، ٤، ٥، ٤، ٥ م^٢، على التوالي. وهذا يوضح فاعلية تغطية سطح التربة وترطيبها في خفض درجة التربة. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين أعلى معدل درجة حرارة الهواء الخارجي وأعلى معدل درجة حرارة التربة، ويتضح ذلك بأن زمن التأخير اختلف هنا حيث استمر ساعتين. وهذا يبين خاصية التخزين الحراري أو مفعول السعة الحرارية Heat capacity للتربة والاحتفاظ بها لفترة زمنية أقل مما حصل في المرحلة السابقة. هذا بالإضافة إلى أن وجود عامل التبخير ساعد على التخلص من الحرارة عن طريق التبخير Evaporation. يعود السبب في ذلك إلى أن الطبقة المبللة بالماء تمتص الطاقة الحرارية الساقطة على سطح التربة واستخدامها في تبخير الماء Evaporative cooling بدلا من تسخين التربة التي تؤثر بالتالي في رفع درجة حرارة حوائط المبنى والهواء.



شكل رقم (٤). نمط التغير في حرارة التربة الملاصقة للغرف الاختبارية عنها أجريت التجربة في المرحلة الثانية.

ويلاحظ أن الغرف الاختبارية المغطى سطحها بكسر الحجر قد سجلت أقل درجة حرارة عن الغرف الأخرى، ويرجع السبب إلى أن كسر الحجر ولونه ساعد في تقليل إكساب التربة حرارة من الشمس بواسطة خاصية الانعكاس لمادة الحجر، من جهة، ووجود فراغات بين الحجر يساعد في تبريد سطح التربة من جهة أخرى. ويمكن إدراك ذلك بأن الفراغات بين كسر الحجر تؤدي إلى سهولة انطلاق الحرارة المشعة، من سطح التربة والأحجار الصغيرة، بسرعة أثناء الليل. وأما في النهار فإن كسر الحجر يعمل مظلاً لسطح التربة ويفقد جزء من الحرارة في أسطحه ذاتية الظل بواسطة تيارات الحمل التي تتكون بفجوات كسر الحجر. ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 28.5°م ، كانت درجة حرارة التربة لغرفة التحكم 30°م وللغرف الثلاث حوالي 24.5°م ، أي بفارق حوالي 2.5°م أقل من درجات الحرارة للهواء الخارجي عن غرفة التحكم، ولكن هنا يختلف عما حصل في المرحلة السابقة فقد حدث أن درجات الحرارة بالنسبة للغرف الأخرى انخفضت عن أدنى درجة حرارة للهواء الخارجي بمقدار 3°م . وبهذه النتيجة أمكن التفكير في منع الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس المباشرة مع استمرار الترطيب لسطح التربة، كما سيتضح في المرحلة التالية.

يبين الشكل رقم (٥) نمط التغير في حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط خلال ٢٤ ساعة. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى 41.5°م ، كانت درجة حرارة الهواء داخل غرفة التحكم "بدون تغطية لسطح التربة" 33.5°م وكانت درجات حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية التي غطيت بكسر حجر ورمل وخصوص هي 28 ، 29.5 ، 25°م ، على التوالي. أي أن معامل التناقص Time lag بين الهواء الخارجي والداخلي لغرفة التحكم والغرف هي 8.5 ، 9 ، 11.5 ، 8.5°م ، على التوالي. وهذا يوضح فاعلية تغطية سطح التربة وترطيبها في خفض درجة التربة والهواء بداخل المبنى. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين معدل أعلى درجتي حرارة للهواء الخارجي والداخلي للغرف الاختبارية استغرق حوالي من ساعتين قبل وقت حدوث أعلى درجة حرارة



شكل رقم (٥). نمط التغير في حرارة هواء الغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الثانية.

للتهوية الخارجي. وهذا يبين أن خاصية التخزين الحراري للتربة ظلت ولفترة طويلة باردة لم تتأثر بزيادة الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس المباشرة، بسبب الترتيب عن طريق تبخير الماء. ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 28.5°C ، كانت درجة حرارة الهواء بداخل غرفة التحكم 31°C والغرف الأخرى حوالي 28°C أي بفارق 2.5°C بين الهواء الخارجي وداخل غرفة التحكم، ولكن بالنسبة للغرف الأخرى أصبحت درجات الحرارة الداخلية منخفضة أقل من الدرجة الصغرى للهواء الخارجي. وبهذه النتيجة يتبين أهمية ترتيب التربة لمساهمتها في تقليل كل من درجة حرارة التربة والهواء الداخلي للمبنى.

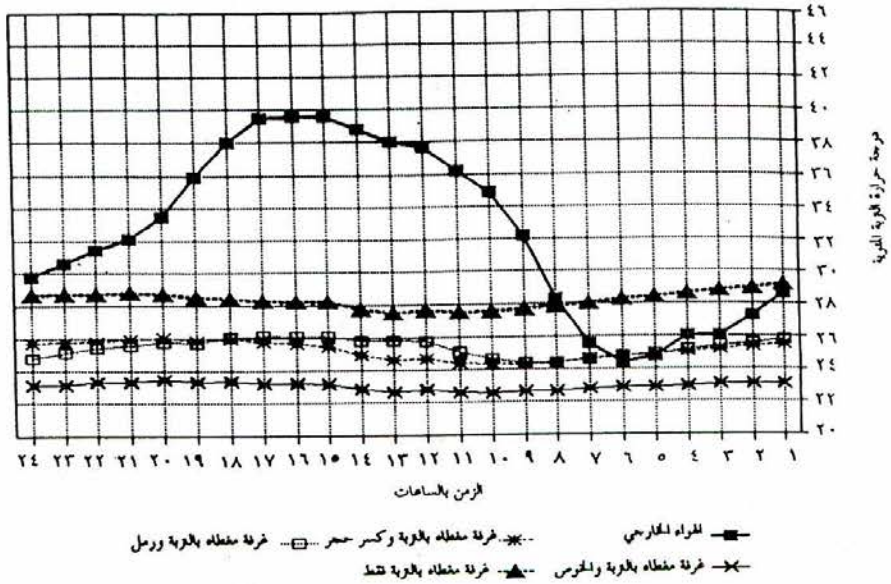
يوضح الشكلان رقما (٦ و ٧) والجدول رقم (٣) نتائج الأداء الحراري للغرف الاختبارية في المرحلة الثالثة. ويبين الشكلان درجة حرارة الهواء في الغرف وحرارة التربة،

عندما كان سطح التربة ليس مرطبا بالماء ، ولكنه مظلل بغطاء سميكة من القطن الأبيض المستخدم للخيام والغرف ليست مهواة خلال ٢٤ ساعة.

الجدول رقم (٣). مقارنة لدرجات حرارة التربة والغرف ومفعول السعة الحرارية في المرحلة الثالثة.

مفعول السعة الحرارية		مقارنة قراءات درجات الحرارة المتبوية						
زمن التأخير ساعة	معامل التناقص م° عن الحد الأعلى للجو الخارجي	عند حد أدنى للجو الخارجي م° ٢٤,٥	عند حد أعلى للجو الخارجي م° ٣٩,٥	التربة الداخلي	التربة الداخلي	التربة الداخلي	التربة الداخلي	معالجة التغطية
١-	٣	٢٩,٥	٣٠,٢٥	٢٧,٥	٢٧,٥	٢٨,٥	٢٨,٥	بدون تغطية
١-	١	٢٦,٥	٢٧	٢٤,٥	٢٦,٥	٢٦	٢٦	بالحجر
١-	١	٢٧	٢٧,٥	٢٤,٥	٢٧	٢٦	٢٦	بالرمل
١-	١-	٢٥,٥	٢٦,٢٥	٢٢,٥	٢٥,٥	٢٣,٥	٢٣,٥	بالخوص

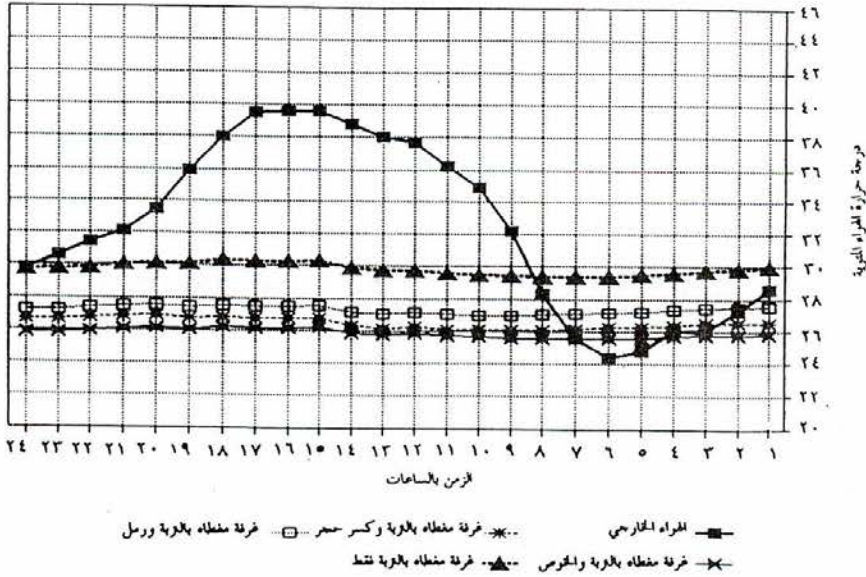
يبين الشكل رقم (٦) نمط التغير في حرارة التربة التي تغطي الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى م° ٣٩,٥ ، كانت درجة حرارة التربة التي تغطي غرفة التحكم م° ٢٨,٥ وكانت درجات حرارة التربة للغرف الاختبارية الثلاث "كسر حجر، رمل، خوص" هي ٢٦ ، ٢٦ ، ٢٣,٥ م° ، على التوالي. أي أن معامل التناقص Time lag بين أعلى درجتي حرارة للهواء الخارجي والتربة للغرف التحكم والغرف الثلاث الأخرى التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخوص هي ١٣ ، ١٣ ، ١٦ ، ١١ م° ، على التوالي. وهذا يوضح فاعلية حماية التربة من أشعة الشمس المباشرة مع إمكانية عدم استخدام الماء لترطيب التربة. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag ، الذي حدث بين معدل أعلى درجة حرارة الهواء الخارجي وحرارة التربة ، استغرق حوالي ساعة قبل حدوث معدل درجة حرارة الهواء الخارجي. وهذا يبين خاصية التخزين الحراري أو مفعول السعة الحرارية Heat capacity للتربة. في هذه المرحلة ظلت التربة محتفظة بالبرودة لفترة زمنية.



شكل رقم (٦). نمط التغير في حرارة التربة الملاصقة للغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الثالثة.

ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 24.5°C ، كانت درجة حرارة التربة لغرفة التحكم 27.5°C وللغرف الثلاث التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي 24.5°C ، 24.5°C ، 22.5°C ، على التوالي. أي أن درجة حرارة التربة قربت إلى أدنى درجة حرارة للهواء الخارجي وهذا يؤكد فاعلية تظليل التربة نهاراً.

يبين الشكل رقم (٧) نمط التغير في حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط خلال ٢٤ ساعة. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى 39.5°C ، كانت درجة حرارة الهواء داخل غرفة التحكم "بدون تغطية لسطح التربة" 30.25°C وكانت درجات حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الثلاث التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي 28°C ، 27.5°C ، 26°C ، على التوالي. يتضح أن معامل التناقص Time lag بين الهواء الخارجي والهواء الداخلي لغرفة التحكم والغرف هي



شكل رقم (٧). فط التغيير في حرارة هواء الغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الثالثة.

٩,٢٥، ١٣,٥، ١٢، ١٣,٢٥ م، على التوالي. وهذا يوضح أثر تظليل التربة في درجة التربة والهواء بداخل المبنى. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين معدل أعلى درجتي حرارة الهواء الخارجي والهواء الداخلي للغرف الاختبارية استغرق حوالي ساعة واحدة قبل حدوث أعلى معدل لدرجة حرارة الهواء الخارجي. وهذا يبين أثر خاصية التخزين الحراري للتربة على بقاء درجة حرارة الهواء منخفضة وبمعدل تغير بسيط حيث ظلت درجة حرارة الهواء الداخلي شبه مستقرة قريبة ما بين ٢٦ إلى ٢٧ م.

ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى ٢٤,٥ م، كانت درجة حرارة الهواء بداخل غرفة التحكم ٢٧,٥ م والغرف الأخرى حوالي ٢٧ م أي بفارق ٤,٥ م بين الهواء الخارجي والهواء داخل غرفة التحكم ولكن بالنسبة للغرف الأخرى كانت درجات الحرارة الداخلية تعلو درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى بمقدار ١ م.

ويتبين أن تظليل التربة يساهم في تقليل درجة حرارة كل من التربة والهواء الداخلي للمبنى ، ولكن أثر الترطيب كما هو موضح في المرحلة الثانية أمكن تقليل درجة حرارة الهواء الداخلي أقل من درجة حرارة الهواء الصغرى ١° م.

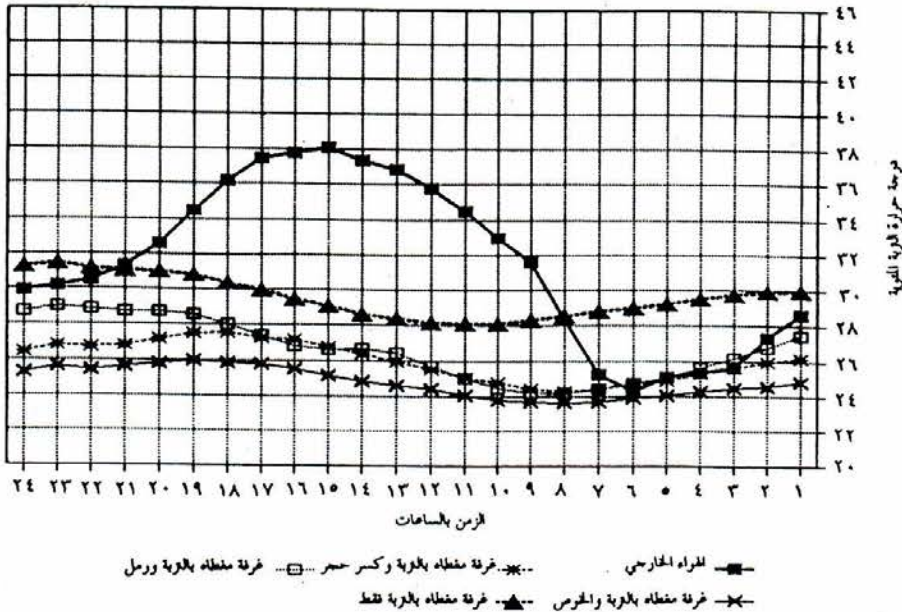
يوضح الشكلان رقما (٨ و ٩) والجدول (٤) نتائج الأداء الحراري للغرف الاختبارية في المرحلة الرابعة. وتظهر الرسوم البيانية درجة حرارة الهواء في الغرف وحرارة التربة عندما كان سطح التربة مرطبة بالماء ومظللة ومهواة خلال ٢٤ ساعة. وقد تم الاستمرار في ترطيب سطح التربة للغرف الاختبارية ووجود المظلة كما في المرحلة السابقة. وقد كان معدل التهوية Rate of ventilation للغرف الاختبارية عبر النوافذ والأبواب حسب حركة الهواء الطبيعية المحيطة حول الغرف ويتراوح معدل التهوية داخل الغرف ما بين ٠,٣ و ٠,١ متر/ثانية.

الجدول رقم (٤). مقارنة لدرجات حرارة التربة والغرف ومفعول السعة الحرارية في المرحلة الرابعة.

مفعول السعة الحرارية		مقارنة قراءات درجات الحرارة المثوية					
زمن التأخير ساعة	معامل التناقص °م عن الحد الأعلى للهواء الخارجي	عند حد أدنى للهواء الخارجي ٢٤,٥ °م	عند حد أعلى للهواء الخارجي ٣٨ °م	التربة الداخلي	التربة الداخلي	الهواء الداخلي	الهواء الداخلي
١	٨	٦,٥	٢٧,٥	٢٨	٣٧	٣١,٥	بدون تغطية
١	٣	٠,٥	٢٤,٥	٢٤,٥	٣٢	٢٧,٥	بالحجر
١	٨	٠,٥	٢٥,٥	٢٤,٥	٣٣,٥	٢٩	بالرمل
١	٤	١	٢٦	٢٣,٥	٣٤,٥	٢٦	بالخوص

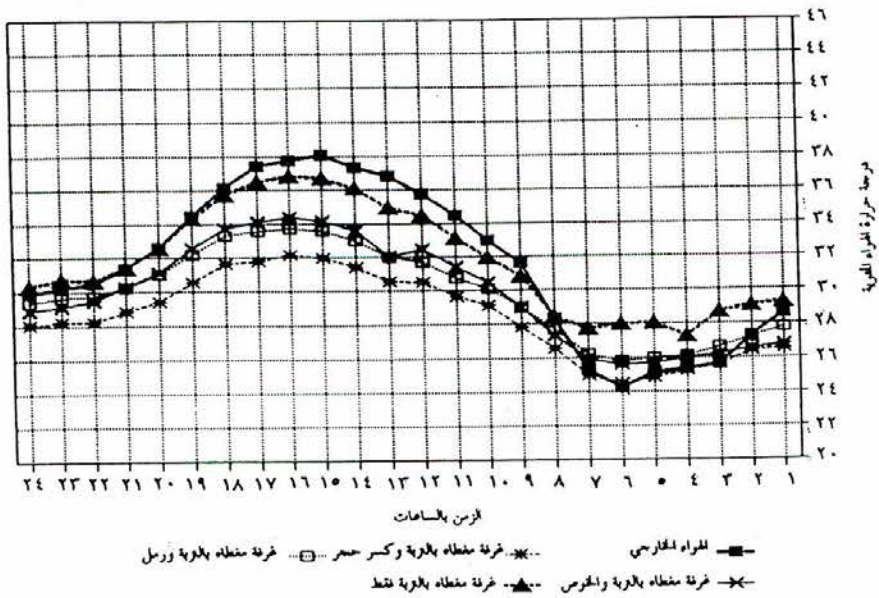
يبين الشكل رقم (٨) نمط التغير في حرارة التربة للغرف الاختبارية الأربعة والهواء الخارجي المحيط. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي القصوى ٣٨° م ، كانت درجة حرارة التربة التي تغطي غرفة التحكم ٣٧° م وكانت درجات حرارة التربة للغرف الاختبارية الثلاث (كسر حجر ، رمل ، خوص) هي ٣١,٥ ، ٢٧,٥ ، ٢٩ ، ٢٦° م ،

على التوالي. أي أن معامل التناقص Time lag بين أعلى درجتي حرارة للهواء الخارجي والتربة لغرف التحكم والغرف الثلاث الأخرى التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي ١، ٦، ٤،٥، ٣،٥ م، على التوالي. وهذا يوضح أن السعة الحرارية للتربة انخفضت عما حدث في المرحلة السابقة بسبب التهوية للفراغ الداخلي بالرغم من حماية التربة من أشعة الشمس المباشرة. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين معدل أعلى درجة حرارة الهواء الخارجي والتربة استغرق ما يتراوح بين ٣ و ٨ ساعات. ويلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى ٢٤،٥ م، كانت درجة حرارة التربة لغرفة التحكم ٢٨ م وللغرف الثلاث التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي ٢٤،٥، ٢٤،٥، ٢٣،٥ م، على التوالي. أي أن درجة حرارة التربة قربت إلى أدنى درجة حرارة للهواء الخارجي، وهذا يؤكد فاعلية تظليل التربة نهاراً، كما هو الحال في المرحلة الثالثة.



شكل رقم (٨). نمط التغير في حرارة التربة الملاصقة للغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الرابعة.

يبين الشكل رقم (٩) نمط التغير في حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الأربع والهواء الخارجي المحيط خلال ٢٤ ساعة. ويلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي ٣٨° م، كانت درجة حرارة الهواء داخل غرفة التحكم "بدون تغطية لسطح التربة" ٣٧° م وكانت درجات حرارة الهواء بداخل الغرف الاختبارية الثلاث التي تم تغطيتها بكسر حجر ورمل وخصوص هي ٣٢، ٣٣.٥، ٣٤.٥° م، على التوالي. أي



شكل رقم (٩). نمط التغير في حرارة هواء الغرف الاختبارية عندما أجريت التجربة في المرحلة الرابعة.

أن معامل التناقص Time lag بين الهواء الخارجي والهواء الداخلي لغرفة التحكم والغرف هي ١، ٦، ٤.٥، ٣.٥° م، على التوالي. وهذا يوضح أثر تهوية فراغ المبنى في درجة الهواء بداخله. هذا بالإضافة إلى أن زمن التأخير أو الإزاحة الحرارية Time lag الذي حدث بين معدل أعلى درجات حرارة الهواء الخارجي والداخلي للغرف الاختبارية استغرق فترة قصيرة حوالي ساعة واحدة إذ يلاحظ تتابع منحنيات درجات الحرارة

الداخلية للغرف مع منحني درجة حرارة الهواء الخارجي. وهذا يبين قلة أثر خاصية التخزين الحراري للتربة بالرغم من برودتها لكن التهوية كفيلا برفع درجة حرارة الهواء الداخلي القريبة من درجة حرارة الهواء الخارجي وخفضها. ويلاحظ أن هنالك توافقا في المدى الحراري اليومي لدرجات حرارة الهواء الداخلي للغرف فهو يصل 7°C ، بينما يصل المدى الحراري اليومي للهواء الخارجي 14°C .

كما يلاحظ أنه، عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 24.5°C ، كانت درجة حرارة الهواء بداخل غرفة التحكم 27.5°C م والغرف الأخرى حوالي 26°C أي بفارق 4.5°C م بين الهواء الخارجي وداخل غرفة التحكم، ولكن بالنسبة للغرف الأخرى فإن درجات الحرارة الداخلية تعلقو درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى بمقدار 2°C م. ويتبين أن التهوية الطبيعية ليلا تساهم في تقليل كل من درجة حرارة التربة والهواء الداخلي للمبنى، ولكن أثر التهوية الطبيعية أثناء النهار تسبب ارتفاعا في درجة حرارة الهواء الداخلي، وبالتالي تسبب تخزين الحرارة في حوائط المبنى والتربة ويكون الأثر في هذه الحالة عكسيا.

الاستنتاجات

في هذه الدراسة تبين الآتي:

- ١ - فاعلية استخدام التربة الملاصقة للمباني في المناطق الحارة الجافة، وتزداد فاعليتها عندما يتم تغطية سطح التربة بوضع طبقة من مواد متوافرة في البيئة المحلية مثل كسر الحجر أو الرمل أو الخوص ويسمك 10 سم فوق سطح التربة. فقد وجد بالتجربة التطبيقية أن درجة حرارة التربة الطبيعية ودرجة حرارة الهواء الداخلي تقلل من درجة حرارة الهواء الخارجي بحوالي 2.5 ، 5°C م، على التوالي. ولكن عند استخدام طبقة من المواد الطبيعية فوق التربة فإن درجتي حرارة التربة والهواء الداخلي تنخفضان عن درجة حرارة الهواء الخارجي بمعدل حوالي 4.5 ، 7°C م، على التوالي. أي أن تغطية التربة الطبيعية بطبقة ماثلة للمواد المحلية كالحجر والرمل والخوص سبب انخفاض لدرجة حرارة التربة الطبيعية بمقدار 2°C م.

٢ - ازدياد فاعلية التربة الملاصقة للمباني عندما يتم ترطيب سطح التربة مع وضع طبقة من المواد المتوافرة في البيئة المحلية فوق سطح التربة. فقد وجد بالتجربة أن درجة حرارة التربة المرطبة بالماء ودرجة حرارة الهواء الداخلي تقلل من درجة حرارة الهواء الخارجي بحوالي ٤,٥ ، ١١,٥ م°، على التوالي. أي أن ترطيب التربة الطبيعية بالمقارنة مع الحالة السابقة، سبب انخفاضاً لدرجة حرارة التربة الطبيعية والهواء الداخلي بمقدار ٢ ، ٦,٥ م° على التوالي. إن هذا الانخفاض في درجة حرارة التربة الطبيعية يشجع على التطوير بدائل لترطيب التربة بأقل كمية من الماء المستخدم والحصول على نتائج مماثلة أو أفضل.

٣ - ازدياد فاعلية التربة الملاصقة للمباني عندما يتم تظليل سطح التربة باستخدام مظلة من القطن، المستخدمة للخيام، وبدون ترطيب سطح التربة. فقد وجد بالتجربة التطبيقية أن درجة حرارة التربة المظللة ودرجة حرارة الهواء الداخلي تقل عن درجة حرارة الهواء الخارجي بحوالي ١٦ ، ١٣ م°، على التوالي. أي أن تظليل التربة الطبيعية بالمقارنة مع الحالة الأولى، سبب انخفاضاً لدرجة حرارة التربة الطبيعية والهواء الداخلي بمقدار ١٤ ، ٨ م° على التوالي.

٤ - انخفاض فاعلية التربة الملاصقة للمباني عندما يتم تهوية الفراغ الداخلي طبيعياً بالرغم من تظليل سطح التربة. فقد وجد بالتجربة التطبيقية أن درجة حرارة التربة ودرجة حرارة الهواء الداخلي تقلل عن درجة حرارة الهواء الخارجي بحوالي ٤,٥ ، ٠,٥ م°، على التوالي. أي أن التهوية للفراغ الداخلي للمبنى نهاراً قد يسبب أثراً عكسياً في فاعلية التربة، وبالتالي لا يمكن الاستفادة من التربة الملاصقة للمبنى.

٥ - يوصى بتطبيق استخدام التربة المعالج سطحها للمباني ذات الدور الواحد أو أسقف الأدوار العليا من المباني وعلى وجه الخصوص المباني السكنية، لكن ذلك يتطلب أن يكون المبنى قوياً من الناحية الإنشائية حتى يتحمل ثقل التربة والضغط الجانبي للمبنى. والجدير بالذكر أن مبنى وزارة المعارف الجديد الذي يجرى تشييده في الوقت الحاضر بمدينة الرياض قد تم تصميمه بتغطية حوائطه وأسقفه بالتربة الطبيعية المزروعة بغطاء نباتي من الثيل الأخضر.

٦ - يوصى بعمل المزيد من الدراسات التطبيقية على المباني بمقاسات حقيقية بحيث تستخدم فيها التربة التي تغطي كل حوائطها وأسقفها أو أجزاءها ولا تقتصر تلك الدراسات على النواحي الحرارية، بل يمكن التطرق بمزيد من الدراسات الخاصة بالنواحي الاقتصادية والنفسية لدى المستخدمين للمباني ذات الاستعمال السكني والإداري والتجاري في مناطق تتصف بمناخ حار وجاف.

الخاتمة

لقد أثبتت هذه الدراسة أن المباني المغطاة بالتربة المعالج سطحها بطبقة من كسر الحجر أو الرمل أو الخوص تقل درجة الحرارة التربة والهواء الداخلي للمبنى. وأن ترطيب التربة بالماء يساهم في خفض درجة حرارة التربة والهواء. وأن استخدام التظليل لسطح المبنى بهدف حمايته من أشعة الشمس الساقطة يحتل المرتبة الأولى ثم يليه ترطيب التربة بالماء. يقودنا ذلك إلى أهمية التظليل لخفض الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس المباشرة خلال ساعات النهار. وهنا تتأكد الحاجة إلى المزيد من الدراسات التطبيقية التي تهدف إلى وصول درجات الحرارة داخل المباني في نطاق الراحة الحرارية للإنسان. إن بالإمكان استغلال تربة المعالجة لتغطية حوائط المباني ذات الدور الأرضي وأسطحها، بينما يغطي سطح الأبنية ذات الطوابق المتعددة. وأن تستغل الأسطح حدائق خاصة للمستخدمين لهذا النوع من المباني.

المراجع

- (١) Givoni, B. *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. NY.: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- (٢) Fathy, H. *Natural Energy and vernacular Architecture*. Chicago: The University of Chicago Press, 1986.
- (٣) Cole, R. S. "Underground Dwelling in South Tunisia". *Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference*. Miami Beach, FL, (1981), 178-179.
- (٤) شاكر، محمد. *الجزيرة العربية: عسير*. الرياض: مطبوعة وزارة المعارف، المملكة العربية السعودية. الطبعة الثالثة، (د.ت).

- (٥) التويجيري، عبدالرحمن عبدالمحسن. "جهود وزارة الصناعة والكهرباء في مجال ترشيد الاستهلاك وإدارة الأحمال الكهربائية والنتائج التي تم تحقيقها على مستوى المملكة". ورقة مقدمة في ورشة عمل ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية وإدارة الأحمال، الرياض، المملكة العربية السعودية، (٢٩ ذي الحجة ١٤١٧ هـ إلى غرة محرم ١٤١٨ هـ).
- (٦) Cook, J. *Passive Cooling*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1989.
- (٧) Golany, G. S. *Earth-Sheltered Habitat*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.
- (٨) Givoni, B. *Climate Considerations in Building and Urban Design* NY: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- (٩) Givoni, B. *Man, Climate and Architecture*. NY: Van Nostrand Reinhold, 1981
- (١٠) مصلحة الأرصاد وحماية البيئة. معلومات عن أحوال الطقس وبيئة مدينة الرياض. مركز المعلومات والوثائق العلمية، وزارة الدفاع والطيران، جدة، المملكة العربية السعودية (١٤١٥ هـ).
- (١١) Srinivasa Reddy, M. and Krishnamoorthy, S. "A Study of the Value of Time Lag of Room Air Temperature: An Experimental Investigation" *Architectural Science Review*, 33 (1990), 71-77.

The Thermal Performance of Buildings Adjacent to Earth in Hot and Dry Climate in Saudi Arabia

Nasser A. M. Al-Hemiddi

*Assistant Professor, College of Architecture and Planning,
King Saud University, P.O. Box 57448, Riyadh 11574, Saudi Arabia.*
(Received on 24/10/1418; accepted for publication on 24/5/1419)

Abstract. This research focuses on the study of the thermal performance of buildings adjacent to earth mass. The work was conducted during the summer of 1995 – 1996 at the Research Station of the College of Architecture and Planning, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia. The objective of the study is to reduce the natural temperature of the soil mass and to use the cooled soil as a cooling source for cooling a building, because the natural soil temperature is usually too high in summer and cannot serve as a cooling source. Four experimental phases were conducted and statistical analyses were carried out. Results indicate that the cooled soil covering the external surfaces of the building is an effective method for cooling in hot dry regions. The soil can be cooled by covering the surface of the soil with a layer of 10 cm natural and local materials such as dry palm tree fronds, fine sand and small rocks. It was found that the soil and indoor air temperatures were reduced by 2.5 °C and 5 °C, respectively. However, when the soil was cooled by adding a layer above it, the soil and indoor air temperatures were reduced by about 4.5 °C and 7 °C, respectively. Adding water to the soil mass contributes to lower the soil and indoor temperatures compared to the outdoor air temperature by 4.5 °C and 11.5 °C, respectively. Furthermore, shading the soil from the sun by using tent fabric, reduces the soil mass and indoor air temperatures compared to outdoor air temperature by about 16 °C and 11.5 °C, respectively. In addition, the indoor ventilation causes inverse impact on the performance of the soil. Thus the soil can not be used as a cooling source. The research presents some appropriate architectural recommendations for applying soil integrated to buildings in hot and dry regions.