نمذجة أشكال الأسقف لرفع كفاءتها حرارياً في سوريا

م. رهف السيد أ.د.م. معتز عبارة

الملخص:

يدرس البحث أشكال الأسقف (المستوي والمائل والقبة والهرم)، وآلية عمل كل شكل من هذه الأشكال لتحقيق بيئة حرارية مناسبة من خلال دراسة العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية (درجة حرارة الهواء، والرطوبة النسبية، درجة الحرارة المشعة ودرجة حرارة التشغيل)، باختلاف المناخ السائد في المنطقة المدروسة، من خلال بناء نماذج افتراضية وتثبيت كافة المعطيات مع تغيير شكل السقف، وباستخدام برنامج نمذجة وتحليل الحرارة والاستدامة design builder، تم التوصل إلى أن أفضل شكل للسقف في المنطقة ذات المناخ الرطب هو الشكل الهرمي و كذلك في المنطقة ذات المناخ الجاف، أما المنطقة ذات المناخ شبه الجاف فإن أفضل شكل للسقف هو الشكل المستوي.

الكلمات المفتاحية: سقف، راحة حرارية، درجة حرارة الهواء، رطوبة نسبية، شكل

Modeling Roof Shapes to Increase their Thermal Efficiency in Syria

Prof. Dr. Ar. Moataz Abbara **Ar. Rahaf Al-Sayed**

:Abstract

The research studies the shapes of roofs (flat, inclined, dome, and pyramid), and the mechanism of action of each of these shapes to achieve a suitable thermal environment by studying the factors affecting thermal comfort (Air temperature, relative humidity, radiant temperature and operative temperature), depending on the prevailing climate in the studied area, By building virtual models and installing all the data while changing the shape of the roof, and using the program for modeling and analyzing heat and sustainability, Design Builder, it was concluded that the best shape of the roof in the region with a humid climate is the pyramidal shape, as well as in the region with a dry climate, while in the region with a semi-climatic climate Dry, the best shape for the roof is flat.

Keywords: roof, thermal comfort, air temperature, relative humidity, shape

1.المقدمة:

تعاني معظم المؤسسات والمباني العامة من ارتفاع درجات الحرارة داخل فراغاتها صيفاً، وانخفاضها شتاءً، مما يؤثر على أداء الموظفين والعاملين نتيجةً لانخفاض الراحة الحرارية، ويزداد الطلب على استخدام وسائل التدفئة والتبريد الميكانيكية؛ فيزداد استهلاك الطاقة. وفي ظل التغيرات المناخية والاحتباس الحراري والسعي المستمر لجعل المباني أقل تأثيراً على البيئة، من خلال معالجة مواد البناء والعزل، كان لابد من دراسة عنصر السقف كونه أحد العناصر المهمة، فكمية الحرارة المنتقلة إلى داخل المبنى عبر السقف تساوي 25%. إلا أنه يمكن التقليل من كمية الحرارة المنتقلة عبره من خلال دراسة مادة إنشائية، ومواد عزلة، وكذلك شكله فقد تعددت أشكال الأسقف المستخدمة في تسقيف المباني في العصر الحالي وكما هو معروف سابقاً أن الشكل المائل استخدم في المناطق التي تكثر فيها الأمطار ويزداد الميل والانحدار بازدياد غزارة الأمطار والثلوج، ويقل الانحدار إلى أن يصبح مستوياً بشكل كامل تقريباً في المناطق الحارة. ولكن هذه الأشكال المستخدمة كانت تتكامل مع مواد البناء المحلية، أما الآن فالمواد المستخدمة هي الإسمنت والحديد وهي لا تتوافق مع جميع البيئات، وكذلك استخدام الأشكال الحديثة للأسقف حتى ولو لم تتوافق مع المناخ. من هنا تأتي **أهمية البحث** في دارسة الكفاءة الحرارية لأشكال الأسقف من أجل تحقيق الراحة الحرارية.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى الوصول لأفضل شكل للسقف يحقق الراحة الحرارية داخل الفراغات المعمارية، في كل من المناخ (الجاف، وشبه الجاف، الرطب) في سوريا.

3. منهجية البحث:

المنهج الوصفي التحليلي: من خلال تقديم شرحاً تمهيدياً لمفهوم الراحة الحرارية وأهم المتغيرات المؤثرة على الأداء الحراري للسقف لكل من الأشكال (المستوي، المائل،

المقبب). المنهج التجريبي والمقارنة: من خلال إجراء تجربة لعدة نماذج افتراضية تختلف من حيث شكل السقف، ثم مقارنة هذه النماذج مع بعضها لمعرفة أفضل شكل للسقف يحقق الراحة الحرارية بحسب المناخ في المنطقة المدروسة.

4. تعريف الراحة الحرارية: بأنها حالة الجهاز العصبي، الذي يؤدي إلى إحساس الإنسان بالراحة في بيئته وهي تقسم إلى راحة فيزيولوجية، وراحة نفسية. ويقصد بالراحة الفيزيولوجية بأنها محافظة الجسم على درجة حرارته، دون حدوث تعرق أو الحاجة إلى مؤثر لعودة الجسم إلى حرارته الطبيعية.[1]

1.4 العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية للإنسان:

يوجد عدة عوامل تؤثر على الراحة الحرارية وهي تقسم إلى:

أ–عوامل مرتبطة بوضعية جسم الإنسان ونشاطه: وهي معدل الأيض، عزل الملابس.

ب–العوامل البيئة المحيطة: درجة حرارة الهواء، الرطوبة النسبية، سرعة الهواء، درجة الحرارة المشعة.[2]

5. المتغيرات المؤثرة على الأداء الحراري للسقف:

1.5 الإشعاع الشمسي: ويتوقف الاكتساب الحراري للسقف من الأشعة الشمسية على:

- زوايا سقوط الأشعة الشمسية.
- مساحة السطح المعرض لإشعاع.
- شدة الإشعاع الشمسي.
- معامل مواجهه السقف للأشعة الشمسية.[3]

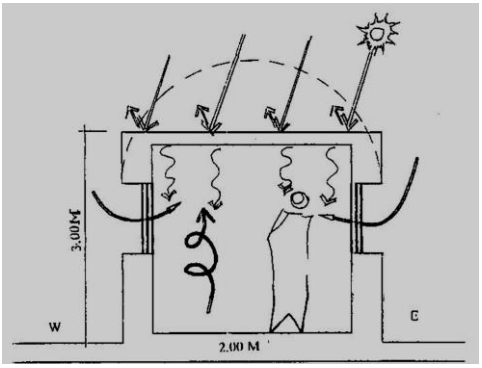
2.5 الموقع: يقصد بالموقع مجموعة العناصر المناخية لهذه القطعة من الأرض وما تشمل من تضاريس سطحية كالجبال، والسهول، والمحيطات، والغابات وما إلى ذلك، وتتفاعل هذه العناصر مع المعالم الطبيعية لتشكل ما يسمى(بالمناخ الموضعي).

أهم العناصر المؤثرة على انتقال الحرارة عبر السقف في الموقع هي: زوايا ارتفاع الشمس، سرعة الرياح، الرطوبة النسبية، والأبنية المجاورة ونوع المواد المستخدمة في إكساء الأسطح والواجهات المجاورة، و وجود مسطحات خضراء. [4]

3.5 شكل السقف: للأسقف أشكال عديدة جميعها يرجع للشكل (المستوي، القبة، المائل) ويعود اختيار شكل السقف من أجل تقليل تأثير التباين بين عوامل المناخ الخارجي و البيئة الداخلية، عبر وحدة المساحة. آلية عمل الأشكال التالية:

1.3.5 السقف المستوي: في فصل الصيف يستقبل السقف كمية كبيرة من الأشعة الشمسية، فتكون كمية الطاقة الحرارية المنتقلة إلى داخل المبنى أكبر، نتيجة للمساحة السطحية الواسعة المعرضة للإشعاع الشمسي. كما في الشكل(1)

أما في فصل الشتاء، يلاحظ انخفاض زاوية سقوط الأشعة الشمسية، فيعمل السقف المستوي على خفض درجة حرارة المبنى نتيجة تسرب الحرارة إلى الخارج وبشكل أسرع من الجدران.

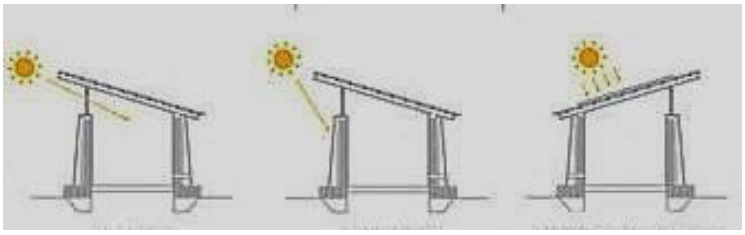


الشكل (1) استقبال شكل السقف المستوي للإشعاع الشمسي صيفاً. المصدر:[5]

2.3.5 السقف المائل: تكون مساحة السطح أكبر بالنسبة إلى مسقطة الأفقي، فتقل شدة الإشعاع على وحدة المساحة لانتشارها على مساحة أوسع وبالتالي تقل الحرارة المنتقلة إلى الداخل.

يختلف الكسب الحراري الناتج، بحسب زاوية الميل المختارة واتجاه الميل ونتيجة لهذا الميل تختلف الأجزاء المعرضة للشمس والأقل تعرضاً.

أما في فصل الشتاء عندما تنخفض أشعة الشمس، فيكون التعرض للإشعاع الشمسي أقل. [3] كما هو مبين في الشكل(2)

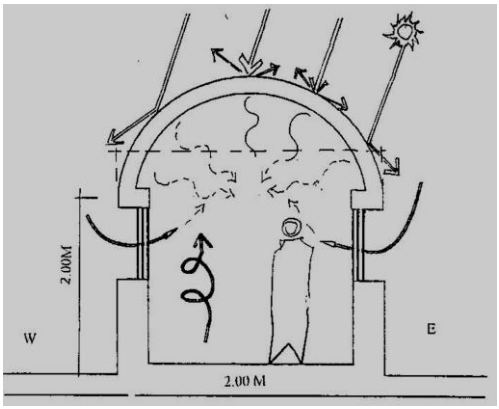


الشكل (2) اختلاف زوايا الأشعة الساقطة على السقف المائل باختلاف الفصول واتجاه السقف. المصدر:
https://www.archdaily.com/162116/split-bathhouse-bao-architects

3.3.5 السقف المقبب: في فصل الصيف: تكون كمية الإشعاع المكتسبة في ساعات الذروة قليلة لأن الجزء الذي يكون معرض لهذه الأشعة تكون هي قمة القبة والتي تكون مساحته قليلة.

يعمل السطح الداخلي للقبة على تجميع الأشعة في مركز القبة، أما السطح الخارجي للقبة يقوم بعكس الأشعة الشمسية الساقطة بحسب مادة الاكساء.

أما فصل الشتاء: تكون زاوية ميل الشمس منخفضة، فتكون أشعة الشمس ذات تأثير أكبر وفترات أطول على بقية أجزاء القبة دون الجزء المدبب، مما يكسب السقف كمية حرارة أكبر خلال النهار. كما في الشكل (3).



الشكل (3) اكتساب الحرارة عبر السقف المقبب من الأشعة الشمسية المصدر:[5]

وهناك عوامل اخرى تتعلق بشكل السقف وتؤثر على انتقال الحرارة:

4.5 ارتفاع السقف: يلعب ارتفاع السقف دوراً مهماً في استهلاك الطاقة للتدفئة و التبريد، كما يؤثر على التنظيم الحراري الديناميكي خاصة في الأبنية التي تضم عدداً كبيراً من المستخدمين. ولارتفاع السقف دور كبير في تحقيق الراحة الحرارية ويتوقف تحديد ارتفاع السقف على عدة أمور كمناخ المنطقة، ونوع المبنى، ودرجة حرارة المصباح الجاف، والرطوبة.[7]

5.5 وجود الفتحات في السقف: إن وجود نوافذ في السقف يساعد على تحريك الهواء داخل الفراغ، وبالتالي التخلص من الهواء الساخن الموجود في المناطق العليا من الغرفة، أو المحافظة على درجة الحرارة في الأيام الباردة، خاصة إذا تكامل التصميم و التوجيه الصحيح للنوافذ.[8]

6.5 وجود بروزات في السقف: وهي امتداد في أجزاء من السقف تعمل ككاسرات تؤمن زيادة الظلال في بعض أجزاء من السقف للحماية من شدة الإشعاع الشمسي.[8]

6. نمذجة أشكال الأسقف:

سيتم ذلك عن طريق دراسة الأشكال الأساسية التي استخدمها الإنسان، مستخدمين مواد الإنشاء الأكثر شيوعاً في وقتنا الحالي. وبدراسة هذه الأشكال تبني عليها باقي الأشكال الحديثة المشتقة منها، وذلك لأن دراسة كافة الأشكال أمر يصعب فعله لكثرة الأشكال المشتقة، ولكثرة الاحتمالات التي يمكن أن تنتج من شكل واحد. ولمعرفة الشكل الأمثل للسقف في سوريا يجب تحديد:

1.6 مناخ المنطقة: قسمت سوريا بحسب كوبن (Koppen) إلى الأقاليم التالية:

مناخ جاف يقسم إلى(مناخ جاف حار، مناخ جاف مائل للبرودة)، مناخ شبه جاف ويقسم إلى(مناخ شبه جاف حار، مناخ شبه جاف مائل للبرودة)، مناخ رطب (مناخ رطب ذو صيف حار، مناخ رطب ذو صيف معتدل). تم اختيار المناخات الأكثر انتشاراً في البلاد وهي:

1.1.6 مناخ مدينة تدمر: يغطي المناخ الجاف مساحة تزيد عن 40% من مساحة سوريا وتصنف مدينة تدمر التي تقع وسط سوريا تقريباً بحسب كوبن إلى مناخ جاف حار.

1.2.6 مناخ مدينة حماه: يغطي المناخ شبه الجاف قرابة 40% من مساحة سوريا وتتمتع بحسب كوبن بمناخ شبه جاف مائل للبرودة.

1.3.6 مناخ مدينة اللاذقية: تقع شمال غرب سوريا تطل على البحر الأبيض المتوسط، تتمتع بمناخ رطب ذو صيف معتدل بحسب كوبن. [6]

2.6 مواصفات النموذج الافتراضي: تم بناء نموذج افتراضي بأبعاد 15*15 متر وبارتفاع 4 متر، وافتراض أن الفراغ صالة مطعم مؤلف من طابق واحد.

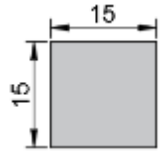
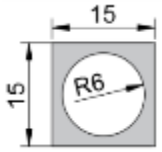
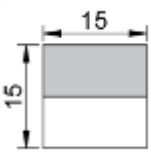
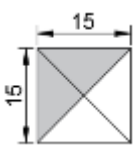
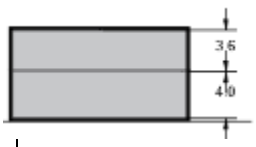
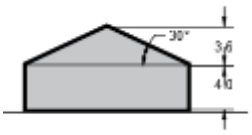
– تم اختيار أربعة أشكال للسقف وهي: المستوي، القبة، الشكل المائل باتجاهين الجملوني بزاوية 30 درجة، الشكل الهرمي، مائل بزاوية 30 درجة.

الجدول (1) مواصفات نماذج الاختبار. المصدر: الباحثة.

مواد إنشاء السقف	أما طبقات السقف يتكون من الطبقات التالية من الداخل إلى الخارج مونة اسمنتية 1.5 سم، 15سم خرسانة مسلحة، 4 سم عزل حراري مادة (البولي يوريثين)، عزل رطوبة مادة (بيتومين)، 5سم بيتون حماية، 2 سم مونة اسمنتية. كما في الشكل (4)			
مواد إنشاء الجدران	سماكة جدران 25 سم تتكون من الطبقات التالية من الداخل إلى الخارج بلوك اسمنتي سماكة 10 سم، وفراغ هوائي 5سم، بلوك اسمنتي سماكة 10 سم، مونة اسمنتية سماكة 2سم. كما في الشكل (5).			
توجيه السقف	لا يؤثر اختيار الاتجاه على الحرارة المكتسبة من الأشعة الشمسية للسقف المستوي.	لا يؤثر اختيار على الحرارة المكتسبة من الأشعة الشمسية للسقف المقبب.	الجملوني بالاتجاه الشمالي.	الهرمي بالاتجاه الشمالي.

الشكل (4) بيانات السقف المدخلة إلى برنامج design builder. المصدر: الباحثة

الشكل (5) بيانات الجدران المدخلة إلى برنامج design builder. المصدر: الباحثة

مسقط السقف	 مسقط السقف المستوي	 مسقط السقف لقبة قطاعية	 مسقط السقف الجملوني	 مسقط السقف الهرمي
ارتفاع السقف	مقطع السقف المستوي	مقطع السقف المقبب	 مقطع السقف الجملوني	 مقطع السقف الهرمي

3.6 البرامج المستخدمة: من أجل دراسة النماذج تم استخدام البرامج التالية:

- موقع Energy Plus للحصول على بيانات متكاملة حول المناخ.
- برنامج نمذجة معلومات المناخ وفقاً لمناطق الدراسة واستخراج الرسومات البيانية التفصيلية Climate Consultant.
- باستخدام برنامج design builder وهو برنامج استدامة وتحليل بيئي.

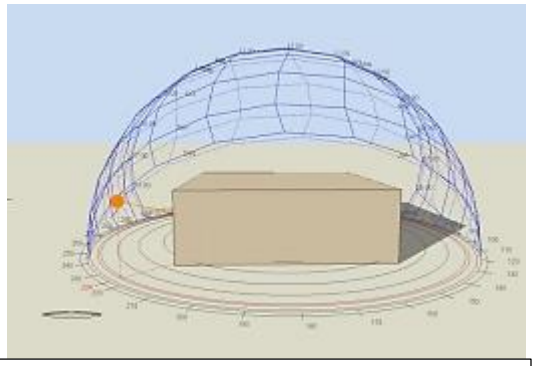
4.6 حدود الراحة الحرارية: درجة حرارة الهواء (Air temperature) داخل الفراغ تكون مقبولة ضمن (20–27) درجة، الرطوبة النسبية (Relative humidity) يجب أن تتراوح (30–70%)، و (Radiant temperature) الحرارة المنتقلة بالإشعاع عبر الأسطح و هي الحرارة الناتجة عن التبادل بين الإنسان و الوسط المحيط، (operative temperature) هي درجة حرارة التشغيل وهي مجموع متوسط درجة الحرارة المشعة و متوسط درجة حرارة التشغيل و المشعة يجب تكون ضمن (15.6–29.4)، (Fanger PMV) وهو مقياس يحدد مدى شعور شاغلي الفراغ بالراحة يتراوح من 3 إلى 3– حيث يشير 3– إلى شديد البرودة، و3 إلى شديد الحرارة والدرجة المعتدلة هي 0.[9]

7. القسم التطبيقي:

1.7 نمذجة معلومات شكل السقف المستوي:

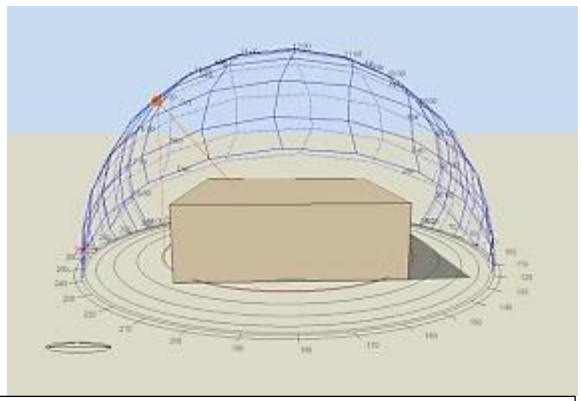
أ. المناخ الجاف (مدينة تدمر): من المخطط (1) وجد أن:

خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء Air (temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 10 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (perative-Radiant temperature) منخفضة عن الحد المسموح بقدار 5.5 درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، و بالنسبة (Fanger PMV) نجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة. فدرجة الحرارة شديدة البرودة 3.20-. يوضح الشكل (6) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر كانون الثاني.

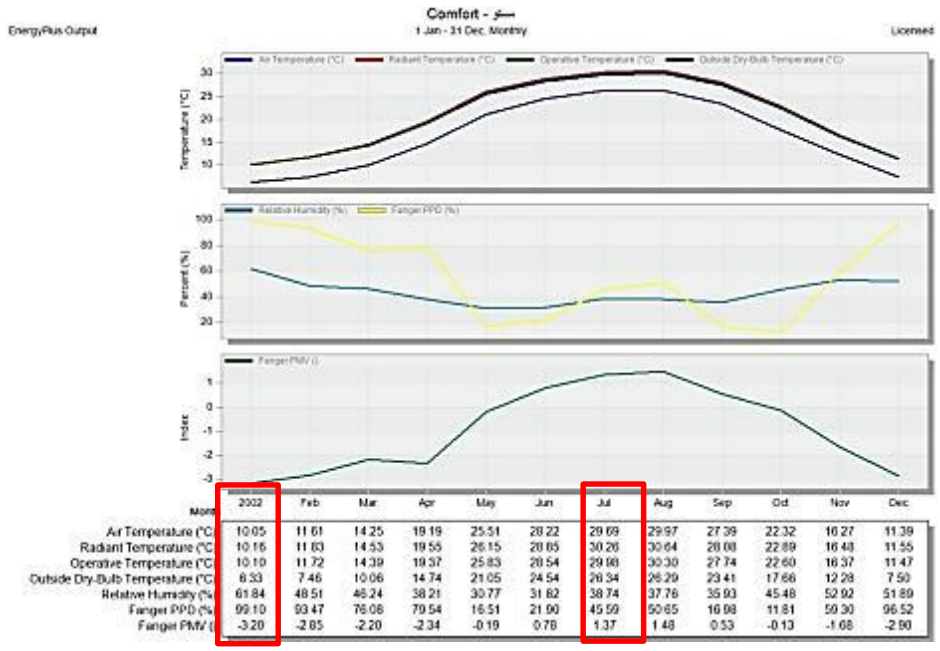


الشكل (6) حركة الشمس في شهر كانون الثاني لنموذج السقف المستوي، المصدر: الباحثة

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.7 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant temperature-operative) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.8، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار جداً) 1.37. يوضح الشكل (7) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر تموز.



الشكل (7) حركة الشمس في شهر تموز لنموذج السقف المستوي، المصدر: الباحثة



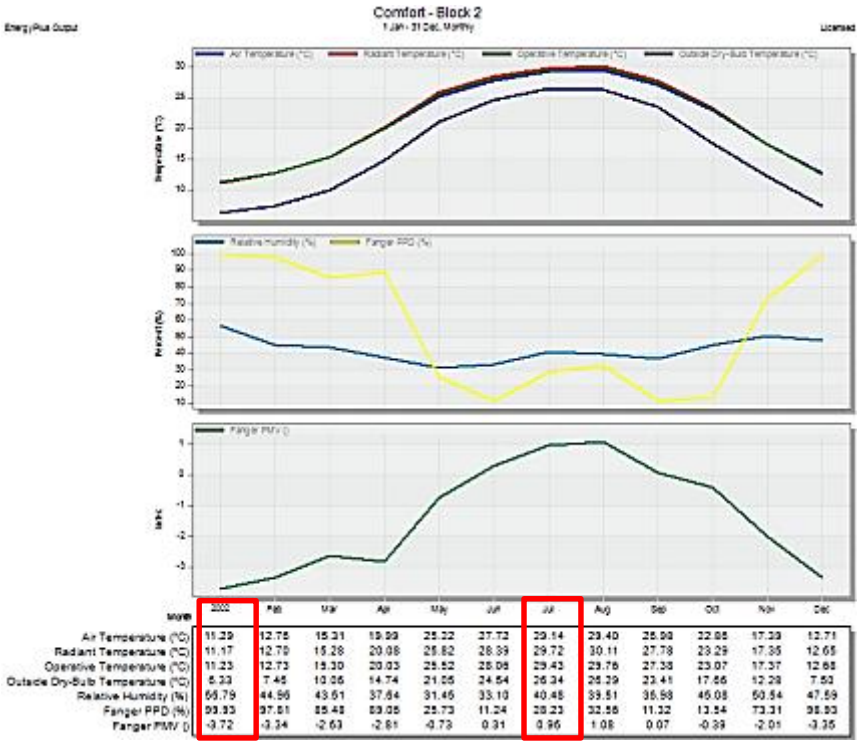
المخطط (1) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المستوي في المنطقة الجافة، المصدر: الباحثة

ب. المناخ شبه الجاف (مدينة حماه): من المخطط (2) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون ثاني: وجد أن درجة حرارة الهواءAir (temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 9.7 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بمقدار 4.4 درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة ، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة فدرجة الحرارة شديدة البرودة 3.72-

.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.1 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.3، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية مناسبة فدرجة الحرارة مقبولة إلى حد ما (حار) 0.96.

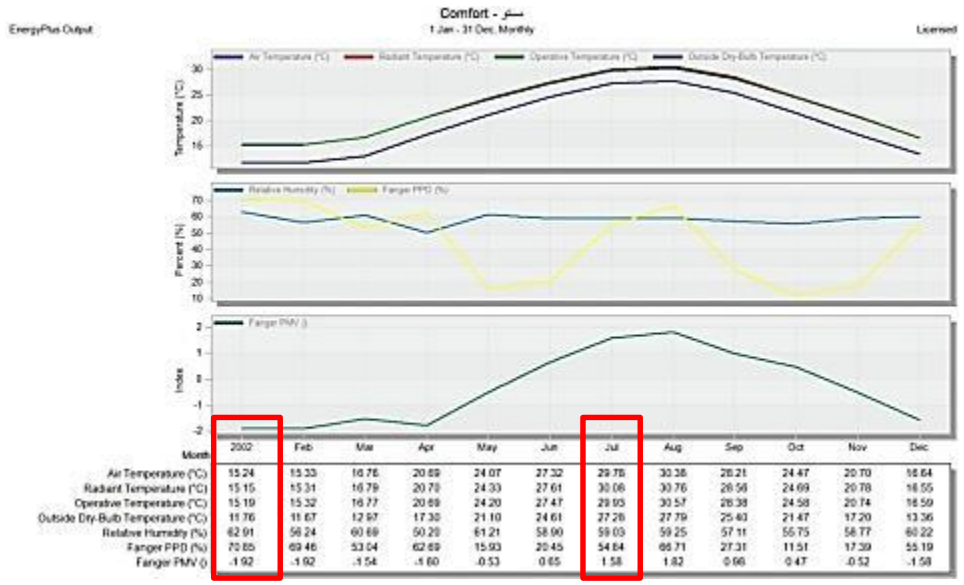


المخطط (2) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المستوي في المنطقة شبه الجافة، المصدر: الباحثة

ج. المناخ الرطب (مدينة اللاذقية): من المخطط (3) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء(Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 4.8 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بقدار نصف درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية (باردة جداً) 1.92-.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.8 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant temperature-operative) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.6 تقريباً عن الحد المسموح به، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار) 1.58.

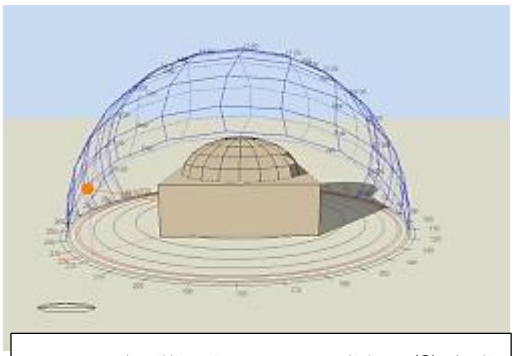


المخطط (3) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المستوي في المنطقة الرطبة، المصدر: الباحثة

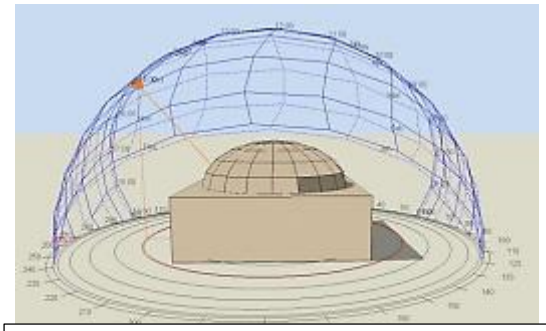
2.7 نمذجة معلومات شكل السقف المقبب:

أ. المناخ الجاف (مدينة تدمر): من المخطط (4) وجد أن:

خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 9.2 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (operative –Radiant temperature) منخفضة عن الحد المسموح بقدار 4.7 درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة فدرجة الحرارة شديدة البرودة 3.02– يوضح الشكل (8) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر كانون الثاني.

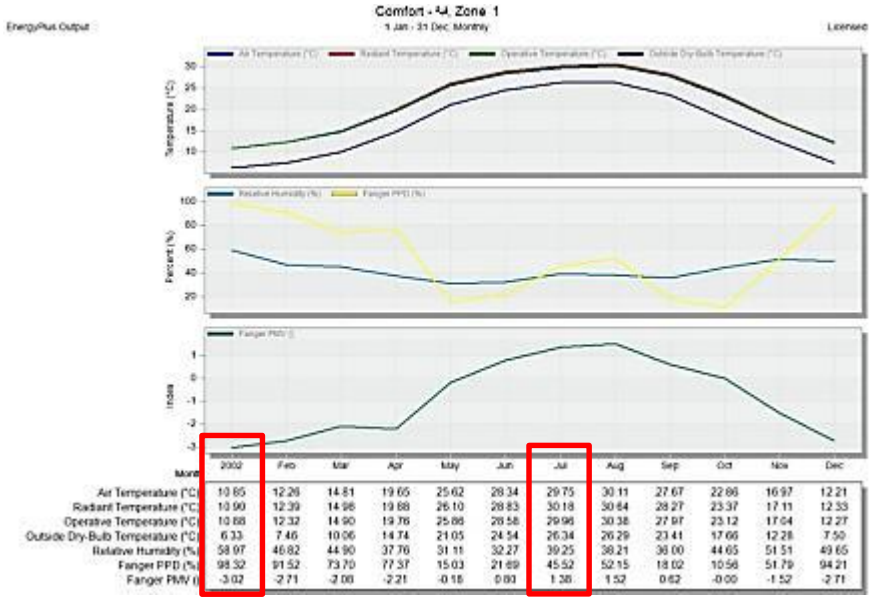


الشكل (8) حركة الشمس في شهر كانون الثاني لنموذج السقف المقبب، المصدر: الباحثة



الشكل (9) حركة الشمس في شهر تموز لنموذج السقف المقبب، المصدر: الباحثة

– خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (temperature Air) تزيد بمقدار 2.7 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant operative–temperature) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.6، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد انه (حار) 1.38. يوضح الشكل (9) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر تموز.

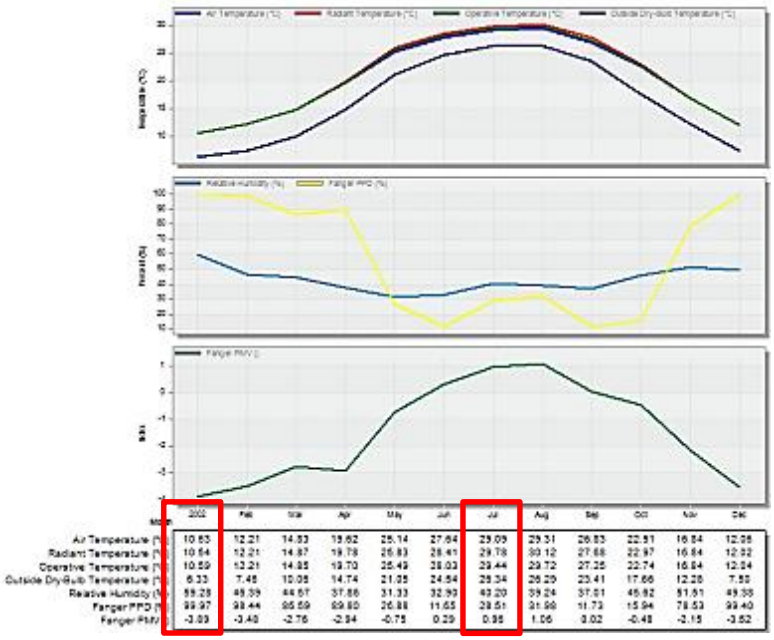


المخطط (4) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المقبب في المنطقة الجافة، المصدر: الباحثة

ب. المناخ شبه الجاف (مدينة حماه): من المخطط (5) وجد أن:

–خلال فصل الشتاء في شهر كانون ثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 9.4 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature–operative) منخفضة عن الحد المسموح بمقدار 5 درجات، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة ، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة فدرجة الحرارة تزيد عن شديدة البرودة –3.89.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار2 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) ضمن الحد المسموح به تقريباً فدرجة الاشعاع تزيد 0.3، و التشغيل ضمن الحد ، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية مناسبة فدرجة الحرارة مقبولة إلى حد ما (حار) 0.96.

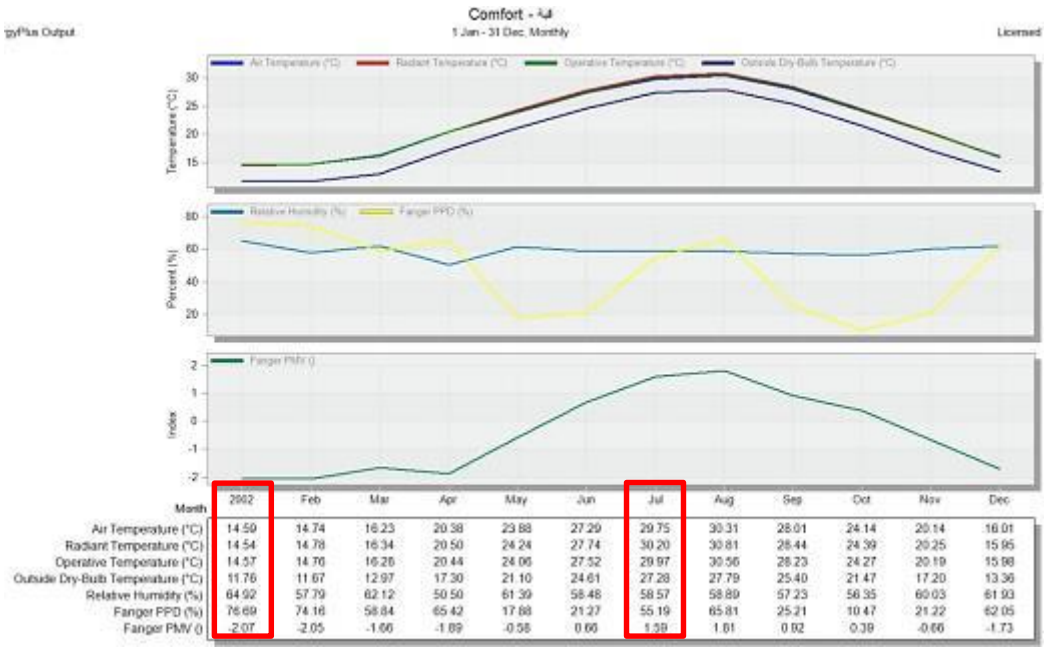


المخطط (5) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المقبب في المنطقة شبه الجافة، المصدر: الباحثة

ج. المناخ الرطب (مدينة اللاذقية): من المخطط (6) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 5.4 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بقدار درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية (باردة جداً) 2.07-.

– خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.7 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant temperature– operative) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.6 تقريباً عن الحد المسموح به، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار) 1.59.



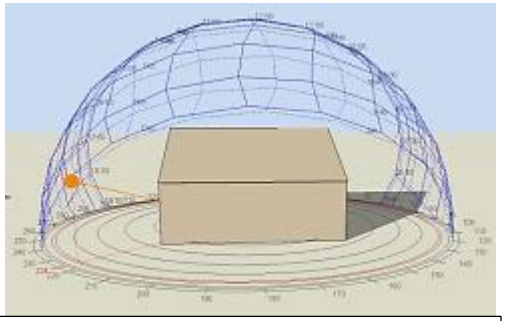
Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Air Temperature (°C)	14.59	14.74	16.23	20.38	23.88	27.29	29.75	30.31	28.01	24.14	20.14	16.01
Radiant Temperature (°C)	14.54	14.78	16.34	20.50	24.24	27.74	30.20	30.81	28.44	24.39	20.25	15.95
Operative Temperature (°C)	14.57	14.76	16.28	20.44	24.06	27.52	29.97	30.56	28.23	24.27	20.19	15.98
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	11.76	11.67	12.97	17.30	21.10	24.61	27.28	27.79	25.40	21.47	17.20	13.36
Relative Humidity (%)	64.92	57.79	62.12	50.50	61.39	58.48	58.57	58.89	57.23	56.35	60.03	61.93
Fanger PPD (%)	76.69	74.16	58.84	65.42	17.88	21.27	55.19	65.81	25.21	10.47	21.22	62.05
Fanger PMV ()	-2.07	-2.05	-1.66	-1.89	-0.58	0.66	1.59	1.81	0.92	0.39	-0.66	-1.73

المخطط (6) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المقبب في المنطقة الرطبة، المصدر: الباحثة

3.7 نمذجة معلومات شكل السقف المائل (الجملوني):

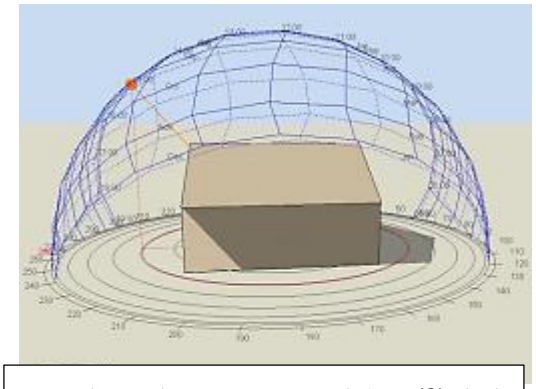
أ. المناخ الجاف (مدينة تدمر): من المخطط (8) وجد أن:

خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء Air (temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 9.1 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل(



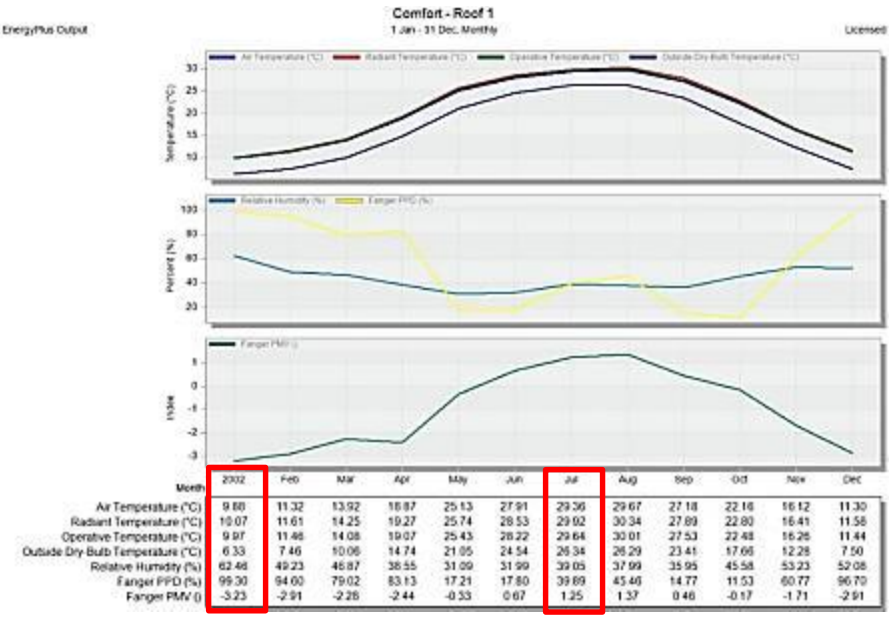
الشكل (8) حركة الشمس في شهر كانون الثاني لنموذج السقف المائل، المصدر: الباحثة

operative–Radiant temperature) منخفضة عن الحد المسموح بقدار 5.6 درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، وبالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة فدرجة الحرارة شديدة البرودة 3.23– يوضح الشكل (2–57) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر كانون الثاني.



الشكل (9) حركة الشمس في شهر تموز لنموذج السقف المائل، المصدر: الباحثة

– خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.3 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant operative –temperature) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.4 تقريباً، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار) 1.25. يوضح الشكل (9) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر تموز.

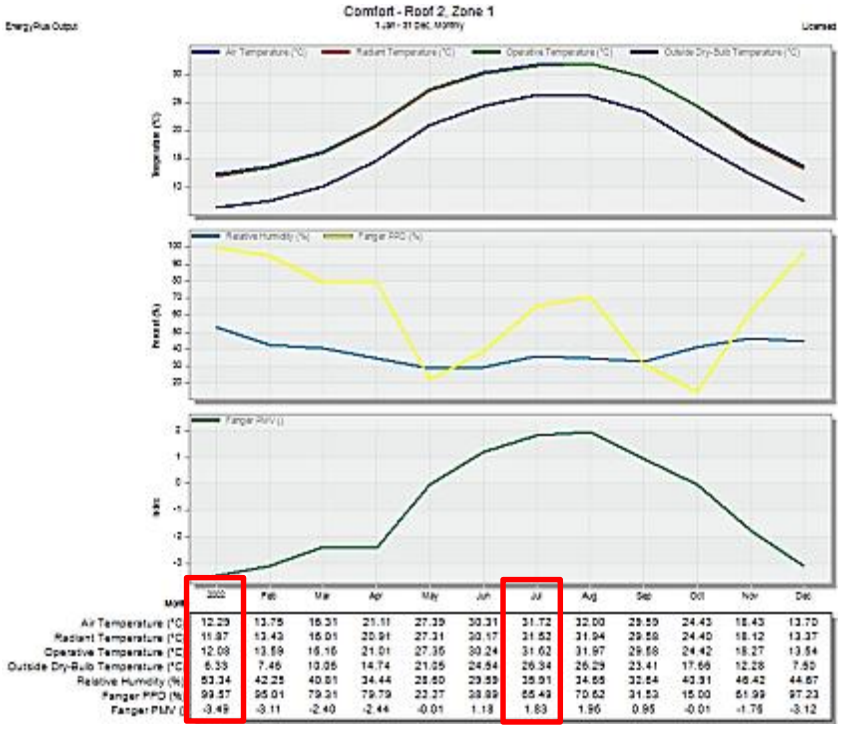


المخطط (7) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المائل في المنطقة الجافة، المصدر: الباحثة

ب. المناخ شبه الجاف (مدينة حماه): من المخطط (8) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون ثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 7.7 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بمقدار 3.6 درجات، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة ، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة فدرجة الحرارة تزيد عن شديدة البرودة 3.49-.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 4.7 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) ضمن تزيد عن الحد المسموح به 2 درجة تقريباً، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن مقدار الراحة الحرارية (حار جداً) 1.83.

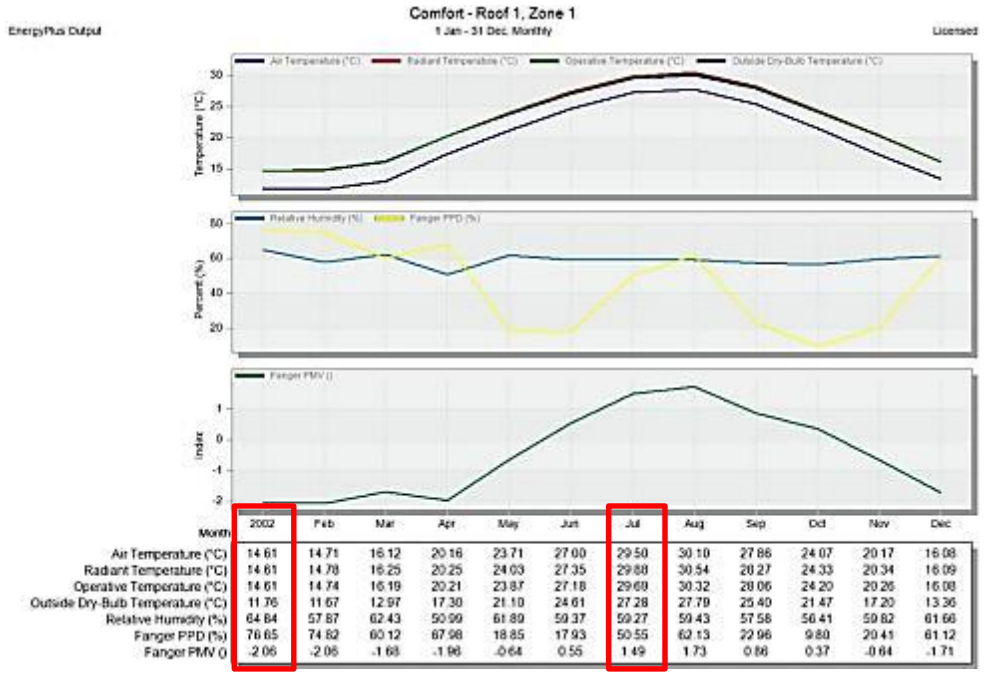


المخطط (8) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المائل في المنطقة شبه الجافة، المصدر: الباحثة

ج. المناخ الرطب (مدينة اللاذقية): من المخطط (9) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 5.4 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بقدار درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية (باردة جداً) 2.06-.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.5 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant temperature-operative) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 1.1 تقريباً عن الحد المسموح به، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار) 1.49.

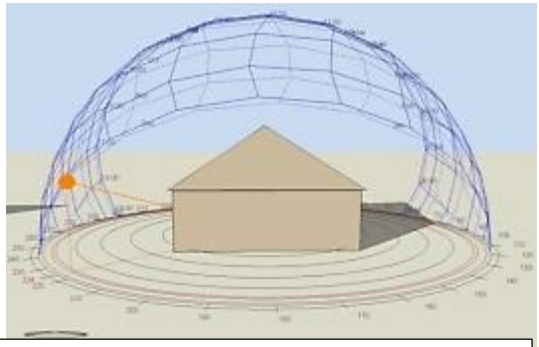


2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Air Temperature (°C)	14.61	14.71	16.12	20.16	23.71	27.00	29.50	30.10	27.86	24.07	20.17	16.08
Radiant Temperature (°C)	14.61	14.78	16.25	20.25	24.03	27.35	29.88	30.54	28.27	24.33	20.34	16.09
Operative Temperature (°C)	14.61	14.74	16.19	20.21	23.87	27.18	29.69	30.32	28.06	24.20	20.26	16.08
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	11.76	11.67	12.97	17.30	21.10	24.61	27.28	27.79	25.40	21.47	17.20	13.36
Relative Humidity (%)	64.84	57.87	62.43	50.99	61.89	59.37	59.27	59.43	57.58	58.41	59.82	61.66
Fanger PPD (%)	78.65	74.82	60.12	67.98	18.85	17.93	50.55	62.13	22.96	9.80	20.41	61.12
Fanger PMV ()	-2.06	-2.06	-1.68	-1.98	-0.64	0.55	1.49	1.73	0.86	0.37	-0.64	-1.71

المخطط (9) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف المائل في المنطقة الرطبة، المصدر: الباحثة

4.7 نمذجة معلومات شكل السقف الهرمي:

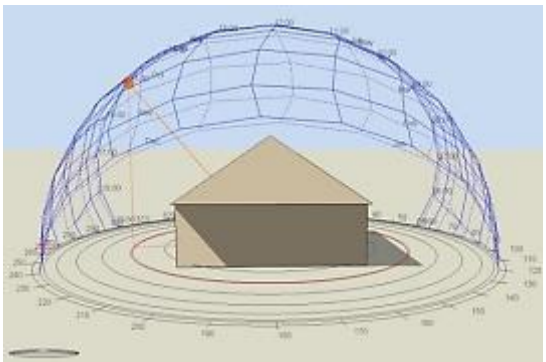
أ. المناخ الجاف (مدينة تدمر): من المخطط (10) وجد أن:



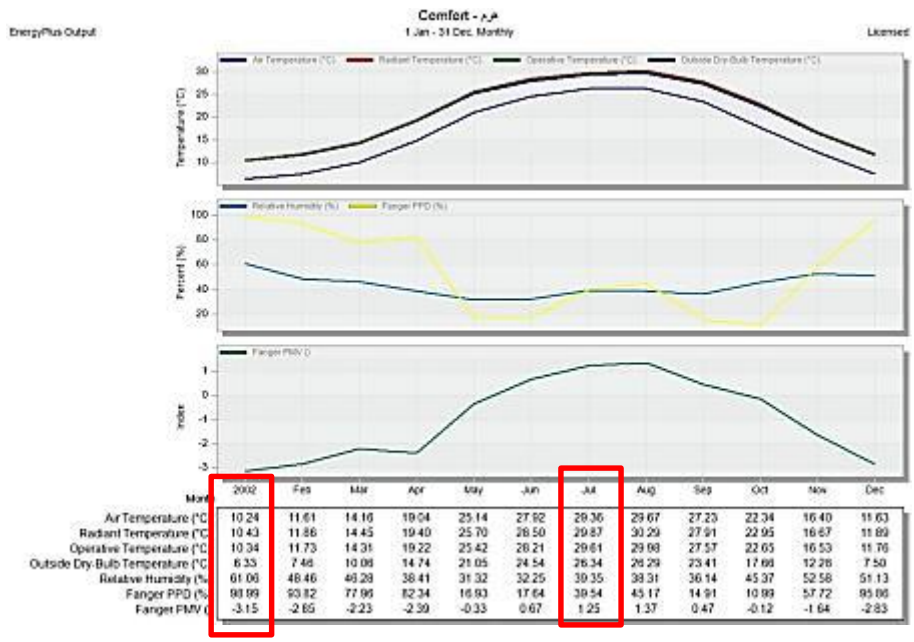
الشكل (10) حركة الشمس في شهر كانون الثاني لنموذج الهرمي، المصدر: الباحثة

خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء Air (temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 9.8 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant operative –temperature) منخفضة عن الحد المسموح بقدار 5.2 درجة، أما السقف بالنسبة للرطوبة النسبية (humidity Relative) فهي ضمن الحد المسموح، و بالنسبة (Fanger PMV) نجد أن الراحة الحرارية (شديدة البرودة) 3.15–. يوضح الشكل (10) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر كانون الثاني.

– خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.3 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant operative –temperature) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.3 تقريباً، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار) 1.25. يوضح الشكل (11) حركة الشمس وارتفاعها خلال شهر تموز.



الشكل (11) حركة الشمس في شهر تموز لنموذج السقف الهرمي، المصدر: الباحثة

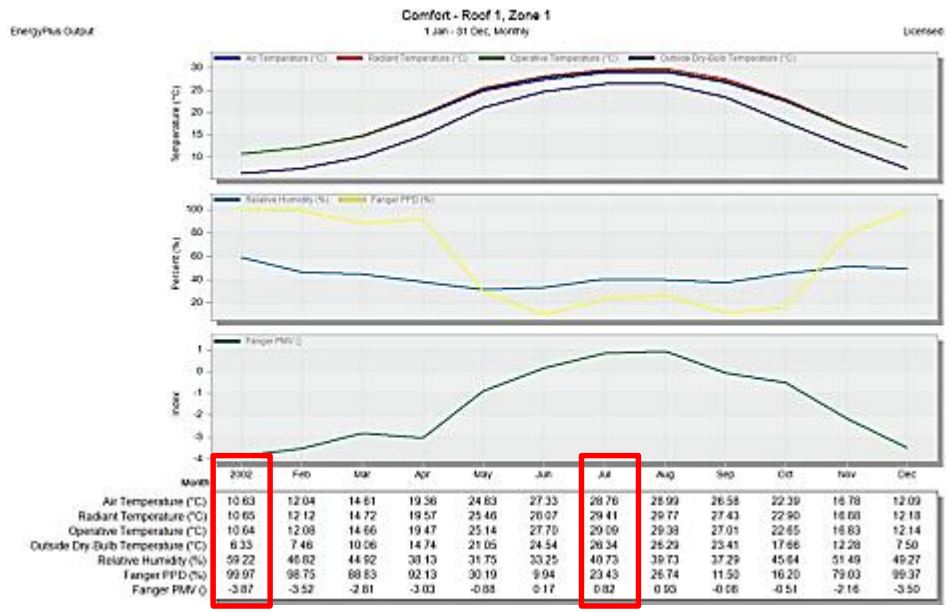


المخطط (10) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف الهرمي في المنطقة الجافة، المصدر: الباحثة

ب. المناخ شبه الجاف (مدينة حماه): من المخطط (11) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون ثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 9.4 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بمقدار 5 درجات، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة ، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية غير مناسبة فدرجة الحرارة تزيد عن (شديدة البرودة) -3.87.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 1.7 درجة تقريباً، أما الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) ضمن الحد المسموح به، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن مقدار الراحة الحرارية (حار) 0.82.



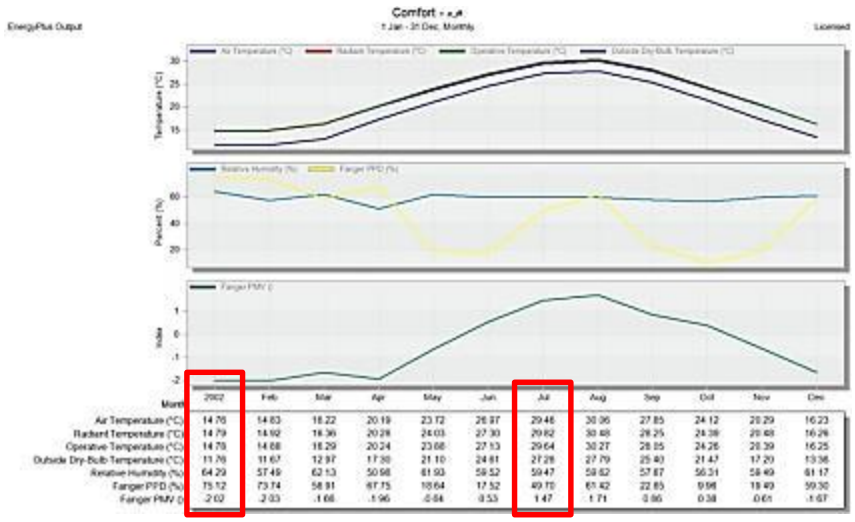
	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Air Temperature (°C)	10.63	12.04	14.61	19.36	24.83	27.33	28.76	28.99	26.58	22.39	16.78	12.09
Radiant Temperature (°C)	10.65	12.12	14.72	19.57	25.46	28.07	29.41	29.77	27.43	22.90	16.68	12.18
Operative Temperature (°C)	10.64	12.08	14.66	19.47	25.14	27.70	29.09	29.38	27.01	22.65	16.63	12.14
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	6.33	7.46	10.06	14.74	21.05	24.54	26.34	26.29	25.41	17.66	12.28	7.50
Relative Humidity (%)	59.22	46.62	44.92	38.13	31.75	33.25	40.73	39.73	37.29	45.64	51.49	49.27
Fanger PPD (%)	99.97	98.75	88.83	92.13	30.19	9.94	23.43	26.74	11.50	16.20	79.03	99.37
Fanger PMV ()	-3.87	-3.52	-2.81	-3.03	-0.88	0.17	0.82	0.93	-0.06	-0.51	-2.16	-3.50

المخطط (11) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف الهرمي في المنطقة شبه الجافة، المصدر: الباحثة

ج. المناخ الرطب (مدينة اللاذقية): من المخطط (12) وجد أن:

-خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) منخفضة عن الحد المقبول بمقدار 5.3 درجات، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتشغيل (Radiant temperature-operative) منخفضة عن الحد المسموح بقدار 0.8 درجة، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحد المسموح بنسبة، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أن الراحة الحرارية (باردة جداً) 2.02-.

- خلال فصل الصيف في شهر تموز: وجد أن درجة حرارة الهواء (Air temperature) تزيد بمقدار 2.4 درجة، وكذلك الحرارة المنتقلة بالإشعاع و التشغيل (Radiant temperature-operative) تزيد عن الحد المسموح به بمقدار 0.3 تقريباً عن الحد المسموح به، أما بالنسبة للرطوبة النسبية (Relative humidity) فهي ضمن الحدود المسموح بها، و بالنسبة (Fanger PMV) وجد أنه (حار) 1.47.

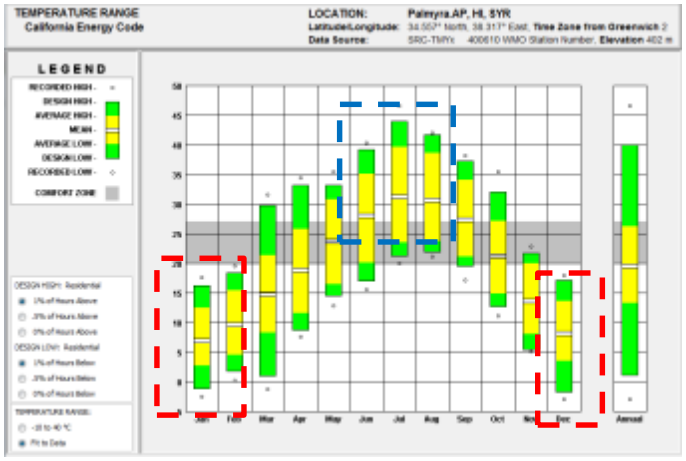


المخطط (12) مخطط درجات الحرارة و الراحة الحرارية، والرطوبة، للسقف الهرمي في المنطقة الرطبة، المصدر: الباحثة

5.7 نتائج الدراسة التطبيقية: بالمقارنة بين أشكال الأسقف الأربعة نستنتج:

أ. المناخ الجاف (مدينة تدمر):

من خلال استخدام برنامج climate consultant وهو برنامج يعطي القراءات المناخية للمنطقة، يوضح المخطط (13) أن أعلى درجة حرارة تصل في فصل الشتاء تكون دون حدود الراحة الحرارية بمقدار 4 درجات تقريباً، بينما في فصل الصيف يلاحظ أن الأشهر الصيفية يكون متوسط درجة الحرارة أعلى من حد الراحة الحرارية من درجة إلى 4 درجات. و وجد أن الأشهر الشتوية لا تتحقق فيها الراحة الحرارية بينما تتحقق الراحة الحرارية بشكل جزئي في فصل الصيف.



المخطط (13) معدل درجات الحرارة خلال السنة التي تحقق الراحة الحرارية في مدينة تدمر، المصدر: الباحثة برنامج climate consultant

من المخطط (14) وجد أن أفضل شكل يحقق الراحة الحرارية في كل من فصلي الصيف والشتاء في المناخ الجاف هو السقف الهرمي كما هو موضح بالجدول (2).

المخطط (14) المقارنة بين أشكال الأسقف التي تحقق الراحة الحرارية (صيفاً، شتاءً) لمدينة حماه، المصدر: الباحثة

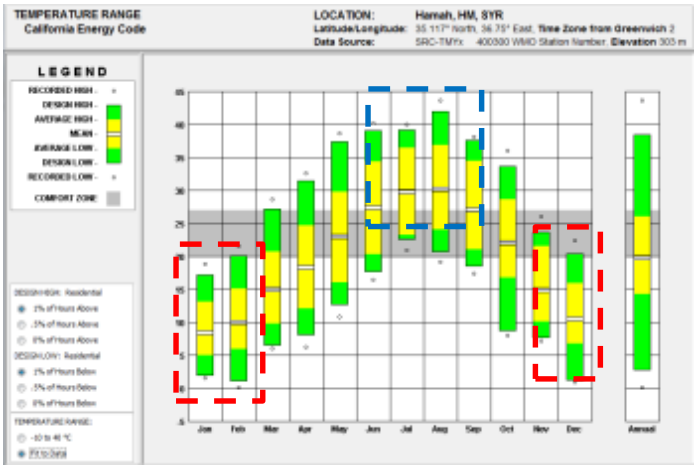
الجدول (2) المقارنة بين أشكال الأسقف التي تحقق الراحة الحرارية في المناخ الجاف

المصدر: الباحثة.

السقف المستوي	السقف المائل	السقف المقبب	السقف الهرمي
في فصل الشتاء حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من المائل، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من القبة و الهرم.	في الشتاء لم يحقق الراحة الحرارية مقارنة بباقي الأشكال، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من المستوي و القبة.	في الشتاء حقق الراحة الحرارية مقارنة بباقي الأشكال، أما في الصيف لم يحقق الراحة الحرارية.	في الشتاء حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من المستوي والمائل، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من باقي الأشكال.

ب. المناخ شبه الجاف (مدينة حماه):

يوضح المخطط (15) أن أعلى درجة حرارة تصل في فصل الشتاء تكون دون ضمن حدود الراحة الحرارية ما عدا شهر كانون الثاني تكون أعلى درجة حرارة أقل من الحد بمقدار 3 درجات تقريباً، بينما في فصل الصيف يلاحظ أن الأشهر الصيفية يكون متوسط درجة الحرارة أعلى من حد الراحة الحرارية من درجة إلى 3 درجات تقريباً. و وجد أن الأشهر الشتوية لا تتحقق فيها الراحة الحرارية بينما تتحقق الراحة الحرارية بشكل جزئي في فصل الصيف.



المخطط (15) معدل درجات الحرارة خلال السنة التي تحقق الراحة الحرارية في مدينة حماه، المصدر: الباحثة برنامج climate consultant

من المخطط (16) وجد أن أفضل شكل يحقق الراحة الحرارية في كل من فصلي الصيف والشتاء في المناخ شبه الجاف هو السقف المستوي كما هو موضح بالجدول (3).

المخطط (16) المقارنة بين أشكال الأسقف التي تحقق الراحة الحرارية (صيفاً، شتاءً) لمدينة حماه، المصدر: الباحثة

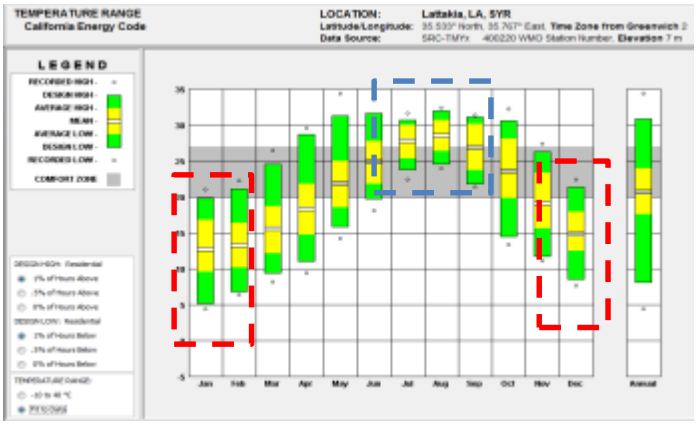
الجدول (3) المقارنة بين أشكال الأسقف التي تحقق الراحة الحرارية في المناخ شبه الجاف

المصدر: الباحثة.

السقف المستوي	السقف المائل	السقف المقبب	السقف الهرمي
في فصل الشتاء حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من القبة والهرم، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من المائل.	في الشتاء حقق الراحة الحرارية مقارنة بباقي الأشكال، أما في الصيف لم يحقق الراحة الحرارية.	في الشتاء لم يحقق الراحة الحرارية مقارنة بباقي الأشكال، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من مستوي و المائل.	في الشتاء حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من القبة، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من باقي الأشكال.

ج. المناخ الرطب (مدينة اللاذقية):

يوضح المخطط (17) أن أعلى درجة حرارة تصل في فصل الشتاء تكون دون ضمن حدود الراحة الحرارية، بينما في فصل الصيف يلاحظ أن الأشهر الحارة يكون متوسط درجة الحرارة ضمن حدود الراحة الحرارية ما عدا شهر تموز وآب يزيد متوسط دراجات الحرارة عن حد الراحة الحرارية بمقدار درجة إلى درجتين تقريباً. و وجد أن الأشهر الصيفية يتحقق فيها الراحة الحرارية إلى حدٍ ما مقارنة بالأشهر الباردة.



المخطط (17) معدل درجات الحرارة خلال السنة التي تحقق الراحة الحرارية في مدينة اللاذقية، المصدر: الباحثة برنامج climate consultant

المخطط (18) المقارنة بين أشكال الأسقف التي تحقق الراحة الحرارية (صيفاً، شتاءً) لمدينة اللاذقية، المصدر: الباحثة

من المخطط (18) وجد أن أفضل شكل يحقق الراحة الحرارية في كل من فصلي الصيف والشتاء في المناخ الرطب هو السقف الهرمي كما هو موضح بالجدول (4).

الجدول (4) المقارنة بين أشكال الأسقف التي تحقق الراحة الحرارية في المناخ الرطب

المصدر: الباحثة.

السقف المستوي	السقف المائل	السقف المقبب	السقف الهرمي
يلاحظ أن الشكل المستوي حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من باقي الأشكال شتاءً، أما في الصيف لم يحقق الراحة الحرارية مقارنة بباقي الأشكال.	في الشتاء حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من القبة، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من المستوي و القبة.	في الشتاء لم يحقق الراحة الحرارية مقارنة بباقي الأشكال، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من المستوي.	في الشتاء حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل من القبة والمائل، أما في الصيف حقق الراحة الحرارية بشكل أفضل باقي الأشكال.

8. النتائج العامة:

– الشكل الهرمي للأسقف يحقق الراحة الحرارية في كل من المناخ الجاف والرطب، لتساوي الأجزاء المعرضة للأشعة الشمسية والمظللة للسقف الهرمي الموجه بالاتجاه الشمالي.

– الشكل المستوي للأسقف يعد الشكل الأفضل الذي يحقق الراحة الحرارية في المناخ شبه الجاف.

– الشكل المائل والمقبب لا يحقق الراحة الحرارية في (المناخ الجاف، وشبة الجاف، والرطب) وتختلف كمية الحرارة المنتقلة عبر الأسقف المقببة باختلاف مقدار انحناء السقف.

– الزيادة في ارتفاع السقف تزيد من الراحة الحرارية في فصل الصيف نتيجة التدرج الحراري للهواء.

9. التوصيات:

– أن يراعي المصممون أثناء تصميمهم دراسة الكفاءة الحرارية لشكل السقف، من المراحل الأولية للعملية التصميمة، وذلك من خلال استخدام برامج المحاكاة البيئية والحرارية، وذلك لتحقيق الاستفادة القصوى من كل عنصر من عناصر المبنى، وتحقيق الراحة الحرارية بأقل قدر ممكن من استخدام وسائل التكييف والتبريد الميكانيكية.

المراجع:

1. الدميني، عبد الحق؛ حلبوني، غسان. 2009- **معايير الراحة الحرارية للأبنية السكنية في عدد من المدن اليمنية.** *مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد 2(25)، ص 399-430. ص401.*
2. يامين، داليه محمد. 2016- **تعديل تصميم المباني السكنية القائمة في فلسطين لتتكيف مع بيئتها في ظل ظاهرة التغير المناخي.** رسالة ماجستير، جامعة النجاح الوطنية، فلسطين. ص189. ص16,17.
3. السوداني، جمال عبد الواحد.2009- **أثر الشكل الهندسي للسقف على كفاءة الأداء الحراري (مدينة بغداد حالة دراسية).** *المجلة العراقية للهندسة المعمارية، المجلد16، ص168-183. ص172,181.*
4. خاطر، دينا عيد سعيد. 2014-**الأسطح الخضراء في الإسكان دارسة لزارعة أسطح المباني القائمة في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية.** رسالة ماجستير، قسم التخطيط والتصميم البيئي، جامعة القاهرة. ص26,27.
5. محمد، نجلاء؛ بكر، وجدي 2003-**الكفاءة الحرارية للسقوف ذات الأقبية للتبريد الخامل صيفًا في الأبنية الواطئة.** *مجلة جامعة الملك عبد العزيز :العلوم الهندسية، 1(14)، 61-86.*ص 63,67,68.
6. علي، موسى. **مناخ سوريا**، دمشق، مطبعة الحجاز. ص 169,170,171,172.
7. GHAFARI, Fatemeh; MIRRAHIMI, Seyedeh Zahra; HEIDARI, Shahin. 2018-**Influence of Ceiling Height on Heating Energy Consumption in Educational Building**. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Civil and Architecture Engineering, Pattaya, Thailand*. p. 25-26.
8. NGUYEN, Anh Tuan; REITER, Sigrid.2011-**The effect of ceiling configurations on indoor air motion and ventilation flow rates**. *Building and Environment*, , (46)5: 1211-1222.
9. Muhammad, M. A., Al-kady, A., & Abdulaziz, M. 2021- **SPACES TO IMPROVE ENVIRONMENTAL QUALITY INDICATORS**. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, 16*(60), 972-984.p977.