

دراسة الأداء الحراري للمباني المسقوفة بالأقبية في المناطق الجافة الصحراوية المصرية.

م.م/ منى محمد هاشم* أ.د/ عبد المنطلب محمد على** أ.م.د/ مدحت محمد عثمان***

*مدرس مساعد بالمعهد العالي للهندسة والتكنولوجيا بالمنيا الجديدة - مصر.

**أستاذ العمارة والتحكم البيئي بقسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة- جامعة أسيوط - مصر.

***أستاذ مساعد العمارة والتصميم البيئي بقسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة- جامعة المنيا - مصر.

بريد الكتروني المراسلة: mona_soltan@mhiet.edu.eg

ملخص البحث:

يعد السقف النهائي للمبنى أحد العناصر الهامة المكونة للغلاف الخارجي للمبنى، فهو يلعب دور رئيسي في وقاية الفراغات الداخلية من البيئة الخارجية ذات الظروف المناخية القاسية، والتي يجب الوصول فيها للراحة الحرارية للمستخدم، وتتمثل مشكلة البحث في زيادة الكسب الحراري داخل الفراغ المسقف بالقبو في المناطق الجافة الصحراوية المصرية الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع في درجات الحرارة الداخلية، مما يتسبب في غياب الراحة الحرارية للمستخدمين لهذا الفراغ، وتهدف الدراسة إلى تقييم الأداء الحراري للفراغات المسقوفة بالأقبية في المناطق ذات المناخ الجافة الصحراوي المصرية، وينتهي البحث منهج ميداني تحليلي عن طريق قياس كل من درجات الحرارة والرطوبة الداخلية والخارجية لفراغ غرفة سكنية ذات سقف مقبب بجزيرة هيسا بمدينة أسوان بجنوب مصر كممثلة للمناخ الجاف الصحراوي المصري، عن طريق أجهزة لقياس درجات الحرارة والرطوبة الداخلية والخارجية، علماً بأنه تم تجاهل عامل حركة الرياح وذلك بغلق كل من باب وشبابيك الغرفة التي تم القياس بها، وقد أظهرت النتائج بُعد درجات الحرارة عن منطقة الراحة الحرارية الأمر الذي يؤدي إلى استهلاك مزيد من الطاقة للوصول بجو الغرفة للشعور بالراحة الحرارية داخلها.

الكلمات المفتاحية: الأداء الحراري – المناخ الجاف الصحراوي – الأقبية – مصر.

Studying thermal performance of vaults roofed buildings across Egyptian desert dry region.

Mona M. Hashem*

Abdel Monteleb M. Ali**

Medhat M. Osman***

*Assistant lecturer, Architecture Dept., higher Institute of engineering and technology – New Minia, Egypt.

**Architectural& environmental design Professor, Architecture Dept., Faculty of engineering, Assiut University, Egypt.

*** Architectural& environmental design assistant prof., Architecture Dept., Faculty of engineering, Minia University, Egypt.

Corresponding author email: medhat.osman@mu.edu.eg

Abstract

The building roof is one of the most important components of the building's envelope, as it plays a major role in protecting the internal spaces from the harsh climatic conditions of the external environment, as reaching thermal comfort in inner spaces is an essential issue required by its users. Thus, the research aims in enhancing the performance of vaulted roofs as they are known by their increasing heat gain leading to the rise in temperature of the inner spaces, eventually the loss of thermal comfort in which this research seeks. Hence, this study is an attempt to evaluate and test the thermal performance of such residential buildings located in the Egyptian dry desert climate. In achieving so, the research adopts an analytical field approach by measuring both internal and external temperatures and humidity of a single vaulted residential room in Heissa Island of Aswan city in southern Egypt, as a representative case study of the dry desert climate. Two main devices are therefore utilized for measuring both the internal and external temperatures, noting that the wind factor is neglected as any openings have been entirely shut, The results showed that the temperature is far from the comfort zone, which leads to the consumption of more energy to reach the room's atmosphere to feel the thermal comfort inside.

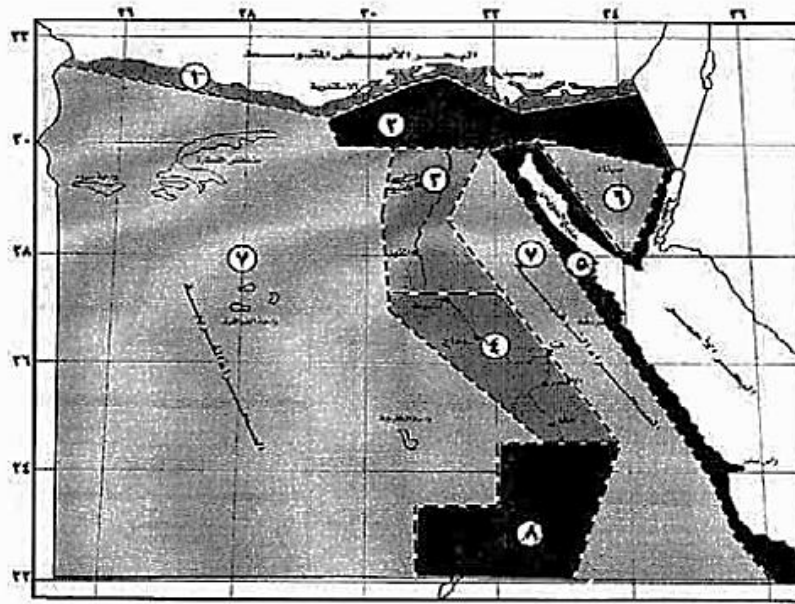
Keywords: Thermal performance, desert dry climatic, vaults, Egypt.

1- المقدمة:

يشكل السقف النهائي للمبنى دور رئيسي في وقاية الفراغات الداخلية من البيئة الخارجية ذات الظروف المناخية القاسية، للوصول للراحة الحرارية للمستخدم، كونه أحد العناصر الهامة المكونة للغلاف الخارجي للمبنى.

ويعد القبو من أحد العناصر المعمارية التي تساهم في وقاية المباني من المناخ الحار الصحراوي لما له من مميزات عديدة حيث أنه يقلل من استهلاك الطاقة في المباني وذلك لأن مساحة سطح القبو المعرضة للظروف المناخية أقل بحوالي 30% من مساحة السطح المستوي المسقف لنفس الفراغ، أي ثلث انتقال حرارة أقل من وإلى الفراغ أسفله، الأمر الذي يؤدي إلى توفير 30% من متوسط استهلاك الطاقة المستخدمة في التبريد والتدفئة، بالإضافة إلى أنه متين وقوي ومقاوم للعوامل الجوية والزلازل والحريق، كما أن له شكل جمالي مميز [1].

ولقد تعددت أقاليم مصر المناخية بحسب الكود المصري لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني (المباني السكنية) حيث وصلت ل 8 أقاليم مناخية مختلفة هي (إقليم الساحل الشمالي- إقليم الدلتا والقاهرة - إقليم شمال الصعيد - إقليم جنوب الصعيد - إقليم الساحل الشرقي - إقليم الهضاب المرتفعة - الإقليم الصحراوي - إقليم جنوب مصر) [2]، كما هو موضح بالخريطة شكل رقم (1):



شكل (1-3) الأقاليم المناخية لجمهورية مصر العربية

1- إقليم الساحل الشمالي	5- إقليم الساحل الشرقي
2- إقليم الدلتا والقاهرة	6- إقليم الهضاب المرتفعة
3- إقليم شمال الصعيد	7- الإقليم الصحراوي
4- إقليم جنوب الصعيد	8- إقليم جنوب مصر

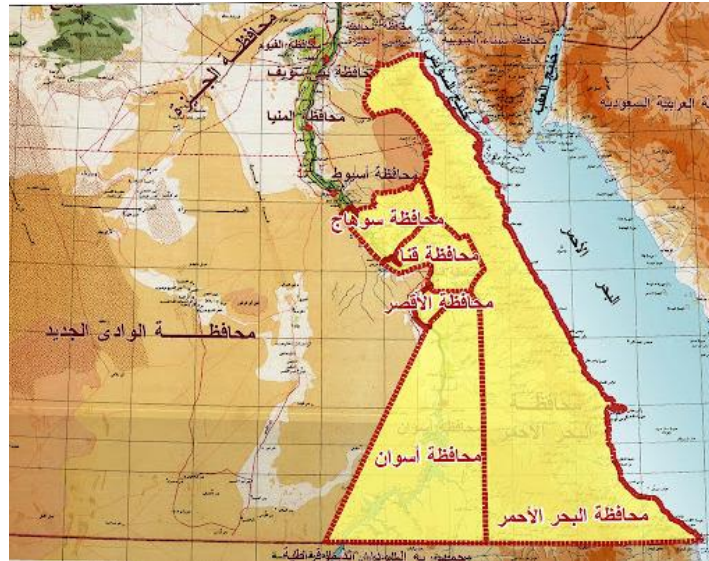
شكل رقم (1): خريطة أقاليم مصر المناخية بحسب الكود المصري لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني [2].

وتركز الدراسة على الإقليم الحار الصحراوي المصري لما له من ظروف مناخية قاسية، ولتغطيته مساحة كبيرة من جمهورية مصر العربية، كما تتناول الدراسة منطقة مدينة أسوان لإعتماد بعض مناطقها تسقيف المباني بالأقبية.

1-1 السمات المناخية لموقع القياس (مدينة أسوان):

تظهر السمات المناخية لموقع القياس (مدينة أسوان) في كل من (درجات الحرارة، الرطوبة، الأمطار، الإشعاع الشمسي)، وهي تفصيلاً كالآتي:

1-1-1 درجات الحرارة: تتمتع أسوان بمناخ حار صحراوي مثل أغلب مدن مصر، كما أنها واحدة من أكثر المدن سخونة وإشعاع شمسي وجفافاً في العالم. يبلغ متوسط درجات الحرارة العظمى باستمرار أعلى من 40 درجة مئوية خلال فصل الصيف (يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر)، بينما في باقي الشهور يظل متوسط درجات الحرارة الصغرى أعلى من 25 درجة مئوية. ويزداد متوسط درجات الحرارة العظمى عن 23 درجة مئوية خلال الفترة الباردة من العام، بينما يظل متوسط درجات الحرارة الصغرى أعلى من 8 درجات مئوية، الشتاء فيها دافئ للغاية، كما هو موضح بالشكل رقم (2).



شكل رقم (2): خريطة توضح موقع مدينة أسوان^[3].

2-1-1 الرطوبة: مناخ أسوان جاف للغاية على مدار السنة، فهي تعد واحدة من أكثر المدن جفافاً في العالم حيث يقل متوسط هطول الأمطار السنوي عن 1 مم (0 بوصة)، فالأمطار لا تهطل كل عام.

3-1-1 الأمطار: تعد مدينة أسوان واحدة من أقل المدن رطوبة على كوكب الأرض، حيث يبلغ متوسط الرطوبة النسبية 26% فقط، بمتوسط أقصى 42% خلال فصل الشتاء ومتوسط أدنى 16% خلال فصل الصيف.

4-1-1 الإشعاع الشمسي: يكون الطقس في أسوان ساطعاً ومشمساً على مدار السنة، في جميع الفصول، مع اختلاف موسمي منخفض، مع ما يقرب من 4000 ساعة من أشعة الشمس السنوية.^[4]

2- الخلفية العلمية:

وبمراجعة الدراسات السابقة التي تم إجرائها على الأقبية وعلاقتها بموضوع البحث نجد أنه:

في عام 2003، تم اقتراح نموذج تفصيلي لمقارنة السلوك الحراري للأسطح المنحنية والمسطحة من حيث تدفق الحرارة من خلالها إلى مبنى مكيف الهواء في ظل ظروف مناخية مختلفة، وتوصلت النتائج إلى أن الأسقف المنحنية ليست مناسبة للمناطق ذات درجات حرارة الهواء المرتفعة والإشعاع الشديدة للمناطق الحارة الرطبة مقارنة بالسقف المسطح، ولكن الأسطح المنحنية أكثر كفاءة في استخدام الطاقة من الأسقف المسطحة في ظل الظروف المناخية الحارة الجافة (مع فتحة للتهوية الطبيعية بالقرب من الأعلى)^[5] اعتمدت الدراسة

على المقارنة بين الأسقف المنحنية والسقف المسطح من حيث الشكل والخامات المستخدمة في البناء دون مراعاة تغيير نسب وأبعاد الأسقف وكذلك الملمس والشكل الخارجي والألوان.

وفي عام 2006، تمت دراسة الأداء الحراري لمباني مقببة وأخرى ذات أسقف مستوية في الظروف المناخية الجافة والحارة، وقد تم اقتراح نموذج مفصل للعناصر المحدودة لدراسة الأداء الحراري للمباني غير المكيفة ذات الأسقف المقببة بناءً على نقل الحرارة غير المستقر ثنائي الأبعاد في مثل هذه الأسطح والهندسة الشمسية. وهذا النموذج يسمح بمقارنة الأداء الحراري للمباني غير المكيفة مع القبو وسقف مسطح في ظل ظروف مناخية مختلفة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من خلال الحساب العددي، وبغض النظر عن نوع المبنى، فإن المباني المقببة لها درجات حرارة داخلية منخفضة مقارنة بتلك التي لها سقف مستوي. والسبب هو أن هذه الأسطح تبعد حرارة أكثر مما تفعله المستوية بالحمل الحراري والإشعاع الحراري في الليل بسبب الأسطح المنحنية [6] اعتمدت الدراسة على المقارنة بين الأسقف المنحنية والسقف المسطح من حيث الشكل والخامات المستخدمة في البناء دون مراعاة تغيير نسب وأبعاد الأسقف وكذلك الملمس والشكل الخارجي والألوان.

أما في عام 2007، تمت دراسة الأداء الحراري للأسطح المقببة ومقارنة انتقال الحرارة مع الأسطح المسطحة من خلال تدفق الرياح حول الأسقف، وقد وجدت الدراسة أن المعدل اليومي لتدفق الحرارة لجميع الأسقف المقببة، ماعدا الأسقف المقببة بزوايا حافة $180,8^\circ$ هو أقل من السقف المسطح ويقل أكثر مع زيادة سرعة الرياح [7] اعتمدت الدراسة على تقييم آثار تواجد السحب في السماء على تدفق حرارة المبنى وتوزيع درجة حرارة السطح على طول سطح القبو ومقارنتها مع الأسطح المسطحة فقط دون الاعتداد ببقية العوامل المؤثرة على وصول الحرارة للسطح من نسب وأبعاد الأسقف وكذلك الملمس والشكل الخارجي والألوان.

في عام 2008، تم البحث في إمكانات الأسقف المقببة في تحسين التهوية الطبيعية الناتجة عن الرياح باستخدام ديناميكا الموائع الحاسوبية (CFD) النمذجة ثلاثية الأبعاد، مع الأخذ في الاعتبار المتغيرات المناخية والهندسية المختلفة، وقد أظهرت النتائج وجود أوجه تشابه كثيرة بين الأسقف القباب والأقبية من حيث أداء التهوية الطبيعية، وأن ميزة أي شكل للسقف في شطف الهواء يعتمد بشكل كبير على اتجاه الرياح [8] وقد اعتمدت هذه الدراسة على تغيير أبعاد القبو والقبة فقط متجاهلة جميع العناصر التشكيلية والبنائية الأخرى وكذلك مقدار الاكتساب الحراري للأبعاد التي درسها والمؤثرة بالضرورة على حركة الهواء.

في عام 2009، تم دراسة الأداء الحراري لمنزل ذو قبو مبني من الطين يقع في نيودلهي بالهند، يحتوي المنزل الطيني على ثلاث غرف بسقف مقلوب على شكل حرف U وثلاث غرف متبقية بسقف على شكل قبة، تم العثور على درجات حرارة الهواء الست المتوقعة في توافق جيد مع البيانات التجريبية الملاحظة على أساس كل ساعة في كل شهر لمدة عام واحد، تم تحديد إمكانات توفير الطاقة للتدفئة والتبريد السنوية لمنزل الطين على أنها 1481 كيلو واط ساعة / سنة و 1813 كيلو واط ساعة / سنة على التوالي لمناخ نيودلهي المركب [9] اعتمدت هذه الدراسة على تقييم مادة البناء (الطين) فقط متجاهلة جميع العناصر التشكيلية والبنائية الأخرى.

في عام 2017، تمت دراسة رقمية للسلوك الحراري لسقف ذو قبوين وآخر ذو ثلاثة أقبية على التوالي بناء على سريان المائع ثنائي الأبعاد وحالة التوصيل الحراري، وقد أظهرت النتائج أن من فوائد الأقبية في المناطق الحارة الجافة أن الإشعاع الشمسي يجعل درجة حرارة السطح أعلى بكثير من الهواء المحيط، وكذلك أثناء ليالي الصيف عندما تنخفض درجات الحرارة للهواء المحيط بشكل أكبر بكثير من درجة حرارة السطح، أما عن زيادة عدد الأقبية فقد وجد أنه يقلل من الكمية الكلية لانتقال الحرارة [10] ركزت الدراسة على تأثير درجات الحرارة على سقف ذو ثلاثة أقبية متتالية مع تغافل عناصر تكوين القبو وتشكيله .

في عام 2018، تم دراسة استخدام القباب والأقبية كنظام تسقيف للتخفيف من التحديات الهيكلية والوظيفية والمناخية المتزايدة، تعتمد الدراسة على محاكاة أوتوديسك (CFD) التي تستطيع أن تحسب تأثير التسخين الشمسي مع الأخذ في الاعتبار التوزيع الطبيعي للتدفق الحراري والتوصيل الحراري، وتم اختبارها حراريًا في ثلاث مدن مختلفة تمثل ثلاثة ظروف مناخية عبر منطقة الشرق الأوسط وهي القاهرة والرياض

واسطنبول. وقد وجدت الدراسة أن السقف القبة المدببة تعمل على خفض درجات الحرارة بشكل ملحوظ وفقا للظروف المناخ الصحراوي وشبه الصحراوي في الرياض والقاهرة، بينما في المناخ الدافئ في اسطنبول يكون القبة المنحنية الخفيفة أداء حراري أفضل.^[11] يعتمد البحث على تثبيت كل عناصر القبة والقبة من نسب ولون وملمس ومواد بناء والتوزيع في أشكالهما ودراسة مدى كفاءتها في ظروف مناخية مختلفة لتحقيق الاقتراح المناسب لكل موقع.

في نفس العام تمت دراسة العلاقة بين كمية الإشعاع الشمسي المستقبل على الأسطح المنحنية وتكويناتها الهندسية، وكذلك دراسة طريقة حسابية كأداة للنهج البارامترى في تصميم المباني السلبية، مما يعزز استخدام وتصميم أشكال القبة التقليدية في المناخات الحارة الجافة. الهدف الرئيسي وراء ذلك هو استكشاف تكوينات متعددة لأشكال القبة (نصف دائرية، مدببة، مقوسة) وإجراء الدراسات عليها لاكتشاف النموذج الذي يقلل من كمية الإشعاع الشمسي المستقبل، وخلص البحث إلى أن أشكال السقف المقبب لها تأثير كبير على التقليل من شدة الإشعاع الشمسي المستقبل عن طريق زيادة النسبة بين ارتفاع القبة ونصف قطرها. وبالتالي، فإنها تقلل من الطاقة المطلوبة للتبريد في المناخات الحارة، مما يترتب عليه توفير الراحة الحرارية الداخلية.^[12] تركز الدراسة على محاولة تحسين الأشكال التقليدية للقبة من حيث اختلاف التشكيل بين (المدبب والنصف دائري والمقوس) وكذلك تغيير النسب بين ارتفاع القبة ونصف قطرها لملائمة المناخ الحار الجاف بجنوب مصر مع تثبيت العوامل الأخرى المؤثرة على الكسب الحراري للقبة.

في عام 2019، تم البحث بطريقة بارامترية في الأداء الحراري للأسطح المقببة، للوصول لفهم أفضل للعلاقة المتبادلة بين الإشعاع الشمسي الذي تتلقاه هذه الأسطح واستهلاك الطاقة الناتج في مدينة أسوان، وقد تم تنفيذ الإجراء المنهجي من خلال مرحلتين أولاً تنفيذ عمليات المحاكاة السنوية للإشعاع الشمسي واستهلاك الطاقة في المرحلة الأولى، حيث يتم توقع الأداء الكمي لـ 2310 حالة مختلفة من حيث ستة أشكال للسقف المقبب مقابل أحد عشر متغيراً رئيسياً مؤثراً، ثانياً استخدام التقنية غير الخاضعة للإشراف لتحليل المكونات الرئيسية في المرحلة الثانية لتقليل الأبعاد الأعلى لمجموعة البيانات الناتجة واستخراج المعلومات المهمة من المكونات الرئيسية المتعامدة المنشأة حديثاً.^[13] استخدمت الدراسة عدداً من المتغيرات المحددة مسبقاً لنمذجة ومحاكاة نماذج القبة المختلفة. ولكن العدد المتزايد لمتغيرات الدراسة جعل من الصعب فهم العلاقات بينها، حتى مع الأساليب الإحصائية التقليدية.

تبين من الدراسات السابقة أنه لم يتم دراسة الأداء الحراري لمباني مسقفة بالأقبية عن طريق عمل قياسات ميدانية واقعية لمباني قائمة بالمناطق ذات الظروف المناخية الحارة الصحراوية في مصر.

3- مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في زيادة الكسب الحراري داخل الفراغ المسقف بالقبة في المناطق الحارة الصحراوية المصرية الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع في درجات الحرارة الداخلية، مما يتسبب في غياب الراحة الحرارية للمستخدمين لهذا الفراغ.

4- هدف البحث:

وبناءً على ما تقدم فإن البحث يهدف إلى رصد وتحليل الأداء الحراري للفراغات المسقفة بالأقبية في الإقليم الجاف الصحراوي المصري ومدى تحقيقها للراحة الحرارية للمستخدمين.

5- منهجية البحث:

وقد انتهج البحث كل من المنهج الاستقرائي وذلك بدراسة الدراسات السابقة وتحليلها، وكذلك المنهج القياسي الميداني التحليلي عن طريق قياس كل من درجات الحرارة والرطوبة الداخلية والخارجية في الفترة الزمنية من يوم الأحد الموافق 2021-7-4 من الساعة الثانية عشر صباحاً وحتى يوم السبت الموافق 2021-7-17 حتى الساعة الثانية ظهراً قياس القراءات بواقع 327 قراءة حيث يتم تسجيل قراءة بمعدل كل ساعة.

1-5 طريقة القياس:

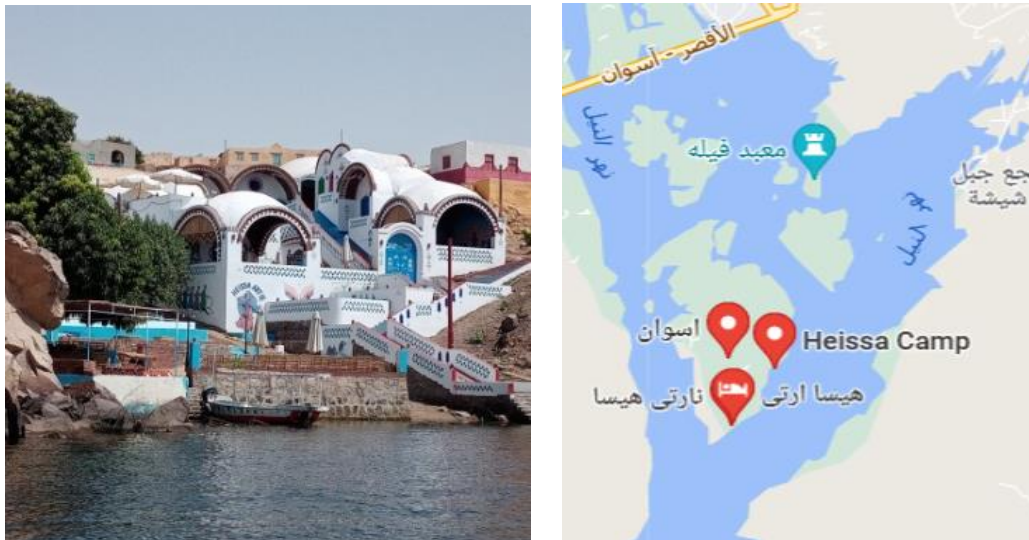
تم قياس كل من درجات الحرارة والرطوبة الداخلية والخارجية في فترة القياس السابق ذكرها لفراغ غرفة سكنية مسقفة بالقبو بجزيرة "هيسا" في مدينة أسوان بجنوب مصر كممثلة للمناخ الجاف الصحراوي والتي تقع على ارتفاع 99 متر فوق سطح البحر، 24.09° شمال، 32.9° شرق،^[14] وقد تم القياس عن طريق جهازي قياس في نفس الفترة الزمنية أحدهما لقياس درجات الحرارة الخارجية (Elhtech-RCW-360WiFi)^[15]، والآخر لقياس الحرارة والرطوبة الداخلية (TenmarsTM-305U Temperature and Humidity (Data Logger)^[16]. كما هو موضح بالشكل رقم (3)، علمًا بأنه تم تجاهل عامل حركة الرياح وذلك بغلق كل من باب وشبابيك الغرفة طوال فترة القياس.



شكل رقم (3): الأجهزة التي تم استخدامها في القياس الداخلي والخارجي.

2-5 تصميم التجربة:

تم القياس في أحد مباني جزيرة هيسا بشرق مدينة أسوان وهي من أقدم الجزر النوبية، ما بين السد العالي وخزان أسوان بجوار معبد فيله^[17]، وذلك لاحتفاظ مبانيها السكنية بالتنسيق بالأقبية، ومناخها الجاف الصحراوي. كما هو موضح بالشكل رقم (4).

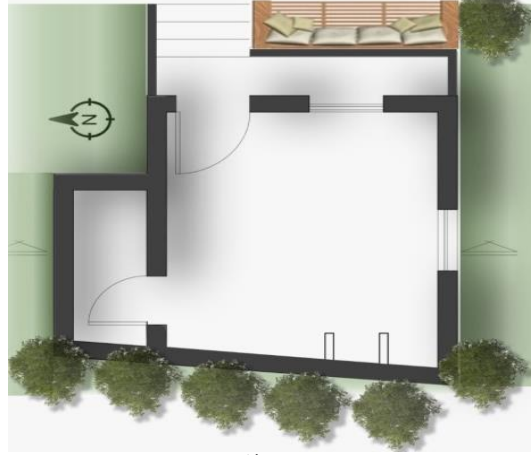


شكل رقم (4): مداخل جزيرة هيسا.^[17]

وكان المبنى يبعد عن نهر النيل حوالي 13,5 متر، وقد كانت الخصائص البنائية للغرفة (حالة الدراسة) كالتالي:

1-2-5 الشكل والأبعاد:

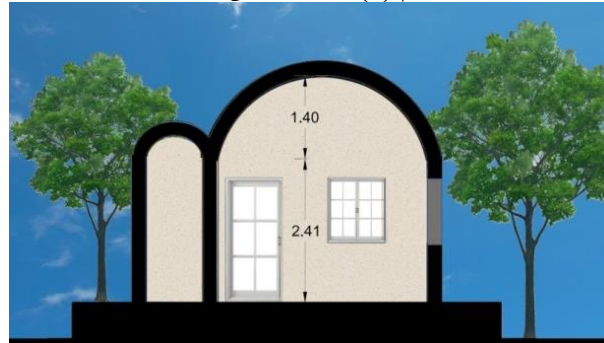
شكل الغرفة شبه منحرف به ثلاثة أضلاع قائمة وضلع واحد مائل بزاوية 80° بها كتفين بارزين مسافة 60 سم عن الحائط بينهما أرفف مستغل كدولاب، وهو الضلع المواجه للغرب وطوله 3.40م، هذا الضلع مظلل دائماً حيث أن بينه وبين غرفة أخرى منطقة مزروعة بمجموعة من النخيل، أما الضلع الشمالي فهو أيضاً محمي من أشعة الشمس لملاصقة الحمام الخاص بالغرفة له وطول هذا الضلع 3.35م، أما الضلع الشرقي فيوجد به باب الغرفة بعرض 95 سم وشباك بعرض 96 سم، والضلع الجنوبي به شباك عرضه 95 سم، أما بالنسبة للسقف فهو قبة اسطوانية الشكل نصف قطره 140 سم. يبدأ من بعد حائط الغرفة الذي يبلغ ارتفاعه 241 سم. كما هو موضح بالشكل رقم (5-6-7).



شكل رقم (5): المسقط الأفقي لمبنى القياس.



شكل رقم (6): واجهة مبنى القياس.



شكل رقم (7): قطاع طولي في مبنى القياس.
المصدر: من إعداد الباحث.

2-2-5 مواد البناء والتشطيبات:

الغرفة مبنية من الطوب الأحمر (طمي تم تجفيفه وحرقة) بسمك طوبة للحوائط وسمك نصف طوبة للسقف القبو، أما التشطيبات فهي كالأتي: الحوائط مدهونة بياض فطيسة، والسقف مطلي بطبقة من الورنيش، والأرضيات مكسوة بلاط سيراميك. شكل رقم (8).



شكل رقم (8): صور توضح شكل الغرفة التي تم فيها القياس من الداخل.
المصدر: من تصوير الباحث.

3-2-5 اللون والملمس:

لم تخرج ألوان الغرفة الخارجية والداخلية عن اللونين الأبيض واللبنّي، إلا من بعض الزخارف البسيطة بألوان فاتحة وهي: (الأصفر – الأخضر – الوردي)، أما بالنسبة للملمس فكل من السقف والحوائط ملساء سواء داخلياً أو خارجياً. كما هو موضح بالشكل رقم (9).



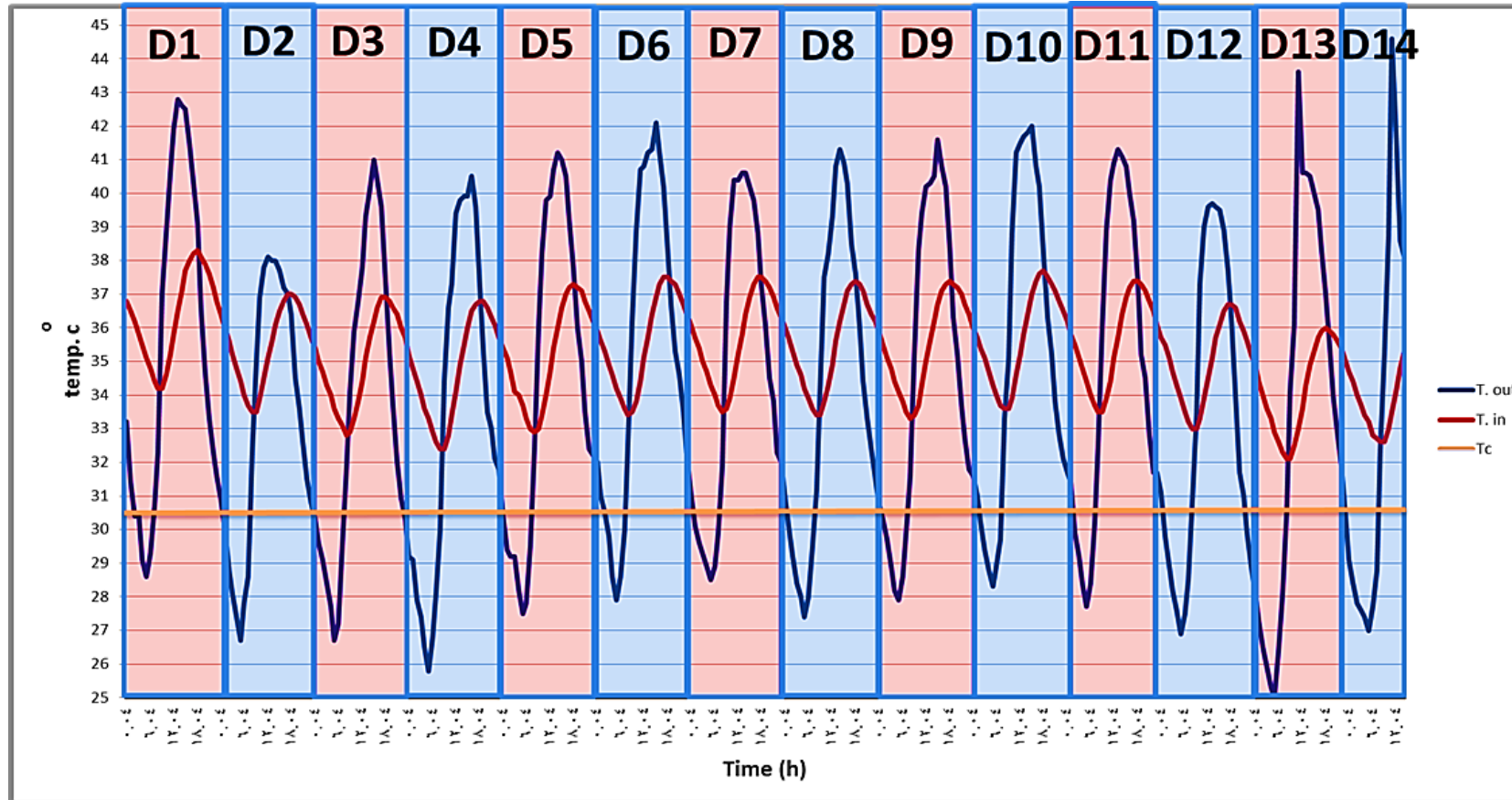
شكل رقم (9): صور توضح شكل الغرفة التي تم فيها القياس من الخارج.
المصدر: من تصوير الباحث.

4-5 تحليل القياسات ومناقشتها:

من خلال أخذ قراءات القياس المسجلة عن طريق أجهزة القياس المشار إليها سابقاً فقد تم دراسة نتائج كل من الحرارة والرطوبة الداخلية والخارجية لغرفة القياس كالتالي:

1-4-5 قياسات الحرارة:

من خلال تحليل قراءات قياس الحرارة الداخلية والخارجية نتج منحنى مقارنة قياس درجات الحرارة الداخلية بالخارجية كما هو موضح بالشكل رقم (10):



شكل رقم (10): منحني مقارنة درجات الحرارة الداخلية والخارجية في فترة القياس.

حيث أن:

D: اليوم. T.out: درجات الحرارة الخارجية. T.in: درجات الحرارة الداخلية. Tc: عتبة الراحة الحرارية.

وعند مقارنة درجات الحرارة الداخلية بالخارجية في فترة القياس وجد أن التخلف الزمني (Time Lag) وهو الفرق في الساعات بين ساعة وصول أعلى درجة حرارة خارجية وساعة وصول أعلى درجة حرارة داخلية، وكذلك معامل التناقص (Decrement Factor) وهو الفرق بين أعلى درجة حرارة خارجية وأعلى درجة حرارة داخلية في اليوم الواحد للقبو كما هو موضح بالجدول رقم (1):

جدول رقم (1): التخلف الزمن (Time Lag) ومعامل التناقص (Decrement Factor) للقبو بمبنى القياس.

معامل التناقص	التخلف الزمني	أقصى درجة حرارة داخلية		أقصى درجة حرارة خارجية		اليوم
		درجة الحرارة	الساعة	درجة الحرارة	الساعة	
4.5	5	38.3	18	42.8	13	1
1.1	6	37	18	38.1	12	2
4.1	3	36.9	18	41	15	3
3.7	3	36.8	19	40.5	16	4
3.9	4	37.3	18	41.2	14	5
4.6	3	37.5	18	42.1	15	6
3.1	5	37.5	18	40.6	13	7
3.9	4	37.4	18	41.3	14	8
4.2	3	37.4	18	41.6	15	9
4.3	3	37.7	18	42	15	10
3.9	5	37.4	18	41.3	13	11
3	5	36.7	18	39.7	13	12
4.6	6	36	18	40.6	12	13
3.75	4.2	37.25	18	41	13.8	المتوسط

المصدر: من إعداد الباحث.

ومن المتوسطات المستنتجة من الجدول السابق تم استخدام متوسط درجات الحرارة الخارجية الشهرية على مدار فترة القياس لحساب درجة حرارة عتبة الراحة الحرارية التي من المحتمل أن يحدث فوقها إحساس بارتفاع درجة الحرارة باستخدام نموذج الحياض الحراري المعتمد من قبل ASHRAE حسب المعادلة الآتية:

$$T_c = 17.8 + 0.31 * T_o$$

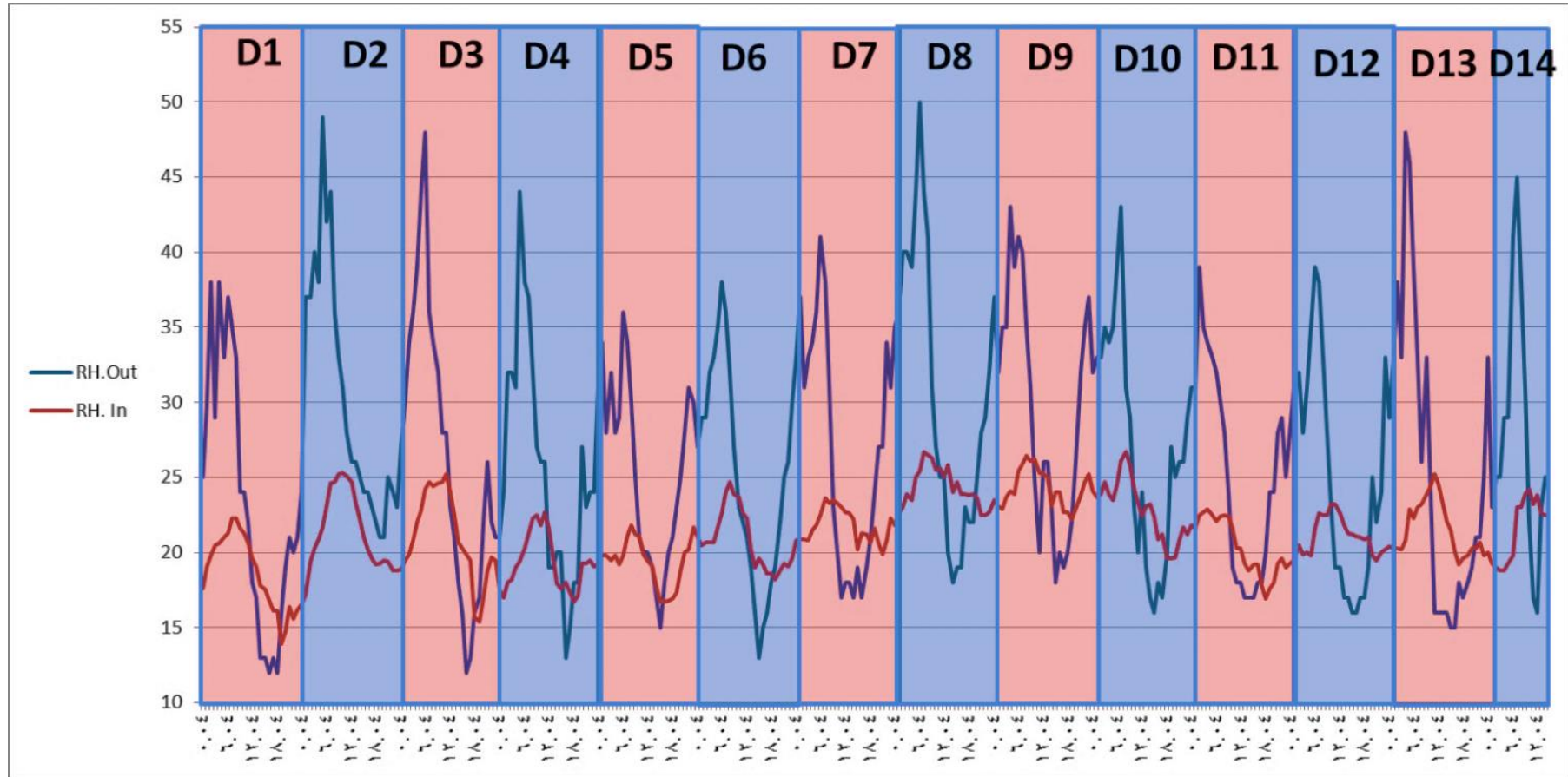
$$T_c = 17.8 + 0.31 * 41 = 30.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

حيث أن: T_c = عتبة الراحة الحرارية, T_o = متوسط درجات الحرارة الخارجية.

❖ تم تطوير العديد من أشكال هذه المعادلة بواسطة Nicol and Roaf و Griffiths و Auliciems أن تم إنشاء النموذج التكميلي لأول مرة بواسطة همفريز. تمت دراسة هذه المعادلات على نطاق واسع بواسطة دي دير وآخرون. وتم اعتماد هذه المعادلة من خلال معايير ASHRAE المعروفة^[18].

2-4-5 قياسات الرطوبة:

أما قراءات قياس الرطوبة الداخلية والخارجية المسجلة عن طريق أجهزة القياس المشار إليها سابقاً فقد كان منحنى مقارنة قراءات الرطوبة الداخلية والخارجية كما بالشكل رقم (11):



شكل رقم (11): منحنى مقارنة الرطوبة الخارجية بالداخلية في فترة القياس.

حيث أن:

RH.out: الرطوبة النسبية الخارجية. RH.in: الرطوبة النسبية الداخلية.

وعند مقارنة درجات الرطوبة الداخلية بالخارجية في فترة القياس وجد أن متوسطات الحد الأقصى والأدنى للرطوبة النسبية الداخلية والخارجية كما في جدول رقم (2):

جدول رقم (2): مقارنة الرطوبة النسبية الداخلية والخارجية للقبو بمبنى القياس.

اليوم	الرطوبة النسبية الخارجية				الرطوبة النسبية الداخلية			
	أقصى		أدنى		أقصى		أدنى	
	الساعة	النسبة	الساعة	النسبة	الساعة	النسبة	الساعة	النسبة
1	3	39	16	12	7	22.3	19	13.9
2	5	49	19	21	10	25.3	0	16.5
3	6	48	16	12	11	25.2	19	15.4
4	5	44	16	13	9	22.5	18	16.7
5	7	36	15	15	8	21.8	15	16.7
6	6	38	15	13	8	24.7	19	18.2
7	6	41	16	17	7	23.6	21	19.9
8	6	50	14	18	7	26.7	0	21.8
9	4	43	15	18	8	26.4	19	22.2
10	7	43	15	16	8	26.7	18	19.6
11	2	39	15	17	4	22.9	18	16.9
12	6	39	15	16	10	23.2	0	19.3
13	4	48	15	15	11	25.2	17	19.2
المتوسط		42.8		15.6		24.3		18.2

المصدر: من إعداد الباحث.

6- نتائج البحث:

أظهرت نتائج مراقبة درجة الحرارة والرطوبة النسبية داخل الغرفة القياس المسقفة بالقبو بجزيرة هيسا بمدينة أسوان النتائج التالية:

6-1 بعد مقارنة درجات الحرارة الداخلية بالخارجية خلال فترة القياس، مع إهمال عامل الرياح، كما ظهر بالجدول رقم (1)، أن درجة الحرارة داخل الغرفة لم تصل مطلقاً لعتبة الراحة الحرارية (30.5 درجة مئوية) المحسوبة بالمعادلة السابقة في أي فترة من فترات اليوم وأن أدنى درجة حرارة وصلت إليها القياسات داخل الغرفة كانت 32.1 درجة مئوية وهي أعلى من عتبة الراحة الحرارية ب 1.6 درجة مئوية.

6-2 أما بالنسبة لنتائج الرطوبة النسبية فمن المتوسطات المستنتجة من الجدول رقم (2)، واعتماداً على منطقة الراحة بخريطة فيكتور أولجاي، والتي تعبر عن أن منطقة الراحة بالنسبة للرطوبة النسبية تتراوح بين 18: 77%، نجد أن الرطوبة النسبية داخل الغرفة محل الدراسة تقل في بعض الأيام عن الحد الأدنى للراحة بفارق 4.1 بحسب أدنى قراءة، أما في البعض الآخر من القراءات تكون داخل منطقة الراحة، ولكن متوسط النسب يقع بشكل عام داخل منطقة الراحة.

7- مناقشة النتائج:

يظهر من نتائج القياس للوضع القائم لمبنى مسقف بالقبو بمدينة أسوان ذات المناخ الحار الجاف الصحراوي أنه لا بد من عمل بعض التحسينات على المبنى ليصل للراحة الحرارية داخل الفراغ أطول فترة زمنية ممكنة على مدار اليوم ويقترح البحث أن تتمثل هذه التحسينات فيما يلي:

7-1 زيادة سمك القبو وذلك لزيادة فترة التخلف الزمني.

7-2 استخدام مادة بناء القبو من مادة ذات موصلية حرارية ضئيلة مثل: (طوب خفاف، طوب طفلي مفرغ، طوب ليكا مفرغ).

- 3-7 أن يبني القبو بطريقة طوبة نائمة وطوبة قائمة لزيادة كمية الظلال على القبو.
- 4-7 وضع مواد عازلة قبل النهو مثل: (البوليسترين، الصوف الصخري، الصوف الزجاجي).
- 5-7 نهو القبو بمواد تشطيب خشنة لتشتيت أكبر كم من أشعة الشمس الساقطة عليه.
- 6-7 عدم نهو القبو من الداخل بالورنيش الذي قد يكون سبباً في زيادة الحرارة بداخل الفراغ.
- 7-7 عمل فتحات تهوية على جانبي القبو لتفريغ الفراغ من الهواء الساخن الصاعد لأعلى القبو.

8- توصيات البحث:

بناء على ما تقدم يوصي البحث بعدة توصيات هي:

1-8 التوصيات الخاصة بالدراسة:

- التوجه نحو استخدام مفردات العمارة التقليدية وبخاصة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف الصحراوي مثل التسقيف بالقبو وغيرها من العناصر المساعدة للوصول للراحة الحرارية داخل الفراغات.

- ضرورة الوصول إلى مجموعة من المعايير الخاصة بالتسقيف بالقبو للاعتماد عليها عند بناء الأقبية.

2-8 توصيات للجهات الحكومية:

- الحرص على تضمين قوانين البناء المصرية بنود خاصة للبناء بمفردات المعالجات المعمارية البيئية المساهمة في تحقيق الراحة الحرارية داخل فراغات المباني.
- العمل على رفع الوعي لكل من المعماري والمالك باستخدام الأساليب السالبة لتحقيق الراحة الحرارية مثل استخدام الأقبية في تسقيف الأسقف النهائية للمباني وكذلك التهوية الليلية وغيرها.
- عقد ورش عمل من قبل ذوي الخبرة في بناء العقود والقباب والأقبية لتدريب كوادر فنية متخصصة على بناء الأقبية، وفقاً للقواعد العلمية الصحيحة والتقنيات الحديثة واستناداً على مبادئ البناء التقليدية.

3-8 توصيات للجهات الأكاديمية:

- الاهتمام بزيادة المقررات الخاصة بالتصميم والتحكم البيئي في سنوات الدراسة الجامعية بأقسام العمارة، لبناء وترسيخ الفكر البيئي المستدام.
- توجيه الأبحاث العلمية والدراسات التطبيقية لدراسة إمكانية تعميم فكرة التسقيف بالأقبية في المناطق ذات المناخ الحار الجاف الصحراوي.

4-8 توصيات للأبحاث المستقبلية:

- دراسة تأثير تغيير كل من (الشكل – الأبعاد – مواد البناء – اللون – الملمس) الخاصة بالقبو على الأداء الحراري داخل الفراغ المسقوف به لرفع كفاءته باستخدام برامج النمذجة والمحاكاة.
- دراسة عامل التهوية الطبيعية ومدى تأثيرها على الرطوبة النسبية داخل الفراغات المسقوفة بالأقبية لتكون داخل منطقة الراحة كل ساعات اليوم.
- دراسة إمكانية استخدام المواد العازلة في بناء الأسقف المقببة.

9- المراجع:

- 1) ميساء محمد عبد الخالق جباره، (تطوير تقنيات البناء بالطين في المسكن المعاصر حالة دراسية أريحا)، ورقة بحثية، جامعة النجاح الوطنية، كلية الدراسات العليا، 2015.
- 2) الكود المصري لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني كود رقم 306 – 2005/ الجزء الأول: المباني السكنية، المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء، وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية، جمهورية مصر العربية، 2006، ص: 9.

3) [/ خريطة أسوان](https://earth.google.com/web/search)

4) [أسوان](https://ar.wikipedia.org/wiki/2021/9/6).

5) Tang, RS; Meir, IA; Etzion, Y, paper, (Thermal behavior of buildings with curved roofs as compared with flat roofs), Solar Energy, 2003, p.2.

- 6) M. Hadavand, M. Yaghoubi, H. Emdad, paper, (**Thermal analysis of vaulted roofs**), Elsevier, 2007, p.1.
- 7) Runsheng Tanga, I.A. Meirb, Tong Wu, (**Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs**), Elsevier 2006, p.1.
- 8) Omar S. Asfour, Mohamed B. Gadi, paper, (**Using CFD to investigate ventilation characteristics of vaults as wind-inducing devices in buildings**) , Elsevier 2008, p.1.
- 9) Arvind Chel, G.N. Tiwari, (**Thermal performance and embodied energy analysis of a passive house – Case study of vault roof mud-house in India**), Elsevier 2009, p.1.
- 10) Yaghoubi, M., Haghi, P, paper, (**Numerical analysis of cobvection heat transfer over multiple vaulted roof buildings**), 2017, p.1.
- 11) Wael Seddik Moustafa, Ibrahim Rizk Hegazy and Mohammed Moustafa Eldabousy , paper, (**Roof geometry as a factor of thermal behavior: simulation based study of using vaults and domes in the Middle East zone**), Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mansoura University, Mansoura, Egypt, 2018, p.1..
- 12) Ayoub, Mohammed Elseragy, Ahmed, paper, (**Parameterization of Traditional Domed-Roofs Insolation in Hot-Arid Climates in Aswan, Egypt**), 2018, p.1.
- 13) Amira Elnokaly, Mohammed Ayoub, Ahmed Elseragy, (**Parametric investigation of traditional vaulted roofs in hot-arid climates**), Elsevier, 2019, p.1:3.
- 14) <https://www.meteoblue.com/ar/weather/webcams/> 2021/9/6، **أسوان** الطقس الحالي لمدينة أسوان، مصر.
- 15) www.elitechlog.com
- 16) <https://www.legatool.com/en/tm-305u-temperature-humidity-data-logger>.
- 17) <https://www.marefa.org/> 2021/9/6 هيسا.
- 18) Medhat M. A. Osman, (**Evaluating and enhancing design for natural ventilation in walk-up public housing blocks in the Egyptian desert climatic design region**), phd, University of Dundee College of Art, Science & Engineering May 2011, p.164.