

The Islamic University of Gaza
Deanship Research & Postgraduate Studies
Faculty of Engineering
Master of Architecture



الجامعة الإسلامية بغزة
عمادة البحث العلمي والدراسات العليا
كلية الهندسة
ماجستير الهندسة المعمارية

تَقْيِيمٌ وَتَحْسِينُ الْأَدَاءِ الْحَرَارِيِّ لِلْمَبَانِي الْمَدْرَسِيَّةِ فِي قِطَاعِ غَزَّةِ

بِاسْتِخْدَامِ الْأَسْطُحِ الْخَضْرَاءِ

حَالَةٌ دَرَاْسِيَّةٌ: مَبْنَى مَدْرَسَةِ بَيْتِ الْمَقْدَسِ

**Evaluation and Improvement of the Thermal
Performance of School Buildings in the Gaza
Strip Using Green Roofs
Case Study: Beit Al-Maqdes School Building**

إِعْدَادُ الْبَاحِثَةِ

عُلَا غَازِي حَامِدِ الْفَرَا

إِشْرَافُ

الدكتور

سَنَاءُ يُوسُفِ صَالِحِ

قُدِّمَ هَذَا الْبَحْثُ اسْتِكْمَالًا لِمَتَطَلِبَاتِ الْحُصُولِ عَلَى دَرَجَةِ الْمَاجِسْتِيرِ فِي الْإِدَارَةِ التَّرْبَوِيَّةِ / أَصُولِ
التَّرْبِيَّةِ بِكَلِيَّةِ التَّرْبِيَّةِ فِي الْجَامِعَةِ الْإِسْلَامِيَّةِ بِغَزَّةِ

أغسطس/2020م - محرم/1442هـ

إقرار

أنا الموقع أدناه مقدم الرسالة التي تحمل العنوان:

تقييم وتحسين الأداء الحراري للمباني المدرسية في قطاع غزة باستخدام الأسطح الخضراء

حالة دراسية: مبنى مدرسة بيت المقدس

Evaluation and Improvement of the Thermal Performance of School Buildings in the Gaza Strip Using Green Roofs Case Study: Beit Al-Maqdes School Building

أقر بأن ما اشتملت عليه هذه الرسالة إنما هو نتاج جهدي الخاص، باستثناء ما تمت الإشارة إليه
حيثما ورد، وأن هذه الرسالة ككل أو أي جزء منها لم يقدم من قبل الآخرين لنيل درجة أو لقب
علمي أو بحثي لدى أي مؤسسة تعليمية أو بحثية أخرى.

Declaration

I understand the nature of plagiarism, and I am aware of the University's policy on this.

The work provided in this thesis, unless otherwise referenced, is the researcher's own work, and has not been submitted by others elsewhere for any other degree or qualification.

Student's name:	عُلا غَازِي حَامِد الفَرا	اسم الطالب:
Signature:	عُلا غَازِي حَامِد الفَرا	التوقيع:
Date:	أغسطس، 2020	التاريخ:

ملخص الدراسة

إن قطاع غزة يعاني من شح في الكهرباء مما يحد من استخدام طرق ميكانيكية لتحسين الظروف الحرارية الداخلية في المباني. وإن المباني المدرسية تحتاج أقصى درجات من الراحة الحرارية لتساعد على زيادة التركيز وتحسن أداء الطلبة، لذلك باتت الحاجة ملحة لإيجاد استراتيجية قادرة على تحسين الأداء الحراري الداخلي دون الحاجة لاستهلاك الطاقة. إن الأسطح الخضراء تعتبر من أهم الأمور التحسينية للأداء الحراري. وفي هذه الرسالة تم دراسة الأداء الحراري في مبنى مدرسة بيت المقدس في مدينة خان يونس كنموذج للمباني التعليمية. حيث كان الهدف هو تقييم مدى تأثير الأسطح الخضراء على مستوى الراحة الحرارية في المبنى، ولتحقيق الهدف تم تقسيم الرسالة لمرحلتين، في المرحلة الأولى تم تقييم الأداء الحراري للمبنى بالوضع القائم (بدون السطح الأخضر)، وذلك باستخدام القياس الفيزيائي، والاستبيان، والمحاكاة المحوسبة، كما تم دراسة تأثير التوجيه المعماري ومساحة الحوائط الخارجية وكاسرات الشمس على مستوى الراحة الحرارية. وقد وجد أن أدوات القياس الثلاثة أعطت نتائج متقاربة ومترابطة إلى حد كبير مع ملاحظة أن قيم معدل التصويت المتوقع (PMV) الناتجة من القياس الفيزيائي أعلى من قيم معدل التصويت الحقيقي (AMV) الناتجة عن الاستبيان، ويرجع ذلك إلى أن الطلاب لديهم القدرة لديهم قدرة على التكيف مع ظروف المدرسة لأنها مشابهة لظروف منازلهم. أما المرحلة الثانية فقد تناولت تأثير السطح الأخضر على الأداء الحراري للطابق الأخير من المبنى باستخدام المحاكاة المحوسبة وقد تم مقارنة السطح التقليدي القائم بثلاث أنواع من الأسطح وهي (السطح الأخضر دون طبقة عازل السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري) وذلك لتوسيع مجال المقارنة. وقد وجد أن السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري يعطي أفضل النتائج في فصل الصيف وفصل الشتاء والاعتدالين. كما تم دراسة تأثير زيادة كل من سماكة التربة وقيمة مؤشر مساحة الورقة (LAI) على الأداء الحراري للسطح الأخضر، وقد وجد أن زيادة سماكة التربة لها تأثير سلبي على PMV صيفاً وتأثير إيجابي شتاءً، أما زيادة قيمة LAI لها تأثير إيجابي على PMV صيفاً وتأثير سلبي شتاءً. وبالنسبة لاستهلاك الطاقة فقد وجد أن السطح الأخضر مع طبقة عازل يعمل على تقليل استهلاك الطاقة بأعلى نسبة حيث بلغت 22%.

الكلمات المفتاحية: الأداء الحراري - الأسطح الخضراء - الراحة الحرارية - استهلاك الطاقة - الغرف الصفية - PMV - AMV - PPD

Abstract

The Gaza Strip suffers from a shortage of electricity, which limits the use of mechanical methods to improve internal thermal levels in buildings. School buildings need maximum thermal comfort to help increase student concentration and improve their performance. Therefore, the need for a strategy that can improve internal thermal performance without the need for energy consumption has become urgent. Green roofs are one of the most important ways to improve thermal performance.

In this thesis, the thermal performance was studied in the Beit Al-Maqdis School in Khan Younis as an educational building model. The aim was to measure the impact of green roofs on the level of thermal comfort in the building. To achieve this aim, the thesis was divided into two stages; in the first stage, the building's thermal performance was evaluated in the standing position (without green roof), using physical measurement, questionnaire, and computerized simulation. Also, the effect of architectural orientation, exterior wall area, and sun devices on thermal comfort level have been studied.

It was found that the three measurement tools gave very close and correlated results, noting that the values of the Predicted mean vote (PMV) resulting from the physical measurement are higher than the values of the Actual mean vote (AMV) resulting from the questionnaire. That is because the students have the ability to adapt to the school conditions because they are similar to the conditions of their homes. The second stage, the thesis dealt with the effect of the green roofs on the thermal performance of the last floor of the building using computerized simulation. To expand the field of comparison, the existing traditional roof has been compared to three types of roofs: the green roof without a thermal insulation layer, traditional roof with a thermal insulation layer, and the green roof with a thermal insulation layer.

It was found that a green roof with a thermal insulation layer gives the best results in summer, winter and equinoxes. In addition, the effect of increasing the soil thickness and the leaf area index (LAI) value on the thermal performance of the green roof was studied. It was found that increasing the soil thickness had a negative effect on PMV in summer and a positive effect in winter, while increasing the LAI value had a positive effect on PMV in summer and a negative effect in winter. Regarding energy consumption, it was found that the green roof with a thermal insulation layer reduces energy consumption by the highest percentage, reaching 22%.

Keywords: Thermal performance – Green roofs – Thermal comfort – Classrooms - Energy consumption – PMV – AMV – PPD.

آية قرآنية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
﴿فَأَنْشَأْنَا لَكُمْ بِهِ جَنَّاتٍ مِنْ نَخِيلٍ وَأَعْنَابٍ لَكُمْ فِيهَا فَوَاكِهُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ * وَشَجَرَةً تَخْرُجُ مِنْ طُورِ سَيْنَاءَ تَنْبُتُ بِالذَّهْنِ وَصِبْغٍ لِلْآكِلِينَ﴾

(سورة المؤمنون: 19، 20)

الإهداء

إلى النور الذي ينير لي درب النجاح . . أبي الغالي / غازي حامد الفراء

إلى من علمتني الصمود مهما تبدلت الظروف . . أمي المحنونة / مها حمدي الفراء

إلى من دعمني وشجعني بكل حب وصدق . . مرفيق دربي / محمد عبد السميع الفراء

إلى العزيز الذي مرافقتي دعواته دوماً بالنجاح . . المحال / عبد السميع حمدي الفراء

إلى أمي الثانية التي لم تتأخر لحظة في تقديم يد العون . . والددة نروحي / نفيسة بشير شراب

إلى من أضاءوا لي الطريق وساندوني في كل الخطوات . . إخوتي الأعزاء

إلى زهرتاي الجميلتان وقرّة عيني . . أبنائي الأحباء / عبد الرحمن ومها

إلى جميع من حولي من الأهل والأقارب والأحباب والأصدقاء

أحبكم جداً لو مر على أرض قاحلة لتفجرت منها ينابيع الحبة

لكم جميعاً أهدي هذا البحث

الباحثة

عُلا غَازِي حَامِدِ الفَراء

شكرٌ وتقدير

الحمد لله أولاً على توفيقه لي لإتمام هذه الرسالة

ولأنه من لا يشكر الناس لا يشكر الله

فإني أتقدم بجزيل الشكر والعرفان

لكل من دعمني لأتم هذه الرسالة

وأخص بالشكر

،،، الدكتورة الفاضلة/ سناء يوسف صالح،،،

على كل ما قدمته لي من دعم وإرشاد

وملاحظات علمية قيمة أثناء إشرافها المستمر على هذه الرسالة

كما وأشكر مديرة ومدرسات وطالبات مدرسة بيت المقدس

على تعاونهم وحسن استقبالهم

كما وأشكر مهندسي وموظفي وزارة التربية والتعليم العالي على مساعدتي

في الحصول على جميع البيانات والمخططات اللازمة لإتمام هذه الرسالة

والشكر موصول للمناقشين اللذين تكرما بنقاش الرسالة لتكون مخرجاً علمياً أصيلاً ومتميزاً.

الباحثة

عُلا غَازي حَامِد الفَرا

فهرس المحتويات

أ.....	إقرار
ب.....	نتيجة الحكم
ت.....	ملخص الدراسة
ث.....	Abstract
ج.....	آية قرآنية
ح.....	الإهداء
خ.....	شكر وتقدير
د.....	فهرس المحتويات
س.....	فهرس الجداول
ص.....	فهرس الأشكال
ف.....	الاختصارات
2.....	الفصل الأول الإطار العام للدراسة
2.....	1.1. مقدمة
3.....	2.1. المشكلة البحثية
4.....	3.1. أسئلة البحث
4.....	4.1. أهمية البحث
5.....	5.1. أهداف البحث
5.....	6.1. مصادر المعلومات
5.....	1.6.1. مصادر بيانات أولية
5.....	2.6.1. مصادر بيانات ثانوية
6.....	7.1. منهجية البحث
6.....	1.7.1. طبيعة ونوع البحث
7.....	2.7.1. مكان البحث
7.....	3.7.1. الأفق الزمني للبحث
8.....	4.7.1. أدوات جمع البيانات
9.....	8.1. الدراسات السابقة ونتائجها
9.....	1.8.1. نماذج دراسات سابقة شبيهة بموضوع البحث
18.....	2.8.1. نتائج الدراسات السابقة
19.....	9.1. هيكلية البحث
23.....	الفصل الثاني الراحة الحرارية والعناصر المحددة لها ومناهجها
23.....	1.2. مقدمة

24.....	2.2. الراحة الحرارية.....
24.....	1.2.2. مفهوم الراحة الحرارية.....
25.....	2.2.2. Heat Balance الاتزان الحراري.....
25.....	3.2.2. جودة الهواء.....
26.....	4.2.2. العناصر البيئية المحددة للراحة الحرارية.....
31.....	5.2.2. العناصر البشرية المحددة للراحة الحرارية.....
33.....	6.2.2. مؤشر الإحساس الحراري.....
34.....	3.2. مناهج تعريف نطاق الراحة الحرارية.....
34.....	1.3.2. المنهج العقلاني Rational Approach.....
38.....	2.3.2. المنهج التكيفي Adaptive Approach.....
40.....	4.2. ملخص الفصل.....
42.....	الفصل الثالث الأسطح الخضراء وأنواعها ومعايير تنفيذها.....
42.....	1.3. مقدمة.....
42.....	2.3. تاريخ الأسطح الخضراء.....
44.....	3.3. ما هو السطح الأخضر.....
45.....	4.3. أنواع الأسطح الخضراء.....
48.....	5.3. المبادئ التوجيهية للأسطح الخضراء.....
48.....	1.5.3. شروط السطح ومدى ملاءمته للتخضير.....
48.....	2.5.3. مكونات الأسطح الخضراء.....
51.....	6.3. مستويات تنفيذ الأسطح الخضراء.....
52.....	7.3. حالات دراسية عن الأسطح الخضراء.....
55.....	8.3. ملخص الفصل.....
57.....	الفصل الرابع مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالقياس الفيزيائي.....
57.....	1.4. مقدمة.....
57.....	2.4. تعريف بمدرسة بيت المقدس في قطاع غزة.....
61.....	3.4. طريقة حساب الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالقياس الفيزيائي.....
64.....	4.4. تأثير توجيه الغرف الصفية على الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي.....
65.....	1.4.4. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري.....
67.....	2.4.4. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري.....
69.....	3.4.4. مقارنة قيم PMV و PPD للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري.....
71.....	5.4. تأثير مساحات الحوائط الخارجية للغرف الصفية على الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي.....
74.....	1.5.4. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية.....
75.....	2.5.4. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية.....
78.....	6.4. تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي.....
79.....	1.6.4. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات.....
80.....	2.6.4. قيم الرطوبة النسبية Relative humidity للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات.....

80.....	3.6.4. مقارنة قيم PMV و PPD للغرفة بكاسرات الشمس والغرفة بدون كاسرات الشمس
81.....	7.4. ملخص الفصل.....
83.....	الفصل الخامس دراسة وتحليل الاستبيان
83.....	1.5. مقدمة الفصل.....
83.....	2.5. استخدام أداة الاستبيان.....
85.....	1.2.5. أهداف الاستبيان.....
85.....	2.2.5. فرضيات الاستبيان.....
86.....	3.2.5. الحدود المكانية والزمانية للاستبيان.....
86.....	4.2.5. أسئلة وفقرات الاستبيان.....
87.....	3.5. الصدق والموثوقية في الاستبيان.....
87.....	1.3.5. الصدق في الاستبيان Validity.....
87.....	2.3.5. الموثوقية/ الثبات في الاستبيان Reliability.....
89.....	4.5. تحليل نتائج الاستبيان.....
90.....	5.5. مقارنة قيم PMV مع AMV.....
91.....	6.5. العلاقة بين الإحساس الحراري والعوامل الأخرى.....
92.....	7.5. تأثير توجيه الغرف الصفية على الراحة الحرارية (AMV).....
93.....	8.5. تأثير مساحات الحوائط الخارجية على الراحة الحرارية (AMV).....
94.....	9.5. تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية (AMV).....
95.....	10.5. ملخص الفصل.....
97.....	الفصل السادس حساب الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة المحوسبة.
97.....	1.6. مقدمة الفصل.....
97.....	2.6. طريقة حساب الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالمحاكاة المحوسبة.....
97.....	1.2.6. إدخال المبنى على برنامج المحاكاة Design Builder.....
99.....	2.2.6. رفع المبنى بكافة أبعاده وخواصه.....
100.....	3.2.6. تعريف خصائص أسطح المبنى.....
101.....	3.6. تأثير توجيه الغرف الصفية على الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة.....
102.....	1.3.6. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف الصفية مختلفة التوجيه.....
103.....	2.3.6. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف الصفية مختلفة التوجيه.....
103.....	3.3.6. مقارنة قيم PMV للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري.....
104.....	4.6. تأثير مساحات الحوائط الخارجية على الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة.....
105.....	1.4.6. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية.....
106.....	2.4.6. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية.....
107.....	3.4.6. مقارنة قيم PMV للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية.....
108.....	5.6. تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة.....
109.....	1.5.6. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperatures للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات.....
110.....	2.5.6. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات.....

110.....	3.5.6. مقارنة قيم PMV في الغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات
111.....	6.6. مقارنة نتائج أدوات القياس الثلاثة
113.....	7.6. ملخص الفصل
115.....	الفصل السابع دراسة تأثير الأسطح الخضراء على الراحة الحرارية
115.....	1.7. مقدمة الفصل
115.....	2.7. تعريف خصائص الأسطح المدروسة
117.....	3.7. تأثير السطح الأخضر على مستوى الراحة الحرارية
118.....	1.3.7. درجة الحرارة الناتجة Resultant Temperature
121.....	2.3.7. الرطوبة النسبية Relative Humidity
123.....	3.3.7. مقارنة قيم PMV الخاصة بالأسطح المختلفة
127.....	4.7. تأثير مكونات السطح الأخضر على الراحة الحرارية
127.....	1.4.7. تأثير تغير سماكة طبقة التربة
130.....	2.4.7. تأثير تغير قيمة مؤشر مساحة الورقة LAI
132.....	5.7. تأثير السطح الأخضر على استهلاك الطاقة
134.....	6.7. ملخص الفصل
136.....	الفصل الثامن النتائج والتوصيات
136.....	1.8. المقدمة
136.....	2.8. النتائج
138.....	3.8. التوصيات
142.....	المصادر والمراجع
142.....	القرآن الكريم
142.....	المراجع العربية
143.....	المراجع الأجنبية
150.....	قائمة الملاحق
150.....	الملحق رقم (1): الاستبانة
152.....	الملحق رقم (2): الملاحظة

فهرس الجداول

جدول (1.1) تأثير قيم LAI وسماكة التربة على المناطق المناخية المختلفة.....	18
جدول (1.2): توضيح لقيم معدل الأيض الخاصة بالحركة.....	31
جدول (2.2): قيمة Clo الخاصة بكل نوع من أنواع الملابس	32
جدول (3.2): تصنيف درجة الإحساس الحراري على مقياس آشري وبيدفوردي	34
جدول (4.2): نسبة الاستياء بناءً على توقع معدل التصويت PMV	38
جدول (1.3): أنواع وخصائص الأسطح الخضراء بأنواعها الثلاثة.....	45
جدول (2.3): الفوائد الخاصة بكل حالة من الحالات المناخية	47
جدول (3.3): تفصيل عناصر السطح الأخضر.....	50
جدول (1.4): قيمة Clo الخاصة بزي طالبات المدرسة.....	62
جدول (1.5): معامل الارتباط ومستوى الدلالة للأسئلة الترتيبية الثلاثة في الاستبيان مع المحور الرئيسي للاستبيان.....	88
جدول (2.5): محك الدراسة للأسئلة التابعة لمقياس آشري.....	89
جدول (3.5): بيانات المتوسط والوزن النسبي والترتيب والانحراف المعياري ودرجة التقدير الخاصة بأسئلة الاستبيان الترتيبية.....	90
جدول (4.5): نتائج اختبار Paired T- test بين قيم PMV و AMV	91
جدول (5.5): معايير قوة معامل الارتباط اعتماداً على قيمة (r)	91
جدول (1.6): متوسطات قيم PMV القياس و AMV و PMV المحاكاة.	111
جدول (2.6): نتائج اختبار Paired samples T-test بين قيم PMV القياس و AMV و PMV المحاكاة.....	113
جدول (1.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بدرجة الحرارة الناتجة لكل نوع من أنواع الأسطح	118
جدول (2.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة لنتائج درجات الحرارة الناتجة.....	120
جدول (3.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة لنتائج الرطوبة النسبية.....	122

جدول (4.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بقيم PMV لكل نوع من أنواع الأسطح	124
جدول (5.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة لقيم PMV في ظل فصول السنة المختلفة.....	125
جدول (6.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بقيم PMV لكل قيمة من سماكات التربة	128
جدول (7.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين سماكات التربة المختلفة خلال الفصول المختلفة.....	129
جدول (8.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بقيم PMV لكل قيمة من قيم LAI	130
جدول (9.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين قيم LAI المختلفة خلال الفصول المختلفة.....	131
جدول (10.7): مجموع استهلاك الطاقة السنوي تحت كل نوع من أنواع الأسطح المختلفة	133

فهرس الأشكال

- شكل (1.1): منهجية عمل البحث.....6
- شكل (2.1): مبنى مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات.....7
- شكل (3.1): مبنى المدرسة من اتجاه آخر.....7
- شكل (4.1): الهيكلية العامة للدراسة.....21
- شكل (1.2): فكرة عمل متوسط درجات حرارة الإشعاعات.....29
- شكل (2.2): جهاز **The Extech HT200**.....31
- شكل (3.2): جهاز قياس **MRT** المصنوع يدوياً.....31
- شكل (4.2): العلاقة بين قيم **PMV** و **PPD**.....37
- شكل (5.2): آلية عمل المنهج التكيفي.....40
- شكل (1.3): زقورة بلاد ما بين النهرين.....43
- شكل (2.3): حدائق بابل المعلقة.....43
- شكل (3.3): منازل الفايننج الشمالي.....44
- شكل (4.3): مركز **Rockefeller** في نيويورك.....44
- شكل (5.3): تحول الهواء الساخن المار من خلال السطح الأخضر إلى هواء بارد.....45
- شكل (6.3): مكونات كل نوع من أنواع السطح الأخضر.....49
- شكل (7.3): طبقات السطح الأخضر بالتفصيل.....49
- شكل (8.3): مقارنة طبقات السطح الأخضر بالنباتات المزروعة في الطبيعة.....50
- شكل (9.3): توضيح لمصطلح **LAI**.....51
- شكل (10.3): حديقة سطح مبنى جمعية معدات الجبال، تورونتو، أونتاريو، كندا.....53
- شكل (11.3): حديقة سطح مبنى مكتبة فانكوفر العامة، كولومبيا البريطانية، كندا.....53
- شكل (12.3): حديقة سطح مبنى مكتبة فانكوفر العامة، كولومبيا البريطانية، كندا.....54
- شكل (1.4): خريطة قطاع غزة وموقعه بالنسبة لفلسطين.....58
- شكل (2.4): خريطة المسار الشمسي التابعة لمنطقة قطاع غزة.....58
- شكل (3.4): الموقع العام للمدرسة مع الشوارع والمباني المحيطة.....59
- شكل (4.4): مواقع الساحتين الوسطية والخلفية في الموقع الخاص.....59
- شكل (5.4): الساحة الوسطية المظللة عن طريق سقف زينكو (صفيح).....59

- شكل (6.4): توزيع مقاعد وكراسي الطالبات والمعلمة في الغرفة الصفية 60
- شكل (7.4): مبنى المدرسة ويتضح منه أن جميع الكتل على نفس الارتفاع 60
- شكل (8.4): واجهة المدرسة ويتضح منها أن الكتل على نفس الارتفاع باستثناء كتلة بيت الدرج المشار إليها..... 60
- شكل (9.4): كتلة بيت الدرج الأول والثاني غير الواصلات إلى السطح على جهة اليمين وعلى جهة اليسار الكتلة الواصلة للسطح..... 60
- شكل (10.4): يتضح أن تأثير الذروة وكتلة بيت الدرج البارزة على سطح المبنى غير واضح إلا عند الساعة السابعة والثامنة صباحاً كما أن تأثير خفيف..... 61
- شكل (11.4): جهاز **HTC-1** الذي استخدم لقياس درجات حرارة الهواء والرطوبة النسبية. 63
- شكل (12.4): إدخال الحساس الخارجي لجهاز **HTC-2** داخل كرة البينج بونج السوداء ... 63
- شكل (13.4): كيفية الحصول على ارتفاع 1.1 متر عن طريق وضع كرسي فوق الطاولة 63
- شكل (14.4): وضع الأجهزة على الكرسي فوق الطاولة في منتصف كل غرفة صفية 63
- شكل (15.4): موقع الجهاز في منتصف كل غرفة صفية..... 63
- شكل (16.4): مواقع الغرف الصفية الواقعة على التوجيهات المعمارية المختلفة 64
- شكل (17.4): الغرفة الصفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي..... 65
- شكل (18.4): الغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي 65
- شكل (19.4): الغرفة الصفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي 65
- شكل (20.4): الغرفة الصفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي..... 65
- شكل (21.4): قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري 66
- شكل (22.4) تلوين للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري لتمييز الغرفة الصفية الأعلى في درجات الحرارة الناتجة والغرفة الأقل..... 67
- شكل (23.4): قيم الرطوبة النسبية في الغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري 67
- شكل (24.4): زيادة حركة الهواء تعمل على تقليل بخار الماء المسبب للرطوبة العالية في الفراغ المعماري..... 68
- الشكل (25.4) تلوين للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري لتمييز الغرفة الصفية الأعلى في الرطوبة النسبية والغرفة الأقل مع توضيح اتجاه الرياح السائدة في قطاع غزة..... 68
- شكل (26.4): البرنامج الذي تم استخدامه لحساب قيم كل من **PMV** و **PPD** 69
- شكل (27.4): قيم **PMV** و **PPD** للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري 70

- شكل (28.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر راحة حرارية والأقل راحة حرارية للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري.....71
- شكل (29.4): غرفة صفية وسطية معرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد72
- شكل (30.4): غرفة صفية طرفية معرضة للعوامل الخارجية من حائطين72
- شكل (31.4): الحائط الخارجي خرسانة مسلحة أما الحائط الداخلي بلوك مفرغ.....72
- شكل (32.4): الغرف الصفية ذات المساحات المختلفة المعرضة للعوامل الخارجية72
- شكل (33.4): الغرفة الصفية (1) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق).....73
- شكل (34.4): الغرفة الصفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط73
- شكل (35.4): الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ).....73
- شكل (36.4): الغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق).....73
- شكل (37.4): الغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط73
- شكل (38.4): الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ).....73
- شكل (39.4): قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية74
- شكل (40.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر درجة حرارة والأقل درجة حرارة للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية75
- شكل (41.4): قيم الرطوبة النسبية في الغرف الصفية مختلفة مساحة الحوائط الخارجية....75
- شكل (42.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأعلى رطوبة نسبية والأقل رطوبة نسبية للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية76
- شكل (43.4): مخطط لقيم **PMV** و **PPD** للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية77
- شكل (44.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر راحة حرارية والأقل راحة حرارية...77
- للغرفة الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية.....77
- شكل (45.4): موقع الغرف الصفية بكاسرات الشمس وبدون كاسرات الشمس78
- شكل (46.4): الغرفة الصفية (1) بعد إزالة كاسرات الشمس.....79
- شكل (47.4): الغرفة الصفية (2) والتي بها كاسرات شمس79
- شكل (48.4): مخطط علاقة درجات الحرارة الناتجة في الغرفة الصفية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات.....79

- شكل (49.4): قيم الرطوبة النسبية في الغرفة الصفية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات.....80
- شكل (50.4): مخطط لقيم **PMV** و **PPD** للغرفة الصفية بالكاسرات والغرفة الصفية بدون الكاسرات.....81
- شكل (1.5): الآلية التي تم بها تقسيم الأعمدة في الغرفة الصفية لمعرفة العلاقة بين الراحة الحرارية وموقع الطالبة.....85
- شكل (2.5): اختبارات الموثوقية/ الثبات.....88
- شكل (3.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي.....92
- شكل (4.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي.....92
- شكل (5.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي.....93
- شكل (6.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي.....93
- شكل (7.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (1) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق).....93
- شكل (8.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط.....93
- شكل (9.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ).....94
- شكل (10.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق).....94
- شكل (11.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط.....94
- شكل (12.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (6) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ).....94
- شكل (13.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (1) بدون كاسرات الشمس.....95
- شكل (14.5): متوسط قيم **AMV** للغرفة الصفية (2) بكاسرات الشمس.....95
- شكل (1.6): نموذج للمبنى المدرسي الذي تم إنشاؤه باستخدام برنامج **Design Builder**.....98
- شكل (2.6): جدول ساعات وأيام الدوام المستخدمة في المدرسة.....98
- شكل (3.6): نموذج المبنى الذي تم تجسيده في البرنامج.....99
- شكل (4.6): نموذج المبنى مع الظلال ودائرة المسار الشمسي.....99
- شكل (5.6): تحويل قيمة **natural ventilated** إلى **calculated**.....99
- شكل (6.6): إدخال موقع بيت دجن في بيانات الموقع داخل البرنامج.....100
- شكل (7.6): تغير طبيعة استخدام الفراغ وكثافة المستخدمين.....100
- شكل (8.6): طبقات السطح التقليدي.....100
- شكل (9.6): طبقات الأرضية.....100
- شكل (10.6): طبقات الحائط الخارجي ذو الحائط الخرساني.....101

- شكل (11.6): طبقات الحائط الداخلي ذو الحائط المبني من الطوب..... 101
- شكل (12.6): خصائص النوافذ..... 101
- شكل (13.6): مواقع الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية المختلفة..... 102
- شكل (14.6): قيم درجات الحرارة الناتجة مقابل الزمن التي تم الحصول عليها من المحاكاة في
الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية المختلفة..... 102
- شكل (15.6): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية
المختلفة..... 103
- شكل (16.6): قيم الرطوبة النسبية **PMV** الناتجة من المحاكاة مع قيم **PMV** و **AMV**
الناتجتان عن القياس الفيزيائي والاستبيان..... 104
- شكل (17.6): الغرف الصفية ذات المساحات المختلفة المعرضة للعوامل الخارجية..... 105
- شكل (18.6): قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية
..... 105
- شكل (19.6): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في الغرف الصفية الجنوبية حسب مساحة
الحوائط الخارجية..... 106
- شكل (20.6): مقارنة بين قيم **PMV** الناتجة من المحاكاة و **PMV** الناتجة عن القياس
الفيزيائي و **AMV** للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية..... 107
- شكل (21.6): موقع الغرفة الصفية بكاسرة والغرفة بدون كاسرة..... 108
- شكل (22.6): عدم تفعيل خيار كاسرات الشمس على نوافذ الفصل (1) في برنامج المحاكاة
..... 108
- شكل (23.6): تفعيل خيار كاسرات الشمس على نوافذ الفصل (2) في برنامج المحاكاة.. 108
- شكل (24.6): مخطط درجات الحرارة الناتجة في الغرفة الصفية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات
..... 109
- شكل (25.6): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في الغرفة الصفية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات
..... 110
- شكل (26.6): مقارنة **PMV** الناتجة من المحاكاة وقيم **PMV** الناتجة عن القياس الفيزيائي
وقيم **AMV** للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات..... 111
- شكل (1.7): طبقات السطح الأخضر..... 116
- شكل (2.7): طبقات السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري..... 116

- شكل (3.7): طبقات السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري..... 116
- شكل (4.7): خصائص طبقة السطح الأخضر..... 116
- شكل (5.7): مادة **Polystyrene Extruded XPS** العازلة حرارياً..... 116
- شكل (6.7): مادة **Fibreboard** العازلة حرارياً..... 116
- شكل (7.7): خصائص الطبقة الأخيرة (التربة والحصى والطينة)..... 117
- شكل (8.7): المبنى في برنامج المحاكاة بعد إضافة طبقة السطح الأخضر له 117
- شكل (9.7): قيم درجات الحرارة الناتجة عند استخدام الأسطح المختلفة طوال العام 121
- شكل (10.7): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها من المحاكاة المحوسبة تحت الأسطح المختلفة طوال العام..... 123
- شكل (11.7): قيم **PMV** مقابل الزمن التي تم الحصول عليها من المحاكاة طوال العام 126
- شكل (12.7): تأثير تغيير سماكة التربة على قيمة **PMV**..... 130
- شكل (13.7): تأثير تغيير قيمة مؤشر مساحة الورقة على قيمة **PMV**..... 132
- شكل (14.7): تحويل النظام إلى نظام ميكانيكي في برنامج المحاكاة 133
- الشكل (15.7) يوضح نتائج استهلاك الطاقة خلال أشهر العام..... 134

الاختصارات

AMV	Actual mean vote	معدل التصويت الحقيقي
ASHRAE	American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers	الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد والتكييف
Clo	Clothing insulation	مستوى عزل الملابس
HC	Heating & Cooling	التبريد والتدفئة
LAI	leaf area indices ((m ² /m ²)	مؤشر مساحة الورقة (م ² /م ²)
Met	Metabolic rate	معدل الأيض
NV	naturally ventilated	تهوية طبيعية
PMV	Predicted mean vote	معدل التصويت المتوقع
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied, [%]	نسبة عدم الرضا المتوقعة (%)
RH	Relative humidity [%]	الرطوبة النسبية (%)
SPSS	Statistical package for social science	برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية
T_A	Air temperature °C	درجة حرارة الهواء °C
T_{MRT}	Mean radiant temperature °C	متوسط درجة حرارة الإشعاعات °C
T_R	Resultant temperature °C	درجة الحرارة الناتجة °C
V_A	Air velocity	سرعة الهواء

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

يقدم هذا الفصل رؤية عن موضوع الدراسة بشكل عام، وطريقة عرضها، وأسسها المختلفة حيث يتم تسليط الضوء على المشكلة البحثية وفرضياتها. ويتبع ذلك تحليل للرؤية والأهداف التي تسعى الدراسة لتحقيقها من خلال اتباع منهجية علمية صحيحة. كما ويقدم هذا الفصل عرضاً لآخر ما وصلت إليه الدراسات السابقة فيما يخص هذا الموضوع أو المواضيع المرتبطة به.

1.1. مقدمة

في الآونة الأخيرة انتشر الترويج لمفهوم التنمية المستدامة في البناء وذلك للتغلب على المشكلات التي تحصل بسبب أزمة الطاقة والتأثيرات البيئية وتوجه الناس المتزايد نحو التحضر والتمدن. وتعد محاولة تقليل استخدام الطاقة في المباني لتحقيق بيئة حرارية داخلية مريحة أحد العناصر الرئيسية للتنمية المستدامة (Dareeju, 2016, 1). حيث أنه على مستوى العالم يتم استخدام 24-40% من الطاقة الأولية في قطاع المباني كما أنها مسؤولة عن 40-50% من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (European Commission, 2007, 1). يمكن تقليل طاقة المبنى التشغيلية من خلال استخدام التقنيات المباشرة Active وغير المباشرة Passive حتى ولو أدى ذلك إلى زيادة طفيفة في الطاقة الكامنة (Ramesh, 2010, 1592). على سبيل المثال، المباني ذات التهوية الطبيعية (NV)، عادة ما تستخدم أقل من نصف كمية الطاقة التي تستخدمها المباني التي تحتوي على أجهزة تكييف ميكانيكية (Santamouris, 2003, 165).

يتميز مناخ قطاع غزة بأنه ساحلي رطب وحار خلال الصيف ومعتدل مائل للبرودة خلال الشتاء (Applied Research Institute, 2003, 2) لذلك تحتاج المباني لنظام يحقق الراحة الحرارية في فصل الصيف. ويفضل أن تستخدم الأنظمة غير المباشرة Passive لأنها لا تنتج ثاني أكسيد الكربون وغازات الاحتباس الحراري الأخرى، ومن هذه الأنظمة نظام الأسطح الخضراء، وهي طريقة حديثة وفعالة لتحقيق الراحة الحرارية الداخلية للمباني. كما أنها واحدة من الطرق الفعالة لتوسيع المسطحات الخضراء في المدن، وإضعاف تأثير الجزيرة الحرارية الحضرية Urban Heat Island (UHI) في المدينة، وجعل الهواء نقياً، وتحسين الراحة الحرارية الداخلية والخارجية للمباني في بيئة المدينة (Herman, 2003, 42). عادة ما يكون السطح الأخضر عبارة عن سطح مبنى يتكون بشكل رئيسي من طبقة عازلة ومانعة لتسرب المياه ثم طبقة تصريف غالباً ما تكون من الحصى مختلف الأحجام ثم طبقة التربة وآخر طبقة هي طبقة النباتات

المزروعة. تنقسم الأسطح الخضراء إلى ثلاث مجموعات: النوع الأول هو الأسطح الخضراء قليلة السماكة وواسعة الانتشار Extensive، والنوع الثاني هو الأسطح الخضراء الكثيفة Intensive، والفرق بين النوعين يعتمد على عمق وسط النمو وكمية الصيانة التي يحتاجها كل نوع ونوع النباتات التي تتم زراعتها، والنوع الثالث هو الأسطح الخضراء شبه الكثيفة Semi-intensive وهو نوع يجمع بين خصائص النوعين السابقين.

يستعرض البحث مستوى الراحة الحرارية داخل فراغات مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات باستخدام ثلاث أدوات للقياس أولها القياس الفيزيائي داخل المدرسة ثم الاستبيان وفي النهاية المحاكاة باستخدام الحاسوب وجميعها تحت السقف التقليدي وذلك مع دراسة تأثير العوامل المختلفة المؤثرة على مستوى الراحة الحرارية مثل التوجيه المعماري ومساحة الحوائط الخارجية ووجود كاسرات الشمس، ثم يناقش البحث باستخدام المحاكاة المحوسبة تأثير تنفيذ السطح الأخضر والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري على مستوى الأداء الحراري داخل الطابق الأخير من المبنى المدرسي لمعرفة أي من هذه الأسطح له تأثير أفضل على مستوى الراحة الحرارية في كل من فصلي الصيف والشتاء، ثم تمت دراسة التغيير في سمك طبقة التربة في السطح الأخضر وقيمة Leaf area index (LAI) في فصلي الصيف والشتاء، وتأثير الأسطح الخضراء على استهلاك طاقة المبنى في كل من فصلي الصيف والشتاء طوال العام.

2.1. المشكلة البحثية

نظراً لما يعانيه قطاع غزة من شح في توليد الطاقة الكهربائية بسبب الظروف السياسية والاقتصادية (الجزيرة، 2017م)، مما يعني عدم المقدرة على تحسين الظروف الحرارية باستخدام الأنظمة الميكانيكية للتبريد والتدفئة لتحقيق الشعور بالراحة الحرارية في المباني. وبما أن المباني المدرسية تعتبر من المباني التي يحتاج مستخدميها إلى أعلى درجات التركيز فقد برزت الحاجة إلى ضرورة تقديم أفضل المستويات من الراحة الحرارية ولكن عن طريق أنظمة صديقة للبيئة ولا تحتاج إلى استهلاك الطاقة الكهربائية مثل الأسطح. ونتيجة لما تواجهه المناطق الخضراء والزراعية من انخفاض في مساحتها حيث أنها بلغت 75.2 كم² بنسبة 20% من مساحة قطاع غزة الكلية وذلك في عام 2017م (الجهاز المركزي للإحصاء الفلسطيني، 2018م)، فإنه من الضروري إيجاد بعض الحلول التي من الممكن أن تعوض بعض الفقد من الأراضي الزراعية مثل الأسطح الخضراء أيضاً.

3.1. أسئلة البحث

يتمحور البحث حول سؤال رئيسي واحد ينبثق منه عدة أسئلة فرعية كما هو موضح:

- السؤال الرئيسي: ما هو مستوى الراحة الحرارية في فصل الصيف في مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات وما مدى تأثير الأسطح الخضراء على مستوى الراحة الحرارية؟
 - إلى أي مدى يؤثر كل من التوجيه المعماري، ومساحة الحوائط الخارجية، ووجود كاسرات الشمس على مستوى الراحة الحرارية الداخلية للغرف الصفية تحت السطح التقليدي؟
 - إلى أي مدى يؤثر كل من السطح الأخضر، والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري على مستوى الراحة الحرارية لمبنى مدرسة بيت المقدس في فصل الصيف والشتاء؟
 - إلى أي مدى يؤدي التغيير في سمك طبقة التربة في السطح الأخضر إلى التأثير على الأداء الحراري لمبنى مدرسة بيت المقدس في فصلي الصيف والشتاء؟
 - إلى أي مدى يؤدي التغيير في قيمة مؤشر مساحة الورقة LAI في السطح الأخضر إلى التأثير على الأداء الحراري لمبنى مدرسة بيت المقدس في فصلي الصيف والشتاء؟
 - إلى أي مدى تؤدي إضافة سطح أخضر إلى مبنى مدرسة بيت المقدس إلى التأثير على استهلاك الطاقة؟

4.1. أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في توجيه الأشخاص المهتمين بالأسطح الخضراء نحو التشجيع على استخدامها، حيث يوضح البحث مدى تأثير الأسطح الخضراء على الراحة الحرارية في الغرف الصفية المدروسة كما تطرق إلى معرفة مدى تأثير السطح الأخضر، والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري. ويعد هذا البحث إضافة جديدة إلى منطقة قطاع غزة والذي يعتبر بحاجة إلى مثل هذا النوع من الأبحاث، كما يعد ضرورياً لمعرفة تأثير كل من التوجيه المعماري ومساحة الحوائط الخارجية ووجود كاسرات الشمس على مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية من مدرسة بيت المقدس.

5.1. أهداف البحث

- تهدف هذه الدراسة إلى معرفة مستوى الراحة الحرارية في مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات وتأثير الأسطح الخضراء على مستوى الراحة الحرارية، ولتحقيق هذا الهدف، تم وضع بعض الأهداف الفرعية:
 - تحديد مدى تأثير كل من التوجيه المعماري، ومساحات الحوائط الخارجية، ووجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية في الغرف الصفية للمدرسة تحت السطح التقليدي.
 - تحديد مدى تأثير السطح الأخضر، والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل على مستوى الراحة الحرارية لمبنى مدرسة بيت المقدس في فصلي الصيف والشتاء.
 - تحديد مدى تأثير التغيير في سمك طبقة التربة في السطح الأخضر على الأداء الحراري لمبنى مدرسة بيت المقدس في فصلي الصيف والشتاء.
 - تحديد مدى تأثير التغيير في قيمة مؤشر مساحة الورقة LAI في السطح الأخضر على الأداء الحراري لمبنى مدرسة بيت المقدس في فصلي الصيف والشتاء.
 - تحديد مدى تأثير إضافة سطح أخضر إلى مبنى مدرسة بيت المقدس على استهلاك الطاقة.

6.1. مصادر المعلومات

استند إعداد هذا البحث على العديد من مصادر المعلومات على النحو التالي:

1.6.1. مصادر بيانات أولية

- القياس الفيزيائي
- الاستبيان
- المحاكاة بالحاسوب

2.6.1. مصادر بيانات ثانوية

- الكتب والمراجع التي تناولت بعض أو جميع أجزاء موضوع الدراسة.
- المجالات العلمية والصحف والإنترنت.
- التقارير والإحصاءات ذات الصلة من المؤسسات الحكومية وغير الحكومية.
- المؤتمرات

- ورش العمل التي عقدت حول موضوع الدراسة.

7.1. منهجية البحث

تتضمن المنهجية المرتبطة بأهداف هذه الرسالة البحث في الأدبيات، وعمل القياسات الفيزيائية والاستبيان والمحاكاة بالحاسوب، والشكل (1.1) يوضح منهجية هذا البحث.



شكل (1.1): منهجية عمل البحث

1.7.1. طبيعة ونوع البحث

يعتبر البحث من البحوث التطبيقية Applied research التي تشير إلى النشاط العلمي الذي يكون الغرض الأساسي منها تطبيق المعرفة العلمية المتوفرة، أو التوصل إلى معرفة لها قيمتها وفائدتها العملية في حل بعض المشكلات الملحة. وهذا النوع من البحوث له قيمته في حل

المشكلات الميدانية وتطوير أساليب العمل وإنتاجيته في المجالات التطبيقية كالهندسة والتعليم، والصحة، والزراعة، والصناعة.

2.7.1. مكان البحث

يقع المبنى في مدينة خانينوس في قطاع غزة التي تتميز بمناخ البحر المتوسط، المبنى عبارة عن مدرسة ثانوية للبنات تقع في منطقة مخيم خانينوس بجوار مستشفى ناصر الطبي وصورها موضحة في الشكل (2.1) و(3.1)، وتعد مدرسة حديثة البناء واقعة على أرض بمساحة 3150 م²، وتبلغ مساحة إشغال المبنى 1150 م² وتحتوي على ساحة وسطية بمساحة 320 م² وساحة خلفية بمساحة 790 م²، وبها عدد 966 طالبة، وقد تم اختيارها بسبب وجود العديد من المتغيرات المتعلقة بموضوع البحث والتي ستساعد على زيادة تخصص البحث، كما أن طالبات المدرسة في المرحلة الثانوية مما يسهل تعاونهم مع الباحثة وبالأخص في الاستبيان.



شكل (3.1): مبنى المدرسة من اتجاه آخر



شكل (2.1): مبنى مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات

3.7.1. الأفق الزمني للبحث

تعتبر هذه الدراسة من الدراسات المقطعية Cross-Section/One Shot Research وهذا النوع من الدراسات يتم فيه إجراء الاختبارات المختلفة مثل القياس الفيزيائي والاستبيان والمحاكاة المحوسبة وغيرها لمرة واحدة فقط ضمن فترة زمنية واحدة ومحددة ثم يبني تحليل المعلومات واستخلاص النتائج وإعطاء التوصيات بناءً على تلك الفترة الزمنية التي أعدت بها الرسالة، حيث تم توزيع الاستبانة وعمل القياسات في بداية الفصل الدراسي الأول في تاريخ 2019/9/26م حتى تاريخ 2019/9/29م لأن هذه الأيام تعتبر من الأيام شديدة الحرارة لأن قدرة الطلاب على التكيف مع الظروف الصعبة الحارة أقل من قدرتهم على التكيف مع الظروف الباردة.

4.7.1. أدوات جمع البيانات

أولاً: القياس الفيزيائي Physical Measurements

باستخدام أدوات قياس فيزيائية تم قياس درجات حرارة الهواء (T_A Air temperature)، ومعدل درجات حرارة الإشعاعات (T_{MRT} Mean radiant temperature) لكافة الأجسام المشعة داخل الفراغ، وعن طريق هاتين القيمتين تم حساب قيمة درجة الحرارة الناتجة (T_R Resultant temperature)، كما تم حساب قيم الرطوبة النسبية (Relative humidity RH)، وذلك لحساب المؤشرات الحرارية المعقدة المعتمدة على هذه المتغيرات، أما سرعة الهواء (Air velocity) فقد تم افتراض قيمة ثابتة لها تساوي 0.2 متر/ ثانية. كما تم تحديد الأماكن المخصصة لوضع الأجهزة وعدد الأجهزة التي سيتم استخدامها وعدد مرات القياس.

ثانياً: الاستبيان Questionnaire

الاستبانة تهدف إلى معرفة آراء الطالبات في مبنى مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات، لرصد الإحساس الحراري والراحة الحرارية حيث تم استخدام مقياس أشري ASHRAE ذو السبع درجات كما تم دراسة الخصائص الشخصية التي تتأثر بالإحساس الحراري في الدراسات الميدانية وهي عزل الملابس (Clothing insulation Clo) ومعدل الأيض (Metabolic rate Met)، وموقع الجلوس حيث لا يمكن التحكم بها في الدراسات الميدانية عن طريق الأجهزة الفيزيائية.

ثالثاً: المحاكاة بالحاسوب Computer Simulation

تم استخدام DesignBuilder_4.5.0 لعمل محاكاة للأداء الحراري للمبنى حيث تم في البداية عمل المحاكاة للمبنى تحت سطح تقليدي لقياس مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية الواقعة في الطابق الأخير من المبنى وللمقارنة بين نتيجة المحاكاة ونتيجة القياسات الفيزيائية والاستبيان، ثم تم عمل المحاكاة لكن مع إضافة سطح أخضر للمبنى و سطح تقليدي مع طبقة عازل حراري، و سطح أخضر مع طبقة عازل حراري لمعرفة تأثيرهم على مستوى الراحة الحرارية في الطابق الأخير من المبنى، ومدى تأثيرهم على استهلاك الطاقة.

8.1. الدراسات السابقة ونتائجها

1.8.1. نماذج دراسات سابقة شبيهة بموضوع البحث

1. Wen-Pin, Huang, Hwang, Ruey-Lung, Huang, and Kuo-Tsang (2014); The Effect of a green roof on thermal comfort and learning performance in a naturally ventilated classroom in a hot and humid climate, World SB journal, Barcelona, Spain.

تم في هذا البحث عمل تجربة عملية على قاعتين دراسيتين، داخل مبنى مدرسي يعتمد على التهوية الطبيعية وهو مكون من طابقين يقع في الجنوب الغربي في مدينة (تايشونج - تايوان) ذات المناخ الرطب شبه المداري، والتي تعتبر الأكثر اعتدالاً بين مدن تايوان الرئيسية، حيث تمت دراسة مستوى الارتياح الحراري ومستوى أداء الطلاب في القاعتين. واحدة من هاتين القاعتين مغطاة بسطح أخضر أما الأخرى فهي مغطاة بسطح تقليدي. تم العمل على قياس الظروف الحرارية الداخلية من أجل تحديد مدى الارتفاع في درجات الحرارة خلال شهور فصل الصيف، وكذلك، تم فحص مستوى الراحة الحرارية في كل من القاعتين الدراسيتين وقد تمت المراقبة المناخية في الفصلين الدراسيين من 7 سبتمبر إلى 25 أكتوبر 2014، خلال الأسابيع الستة الأولى من الفصل الدراسي. تم اختيار هذه الفترة من السنة بالتحديد لأنها فترة انتقال الطقس خلالها تدريجياً من الحار إلى البارد في مناخ مدينة تايوان. وقد وجد في النتائج أن السطح الأخضر عمل على تخفيض درجة الحرارة خلال هذه الفترة من العام، وبالمقابل كانت درجات الحرارة في القاعة الدراسية المغطاة بسطح تقليدي مرتفعة أكثر من القاعة المغطاة بالسطح الأخضر. مما أكد على أهمية الأسطح الخضراء في تحسين الراحة الحرارية الداخلية وأداء تعلم الطلاب في المباني المدرسية ذات التهوية الطبيعية في المناخات الحارة والرطبة.

2. Jaffal, Issa, Ouldboukhite, Salah-Eddine, Belarbi, Rafik (2012). A Comprehensive Study of the Impact of Green Roofs on Building energy Performance, Renewable Energy journal 43, 157-164, La Rochelle, France.

تناولت هذه الورقة تأثير السطح الأخضر على استهلاك الطاقة، وكذلك تقييم درجات حرارة سطح التربة ودرجة حرارة بلاطة السطح والهواء الداخلي على الأداء الحراري للفراغ المعماري. حيث تمت دراسة تدفق الحرارة عبر السطح، ومدى الطلب على التبريد والتدفئة، ومدى تأثيرها على السلوك الحراري. أجريت عملية المحاكاة المحوسبة لمنزل مخصص لأسرة واحدة تحت سطح تقليدي في إحدى الحالات وتحت سطح أخضر في الحالة الأخرى في مناخ فرنسا المعتدل. وجد أن متوسط درجات حرارة السطح في الصيف انتقل من 32°C إلى 30°C درجة مئوية بسبب

السطح الأخضر. تم تقييم تدفق الحرارة من خلال السطح أيضاً إلى داخل الفراغ في فصل الصيف، وقد لوحظ أن السطح الداخلي للمنزل يصبح أبرد في حالة السطح الأخضر مقارنة بالسطح التقليدي. أما في فصل الشتاء، أدى السطح الأخضر إلى تقليل الفقد في حرارة الأسطح خلال الأيام الباردة؛ ولكن زاد هذا الفقد خلال الأيام المشمسة في الفصل نفسه. تم تحليل تأثير السطح الأخضر على درجة حرارة الهواء الداخلي ومدى الطلب على التبريد والتدفئة. وظهر أنه في حالة السطح الأخضر، انخفضت درجة حرارة الهواء الداخلي في الصيف بمقدار 2 درجة مئوية، وانخفض الاستهلاك السنوي للطاقة بنسبة 6% حيث أن هذا التبريد يجعل الأسطح الخضراء حلاً فعالاً لتعزيز الراحة الحرارية وتقليل الطلب السنوي على التبريد، إلا أنه لا يوجد زيادة واضحة في درجة حرارة الهواء بين السطح التقليدي والسطح الأخضر في فصل الشتاء، كما لا يوجد تأثير يذكر على انخفاض الطلب السنوي على الطاقة. وأخيراً، أشارت المحاكاة إلى أن الأسطح الخضراء مفيدة حرارياً للمناخ الأوروبي الحار والمعتدل والبارد.

3. Ma, Xiaowen , Liu, Gang, Luo, Zhiqiang , Tan, Yifan , and Lei, Jiangli (2017), Comprehensive Evaluation of Energy and Environmental Performances of an Extensive Green Roof of a Building in Subtropical Climate, Journal of Architectural Engineering Technology, 6 (1), 2168-9717, Shenzhen, China.

تم إعداد هذا البحث في جنوب الصين في مناخ شبه استوائي لتقييم فوائد الأسطح الخضراء واسعة النطاق قليلة السماكة Extensive green roofs في مجال الطاقة والبيئة الحرارية الداخلية والخارجية من خلال القياسات الفيزيائية والاستبيان والمحاكاة. تم عمل التجربة في فصل الصيف ومن خلال الاختبارات الميدانية على غرفتين في الطابق العلوي لمبنى إداري متماثل كل غرفة تقع على اتجاه ويفصل بينهما ببيت الدرج؛ الغرفة الأولى سقفاً مغطى بسقف أخضر والأخرى سقفاً مغطى بسقف تقليدي، فأظهرت الاختبارات الميدانية أن السطح الأخضر له سلوكيات حرارية أفضل من حيث العزل الحراري وقدرات المقاومة الحرارية. وكشفت القياسات الميدانية واختبارات التصويت الحراري (الاستبيان) أن السطح الأخضر حقق راحة حرارية داخلية كما أنه خفض من درجات حرارة الهواء الخارجية حول السطح. وقد تم تقييم ذلك بناءً على نتائج القياسات الميدانية ودراسة المحاكاة باستخدام برنامج DOE-2 المحوسب، وقد وجد أنه يتم توفير 32.7% من الطاقة اليومية المتوسطة باستخدام السطح الأخضر للغرفة التي تمت دراستها. وأنه إذا تم تغطية 15% من المباني في المدينة بأسطح خضراء سيتم توفير 0.75% من إجمالي استهلاك الكهرباء في المدينة.

4. Dareeju. B, Meegahage. J, and Halwature. R, Indoor Thermal Performance of Green Roof in a Tropical Climate, 2016

يعتبر السطح الأخضر من الاقتراحات المستدامة للمباني في الظروف المناخية المدارية. وقد تم تحديد أدائها الحراري الداخلي تجريبياً باستخدام نماذج صغيرة الحجم. وعن طريق هذه النتائج التجريبية والأدبيات، تم تصميم مجموعة من المباني وتم عمل محاكاة محوسبة لها لتقييم الأداء الحراري الداخلي لثلاث حالات، الحالة الأولى تناقش الأسطح التقليدية ذات الميول، والحالة الثانية تمثل الألواح الخرسانية المسلحة المسطحة، والحالة الثالثة تمثل الأسطح الخضراء. وقد أثبتت النتائج أن الأسطح الخضراء توفر أداءً حراريًا داخليًا مقبولاً مقارنةً بالأسطح الأخرى. وقد وجد أن الأسطح الخضراء تعمل كعوازل حرارية، مما يؤدي إلى مزيد من الراحة الحرارية الداخلية لشاغلي المبنى، بالإضافة إلى ذلك فإن الأسطح الخضراء توفر أيضاً مقاومةً للأعاصير.

5. Dimitrijevic, Dragana, Zivkovic, Predrag, and Tomic, Mladen (2015, October). Environmental Sustainability and Thermal Comfort with Green Roof Implementation in the Building Envelope, Conference Paper, 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Niš university, Sokobanja, Serbia

تستعرض هذه الورقة بعض الدراسات الأدبية فيما يتعلق بالاستدامة البيئية والتحسين المحتمل لمستوى الراحة الحرارية في المناطق الحضرية ذات الكثافة المرتفعة باستخدام استراتيجية السطح الأخضر.

أظهرت نتائج القياس الفيزيائي التجريبية أن طبقات التربة تحمي المباني من الإشعاع الشمسي، وتتحكم في درجة الحرارة والرطوبة في البيئة الداخلية والخارجية. أما بخصوص النباتات المزروعة فإنها تمتص الطاقة المشعة لتعزيز التمثيل الضوئي البيولوجي. تم ملاحظة أنه يتم تسخين سطح الطبقة الخارجية للأسطح الخضراء خلال فترة الصيف بنسبة أقل من تسخين سطح الطبقة الخارجية للأسطح التقليدية مما يعني أن الأداء الحراري للسطح الأخضر أفضل من الأداء الحراري للأسطح المسطحة التقليدية. كما لوحظ أن الأسطح الخضراء تعمل على تخفيض درجة الحرارة في داخل المبنى، كما تعمل في الهواء الطلق على تقليل درجات الحرارة حول السطح الأخضر وعلى زيادة تدفق الهواء وتقليل تلوثه. لذا تمت ملاحظة أنه من خلال تبني ممارسات الأسطح الخضراء على مستوى المدينة فإنه يمكن ضمان منافع بيئية واجتماعية.

6. Khan, Hassan Saeed, and Asif, Muhammad (2017), Impact of Green Roof and Orientation on the Energy Performance of Buildings: A Case Study from Saudi Arabia, Sustainability Journal, Dhahran, Saudi Arabia.

في المملكة العربية السعودية تستهلك المباني السكنية لوحدها 51٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء. في الغالب وبسبب الظروف المناخية الحارة في المملكة، يعود معظم استهلاك الطاقة في المباني إلى أحمال التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC). ومن حيث الإمداد بالطاقة فإن البلاد تعتمد بالكامل على النفط والغاز لتلبية احتياجاتها من الطاقة. ولأن النمو المرتفع في الطلب على الطاقة يفرض تحديات صارمة على الطاقة والبيئة والاقتصاد للمملكة العربية السعودية، فإن هذه الورقة البحثية تهدف إلى استكشاف احتمالات توفير الطاقة في المباني من خلال تطبيق تقنية السطح الأخضر وباستخدام المحاكاة المحوسبة عن طريق برنامج ECOTECT، ودراسة فعالية الأسطح الخضراء على حالتين دراسيتين؛ الحالة الدراسية الأولى هي أحد بيوت الكليات الحديثة التي تم بناؤها في جامعة الملك فهد للبترول والمعادن والتي تقع في الظروف المناخية الحارة الرطبة في محافظة المنطقة الشرقية بالبلاد. كما تم في الحالة الدراسية الثانية دراسة مبنى مطابق تماماً إلا أنه واقع في المناخ الحار الجاف في مدينة الرياض. كما درس البحث تأثير توجيه المبنى معمارياً *the orientation* على أداء الطاقة في المباني.

استخدمت الظهران للتمثيل عن المناخ الحار الرطب أما الرياض للتمثيل للمناخ الحار الجاف. وقد كشفت نتائج برنامج ECOTECT اختلافاً بسيطاً في أداء الطاقة مع توجيه المختلف للمبنى. ومع ذلك، وجد أن إجمالي استهلاك الطاقة في مناخ الرياض أعلى بنسبة 14٪ تقريباً من المناخ في الظهران، ويرجع ذلك أساساً إلى أن الصيف أطول وأشد حرارة في الرياض. ولوحظ أن السطح الأخضر أكثر فعالية في مناخ الرياض الحار والجاف مقارنة بالظروف الحارة والرطبة في الظهران، كما تشير نتائج التحليل إلى أنه في الظروف المناخية في مدينتي الظهران والرياض يمكن أن يقلل السطح الأخضر من استهلاك الطاقة بنسبة 6.7٪ و 6.8٪ على التوالي.

7. Krebs, Lisandra Fachinello, Extensive green roofs in Porto Alegre, Brazil: Effect on indoor thermal comfort in residential buildings (2018, 7 November) Department of Architecture and Built Environment, Lund University, Alegre, Brazil

هدف هذا البحث إلى توضيح تأثير الأسطح الخضراء قليلة السماكة (*extensive green roofs*) على الراحة الحرارية الداخلية في المباني السكنية لذوي الدخل المحدود وذات التهوية الطبيعية، في مدينة بورتو أليغري شبه الاستوائية البرازيلية. وقد تم ذلك من خلال دراسة

تأثير مجموعة من المتغيرات، لفهم أفضل مزيج من العناصر لتصميم سطح أخضر مستجيب للمناخ. ومن أجل خلق نتائج أكثر واقعية، تم إنشاء سيناريوهات مختلفة للأسطح الخضراء والعناصر الأخرى، لفهم الكيفية التي تؤثر بها الأسطح الخضراء قليلة السماكة على الراحة الحرارية الداخلية وعلى المناخ في الهواء الطلق عن طريق الحسابات من خلال المحاكاة المحوسبة. حيث تم إجراء عمليات المحاكاة باستخدام برنامج Energy Plus لدراسة الراحة الحرارية الداخلية وبرنامج ENVI-met لدراسة المناخ المحلي. تم تصميم المنازل المدروسة في المناطق الحضرية والضواحي في أي مدينة برازيلية وقد تم استخدام طراز الراحة الحرارية المتكيف في ASHRAE Standard 55. أظهر البحث أن الأسطح الخضراء تزيد من مستوى الراحة الحرارية الداخلية في المنازل المكونة من طابق واحد طوال العام حيث أن أفضل مزيج من الخصائص للسطح الأخضر في هذه الفترة هو النباتات منخفضة الكثافة مع طبقة تربة بسمك (150 مم). أما بالنسبة لموسم الشتاء، فإن العزل الحراري الإضافي في غلاف المبنى سيحسن من مستوى الراحة الحرارية الداخلية. وبما أن استخدام الأسطح الخضراء مفيد لمشاريع الإسكان ذات الدخل المنخفض، فإن هذا العمل يساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة، وخاصة الهدف: "جعل المدن والمستوطنات البشرية شاملة وآمنة ومرنة ومستدامة".

8. Rakotondramiarana, Hery, Ranaivoarisoa, Tojo, and Morau, Dominique (2015). Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar, Buildings JOURNAL, 5 (2), 497-520, Antananarivo, Madagasca

تم عمل هذه الدراسة في مدينة أنتاناناريفو Antananarivo في مدغشقر والتي تتميز بمناخها المداري الحار الرطب، حيث تمت المقارنة بين الأداء الحراري للسطح الأخضر مع الأداء الحراري للسقف التقليدي باستخدام معادلة حرارة الهواء الداخلي ومعادلة توازن الجدران الحرارية. الدراسة أظهرت أن الأسطح الخضراء تعمل على حماية السطح تحت درجات الحرارة العالية جداً والتقلبات الشديدة في درجات الحرارة حيث أن الطبقة الأخيرة من السطح الإنشائي وصلت إلى 28°C عند استخدام الأسطح الخضراء بعد أن كانت 30 °C. تم التحقق من تأثير الأسطح الخضراء على درجة حرارة الهواء الداخلي وعلى استهلاك الطاقة، حيث لوحظ أن زيادة النباتات المزروعة LAI تعمل على تقليل درجة حرارة الهواء الداخلية العالية كما تعمل على تحسين الراحة الحرارية الداخلية خلال أيام الصيف، إلا أنها لا تملك تأثيراً على زيادة درجة حرارة الهواء خلال أيام الشتاء. أما بالنسبة لزيادة سماكة التربة فإنها تعمل على زيادة درجة الحرارة الداخلية خلال

أيام فصل الشتاء والصيف. كما وجد أن الأسطح الخضراء تملك غالباً تأثيراً حرارياً ضئيلاً على المباني المعزولة حرارياً بالأساس، أما تأثيرها القوي فإنه يكون على المباني غير المعزولة حرارياً.

9. Mahmoud, Abubakar, Asif, Muhammad, Hassanain, Mohammad, Babsail, Mohammad, and Sanni-Anibire, Muizz (2017) Energy and Economic Evaluation of Green Roofs for Residential Buildings in Hot-Humid Climates, Building Journal, Dhahran, Saudi Arabia

تبحث هذه الورقة الأداء البيئي والجدوى الاقتصادية لتكنولوجيا السطح الأخضر في المناخ الحار الرطب في المملكة العربية السعودية من خلال النظر في مبنى سكني حديث من أربع غرف نوم في مدينة الظهران كحالة دراسية. تم عمل نموذج محاكاة للسطح الأخضر للمبنى المختار بمساعدة برنامج Design Builder. في البداية تم التحقق من صحة نموذج الحالة الأساسي بمساعدة بيانات تم قياسها لمدة 3 أشهر حول استهلاك الطاقة تحت سطح تقليدي. وقد أظهرت النتائج أن استهلاك الطاقة للنموذج هو 169 كيلو وات ساعة/م² في حين أن استهلاك الطاقة بعد تطبيق سقف أخضر على السطح بأكمله هو 110 كيلو وات ساعة/م². وقد تبين أن توفير الطاقة يتم ضمن حدود 24% إلى 35%.

10. MUKHERJEE, SANANDA, LA ROCHE, PABLO, KONIS, KYLE, and HO CHOI, JOON (2013 12 September), Thermal Performance of Green Roofs: A Parametric Study through Energy Modelling in Different Climates, 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany.

تبحث هذه الورقة في مقدرة الأسطح الخضراء في تقليل استهلاك المبنى للطاقة وتركز على كيفية تأثير المتغيرات المختلفة لتركيب الأسطح الخضراء على الأداء الحراري للمبنى في مناخات مختلفة. تم اختيار نماذج مطبق عليها سطح أخضر وتم في البداية قياس بياناتها فيزيائياً، ثم تم تصميم نموذج للسقف الأخضر في برنامج Design Builder للمحاكاة البيئية المحوسبة وتم التحقق من صحة بيانات التجربة الفيزيائية الميدانية. بعد ذلك تم تنفيذ الدراسة البارامترية للأداء الحراري لمختلف مجموعات الأسطح الخضراء، عن طريق تغيير متغير واحد للسطح الأخضر لكل عملية محاكاة من أجل فهم تأثيره على أحمال الطاقة في المبنى. وتشمل هذه المتغيرات سمك العازل الحراري، وقيمة مؤشر مساحة الورقة LAI وعمق التربة، وقد وجد في مدينة فينكس الإيطالية ذات المناخ الحار الجاف أن السطح الأخضر بشكل عام عمل على تقليل أحمال التبريد في الأشهر الحارة، كما عمل على تقليلها في الأشهر الباردة ولكن بنسبة أقل، كما

وجد أن زيادة طبقة العازل تعمل على زيادة أحمال التبريد، ولكن في المقابل تعمل على تقليل أحمال التدفئة، أما زيادة قيمة LAI فإنها تعمل على تقليل أحمال التبريد وزيادة أحمال التدفئة، وبالنسبة لزيادة عمق التربة فقد عمل على زيادة أحمال التبريد وتقليل أحمال التدفئة. بالنسبة لمدينة لوس أنجلوس الأمريكية ذات المناخ الساحلي الدافئ فقد عمل السطح الأخضر على تقليل أحمال التبريد في الأشهر الحارة والباردة إلا أن تأثيرها الأقوى كان في الأسطح الحارة من العام، كما أن زيادة كل من سمك العازل وقيمة LAI وسمك التربة عملت على تقليل أحمال التدفئة والتبريد. وبالنسبة لمدينة شيكاغو الأمريكية ذات المناخ البارد الرطب، فقد عمل السطح الأخضر بشكل عام على تقليل أحمال التبريد والتدفئة طوال العام وبنفس المستوى، وبالنسبة لنتائج زيادة طبقة العازل الحراري فإنها زادت أحمال التبريد في فصل الصيف إلا أنها قللت أحمال التدفئة في فصل الشتاء، وزيادة قيمة LAI عملت على تقليل أحمال التبريد في الصيف في المقابل زيادة أحمال التدفئة في الشتاء، وبالنسبة لزيادة سمك التربة فقد عملت على زيادة أحمال التبريد في الصيف وتقليل أحمال التدفئة في الشتاء. تمت مقارنة مقاييس الأداء لهذه المتغيرات مع بعضها البعض لتحديد الخفض في استهلاك الطاقة، إن وجد. ومن ثم تم تنظيم نتائج المحاكاة وعرضها أخيراً كأداة لدعم القرار من شأنها تسهيل اعتماد تقنيات السطح الأخضر وتمكين حساب منافع السطح الأخضر في رموز الطاقة ومعايير كفاءة الطاقة وأنظمة التصنيف مثل LEED.

11.Ferreira, Marcelo and Silva, Rocha (2014, May), Green roof energy simulation, DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisbon University, Lisbon, Portugal

تعتبر الأسطح الخضراء وسيلة أساسية لتكييف المدن مع الظروف المناخية القاسية وتقليل استخدام الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. تستكشف هذه الدراسة تأثير الأسطح الخضراء على تحسين الأداء البيئي باستخدام برنامج محاكاة الأداء البيئي Energy Plus. تم استخدام سطح أخضر ثم تم تطويره بحيث يسمح باستكشاف خيارات تصميم السطح الأخضر بما في ذلك عمق التربة وخصائص الغطاء النباتي مثل نوع النبات وطولها ومؤشر مساحة الورقة LAI. تم اختبار النموذج بنجاح عن طريق ثلاث حالات لأسطح خضراء في مدينة لشبونة في البرتغال ذات المناخ المتوسط شبه الاستوائي الدافئ إلى الساخن صيفاً والمائل إلى البرودة شتاءً. أجريت عمليات المحاكاة للثلاث أشكال من الأسطح الخضراء (قليلة السماكة وشبه الكثيفة والكثيفة) لدراسات موجودة في لشبونة، مع مستويات مختلفة من عزل الأسطح. أظهرت النتائج أن مستويات الري مهمة جداً في تقليل الطلب على طاقة التبريد، كما كشفت النتائج أن الأسطح الخضراء شبه الكثيفة والكثيفة يمكن أن تقلل من استهلاك الطاقة عند مقارنتها بالسطح التقليدي مع طبقة عازل

حراري صيفاً وشتاءً، إلا أن الأسطح الخضراء قليلة السماكة غير مفيدة للسطح المعزول حرارياً ولكنها مفيدة في حال الأسطح غير المعزولة، أي أنها تمثل حل للمباني القديمة المرغوب في تجديدها. كما تم استنتاج أن ارتفاع قيمة LAI وزيادة ارتفاع النباتات هي الحل لتحقيق أقصى قدر من توفير الطاقة في موسم التبريد (أي الأشهر الحارة)، أما ارتفاع عمق التربة فهو الحل لتقليل استهلاك الطاقة في موسم التدفئة (أي الأشهر الباردة).

12.Liu, Kyle, Baskaran, Bas (2005, Jan), Thermal performance of extensive green roofs in cold climates, National Research Council Canada.

السقف الأخضر هو نظام تسقيف متخصص يدعم نمو النباتات على أسطح المنازل. تملك هذه التكنولوجيا شعبية كبيرة في أمريكا الشمالية كواحدة من خيارات التصميم المستدامة، حيث أنها توفر فوائد متعددة للمناطق الحضرية مثل تقليل احتياجات التدفئة/ التبريد للمبنى والتخفيف من ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية مع التقليل من جريان مياه الأمطار في المنطقة. في هذه الدراسة، تمت مراقبة أداء اثنين من الأسطح الخضراء واسعة النطاق Extensive Green Roofs الواقعة في مدينة تورنتو، أونتاريو، كندا والتي تتمتع بمناخ قاري رطب حيث أن الصيف فيها دافئ ورطب، أما الشتاء فهو بارد. تتنوع الأسطح الخضراء في مكونات النظام وأنواع وأعماق وسط النمو والتغطية النباتية وأنواع أنظمة التسقيف. تم تجهيز الأسطح الخضراء بأجهزة استشعار خاصة بالقياس الفيزيائي لتوفير بيانات الأداء الحراري لمدة عام كامل، أظهرت الملاحظات من السنة الأولى للمراقبة أن الأسطح الخضراء قللت من تدفق الحرارة عبر الأسطح (أي خروج الحرارة أو البرودة من المبنى)، وبالتالي خفضت الطلب على طاقة التدفئة / التبريد، بغض النظر عن أنظمة الأسقف التي تم تركيب الأسطح الخضراء عليها. على الرغم من أن تغطية النبات كانت منخفضة نسبياً في السنة الأولى، إلا أن الأسطح الخضراء قللت من تدفق الحرارة السنوي عبر الأسطح وكانت أكثر فاعلية في الصيف منها في الشتاء. تفاوتت كفاءة الطاقة بشكل طفيف مع تزايد عمق التربة للسطح الأخضر.

13.Jim, C. Y, (2014, April), Passive warming of indoor space induced by tropical green roof in winter, Article in Energy 68:272–282

نادراً ما يتم التحقيق في الأداء الحرارية للطاقة للأسطح الخضراء في الشتاء. ولكن مع ضعف العزل الحراري للمباني والافتقار إلى التدفئة الاصطناعية، يمكن أن تصبح المساحات الداخلية في الشتاء في المناطق شبه الاستوائية باردة بشكل غير مريح وله العديد من الآثار غير الصحية لكبار السن والضعفاء. في هذه الدراسة تم عمل تجربة لسقوف أخضرين واسع النطاق

Extensive Green Roofs في مبنى سكني في هونغ كونغ ذات المناخ الرطب وشبه الاستوائية. أحد هذين السطحين تمت زراعته بقطع الفول السوداني المعمرة عريضة الأوراق. تم تثبيت مستشعرات درجة الحرارة (أجهزة القياس) طوال العام وقد لوحظ أن السطح الأخضر يولد دفئاً أكثر بالمقارنة بالسطح التقليدي في فصل الشتاء الأكثر مما يدل على أن الأسطح الخضراء الواسعة النطاق في المناطق شبه الاستوائية توفر الاحترار السلبي للمساحات الداخلية في فصل الشتاء، مع ما يترتب على ذلك من آثار على تقليل استهلاك الطاقة الخاصة بالتدفئة الداخلية.

14.Maiolo, Mario, Pirouz, Behrouz, Bruno, Roberto, Palermo, Stefania Anna, Arcuri, Natale, Arcuri, (2020, Jan), The Role of the Extensive Green Roofs on Decreasing Building Energy Consumption in the Mediterranean Climate, Sustainability, 12(1), 359

نسبة المباني في الاستهلاك العالمي للطاقة هي 40٪، ولأن السطح يعتبر نقطة مهمة لتحسين درجة الحرارة الداخلية، خاصة في الطابقين الأخير وقبل الأخير. فقد أشارت الدراسات إلى أنه يمكن تطبيق الأسطح الخضراء على درجة حرارة معتدلة للتأثير على درجة الحرارة الداخلية في الصيف والشتاء. ومع ذلك، فإن أداء الأسطح الخضراء يعتمد على عدة عوامل مثل المناخ والري ومواد الطبقة والسماكة. في هذا السياق، يتناول البحث الحالي تحليلاً تجريبياً شاملاً للتأثيرات الحرارية المختلفة للأسطح الخضراء في الصيف والشتاء في مناخ البحر الأبيض المتوسط. تم إجراء القياسات في سنة واحدة على ثلاثة أنواع مختلفة من الأسطح الخضراء بسماكات وطبقات مختلفة وبطبقة عازلة وبدونها. حدد التحليل الفترة المحتملة التي قد يلزم فيها التبريد أو التدفئة الداخلية مع وبدون أسطح خضراء، أظهرت نتائج التجربة التأثير الإيجابي للأسطح الخضراء في تعديل درجة حرارة السطح والتقليل من تقلبات درجات الحرارة، والذي كان ملحوظاً في الصيف بشكل كبير وغير كبير جداً في الشتاء. كما أثبتت النتائج أن السطح الأخضر بدون عازل حراري هو الأنسب لمناخ البحر الأبيض المتوسط.

15.Cirrincone, Laura, La Gennusa, Maria, Peri, Giorgia, Rizzo, Gianfranco, Scaccianoce, Gianluca, Sorrentino, Giancarlo, and Aprile, Simona, (2020), Green Roofs as Effective Tools for Improving the Indoor Comfort Levels of Buildings—An Application to a Case Study in Sicily, applied science, Italy, 10(893)

هناك سعي عالمي لتحقيق كفاءة أفضل للطاقة في جميع الأنشطة البشرية وخاصة في قطاع البناء الذي يلعب دوراً مهماً في إنتاج الطاقة حيث ينتج نحو 40% من الطاقة مقارنة مع

غيره من القطاعات، بالإضافة إلى إطلاقه المواد الملوثة في الغلاف الجوي، ولهذا أصبحت الأسطح الخضراء ضرورية من أجل قدرتها على تقليل استهلاك الطاقة وزيادة مستوى الراحة الحرارية الداخلية في المباني، يدرس هذا البحث تأثير الأسطح الخضراء على مبنى موجود في مدينة صقلية في إيطاليا، وقد وجد في النتائج أن السطح الأخضر له نتيجة إيجابية على تحسين مستوى الراحة الحرارية وتقليل درجات الحرارة في فصل الصيف، إلا أن له تأثير سلبي في الشتاء وفي الفترات الانتقالية.

2.8.1. نتائج الدراسات السابقة

لوحظ أن الأسطح الخضراء زادت من مستوى الراحة الحرارية في الأشهر الحارة في جميع المناطق المناخية التي تم التطرق إليها في الدراسات السابقة مما يعطي مؤشراً بأن الأسطح الخضراء بشكل عام تعمل على زيادة مستوى الراحة الحرارية مقارنة بالسطح التقليدي خلال الأشهر الحارة، وقد تمت ملاحظة ذلك في المناخ الرطب شبه الإستوائي، والمناخ المعتدل، والمناخ الحار الجاف، والمناخ الحار الرطب، والمناخ المداري الحار الرطب، والمناخ الساحلي الدافئ، والمناخ البارد الرطب، والمناخ الدافئ صيفاً والمائل للبرودة شتاءً، والمناخ الدافئ والرطب في الصيف والبارد في الشتاء، ومناخ منطقة البحر الأبيض المتوسط. كما لوحظ أن الأسطح الخضراء تعمل على تدفئة الفراغات الواقعة تحتها في بعض المناطق المناخية في الفصول الباردة من السنة حيث تمت ملاحظة ذلك في المناخ شبه الإستوائي، والمناخ الحار الجاف، والمناخ الساحلي الدافئ، والمناخ البارد الرطب، والمناخ الدافئ صيفاً والمائل للبرودة شتاءً، والمناخ الدافئ والرطب في الصيف والبارد في الشتاء، ومناخ منطقة البحر الأبيض المتوسط، والمناخ الرطب وشبه الإستوائي، إلا أنه لوحظ في معظم الحالات أن تأثير السطح الأخضر يعتبر أوضح في الأشهر الحارة مقارنة بالأشهر الباردة، ولوحظ في بعض الحالات أن السطح الأخضر قد يعمل على زيادة برودة المبنى في فصل الشتاء وبالتالي تقليل مستوى الراحة الحرارية كما حصل في المبنى الواقع في مدينة صقلية الإيطالية، كما لوحظ أن تغير قيم LAI وسماكة التربة يختلف تأثيره على الأداء الحراري إيجاباً أو سلباً على حسب المنطقة المناخية، ويوضح الجدول (1.1) تأثير قيمة LAI وقيمة سماكة التربة على مناطق مناخية مختلفة.

جدول (1.1) تأثير قيم LAI وسماكة التربة على المناطق المناخية المختلفة

أداة القياس	المنطقة المناخية	الفترة	زيادة LAI	زيادة سمك التربة
Design Builder	حار جاف (فينكس)	الصيف	إيجابي	سلبى
		الشتاء	سلبى	إيجابي
Design Builder	ساحلي دافئ (لوس انجلوس)	الصيف	إيجابي	إيجابي
		الشتاء	إيجابي	إيجابي
Design Builder	بارد رطب (شيكاغو)	الصيف	إيجابي	سلبى
		الشتاء	سلبى	إيجابي
Energy Plus	دافئ صيفاً بارد شتاءً (لشبونة)	الصيف	إيجابي	سلبى
		الشتاء	سلبى	إيجابي
قياس فيزيائي	مداري حار رطب (أنتاناناريفو)	الصيف	-	-
		الشتاء	سلبى	إيجابي

9.1. هيكليّة البحث

يتكون البحث من عدة فصول حيث يتطرق في البداية للفصول الأدبية ثم للفصول العملية كما ويوضح الشكل (4.1) الهيكلية العامة للبحث.

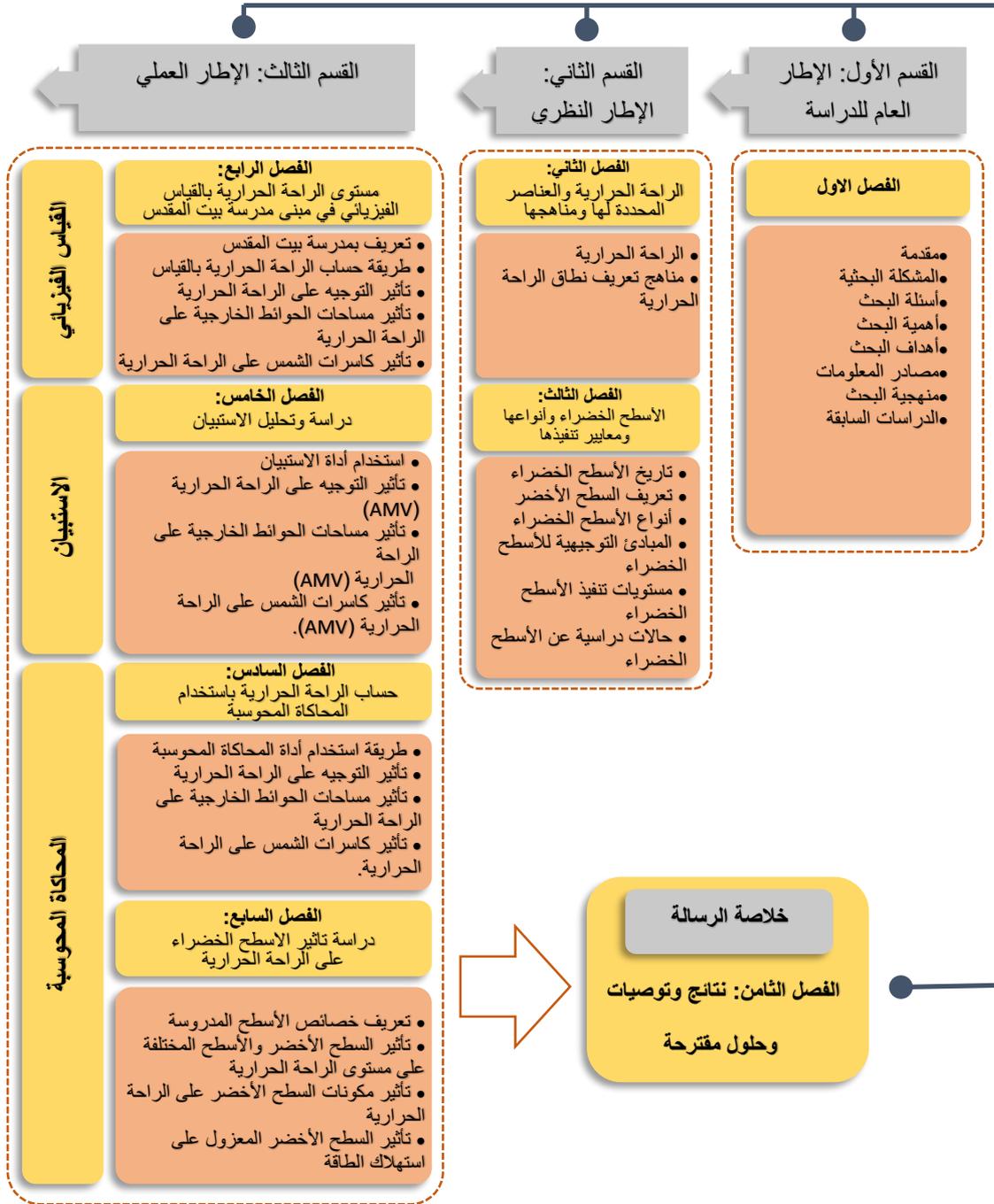
- **الفصل الأول:** يتحدث الفصل عن التمهيد للبحث حيث يتناول في البداية المشكلة البحثية ثم أسئلة البحث الرئيسية والأسئلة الفرعية، ثم يناقش أهمية البحث وأهدافه، كما ينتقل للحديث عن مصادر جمع المعلومات والمنهجية والدراسات السابقة وينتهي بالهيكلية.
- **الفصل الثاني:** الفصل الثاني يتحدث عن الراحة الحرارية والعناصر المحددة لها ومناهجها حيث تم من خلاله تعريف مفهوم الراحة الحرارية واللاتزان الحراري، كما تم شرح العناصر المؤثرة على الراحة الحرارية وهي العناصر البيئية مثل درجة حرارة الهواء Air temperature ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات Mean radiant temperature وقيمة الرطوبة النسبية Relative humidity وسرعة الهواء Air velocity، والعناصر الشخصية مثل مستوى النشاط والحركة Metabolic rate ودرجة عزل الملابس Clothing Insulation، كما وضح الفصل أن أكثر العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية هو درجة حرارة الهواء Air temperature، ثم تناول الفصل موضوع مؤشر الإحساس الحراري حيث تحدث عن مفهومه ومقاييسه. ومن ثم تناول الفصل مناهج تحديد الإحساس الحراري ومنها المنهج الأول وهو المنهج العقلاني Rational approach أو منهج الاتزان الحراري والذي يحسب قيم (PMV) المرتبطة بقيم PPD والمنهج الآخر وهو المنهج التكيفي Adaptive approach والذي تعبر عنه قيم

- (AMV) والتحكم الشخصي المرتبط بالسؤال المباشر لكل شخص عن شعوره الحراري والذي ينتج عنه قيم أقل من قيم المنهج العقلاني كما وجد في معظم الأبحاث.
- **الفصل الثالث:** الفصل الثالث يتحدث عن الأسطح الخضراء والذي يشمل تاريخها وتعريفها وأنواعها الثلاثة والمبادئ التوجيهية لتنفيذها مثل شروطها ومكوناتها، كما يتحدث عن مستويات تنفيذها وبعض الحالات الدراسية عنها.
 - **الفصل الرابع:** يتناول الفصل الرابع الأداة الأولى للقياس والتي استخدمت لمعرفة مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصيفية وهي أداة القياس الفيزيائي والتي تم من خلالها تحديد قيم درجات الحرارة الناتجة T_R وقيم الرطوبة النسبية RH وقيم PMV و PPD، وذلك لتحديد تأثير كل من التوجيهات المعمارية المختلفة، ومساحات الحوائط الخارجية المختلفة، ووجود كاسرات الشمس على مستوى الراحة الحرارية للغرف الصيفية الواقعة في الطابق الأخير من مبنى المدرسة.
 - **الفصل الخامس:** يتناول الفصل الخامس الأداة الثانية في تحديد مستوى الراحة الحرارية من مبنى المدرسة وهي أداة الاستبيان حيث تم تحليل أسئلة الاستبيان والحصول على المعلومات المهمة منه ومعرفة علاقة الارتباط التي تربط بين سؤال الإحساس الحراري مع باقي أسئلة الاستبيان، كما تم الحصول على قيم AMV اللازمة لتحديد تأثير كل من التوجيه المعماري، ومساحة الحوائط الخارجية، ووجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية للغرف الصيفية ومقارنتها مع قيم PMV الناتجة من القياس الفيزيائي.
 - **الفصل السادس:** يتناول الفصل السادس النمذجة المحوسبة للمبنى باستخدام برنامج Design Builder وذلك للحصول على قيم PMV اللازمة لتحديد تأثير كل من التوجيه المعماري ومساحة الحوائط الخارجية ووجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية للغرف الصيفية ومقارنتها بقيم PMV في الدراسة الأولى باستخدام القياس الفيزيائي، وقيم AMV في التجربة الثانية الناتجة عن الاستبيان .
 - **الفصل السابع:** يتناول الفصل السابع النمذجة المحوسبة لنفس المبنى بعد أن تمت إضافة السطح الأخضر والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري، على الطابق الأخير من مبنى المدرسة وتمت المقارنة بين نتائجهم ومقارنتها بالسطح التقليدي لمعرفة الأنسب من بينهم، ثم ناقش الفصل تأثير تغيير سمك طبقة التربة، وقيمة LAI على مستوى الراحة الحرارية الداخلية للغرف الصيفية في كل من فصلي

الصيف والشتاء، وفي نهاية الفصل تمت مناقشة تأثير الأسطح المختلفة على استهلاك الطاقة في المبنى.

- **الفصل الثامن:** يعرض الفصل الثامن نتائج الدراسة والتوصيات والحلول المقترحة الموجه إلى أصحاب القرار.

هيكلية الدراسة



شكل (4.1): الهيكلية العامة للدراسة

الفصل الثاني

الراحة الحرارية والعناصر المحددة لها ومناهاجها

الفصل الثاني

الراحة الحرارية والعناصر المحددة لها ومناهجها

1.2. مقدمة

تعتبر الراحة الحرارية جانباً مهماً في عملية تصميم المبنى حيث يقضي الإنسان العصري معظم يومه في الداخل. تعرف الراحة الحرارية بأنها "الحالة الذهنية التي تعبر عن الرضا عن البيئة الحرارية" (ASHRAE, 2017)؛ يمكن فهم التعريف بسرعة، ولكن من الصعب قياسه مادياً حيث يتم غالباً الاعتماد على كل من القياسات الفيزيائية والفسولوجية، وكذلك على علم النفس. كما يمكن وصف البيئة الحرارية بأنها البيئة التي تؤثر على التبادل الحراري بين جسم الإنسان والبيئة المحيطة. لا تعد البحوث المتعلقة بالراحة الحرارية مجالاً ثابتاً، فقد تم توسيع نطاق التكيف في البيئة العمرانية وتم الوصول إلى أكثر من نموذج وطريقة لتقييمها. كان من أبرز ما تم بحثه النموذج الأول المعروف بنموذج (PMV) Predicted Mean Vote (النظام التنبؤي لمتوسط الأصوات) من قبل Fanger في أواخر الستينيات، والذي يستخدم لتقييم الراحة الحرارية الداخلية ويشكل أساس معايير الراحة الحرارية الحالية (يامين، 2016م، 10).

وقد أدت التطورات في تكنولوجيا الكمبيوتر إلى الوصول إلى نموذج آخر لتقييم الراحة الحرارية وإلى زيادة وتحسين القدرة على تقييم ونمذجة الظروف المادية والفسولوجية المعقدة. وهذا يعني عمل نمذجة لمحاكاة أداء المباني المعقدة وذلك في مرحلة التصميم من أجل التنبؤ براحة شاغليها في المستقبل ويعتبر هذا النموذج أساسياً في عملية قياس الراحة الحرارية لأنه قادر على إعطاء نتائج دون أن يكون المبنى قائماً على أرض الواقع (WU, 2015, 12)، كما يوجد نموذج يركز على التطبيق العملي ورضا المستخدمين وهو المسمى بالفرضية التكيفية، والتي يرتبط فيها مفهوم الراحة الحرارية بظروف الطقس الخارجية، حيث يعتمد النموذج على الفرص التكيفية لمستخدمي الفراغ ويرتبط بتوافر خيارات التحكم الشخصي في المناخ الداخلي بالإضافة إلى علم النفس والأداء، كما يتناول بإيجاز الجوانب النفسية والدلالية للراحة الحرارية، وتأثير البيئات الداخلية الجيدة على تحسين الإنتاجية وأداء المهام. (El-Zafarany, 2000, 45).

وجميع هذه النماذج المعدة لدراسة وتقييم الراحة الحرارية تركز على مجموعة من العوامل الأساسية التي تتحكم بمستوى الراحة الحرارية مثل: درجة حرارة الهواء T_A والرطوبة النسبية RH وسرعة الهواء V_A ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات MRT، كما وتعتمد على العوامل الشخصية مثل مستوى عزل الملابس Clo ومستوى نشاط الشخص Met.

2.2. الراحة الحرارية

تتنوع الأمور المتعلقة بالراحة الحرارية فهناك مفهوم الراحة الحرارية وهو الأساس لفهم الراحة الحرارية، كما يوجد الاتزان الحراري الذي من المهم توفره ليحسّر المستخدم بالراحة الحرارية بحيث تكون درجة الحرارة المحيطة به قريبة إلى حد كبير مع درجة حرارة جسمه، كما يجب الإشارة إلى جودة الهواء وكمية ثاني أكسيد الكربون الموجودة في البيئة المحيطة بالشخص لأنها تؤثر على راحة المستخدم الحرارية كما أن عدم نقاء الهواء يعمل على نقل وانتشار الأمراض.

1.2.2. مفهوم الراحة الحرارية

تعد الراحة الحرارية مسألةً نسبيّةً تختلف باختلاف الشخص وباختلاف الوقت، فإحساس الشخص بأن الحالة المناخية مريحة في بعض الأوقات قد لا يكون نفسه بالنسبة إلى الشخص نفسه في وقت آخر، ويرجع ذلك إلى تعدد المتغيرات التي تؤثر على الإحساس بالراحة الحرارية ومنها: النواحي البيئية والنواحي الشخصية والنواحي الصحية، والجنس، والملبس والتركيبة الفسيولوجية للشخص، والعمر، والمحددات الاجتماعية والخلفية الفكرية. وبسبب كثرة المتغيرات التي تؤثر على الإحساس بالراحة الحرارية لا يمكن إعطاء تعريف محدد ودقيق للراحة الحرارية وإنما توجد عدة تعريفات نذكر منها ما يلي: تعرف الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد والتكييف (ASHRAE) American Society of Heating, Refrigerating And Air Conditioning Engineers الراحة الحرارية بأنها حالة من العقل يعبر فيها الشخص عن ارتياحه للبيئة الحرارية (ASHRAE, 2017). وهذا التعريف يركز على أهمية الحالة النفسية للشخص في تقييم البيئة الحرارية، كما يذكر فانجر (Fanger) في كتابه (Thermal Comfort) عام 1972م أن "الارتياح الحراري هو حالة العقل التي تعبر عن الرضى والقبول عن البيئة الحرارية المحيطة وهذا يعني أن لا يتمنى الإنسان في ظل تلك الظروف لا بيئةً أبرد ولا أكثر دفئاً من تلك التي يتواجد فيها، بينما عرفها واطسون بأنها: "حالة عقلية يشعّر معها الإنسان بالرضى عن الظروف البيئية المحيطة به وهي تختلف من شخص لآخر" (El-Zafarany, 2000, 48).

2.2.2. Heat Balance الاتزان الحراري

إن طبيعة علاقة الإنسان بالبيئة في الظروف العادية قائمة على أساس المحافظة على درجة حرارة الجسم في حدود 37°م من خلال حدوث عملية الاتزان في معدلات تبادل الطاقة بين الطرفين وبالتالي ينعم بظروف مناخية مريحة. حيث تعتبر عملية التوازن الحراري لجسم الإنسان من أهم الأسباب التي تؤدي إلى راحة الإنسان أو عدم راحته، فالاتزان داخل جسم الإنسان مرتبط كثيراً بالجو الخارجي المحيط بالإنسان، فإذا كانت درجة حرارة الجو الخارجي عاليةً فإنها تؤثر تأثيراً مباشراً على رفع درجة حرارة الجسم أكثر مما كان عليه والعكس كذلك، أما إذا كانت درجة حرارة الجو الخارجي منخفضة فإنها تؤدي إلى خفض درجة حرارة الجسم أكثر مما كان عليه، ويؤدي ذلك إلى عدم التوازن الحراري لجسم الإنسان وبالتالي إلى عدم الراحة الحرارية وحدث الانزعاج (ثابت، 2011، 133).

وللحفاظ على الدرجة المثلى فإن الجسم يقوم بأربع عمليات للكسب الحراري وهي: الإشعاع، الحمل، التوصيل والتسخين العضوي، كما يقوم بأربع عمليات لتبديد الحرارة الزائدة (الفقد الحراري) وهي: الإشعاع، الحمل، التوصيل، والتبخير، وعندما تتساوى عمليات الكسب مع الفقد الحراري فإن الجسم يصبح متعادلاً *Thermoneutral Zone*، ومن ثم يشعر الإنسان براحة حرارية مثلى (Djongyang, 2010, 2634)

3.2.2. جودة الهواء

على مر التاريخ، أدرك الإنسان أن الهواء الملوث يمكن أن يكون ضاراً بالصحة، كانت الفكرة العامة أن التنفس هو الوسيلة الأساسية لتبريد القلب. ولكن كان من المعروف أيضاً أن الهواء المنتهي الصلاحية غير صالح للتنفس، وحتى يتم تحديثه تم العمل على فهم عملية التمثيل الغذائي البشري، بما في ذلك العلاقة الكمية بين استهلاك الأوكسجين وإطلاق ثاني أكسيد الكربون (CO₂). خلال نصف القرن التالي تم اعتماد معلومة أن تركيز ثاني أكسيد الكربون يعتبر مقياساً لما إذا كان الهواء طازجاً أم لا. وفي عام 1853م، أشار ماكس ج. بيتنكوفر (1818-1901) - أول أستاذ في النظافة في ميونيخ - إلى أن الإحساسات غير السارة بالهواء لم تكن فقط بسبب الدفء أو الرطوبة أو نقص ثاني أكسيد الكربون أو نقص الأوكسجين، ولكن بسبب وجود كميات ضئيلة من المواد العضوية في "الزفير" الخارج من الرئتين. وذكر أن الهواء الداخلي "السيئ" لا يؤدي بالضرورة إلى إصابة الأشخاص بالمرض ولكن هذا الهواء يضعف المقاومة البشرية ضد العوامل المسببة للأمراض. من وجهة نظر Pettenkofer، لم يكن غاز ثاني أكسيد الكربون مهماً ولكنه كان مؤشراً على كمية المواد الضارة الأخرى التي ينتجها الإنسان. صرح بيتنكوفر أن

الهواء لن يكون مناسبًا للتنفس إذا كان تركيز ثاني أكسيد الكربون CO₂ أعلى من 1000 جزء في المليون. تم نشر أول تقدير للحد الأدنى المطلوب من الهواء في عام 1836م من قبل مهندس تعدين يدعى توماس تريديغولد. حيث حسب أن شخصًا واحدًا يحتاج إلى 2 لتر في الهواء النقي للتنفس. كرس ليونارد هيل (1866-1952) حياته وعمله على البحث لتحسين الصحة البدنية للناس. لم يجد أي دليل على أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون العالية يمكن أن تسبب عدم ارتياح، وبالتالي، فقد خلص إلى أن الحرارة والرطوبة (الناجمة عن الانبعاثات الجسدية) هما المصدران الرئيسيان لعدم الارتياح في الغرف ذات التهوية السيئة. (CENTNEROVÁ, 2018, 16)

4.2.2. العناصر البيئية المحددة للراحة الحرارية

تتكون العناصر المحددة للراحة الحرارية من جزئين الجزء الأول هو العناصر البيئية والذي يحتوي على درجة حرارة الهواء TA والرطوبة النسبية RH وسرعة الهواء VA ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات TMRT، أما الجزء الثاني فهو العناصر البشرية والذي يحتوي على قيمة عزل الملابس Clo ومستوى النشاط الذي يمارسه المستخدم Met.

تعتبر درجة حرارة الهواء TA ذات التأثير الأقوى على الراحة الحرارية وبالنسبة لمتوسط درجات حرارة الإشعاعات TMRT فهي التي تدرس متوسط جميع درجات حرارة الأسطح المحيطة بالمستخدم والتي تصل للمستخدم على شكل إشعاعات، أما عن مستوى الرطوبة النسبية فهو يتسبب بالكثير من المشاكل إذا ارتفع مثل إحساس المستخدم بالتعرق، وبالنسبة لسرعة الهواء فإنها يجب أن تكون ضمن قيمة معينة لأنه إذا زادت عن هذه القيمة أو قلت عنها يشعر المستخدم بعدم الراحة الحرارية (Szkolay, 2008, 54).

1.4.2.2. درجة حرارة الهواء Air Temperature

والمقصود هنا درجة حرارة الهواء المحيط بجسم الإنسان مقاساً على ترمومتر ذو بصيلة جافة (Dry Bulb Temperature) (DBT).

ودرجة حرارة الهواء هي المؤثر الرئيسي والمباشر في الإحساس بالراحة أو الإجهاد الحراري، ورغم وجود عدد كبير من المؤثرات، إلا أنها كلها تدور حول درجة حرارة الهواء، فالجسم يفقد الحرارة عن طريق ملامسته للهواء، الذي تتولد به تيارات الحمل نتيجة لملامسة الجسم له، فتنتقل الحرارة للهواء. وكلما انخفضت درجة حرارة الهواء كلما زاد معدل فقد الحرارة، وهناك نطاق معين من درجات حرارة الهواء يمكن خلاله الحفاظ على الاتزان الحراري للجسم وهو يتراوح بين (20°- 27°) مئوية في حالة حياد وتجاهل تأثير باقي المتغيرات، أما إذا زادت درجة حرارة الهواء عنه

يقبل تسرب الحرارة من الجسم لدرجة قد تخل بالإنسان، وقد يبدأ الجسم في اكتساب الحرارة من الهواء إذا زادت درجة حرارة الهواء على درجة حرارة الجلد (34° - 35°) مئوية فيصبح تأثير درجة الحرارة قاسياً ويشعر الإنسان معها بعدم الراحة.

ولكن درجة حرارة الهواء ليست هي العنصر الوحيد المؤثر في الراحة فهناك أيضاً كل من الرطوبة النسبية ومتوسط درجات حرارة الإشعاعات وكذلك سرعة الهواء، بالإضافة إلى العوامل البشرية (El-Zafarany, 2000, 49).

2.4.2.2. الرطوبة النسبية Relative Humidity:

يمثل تبخر المياه من جسم الإنسان من الرئتين عن طريق التنفس، ومن سطح الجلد، وعن طريق التعرق عنصراً أساسياً في تقنيات تنظيم درجة حرارة الجسم، فمن المعروف أن عملية التبخر تستهلك طاقة حرارية كبيرة لتتم (الحرارة الكامنة للتبخير) مما ينتج عنه تبريد الجسم. وتتأثر عملية التبخر هذه بمحتوى الرطوبة في الهواء الجوي، إذ كلما زاد محتوى الرطوبة واقترب من التشبع، قلت فرصة تبخر العرق والماء، ليحرم الجسم من فرصة تقليل درجة حرارته والدخول في نطاق الراحة الحرارية. وبالتالي يزداد الشعور بالحرارة كلما زادت الرطوبة النسبية للهواء.

والرطوبة النسبية هي نسبة محتوى وحدة معينة من الهواء من بخار الماء إلى أقصى محتوى من البخار يمكن للهواء حمله. وهي مؤشر بسيط وسهل الفهم حيث عند رطوبة نسبة 100% لا يمكن حدوث أي نوع من التبخر للماء من جسم الإنسان بينما تتزايد فرصة هذا التبخر كلما انخفضت الرطوبة النسبية. ويمكن تحقيق الراحة الحرارية عندما تكون الرطوبة النسبية بين 20% و80%. أما إذا نقصت الرطوبة عن 20% يأتي إحساس بالجفاف الشديد في الجلد، والعطش المستمر مع جفاف في الشفاه والفم، وهو ما يتنافى مع الراحة بغض النظر عن درجة الحرارة. وإذا زادت نسبة الرطوبة عن 80% يأتي شعور بالضيق عند التنفس حيث لا يتمكن الماء من التبخر داخل الرئتين بالإضافة إلى عدم تبخر الماء من على سطح الجلد، وتزيد حالة عدم الراحة الناشئة عن زيادة الرطوبة النسبية وتزداد درجة حرارة الجسم حيث يستحيل تبخر العرق من على سطح الجلد ويتوقف تأثيره في خفض حرارة الجسم مع إضافة الضيق الناتج عن الشعور بالبلل. (El-Zafarany, 2000, 50).

3.4.2.2. سرعة الهواء Air Velocity:

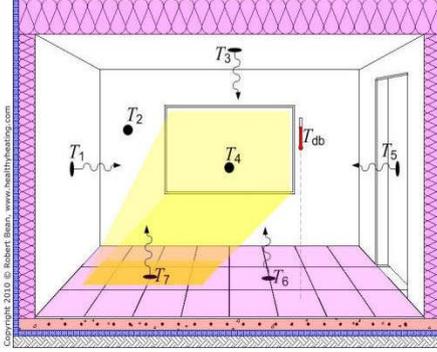
يلجأ الجسم إلى التعرق وتبخر العرق للحفاظ على درجة حرارة الجسم، عندها يبدأ البخار في التصاعد من الجسم، وبسرعة تتشبع طبقة الهواء المحيطة بالجسم بالماء وترتفع حرارته، أما إذا لم يتحرك الهواء فإن التبخر يتوقف ويبدو تأثير الحرارة أعلى، ولكن مع تحركه تتجدد هذه

الطبقة الدافئة والمشبعة ببخار الماء، لذا تزداد أهمية حركة الهواء كلما زادت الرطوبة النسبية ليعمل على تحريك هذه الطبقة، ولحركة الهواء تأثير كبير على تزايد معدل التبادل الحراري بالحمل بين الإنسان والهواء المحيط به، فإذا كانت درجة حرارة الهواء أقل من درجة حرارة الجلد، فزيادة الحركة تعني فقد الجسم لمزيد من الحرارة، وهو ما يزيد الشعور بالراحة -إضافة إلى زيادة البخر- في الظروف الجوية الحارة، بينما تزيد حركة الهواء من الشعور بالبرودة في حالة الظروف الباردة. أما إذا زادت درجة حرارة الهواء عن درجة حرارة الجلد، فهذا يزيد من معدل اكتساب الجلد للحرارة بالحمل وهذه الحالة تؤثر تأثيراً سلبياً في فصل. وسرعة الهواء يفضل أن تتراوح داخل المنازل بين 0.1 م/ث و 2 م/ث حيث أن سرعة أقل من ذلك تتسبب في الشعور بعدم الراحة ويحاط الإنسان بالأبخرة المتصاعدة من جسمه ويزيد الشعور بالحرارة، أما عندما تزيد سرعة الهواء عن 2 م/ث فيبدأ الشعور في التطاير والأوراق تتطاير من على المكاتب، ويشعر الإنسان بالضيق نتيجة لتيارات الهواء. أما في المناطق المفتوحة فيمكن الاعتماد على حركة الهواء دون مضايقة إذا كانت درجة حرارة الهواء مناسبة، فسرعات تصل إلى 3-4 م/ث تحقق الراحة خاصة عند ارتفاع درجة الرطوبة، بينما تكون سرعة حركة الرياح مشكلة في الظروف الباردة، والظروف شديدة الحرارة، ويصعب تحمل سرعات أكبر من 8 م/ث وذلك نتيجة لقوة الرياح وإثاريتها للعوالق حتى لو كانت درجة حرارتها مناسبة (Szokolay, 2008, 56).

4.4.2.2. متوسط درجات حرارة الإشعاعات Mean Radiant Temperatures:

يؤثر تعرض الجلد لاكتساب أو فقد الحرارة عن طريق الإشعاع تأثيراً مباشراً على الشعور بالراحة، فبغض النظر عن درجة حرارة الهواء، يشعر الإنسان بالحرارة إذا تعرض لأشعة الشمس في الشتاء رغم برودة الجو، والشمس ليست هي مصدر الإشعاع الوحيد، فأى جسم يخترن قدرًا من الحرارة يشع إلى الأجسام الأقل منه حرارة والتي يفصلها عنه وسط شفاف (مثل الهواء أو الزجاج)، فالحوائط الساخنة تشع إلى جسم الإنسان في أي فراغ يشغله، ويؤثر ذلك بشكل مباشر على شعوره بالراحة سلباً أو إيجاباً، وكذلك المدفأة تعطي نفس التأثير حتى قبل أن ترتفع درجة حرارة هواء الغرفة التي تعمل بالمدفأة. ويجب التمييز بين نوعين من الإشعاع، الإشعاع ذو الموجات القصيرة (وهو الإشعاع الصادر من جسم ذو درجة حرارة مرتفعة مثل الشمس (6000 م) ومعظمه يقع طولها الموجي في نطاق الضوء المرئي، والإشعاع ذو الموجات الطويلة في نطاق الأشعة تحت الحمراء وهو الصادر من المباني والأجسام البشرية في درجات حرارة منخفضة. ولقياس تأثير الإشعاع يستعمل مقياس متوسط درجات حرارة الإشعاعات Mean Radiant Temperatures (T_{MRT}) وهي درجة حرارة افتراضية، تعبر عن متوسط درجات حرارة الأسطح

المحيطة بالإنسان والتي تنتقل للمستخدمين على شكل اشعاعات، والتي ينتج عنها نفس معدل التبادل الحراري بالإشعاع الذي يحدث بين الجسم ومحيطه. والشكل (1.2) يوضح فكرة عملها (Kántor, 2010, p91).



شكل (1.2): فكرة عمل متوسط درجات حرارة الإشعاعات

المصدر: (Bean, 2010)

ويتوقف تأثير كل عنصر مشع في الوسط (حائط، شمس، نافذة، أرضية... إلخ) على مساحته وبعده عن النقطة التي يحسب تأثيره عندها، أي على الزاوية الكروية التي يشغلها من الفراغ المحيط بالنقطة، وبضرب درجة حرارة السطح في مساحة السطح مقسوماً على مجموع مساحات الأسطح يمكن تحديد القيمة المتوسطة للحرارة الإشعاعية T_{MRT} والحرارة المحسوسة للإنسان حسب المعادلة التالية:

$$T_{MRT} = T_1A_1 + T_2A_2 + \dots + T_nA_n / (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

حيث أن:

$$T_{MRT} = \text{متوسط درجة حرارة الإشعاعات}$$

$$T_n = \text{درجة حرارة سطح السطح}$$

$$A_n = \text{مساحة السطح}$$

لكن لا تعكس هذه الطريقة الموقع الهندسي للجسم الباعث للإشعاع أو اتجاهه أو ارتفاعه. لا يمكننا النظر فقط في درجات حرارة السطح الفردية ومساحتها ولكن أيضاً إلى مسافة تلك السطوح من مستخدم الفراغ وما إذا كان هذا الشخص جالساً أو واقفاً. عامل الزاوية هو وسيلة لوصف العلاقة الهندسية لمستخدم الفراغ مع كل سطح في الفراغ. عندما يكون للأسطح انبعاث عالي (ϵ)، يمكن افتراض أنها سوداء وبالتالي يمكن استخدام المعادلة التالية لمتوسط درجة حرارة الإشعاع:

$$T_{MRT}^4 = T_1^4F_{p-1} + T_2^4F_{p-2} + \dots + T_n^4F_{p-n}$$

حيث أن:

$$T_{MRT} = \text{متوسط درجة حرارة الإشعاعات}$$

$$T_n = \text{درجة حرارة جسم السطح}$$

$$F_{p-n} = \text{عامل الزاوية بين الشخص والسطح}$$

عند وجود اختلافات صغيرة نسبياً في درجات الحرارة بين أسطح الفراغ، يمكن تبسيط متوسط

درجة حرارة الإشعاع إلى:

$$T_{MRT} = T_1 F_{p-1} + T_1 F_{p-1} + \dots + T_n F_{p-N}$$

وبدمج تأثير متوسط درجة حرارة الإشعاعات مع درجة الحرارة الجافة للهواء يمكن الوصول إلى درجة حرارة تعبر عن التأثير المشترك لدرجة حرارة الهواء ومتوسط درجات حرارة الإشعاعات الحرارية، تسمى درجة الحرارة الناتجة Resultant Temperature أو درجة الحرارة الفعالة Operative Temperature لأنه عند التساؤل عن تلاءم T_{MRT} مع الراحة الحرارية فيمكن القول أن T_{MRT} هو عنصر واحد فقط من عناصر الراحة الحرارية - وسنكون ساذجين لتجاهل المؤثر الأساسي على الراحة الحرارية وهي درجة حرارة الهواء T_A (اللمبة الجافة، T_{db})، لذلك يجب أن يتم دمج T_{MRT} و T_A بعد أخذ العوامل في معاملات نقل الحرارة الخاصة بكل منهما في حدود ما هو معروف بدرجة الحرارة الناتجة Resultant Temperature، كما يلي (Bean, 2010):

$$(T_R) = (T_A + T_{MRT}) / (2)$$

ومع التقدم التكنولوجي تم تصميم جهاز يوضع في موقع الشخص المراد قياس مستوى راحته الحرارية ويقوم تلقائياً بقياس قيمة T_{MRT} حيث يحتوي الجهاز على مكون أساسي وهو كرة سوداء قطرها يساوي 4 سم حيث أن هذه الكرة لديها القدرة على حساب قيمة T_{MRT} لجميع الأسطح المحيطة مع حساب زاويتها وجمع جميع قيم الإشعاعات وإظهارها على الشاشة جاهزة دون الحاجة للمعادلات حيث يحتوي الجهاز على شاشة لإظهار نتيجة القراءة فوراً ومن الأمثلة على هذه الأجهزة جهاز The Extech HT200 الموضح في شكل (2.2). ولكن قد يصعب على كثير من الأشخاص إحضار هذا الجهاز أو أي جهاز آخر مشابه، لذا فقد وجد أنه بالإمكان صنع الجهاز يدوياً عن طريق إحضار كرة بينج بونج حيث أن قطرها يساوي 4 سم وهذا يتوافق مع خواص الكرة المطلوبة مع طلائها باللون الأسود وعمل فتحة بداخلها لإدخال حساس قياس درجة الحرارة الموجود في أي جهاز لقياس درجة الحرارة وبهذا يتحول من جهاز لقياس درجة حرارة الهواء إلى جهاز لقياس متوسط درجات حرارة الإشعاعات والشكل (3.2) يوضح كيف يكون المظهر العام للجهاز المصنوع يدوياً (Yost, 2018).



شكل (2.2): جهاز The Extech HT200 شكل (3.2): جهاز قياس MRT المصنوع يدوياً

المصدر: Yost, 2018

المصدر: Yost, 2018

5.2.2. العناصر البشرية المحددة للراحة الحرارية

إضافة للعناصر التي تعبر عن حالة البيئة المحيطة بالإنسان تعبيراً كاملاً من حيث تأثيرها على شعوره بالراحة، توجد عناصر أخرى تتعلق بشاغلي الفراغ من البشر، تؤثر على شعورهم بالراحة، وهي العناصر البشرية ومنها مستوى عزل الملابس ومستوى النشاط الذي يمارسه المستخدم.

1.5.2.2. مستوى النشاط Metabolic Rate:

يتغير شعور الإنسان بالراحة جذرياً تبعاً لنوع النشاط الذي يمارسه وحالته من السكون أو الحركة، وذلك لسببين:

أ- يتزايد معدل إفراز الحرارة مع تزايد حرق المواد الغذائية لإنتاج الطاقة اللازمة للنشاط أو الحركة، والتي تزيد من الشعور بالدفء في الأجواء الباردة. كما تزيد من الشعور بالحرارة في الصيف مما يتطلب ضرورة زيادة التبادل الحراري للتخلص من الحرارة الزائدة.

ب- يتغير إحساس الإنسان بالراحة والقيمة التي يمكن أن يتقبلها لحرارة الجلد ولمعدل إفراز العرق تبعاً لنشاطه، فمثلاً عند ممارسة الرياضة يتقبل اللاعب قدراً من تبلل الجلد بالعرق لا يمكن قبوله أثناء ممارسة عمله المكتبي.

وتتغير كمية الطاقة المتولدة من جسم الإنسان تبعاً لدرجة نشاطه كما هو موضح في الجدول (1.2) وكذلك تبعاً لوزنه وحجمه، وهو ما يمكن التعبير عنه بمساحة سطح الجسم، وهي في المتوسط للإنسان العادي 1.8م²، ولحساب قيمة Met للسير الهادئ يتم إحضار قدرة السير الهادئ والتي تساوي (116 وات/م²)، ويتم إحضار كمية الطاقة المنتجة عند الجلوس والاسترخاء والتي تساوي وحدة Met واحدة اختصاراً إلى Metabolic Rate وهي تساوي (58 وات/م²)

وبذلك يقاس نشاط "السير الهادئ" عن طريق قسمة قدرة السير الهادئ على قدرة الجلوس باسترخاء 116 /58 ويساوي 2 Met (HAVENITH, 2007, 51).

جدول (1.2): توضيح لقيم معدل الأيض الخاصة بالحركة

Activity	Human Metabolic Rate	
	(W/m ²)	(Met)
Laying down	46	0.8
Sitting, relaxed	58	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Sitting activity (office work, school etc.)	70	1.2
Standing activity (shop, laboratory etc.)	93	1.6
Moving activity (house work, working at machines etc.)	116	2.0
Harder activity (hard work at machines, work shops etc.)	165	2.8

المصدر: Engineering ToolBox, (2003). Clothing, Activity and Human Metabolism

2.5.2.2. الملابس والأغطية Clothing Isolation

عند تغطية الجسم بالملابس تقوم بدور العازل الحراري بين الإنسان وبيئته، مما يغير تماماً من معدل فقد أو اكتساب الحرارة من البيئة المحيطة، والملابس من الطرق الهامة للتنظيم الحراري والوصول للراحة، فخلع أو ارتداء معطف يغير كثيراً من الشعور بالراحة، بينما فك بضع من أزرار القميص أو خلع رباط العنق قد ينقل الإنسان من حالة بسيطة من عدم الراحة إلى حالة الراحة التامة. ولما كان دور الملابس هو العزل، فيمكن قياس تأثيرها بقياس عزلها الحراري، فمثلاً البدلة الرسمية الغربية (قميص وبنطلون وسترة مع ملابس داخلية ملائمة) لها عزل حراري يساوي 150مم²/وات. والعزل الحراري لهذه الملابس يعتبر وحدة لقياس العزل الحراري وتقل أي ملابس أخرى تسمى "Clo"، $1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ كيلوواط/م}^2$. يعتمد مقدار clo والمقاومة الحرارية لأي تشكيلة من الملابس على سماكتها ونوعيتها (قطن، صوف) كل طبقة من طبقات الملابس، حيث يتناسب سمك الملابس عكسياً مع درجة الحرارة فكلما ارتفعت درجة الحرارة كلما قل سمك الملابس التي تغطي الجسم. الشخص بدون الملابس يرتدي 0 Clo بينما الملابس الصيفية الخفيفة تساوي 5 Clo وهكذا، ويمكن تحديد هذه القيم من جدول (2.2) (HAVENITH, 2007, 52).

جدول (2.2): قيمة Clo الخاصة بكل نوع من أنواع الملابس

Clothing		Insulation	
		I_{cl} Clo	m^2K/W
Nude		0	0
Underwear - pants	Pantyhose	0.02	0.003
	Panties	0.03	0.005
	Briefs	0.04	0.006
	Pants 1/2 long legs made of wool	0.06	0.009
	Pants long legs	0.1	0.016
Underwear - shirts	Bra	0.01	0.002
	Shirt sleeveless	0.06	0.009
	T-shirt	0.09	0.014
	Shirt with long sleeves	0.12	0.019
	Half-slip in nylon	0.14	0.022
Shirts	Tube top	0.06	0.009
	Short sleeve	0.09	0.029
	Light blouse with long sleeves	0.15	0.023
	Light shirt with long sleeves	0.20	0.031
	Normal with long sleeves	0.25	0.039
	Flannel shirt with long sleeves	0.30	0.047
	Long sleeves with turtleneck blouse	0.34	0.053
	Shorts	0.06	0.009
	Walking shorts	0.11	0.017
	Light trousers	0.20	0.031
Trousers	Normal trousers	0.25	0.039
	Flannel trousers	0.28	0.043
	Overalls	0.28	0.043
	Daily wear, belted	0.49	0.076
	Work	0.50	0.078
Coveralls	Multi-component with filling	1.03	0.160
	Fiber-pelt	1.13	0.175
Highly-insulating coveralls	Sleeveless vest	0.12	0.019
	Thin sweater	0.20	0.031
	Long thin sleeves with turtleneck	0.26	0.040
	Thick sweater	0.35	0.054
	Long thick sleeves with turtleneck	0.37	0.057
Sweaters	Vest	0.13	0.020
	Light summer jacket	0.25	0.039
	Smock	0.30	0.047
	Jacket	0.35	0.054
Jacket	Overalls multi-component	0.52	0.081
	Down jacket	0.55	0.085
	Coat	0.60	0.093
	Parka	0.70	0.109
	Socks	0.02	0.003
Coats and over-jackets and over-trousers	Thin soled shoes	0.02	0.003
	Quilted fleece slippers	0.03	0.005
	Thick soled shoes	0.04	0.006
	Thick ankle socks	0.05	0.008
	Boots	0.05	0.008
	Thick long socks	0.10	0.016
	Light skirt 15 cm. above knee	0.01	0.016
Sundries	Light skirt 15 cm. below knee	0.18	0.028
	Heavy skirt knee-length	0.25	0.039
	Light dress sleeveless	0.25	0.039
	Winter dress long sleeves	0.40	0.062
	Under shorts	0.10	0.016
Skirts, dresses	Short gown thin strap	0.15	0.023
	Long gown long sleeve	0.30	0.047
	Hospital gown	0.31	0.048
	long pajamas with long sleeve	0.50	0.078
	Body sleep with feet	0.72	0.112
		0.72	0.112
		0.72	0.112
Sleepwear		0.72	0.112
		0.72	0.112
		0.72	0.112

المصدر: Engineering ToolBox, (2004). Clo - Clothing and Thermal Insulation. [online]

6.2.2. مؤشر الإحساس الحراري

يجب التركيز على مؤشر الإحساس الحراري باعتبار أن رضا المستخدمين هو أهم قضية يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم المباني، وتحقيق الراحة الحرارية من أهم المعالم الرئيسية المؤثرة في الرضا، والتي بدورها ترتبط بدرجة الحرارة المناسبة التي تعتبر من أهم الأشياء التي يهتم بها الإنسان في المبنى، ترجع أهمية تطبيق هذا المؤشر في المباني إلى أنه من خلاله يمكن تحديد درجات الحرارة الداخلية المرغوبة، وبالتالي تحديد درجة الحرارة التصميمية للمباني المكيفة

والتي ينعكس تأثيرها على معدلات استهلاك الطاقة، كما أنه يمكن العمل على تطوير معايير ومبادئ توجيهية للتصميم تعزز من استخدام المفاهيم التكنولوجية الجديدة المتعلقة بزيادة كفاءة الطاقة خاصة في التهوية الطبيعية وتقنيات التبريد بدون الاعتماد على الوسائل الميكانيكية (حريز، 2018م، 29).

1.6.2.2 مفهوم الإحساس الحراري:

يعرف الإحساس الحراري بأنه تعبير سيكولوجي مهم يرتبط بإحساس الشخص بالدفء أو البرودة ويتم تقييمه من خلال الإجابة المباشرة عن سؤال كيفية شعوره الآن بالنسبة لدرجة حرارة الغرفة (Indraganti, 2013) (حريز، 2018م، 29).

2.6.2.2 مقاييس الإحساس الحراري:

يوجد مقياسين لقياس الإحساس الحراري هما: مقياس آشري، ومقياس بدفورد، ويبين جدول (3.2) هذين المقياسين والقيم المكافئة لكل منهما (حريز، 2018م، 32).

جدول (3.2): تصنيف درجة الإحساس الحراري على مقياس آشري وبدفورد

مقياس بيدفورد Bedford	القيمة المكافئة	مقياس آشري ASHRAE
حار جداً جداً	+3	حار بدرجة كبيرة
حار جداً	+2	حار
دافئ مريح	+1	حار بدرجة قليلة
مريح	0	محايد
بارد مريح	-1	بارد بدرجة قليلة
بارد جداً	-2	بارد
بارد جداً جداً	-3	بارد بدرجة كبيرة

المصدر: (Deb, 2010, 9)

تعتمد مناهج الراحة الحرارية في مؤشر الإحساس الحراري على الربط بين تصويت الإنسان للارتياح الحراري وبين قياس خصائص المناخ فيزيائياً، ويوجد منهاجين لتعريف نطاق الراحة الحرارية، ولكل منهج إمكانياته وحدوده، والمناهجين هما: المنهج العقلاني والمنهج التكميلي.

3.2. مناهج تعريف نطاق الراحة الحرارية

1.3.2 المنهج العقلاني Rational Approach

ويسمى منهج الاتزان الحراري (Rational Approach or heat Balance) يعتمد المنهج العقلاني على نتائج الدراسات التي أجراها فانجر (Fanger) في غرف المختبرات حيث

تم التحكم في المناخ الداخلي لفرغ غرفة المختبر، وحدد المنهج نطاق درجة الحرارة المريحة لمستخدمي المباني من خلال استطلاع آراء المشاركين تبعاً لمقياس آشري للإحساس الحراري (ASHRAE Standard-55 (2004) وتوقع معدل التصويت (PMV) Predicted Mean Vote حول الإحساس الحراري. يربط النموذج بين نظريات الاتزان الحراري والتنظيم الحراري الفسيولوجي لأعضاء الجسم لتحديد نطاق درجات الحرارة التي يجدها شاغلي المباني مريحة، فوفقاً لهذه النظريات فإن جسم الإنسان يوظف العمليات الفسيولوجية (مثل التعرق، الارتعاش، وتنظيم تدفق الدم إلى الجلد) من أجل الحفاظ على التوازن بين الحرارة التي ينتجها الأيض والحرارة المفقودة من الجسم، فالحفاظ على الاتزان الحراري هو الشرط الأول لتحقيق الإحساس الحراري المريح. ويشترط فأنجر عدة شروط ليحقق الجسم البشري راحة حرارية ثابتة، وتتمثل هذه الشروط في:

1. أن يكون الجسم في حالة اتزان حراري.
2. أن تكون معدل درجة حرارة الجلد ومعدل التعرق اللذان يؤثران على التوازن الحراري ضمن حدود معينة.
3. عدم وجود أي إزعاج في الجسم (إزعاج محلي).

يشير فأنجر إلى أن المنظم الحراري الطبيعي في جسم الإنسان فعال للغاية، وبالتالي سيحصل الجسم على اتزان حراري في حدود واسعة من المتغيرات البيئية حتى في حدود عدم توفر الراحة (Ekisi, 2013, 3).

وللتنبؤ بالظروف الحرارية المحايدة متى تحدث قام فأنجر بفحص العمليات الفسيولوجية في حالة اقترابها من الحياد الحراري فوجد أن العمليات الفسيولوجية المؤثرة على التوازن الحراري تمثلت في معدل العرق ومتوسط درجة حرارة الجلد فكانت هذه العمليات وظيفية لمستوى النشاط. وبهدف تطوير علاقة خطية بين مستوى النشاط ومعدل العرق قام فأنجر باستخدام بيانات دراسة أجراها على 183 مشارك من طلبة الجامعة حيث تم تعريفهم لمختلف الظروف الحرارية في حين ارتدوا ملابس موحدة، بالإضافة إلى دراسة مختبرية أخرى أجريت على 20 مشاركاً من طلبة الجامعة يرتدون ملابس موحدة وأخضعهم إلى أربع مستويات من الأنشطة المختلفة (مستقرة، منخفضة، متوسطة، عالية) ليستنتج علاقة خطية بين مستوى النشاط ومتوسط درجة حرارة الجلد (Deng, 2018, 13). وبصياغة نتائج العلاقات الخطية إلى معادلات الاتزان الحراري تم الحصول على معادلة الراحة Comfort Education، وتتوقع هذه المعادلة الظروف التي تولد الشعور بالراحة (بالحياد الحراري) لدى شاغلي الفراغات. تم توسيع معادلة الراحة باستخدام بيانات تجارب أجريت

على 1296 شاب دنماركي، وكان المشاركون يرتدون ملابس موحدة، وينجزون نشاطات موحدة في حين يتعرضون لمختلف البيئات الحرارية، وفي بعض الدراسات تم تحديد الظروف الحرارية وطلب من المشاركين تسجيل شعورهم بالنسبة للحرارة سواء بارد أو حار وذلك باستخدام مقياس أشري (ASHRAE) للإحساس الحراري ذو السبع درجات والذي يتدرج من (-3) بادر بدرجة كبيرة، (-2) بارد، (-1) بارد بدرجة قليلة، (0) محايد، (+1) حار بدرجة كبيرة، (+2) حار، (+3) حار بدرجة كبيرة. وفي دراسات أخرى قام المشاركون بالتحكم في البيئة الحرارية بأنفسهم للحصول على الارتياح الحراري وذلك من خلال ضبط منظم الحرارة. نتائج المعادلة تصف الراحة الحرارية بأنها عدم توازن بين التدفق الحراري الفعلي للجسم في بيئة حرارية معينة وبين التدفق الحراري المطلوب للحصول على أفضل راحة (حياد) لأي نشاط معين، وأن عدم الارتياح نتيجة برودة الطقس يرتبط بمتوسط درجة حرارة الجلد، والانزعاج من ارتفاع درجة الحرارة سببه رطوبة الجلد الناجمة عن إفراز العرق، ويمكن أن يكون عدم الارتياح الحراري في الجسم بأكمله أو في جزء وخاصة الأطراف (Local discomfort) ارتبطت المعادلة الموسعة بالظروف الحرارية لمقياس الإحساس الحراري ASHRAE ذو السبع نقاط وأصبحت تعرف بما يسمى بمؤشر توقع معدل التصويت (PMV) Predicted Mean Vote، ومن ثم تم دمج (PMV) للحصول على مؤشر توقع نسبة الأشخاص المستائين (المنزعجين) (PPD) Predicted Percentage of Dissatisfied Index (CENTNEROVÁ, 2018, 16).

أولاً: مؤشر معدل التصويت المتوقع (PMV) Predicted Mean Vote

يعتبر (PMV) الذي وصفه فانجر 1960 أنه أساس مقياس الراحة الحرارية وخاصة لتقييم الراحة الحرارية الداخلية، ويعرف على أنه نموذج تنبؤي يتعامل مع الراحة الحرارية مع الجسم ككل، فالنموذج يتوقع ويمثل معدل التصويت للإحساس الحراري على مقياس أشري المعياري من (-3) بارد بدرجة كبيرة إلى (0) حياد، (+3) حار بدرجة كبيرة لمجموعة كبيرة من الأشخاص يخضعون لمجموعة معينة من المتغيرات البيئية الحرارية كمستويات النشاط والملابس، ونتائج النموذج يعبر عنها على مقياس أشري بالتصنيفات الثلاثة الوسطى على المقياس بارد بدرجة قليلة، حياد، حار بدرجة قليلة، والتي تتطابق مع الإحساس المقبول، ووفقاً للمعايير الدولية فإن قيمة PMV يجب أن تبقى صفر مع تسامح بنسبة ± 0.5 لتحقيق البيئة الداخلية المريحة ويشير الانحراف المفترض في الراحة المثالية (الحياد الحراري) إلى توقع نسبة الأشخاص المنزعجين (PPD) من البيئة (Humphreys & Nicol, 2007, 57).

يعتبر PMV بأنه نموذج ثابت يعتمد على الحالة الثابتة لتوازن الطاقة، فهو تنبؤي لا يتوقع الاستجابة بالضبط في حالة حدوث أي تغير. ويضم النموذج المتغيرات الرئيسية التي تؤثر على الإحساس الحراري، ويحدد كمية التأثير المطلق والنسبي للعوامل البيئية والمتمثلة في درجة حرارة الهواء، ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات، وسرعة الهواء، والرطوبة النسبية، بالإضافة إلى مستوى النشاط، وسمك الملابس. ويقاس مستوى النشاط بمصطلح معدل الأيض أو وحدة تسمى met، أما سمك الملابس فيقاس بوحدة clo. كون النموذج أنه يأخذ في الحسبان التغيرات في مستويات النشاط وسمك الملابس والتي تعتبر تكيف سلوكي وبالتالي يمكن اعتباره نموذج يشمل تكيف جزئي (زكري، 2005م، 169).

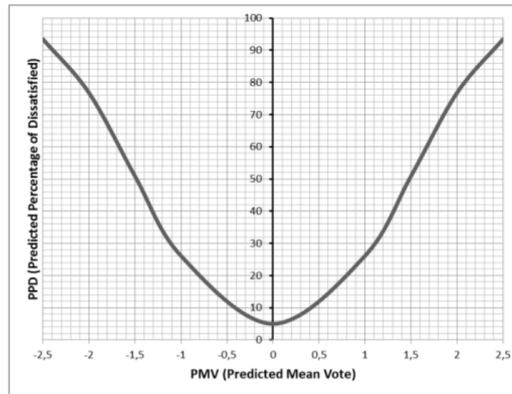
يمكن الحصول على متوسط التصويت (MV) لحالة معينة بإيجاد متوسط قيمة الشعور المعطى لكل الموضوعات في تلك الحالة، وربط فانجر توقع معدل التصويت بعدم التوازن بين التدفق الحراري الفعلي من جسم الإنسان في بيئة معينة والتدفق الحراري المطلوب للحصول على أفضل راحة أثناء نشاط معين من خلال المعادلة التالية:

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036m) + 0.028) L = \infty L$$

حيث L هي الحمل الحراري على الجسم ويعرف بالفرق بين الحرارة الداخلية المنتجة والحرارة المفقودة على البيئة (زكري، 2005م، 169).

ثانياً: مؤشر توقع نسبة الاستياء (الانزعاج) (PPD)

يتوقع نسبة الأشخاص الذين يشكون من سوء الظروف الحرارية للبيئة، فهم الذين يشعرون بإحساس أكثر من حار بدرجة قليلة أو بارد بدرجة قليلة على مقياس آشري للإحساس الحراري، ويبين فانجر أنهم الأشخاص الذين أظهروا عدم ارتياحهم وصوتوا بين $3 \pm$ ، $2 \pm$ ، أما الذين صوتوا ب $1 \pm$ فهم مرتاحون. كما يوضح الشكل (4.2) العلاقة بين PMV وبين PPD



شكل (4.2): العلاقة بين قيم PMV و PPD

المصدر: (Ekisi, 2013, 2)

العلاقة تعكس التماثل حول نقطة الحياد الحراري ($PMV=0$)، وقيمة $PMV \neq 0$ تشير بأن هناك أشخاص غير مرتاحين لمستويات درجة الحرارة على الرغم من أنهم يرتدون ملابس موحدة ويخضعون لنفس مستويات النشاط، والسبب هو الاختلافات في تقييم الراحة الحرارية من شخص إلى آخر. ويوضح الشكل (4.2) أنه في حالة $PMV = 0$ فإن نسبة الاستياء تكون منخفضة تقريباً 5% (Djongyang, 2010, 2628).

تم تعيين ظروف مقبولة ومستخدمة للراحة الحرارية لنموذج PMV وهي التي أوصى بها مقياس أشري، وهذه الظروف تفترض الرطوبة النسبية 50%، ومعدل سرعة الهواء أقل من m/s 0.15، ومعدل درجة حرارة الإشعاع مساوية لدرجة حرارة الهواء، ومعدل الأيض (النشاط) met 1.2، وسمك الملابس 0.9 clo في الشتاء، و 0.5 clo في الصيف. ووفقاً لنطاقات PMV ، PPD المسموح بها يمكن تحديد ثلاث أنواع من مناطق الراحة كما في جدول (4.2) (Djongyang, 2010, 2628).

جدول (4.2): نسبة الاستياء بناءً على توقع معدل التصويت PMV

مدى PMV	نسبة الانزعاج (الاستياء) PPD	الراحة
$0.2 > PMV > -0.2$	$6 >$	1
$0.5 > PMV > -0.5$	$10 >$	2
$0.7 > PMV > -0.7$	$15 >$	3

المصدر: (Djongyang, 2010, 2629).

ساهمت نماذج فانجر ($PMV-PPD$) للراحة الحرارية في تطوير الراحة الحرارية وفي تقييم البيئة الحرارية الداخلية للمباني، وتم استخدامها على نطاق واسع ومقبول في مجال التصميم وفي تقييم الراحة الحرارية، فبالإضافة إلى هذين النموذجين يوجد نموذج العقدين ($two-node model$) والذي يعرف باسم $pierce two-node model$ والذي طور من قبل Gagge في مختبر (J.B., pierce foundation laboratory, yale university) ويستخدم هذا النموذج للتنبؤ بالاستجابات الفسيولوجية في الظروف المؤقتة العابرة بينما يتنبأ نموذج ($PMV-PPD$) بالحالة الثابتة الدائمة (Deng, 2018, 13).

2.3.2. المنهج التكيفي Adaptive Approach

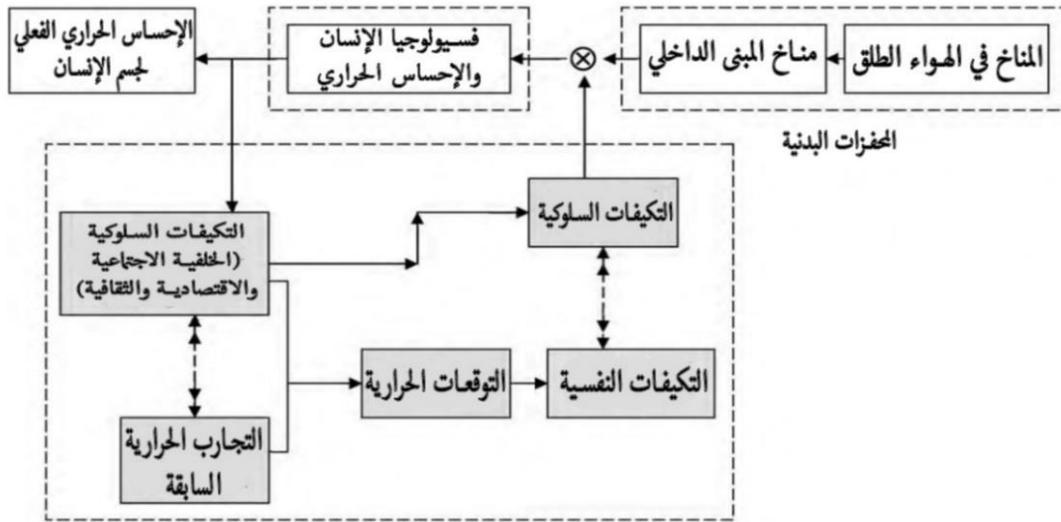
يعتمد المنهج التكيفي Adaptive Approach على دراسات ميدانية أجريت لقياس الإحساس الحراري المريح للأشخاص في بيئاتهم الحقيقية وهم يمارسون نشاطاتهم اليومية، ويهدف المنهج إلى تحليل التقبل للبيئة الحرارية (AMV) Actual mean vote، حيث يربط بين

ظروف الطقس الخارجية وبين تصور الراحة الحرارية، ويبحث في رضا الناس عن المنظور البيئي، ويعتمد بقوة على المحتوى وسلوك الشاغلين وتوقعاتهم، فهو يبحث في العلاقة الديناميكية بين الناس وبيئتهم اليومية، ويهتم بمجموعة الإجراءات التي يلجأ لها الأشخاص -كتكييف ملابسهم وبيئتهم الحرارية- لتحقيق راحتهم كرزمة واحدة، ويعتمد على فرص تكيف المستخدمين وتوفر خيارات التحكم الشخصي في المناخ الداخلي إضافة إلى البحث في العوامل النفسية (Albatayneh, 2018, 6).

لا يخضع هذا المنهج لتأثير نشاطات محددة وضغوط معينة أو لتأثير جو المختبر كما في منهج PMV، فالأشخاص يكونون تحت تأثير البيئة مباشرة بكل جوانبها المختلفة، فالمنهج التكيفي لا يعتبر الراحة شيء فيزيائي يؤثر على تصورات البيئة بل يشمل المناخ، والظروف الاجتماعية واعتبارات اقتصادية، وعوامل جوهرية تلعب دوراً في التفضيلات الحرارية. وأثبت أن الأشخاص قادرين على تحمل التغيرات في درجة الحرارة أكثر من الدراسات المختبرية، حيث يتصرف الأشخاص بطريقة إرادية أو لا إرادية لاستعادة الاتزان الحرارية للجسم (Djongyang, 2010, 2633).

تعتمد نماذج الراحة التكيفية على السلوك البشري، وتعتمد على دراسات استقصائية واسعة تبحث في الراحة الحرارية والظروف في البيئات الداخلية والخارجية، وتفترض أنه في حالة حدوث تغيرات مزعجة في البيئة الحرارية سوف يغير الناس سلوكهم، ويتصرفون بطريقة من شأنها أن تمكنهم من استعادة راحتهم، ويمكن أن تشمل هذه الإجراءات تخفيف الملابس، والحد من مستويات النشاط، وفتح النوافذ.

يتمثل التأثير الرئيسي لهذه النماذج أنها تزود المصممين بمعلومات أوسع عن الظروف المريحة خاصة في المباني ذات التهوية الطبيعية حيث يتمتع شاغليها بدرجة من السيطرة على بيئاتهم الحرارية، وكون المنهج التكيفي يعتمد على بيانات الدراسات الميدانية فإنه يساعد على تطوير معايير أفضل في توفير الطاقة وتشجيع المصممين على منح المستخدمين فرص أكبر للتحكم في بيئاتهم. فتزويد الناس بوسائل سيطرة على بيئتهم المحلية يزيد كثيراً من نسبة رضاهم ويصبحون أكثر تقبلاً للتغيرات الحرارية العابرة وأقل تأثراً على أدائهم والشكل (2.5) يوضح آلية عمل المنهج التكيفي (Djongyang, 2010, 2633)، وقد لوحظ في معظم الحالات أن المنهج التكيفي يسجل مستويات راحة حرارية في الغالب أفضل من المنهج العقلاني سواءً في الصيف أم الشتاء (Gallardo, 2016, 17).



شكل (5.2): آلية عمل المنهج التكيفي

المصدر: (Yao, 2009, 2005).

4.2. ملخص الفصل

تحدث الفصل الثاني عن الراحة الحرارية والعناصر المحددة لها ومناهجها حيث تم من خلاله تعريف مفهوم الراحة الحرارية واللاتزان الحراري وجودة الهواء، كما تم شرح العناصر المؤثرة على الراحة الحرارية وهي العناصر البيئية مثل درجة حرارة الهواء ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات وقيمة الرطوبة النسبية وسرعة الهواء، والتي يعد أكثرها تأثيراً درجة حرارة الهواء، أما العناصر الأخرى فهي العناصر البشرية وهي مستوى عزل الملابس ومستوى النشاط. ثم تناول الفصل موضوع مؤشر الإحساس الحراري حيث تحدث عن مفهومه ومقاييسه وهما مقياس بدفورد ومقياس آشري. ومن ثم تناول الفصل مناهج الإحساس الحراري ومنها المنهج الأول وهو المنهج العقلاني PMV المرتبط بقيم PPD والنموذج الآخر وهو المنهج التكيفي AMV الخاص بالتحكم الشخصي المرتبط بالسؤال المباشر لكل شخص عن شعوره الحراري، ووجد أن قيم AMV في معظم الأبحاث أقل من قيم PMV.

الفصل الثالث

الأسطح الخضراء وأنواعها ومعايير تنفيذها

الفصل الثالث

الأسطح الخضراء وأنواعها ومعايير تنفيذها

1.3.1 مقدمة

في السنوات الماضية، اكتسب مصطلح السطح الأخضر أهمية إيكولوجية واجتماعية تتجاوز الوصف الذي يبدو مبسطاً، أصبح هذا المصطلح عنواناً للحد من التلوث وتحسين البيئة الحضرية، للتخفيف من إهدار مياه الأمطار في الشوارع، وللاستفادة القصوى من الأراضي الحضرية بسبب قلة المناطق المزروعة فيها. وللحصول على بعض الحلول البيئية كالحد من تلوث الهواء والضوضاء بسبب العدد المتزايد من السيارات، وعلى الرغم من محاولة إنشاء عدد قليل من الحدائق خلال السنوات القليلة الماضية في كثير من المدن إلا أن التركيز المباشر كان على إنشاء الشوارع الرئيسية والمباني. علاوة على ذلك، يفتقر الناس في كثير من المدن إلى الوعي بأن زراعة الأشجار مفيد للجو ويمكن أن تؤدي إلى بيئة معيشية أفضل. ولا تقتصر المشكلة على أن بعض الناس لا يزرعون الأشجار، بل تكمن في أن بعض الأشخاص يقومون أحياناً باقتلاع أو قطع الأشجار التي زرعها الحكومة (Abd Aziz, 2011, 3). من المتوقع أن تصبح البنية التحتية للأسطح الخضراء حلاً أكثر أهمية لأصحاب المباني ومخططي المجتمع بسبب توفيرها عدداً كبيراً من الفوائد الاجتماعية والبيئية والجمالية والاقتصادية للطبيعة العامة والخاصة وقد تم اعتماد هذا الحل في العديد من الدول الأجنبية ومؤخراً في عدد قليل من الدول العربية مثل الإمارات ولكن في نطاق ضيق (Arab Climate Resilience Initiative, 2010, 8) يبحث هذا الفصل في موضوع الأسطح الخضراء وتاريخها وفوائدها وأنواعها وتأثيرها العام والخاص على البيئة المحيطة.

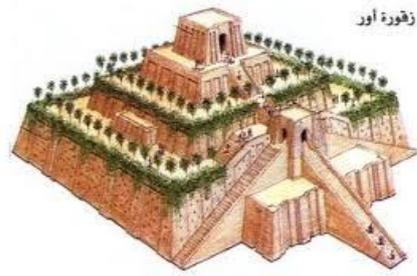
2.3. تاريخ الأسطح الخضراء

تعود الأسطح الخضراء إلى آلاف السنين. وقد كشف التاريخ عن تنوع أهداف استخدامها التي تشمل العزل والهروب من ضغوط البيئة الحضرية. يبدو أن أقدم سقف أخضر هو زقورة بلاد ما بين النهرين القديمة والتي بنيت من الألفية الرابعة حتى عام 600 قبل الميلاد والتي تقع في ساحات المعابد بالمدن الكبرى والموضحة في الشكل (1.3). وقد قيل أن الأسطح الخضراء قد تم استخدامها أيضاً في حدائق بابل المعلقة الموضحة في الشكل (2.3)، وفي منازل الفاينج الشمالي الموجودة في الشكل (3.3) (Raman, 2014, 3). أما عن فترة العصور الوسطى والنهضة فقد كانت حدائق الأسطح مملوكة للأغنياء والرهبان. وبالنسبة للعصر الحالي فتُعرف

ألمانيا بأنها مسقط الرأس لأنظمة الأسطح الخضراء الحديثة. حيث شهدت ألمانيا في عام 1880م التصنيع والتحضر السريع. كما أنه في العصر الحديث كان هناك اثنان من المماريين المبادرين في تنفيذ تكنولوجيا السطح الأخضر وهما المهندسان المعماريان لوكوربوزيه وفرانك لويد رايت. وعلى الرغم من دمج فرانك للأسطح الخضراء في كثير من مبانيه ومن تشجيع لوكوربوزيه لاستخدام أسطح المنازل كموقع آخر للمساحات الخضراء الحضرية، ومن استخدامه لها كأداة لدمج مبانيه بشكل أوثق مع الطبيعة، إلا أنه لم يكن لدى أي منهما دراية بالتأثير البيئي والاقتصادي العميق الذي يمكن أن تحدثه هذه التكنولوجيا.



شكل (2.3): حدائق بابل المعلقة



شكل (1.3): زقورة بلاد ما بين النهرين

المصدر: <http://www.doraksa.com/> المصدر: <https://ar.sodiummedia.com/>

في السبعينيات، تم إجراء قدر كبير من البحوث التقنية حول المكونات المختلفة لتقنية الأسطح الخضراء بما في ذلك دراسات عن عوامل طرد الجذور، والأغشية المقاومة للماء، والصرف، وأوساط النمو خفيفة الوزن والنباتات. خلال أوائل التسعينيات، بدأ العديد من مصنعي الأسطح الخضراء الأوروبية الكبرى في المغامرة بدخول أسواق أمريكا الشمالية. وفي عام 1931م في مدينة نيويورك تم بناء مركز Rockefeller كأول سطح أخضر حديث والموضح في الشكل (4.3)، ومع ذلك كان من الصعب بيع الأنظمة بدون تعليم عام، وبحوث محلية حول الأداء الفني لها، وأمثلة يمكن الوصول إليها، خاصة في الثقافة والمناخ السياسيين حيث لا يستثمر العديد من الأفراد والشركات والحكومات بسهولة في التقنيات الخضراء. في الوقت الحالي، أصبحت الأسطح الخضراء أكثر شيوعاً في الولايات المتحدة، حيث أنها كانت قبل ذلك متأخرة هي وكندا عشر سنوات على الأقل عن أوروبا في الاستثمار في الأسقف الخضراء (Magill, 2011, 2). لطالما ارتبطت الأسطح الخضراء بالاستدامة، لأنها تميل إلى أن تكون أفضل بديل لفقدان المساحة الخضراء عند تشييد مبنى. وهي أيضاً إحدى الطرق النموذجية المستخدمة في مبادئ التنمية المستدامة (Raman, 2014, 4). تعتبر الأسطح الخضراء الآن الاتجاه الجديد للحل الجمالي والبيئي والاقتصادي وقبل كل شيء الحل المستدام للمشاكل البيئية الحضرية.



شكل (4.3): مركز Rockefeller في نيويورك



شكل (3.3): منازل الفاينج الشمالي

المصدر: <https://untappedcities.com/>

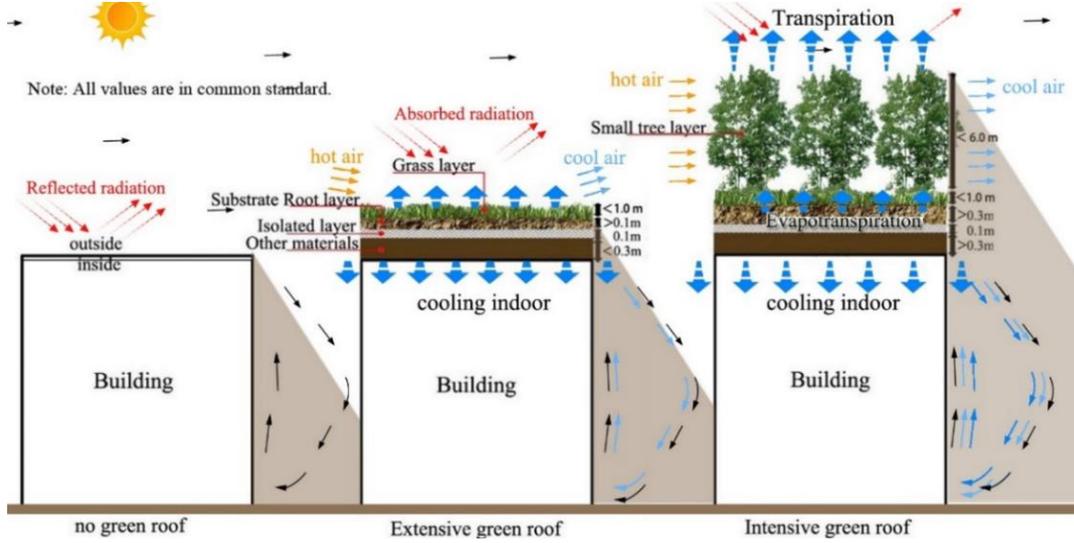
المصدر: <https://en.wikipedia.org/>

3.3. ما هو السطح الأخضر

يمكن شرح مفهوم السطح الأخضر بأنه مساحة خضراء مفتوحة قابلة للاستخدام دون الاستيلاء على مساحة أرض إضافية. وبالتالي، فإن العديد من العملاء والبلديات والمهندسين المعماريين ومهندسي المناظر الطبيعية والمخططين قد اعتبروها عنصراً مهماً وجزءاً لا يتجزأ من ممارسة البناء المستدام. ويمكن أيضاً تعريف السطح الأخضر على أنه سطح مستوٍ أو منحدر يدعم الغطاء النباتي أو سطح مخصص مصمم لتوفير تخضير حضري للمباني أو البيئة. أو حديقة على السطح مخصصة لزراعة الزينة أو مساحة نباتية خصبة، ومصممة للتطور بشكل طبيعي، ومرتكزة على هيكل من صنع الإنسان، من طابق واحد على الأقل، كما أطلقوا عليها مسميات كثيرة مثل "الأسطح البيئية" أو "الأسطح المعيشية" أو "حداائق السطح". (La roche, 2014, 495).

ولكن لا ينبغي الخلط بين هذا السطح الأخضر وحديقة السطح التقليدية، حيث تتم الزراعة في حاويات وأحواض قائمة بذاتها، تقع على شرفة أو سطح يمكن الوصول إليه من قبل مستخدمي المبنى بسهولة. (La roche, 2014, 495). الهدف الأساسي من إنشاء الأسطح الخضراء هو توفير الطاقة في العديد من البلدان ذات الظروف المناخية المختلفة كما تعتبر بنية تحتية مستدامة توفر عدداً من الخدمات. تعتمد إمكانات التبريد والتدفئة الخاصة بهم بشكل رئيسي على المناخ العام في البلدة المنفذة فيه وعلى خصائص مواد البناء (Magill, 2011, 2). لذا فإن الأسطح الخضراء هي في الأساس غطاء لأي هيكل أو أي مبني على أي ارتفاع مثل تغطية كراج وقوف السيارات أو أي منشأة أكاديمية أو أي هيكل تجاري أو سكني - وهي مبرمجة ومصممة من طبقة من النباتات للتخفيف من هدر مياه العواصف والأمطار، وللحد من فقدان وكسب الحرارة ولاستغلالها كمساحة مفتوحة مريحة وقابلة للاستخدام تساعد على تحسين البيئات الحضرية

(Zhao, 2014, 201) ويوضح الشكل (5.3) كيف أن الهواء الساخن في المناطق الحارة المار من خلال سطح أخضر يتحول إلى هواء بارد مما يحسن البيئة الحرارية العامة ويخفض من حرارتها.



شكل (5.3): تحول الهواء الساخن المار من خلال السطح الأخضر إلى هواء بارد

المصدر: (Zhang, 2019, 2)

4.3. أنواع الأسطح الخضراء

هناك ثلاثة أنواع رئيسية من الأسطح الخضراء كما هو موضح في الجدول (1.3)

جدول (1.3): أنواع وخصائص الأسطح الخضراء بأنواعها الثلاثة

الأنواع	الأسطح الخضراء واسعة النطاق Extensive	الأسطح الخضراء شبه الكثيفة Semi-intensive	الأسطح الخضراء الكثيفة Intensive
صورة كل نوع			
متطلبات الصيانة	صيانة بسيطة	صيانة دورية	صيانة عالية
أنواع النباتات	الأعشاب والأغطية الأرضية قليلة الارتفاع والزهور الموسمية	المتسلقات والصبارة والعصارة والشجيرات	أشجار النخيل وأشجار الزينة والنباتات المائية
تنوع النباتات	تنوع قليل	أكثر تنوعاً	تنوع عالي

الأنواع	الأسطح الخضراء واسعة النطاق Extensive	الأسطح الخضراء شبه الكثيفة Semi-intensive	الأسطح الخضراء الكثيفة Intensive
الارتفاع الذي تصل إليه النباتات	15-35 سم وسط النمو ذو سماكة منخفضة	35-50 سم	35-60 سم للمزروعات 1000 سم للأشجار والنخيل ووسط النمو ذو سماكة عالية
الوزن التقريبي	50-100 كجم/م ²	100-150 كجم/م ²	< 150 كجم/م ²
التكلفة	منخفضة	متوسطة	مرتفعة
الاستخدام والوصولية	يعتبر طبقة للحماية البيئية وهي غير قابلة للوصول والاستخدام	سقف أخضر مصمم ويمكن استخدامها نصف استخدام	مثل الحدائق الخارجية الأخرى والغرض الجمالي لها أكثر من الوظيفي، وهي قابلة للوصول والاستخدام
متطلبات الري	ري قليل أو لا ري	ري قليل	نظام ري مخصص
الفوائد	<ul style="list-style-type: none"> • خفيف الوزن ولا تحتاج تدعيم إنشائي. • مناسب للمساحات الواسعة • مناسب للأسطح بميل 0-30 درجة • يحتاج صيانة قليلة ويتميز بعمره الطويل • غالباً غير محتاج للري ولا لنظام تصريف • غالباً ما تكون ملائمة للمشاريع التحديثية، ولا يحتاج خبرات تقنية عالية • يمكن أن تترك النباتات لتنمو بشكل تلقائي، ويبدو طبيعياً إلى حد كبير • نسبياً يعتبر غير مكلف • سهل ترخيصه من قبل سلطة التخطيط 	<ul style="list-style-type: none"> • تنوع أكبر من النباتات • جيد في نظام العزل الحراري • كفاءة الطاقة أفضل وله القدرة على الاحتفاظ بمياه العواصف. 	<ul style="list-style-type: none"> • تنوع كبير جداً من النباتات • جيد في نظام العزل الحراري • شبيهة إلى حد كبير بحديقة الحياة البرية على الأرض • مستوى عالي من الجمال والجاذبية البصرية. • يمكن الوصول إليها في كثير من الأحيان، مع استخدام أكثر تنوعاً للسطح. بمعنى آخر تستخدم للترفيه وزراعة الطعام في وقت واحد. • المزيد من كفاءة الطاقة والقدرة على الاحتفاظ بمياه العواصف والأمطار.
السلبات	<ul style="list-style-type: none"> • كفاءة طاقة أقل وحرمان من فوائد الاحتفاظ بمياه العواصف • محدودة اختيار النباتات • عادة لا يوجد وصول للترفيه أو الاستخدامات الأخرى. • غير جذابة للبعض 	<ul style="list-style-type: none"> • تكلفة صيانة عالية. • زيادة الوزن على السطح أكثر من الأسطح واسعة النطاق. 	<ul style="list-style-type: none"> • وزنها ثقيل على السطح • الحاجة إلى أنظمة الري والصرف التي تتطلب الطاقة والمياه والمواد. • ارتفاع تكاليف رأس المال والصيانة. • تحتاج أنظمة وخبرات أكثر تعقيداً

المصدر: (Kharrufa, 2015, 4)

يمكن القول أن الأسطح الخضراء واسعة النطاق مناسبة للهياكل والمباني القائمة، في حين تستخدم الأسطح شبه الكثيفة في المباني القائمة والمباني في مرحلة التصميم اعتماداً على معايير التصميم والاستخدام حيث يجب أن يتم التخطيط لها في مرحلة مبكرة وخاصة في تصميم الهيكل الإنشائي بسبب الأحمال الإضافية وتقنيات الري الشاملة، أما حدائق السطح الكثيفة فيجب التخطيط لها في مرحلة التصميم ولا يمكن إضافتها بعد إنشاء المبنى (Abd Aziz, 2011, 4).

توفر الأسطح الخضراء بشكل عام ثلاثة أنواع رئيسية من الفوائد البيئية العامة مقارنة بالأسطح التقليدية وهي: إدارة مياه العواصف والأمطار وهي فائدة لا جدال فيها، وتحسين المناخ هي فائدة أخرى ذات أهمية كبيرة حيث تم تصميم الأسطح الخضراء لمحاولة الحد من آثار المناخ الحضري مثل تأثير الجزيرة الحرارية وزيادة تلوث الهواء. والفائدة الثالثة وهي زيادة التنوع البيولوجي، وكلها تسمى بالفوائد العامة. وتوفر الأسطح الخضراء أيضاً فوائد خاصة بالمباني داخلياً مثل توفير استهلاك الطاقة وإطالة عمر غشاء السطح وعزل الصوت ومقاومة الحريق (Abd Aziz, 2011, 3). كما تعتمد مزايا السطح الأخضر أيضاً على الظروف المناخية كما هو موضح في الجدول (2.3):

جدول (2.3): الفوائد الخاصة بكل حالة من الحالات المناخية للأسطح الخضراء

الفوائد	الحالة المناخية
<ul style="list-style-type: none"> • تظليل طبقة السطح • تقليل التأثير المباشر للإشعاع الشمسي • تقليل التقلبات في درجة الحرارة الداخلية • تخفيض قمم درجة حرارة الهواء الداخلي • تخفيض الطاقة المستخدمة لغرض التبريد 	المناخات الدافئة (Sun, 2013, 231)
<ul style="list-style-type: none"> • إمكانات كبيرة لخفض درجة الحرارة القصوى 	المناخات الدافئة والرطبة (Qin, 2012,420)
<ul style="list-style-type: none"> • تخفيض درجة حرارة الهواء الخارجي • تبريد درجة الحرارة الداخلية 	المناخات الدافئة والجافة (Moody, 2013, 264)
<ul style="list-style-type: none"> • التخفيض من التآرجح اليومي لدرجات الحرارة • التخفيف من خروج الحرارة وتسربها المشكوك فيه • والمؤثر على أداء الطاقة في الشتاء. 	المناخات الباردة (Moody, 2013, 264)

تقع منطقة الشرق الأوسط في حالة مناخية دافئة، وبالتالي يمكن تلخيص فوائد الأسطح الخضراء الخاصة بالمباني بأنها تقلل درجة الحرارة الداخلية، بالإضافة إلى المنافع العامة للبيئة الخارجية مثل تخفيض درجة حرارة الهواء الخارجي وتحسين جودة الهواء بالإضافة إلى إدارة مياه الأمطار، وتقليل تأثير الجزيرة الحرارية.

5.3. المبادئ التوجيهية للأسطح الخضراء

1.5.3. شروط السطح ومدى ملاءمته للتخضير

الأسطح أكثر من مجرد "مكونات وظيفية" لحماية هيكل المبنى. فهي تعطي طابعاً خاصاً للمباني، لذلك فإن هناك العديد من النقاط التي يجب مراعاتها عند استخدام الأسطح الخضراء (Abd Aziz, 2011, 6). فمثلاً عند تصميم السطح الأخضر يجب أن تكون الوظيفة الأساسية المطلوبة محددة، لأنه سيكون لها تأثير عميق على التصميم العام، كما يجب دراسة تأثير الارتفاع والتوجيه لأنه سيكون لارتفاع السطح واتجاهه وتعرضه للرياح والشمس والتظليل من المباني المحيطة تأثيراً واضحاً على تصميمه، كما يختلف تصميم السطح الذي يمكن الوصول إليه عن السطح الذي لا يستخدم، وذلك لأن الوصول إلى موقع السطح الأخضر يؤثر على التركيب والصيانة المستمرة وإحضار المواد، كما يجب مراعاة المناخ العام على أنه حار أو رطب أو بارد وجاف عند اختيار النباتات (Kharrufa, 2015, 7).

2.5.3. مكونات الأسطح الخضراء

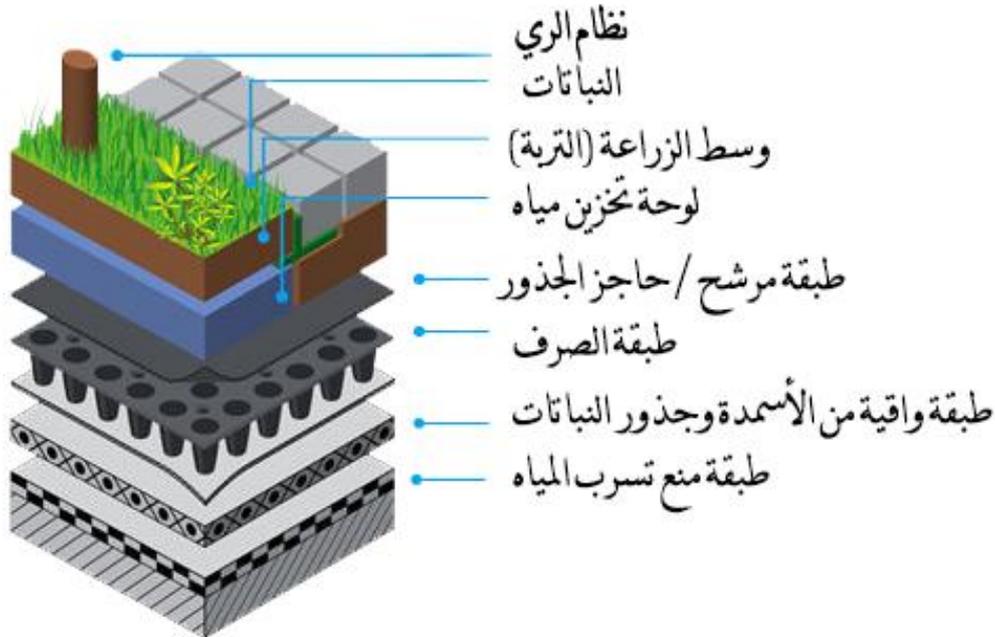
الأسطح الخضراء بأنواعها الثلاثة وبشكل عام لها نفس المكونات القياسية؛ وهي إلى حد كبير شبيهة بالموجودة في حدائق السطح (Henry, 2013, 5)، وهي موضحة في الشكل (6.3) كما يوضح الشكل (7.3) والجدول (3.3) تفصيل عناصر السطح الأخضر، ولأن الكثير من الأشخاص يتساءلون عن الاختلاف بين السطح الأخضر وبين النباتات المزروعة في الطبيعة على الأرض فإن الشكل (8.3) يوضح الفرق بينهما.



1-مزروعات	1-أزهار برية	1-طبقة نباتات عصارية
2- طبقة تربة كثيفة	2-تربة متنوعة بيولوجياً	مزهرة
3- فلتر ترشيح	3-فلتر ترشيح	2-خليط التربة والحصى
4- طبقة تصريف	4-طبقة تصريف	3-فلتر ترشيح
		4-طبقة تصريف

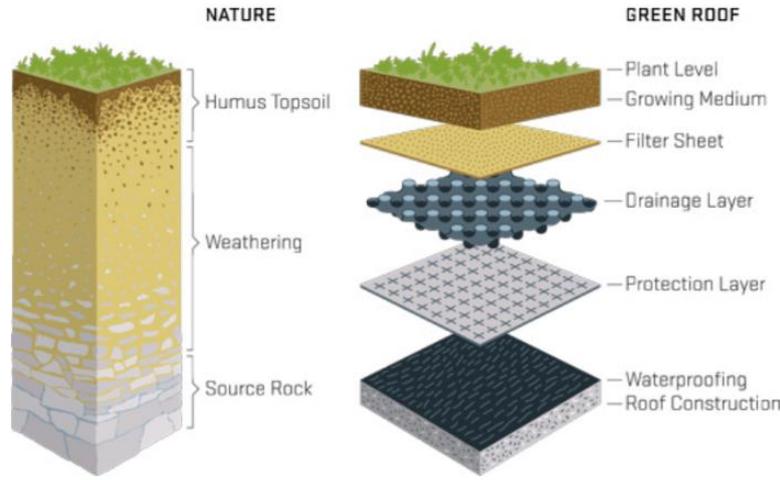
شكل (6.3): مكونات كل نوع من أنواع السطح الأخضر

المصدر: (Kharrufa, 2015, 7)



شكل (7.3): طبقات السطح الأخضر بالتفصيل

المصدر: (<https://www.archiexpo.com/prod/nophadrain/product-83702-1645085.html>)



شكل (8.3): مقارنة طبقات السطح الأخضر بالنباتات المزروعة في الطبيعة

المصدر: (Dimitrijević, 2015, 439)

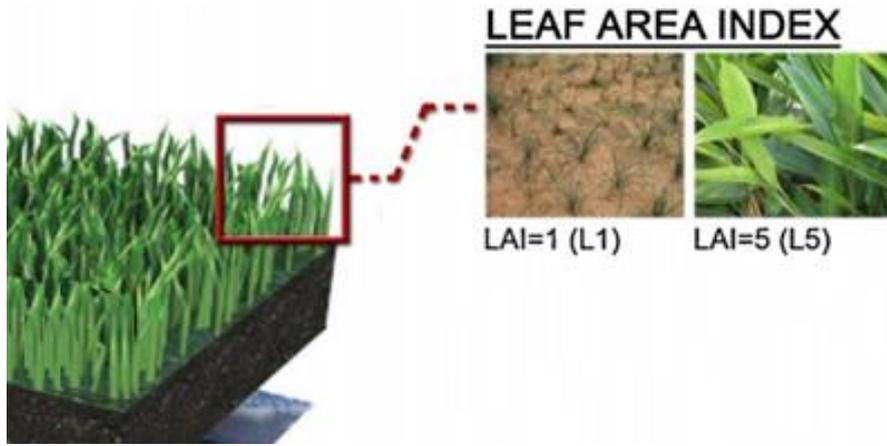
جدول (3.3): تفصيل عناصر السطح الأخضر

يجب أن يتوفر نظام منع تسرب المياه تحت أي سقف أخضر، حتى لا يتسرب الماء إلى السطح الأصلي ويتلفه.	طبقة منع تسرب المياه
يحتاج السطح الأخضر إلى غشاء مخصص للحماية من اختراق الأسمدة وجذور النباتات. يمكن أن يكون الغشاء الواقي عبارة عن لوح من الخرسانة الخفيفة الوزن، أو ورقة من العزل الصلب، أو رقائق النحاس.	طبقة واقية من الأسمدة وجذور النباتات
بين وسط الزراعة وغشاء السقف توجد طبقة يمكن من خلالها تدفق المياه من أي مكان على السطح الأخضر. مطلوب طبقة تصريف لتوزيع المياه بشكل مناسب ومنع التجميع. غالبًا ما تصنع طبقات التصريف من البلاستيك أو المطاط المفرغ، ولكن يمكن أيضًا أن تكون مصنوعة من الحصى أو الطين. عادة ما يكون الحد الأدنى للسك لطبقة التصريف 20 مم.	طبقة الصرف
تعتمد متطلبات الري بشكل كبير على نوع السقف الأخضر، والمناخ، والموقع، وإمدادات المياه والضغط، ووصول الصيانة، وحجم الغرس، ونوع الغطاء النباتي والعمر المتوقع للنباتات. هناك ثلاث طرق لري الأسطح الخضراء: يدوي، أوتوماتيكي بالكامل وشبه أوتوماتيكي	نظام الري
في مكان ما بين وسائط الزراعة وطبقة التصريف، يتم وضع مرشح، والذي يسمح فقط بتدفق المياه كما أنه يعمل أيضًا كحاجز لمنع الجذور من التمدد ويمكنه إعادة توزيع الرطوبة من خلال العمل الشعري من المناطق الرطبة إلى المناطق ذات الرطوبة الأقل	طبقة مرشح / حاجز الجذور
تتميز عن التربة التقليدية بزيادة محتواها المعدني، الذي يتم إنتاجه صناعيًا في الغالب، مما يوفر الأساس لوسط زراعة خفيف الوزن للغاية	وسط الزراعة (التربة)
تعتمد استدامة الأسطح الخضراء في المنطقة بشكل كبير على اختيارات النباتات. ليست جميع الأسطح الخضراء مستدامة بشكل افتراضي. اختيار النبات بعناية أمر ضروري لنجاح السطح الأخضر. يمكن وضع أي نبات تقريبًا على السطح على الرغم من مراعاة بعض القيود	النباتات الموصى بها

المصدر: (Kharrufa, 2015, 8)

بشكل عام فإن جميع أنواع الأسطح الخضراء لها نفس المكونات باستثناء السماكة العالية لوسط الزراعة في السطح الأخضر الكثيف، وسمك أقل في السقف الأخضر واسع النطاق، وهذا يؤثر أيضًا على صفات العزل وكمية الأحمال على المبنى (8, 2015, Kharrufa).

أما بالنسبة لمصطلح LAI فهو اختصار ل Leaf Area Index والذي يعني مؤشر مساحة الورقة وهذا المؤشر يتم التعبير عنه بقيمة يتم التعبير عنها بعدد صحيح تتراوح قيمته بين (1-5) وكلما زادت القيمة فهي تعبر عن مساحة ورقة أكبر وفراغات أقل، وبشكل عام فإن قيمة LAI العالية تستخدم في الأسطح الخضراء الكثيفة، أم القيمة المنخفضة ل LAI فهي تستخدم في حالة الأسطح الخضراء واسعة النطاق، والشكل (8.3) يوضح هذا المصطلح.



شكل (9.3): توضيح لمصطلح LAI

المصدر: (La roche, 2014, 496)

6.3. مستويات تنفيذ الأسطح الخضراء

يمكن تنفيذ السطح الأخضر في مستويات مختلفة اعتمادًا على استخداماتها والغرض منها، ولكن هناك مستويين رئيسيين لتنفيذها، على مستوى المدينة وعلى مستوى المشروع. من خلال تنفيذ الأسطح الخضراء على مستوى المدينة، سنحصل على فوائد عامة للبيئة الحضرية الشاملة، وهذا المستوى يحتاج إلى الكثير من الدعم والتخطيط السابق من المؤسسات المختلفة سواء كان ذلك من القادة والمشرعين والمنظمين والمخططين والمصممين والبنائين ومستويات التخطيط الرئيسية. من جهة أخرى، من خلال تطبيق السطح الأخضر على مستوى نطاق المشروع، ستكون الفوائد خاصة لأصحاب المباني والمخططين. يتطلب هذا المستوى عدة إجراءات مثل دمج المناظر الطبيعية والهندسة المعمارية، وتعزيز المناخ المحلي الحضري (La roche, 2014, 497).

7.3. حالات دراسية عن الأسطح الخضراء

التخطيط لبنية تحتية جيدة للأسطح الخضراء هي الاتجاه الجديد لنهج التصميم المستدام الأخضر بسبب النمو المتسارع للمدن وتقليص المساحة الخضراء الخاصة بكل شخص، وهذا هو الدافع للأسطح الخضراء بسبب فوائدها المتعددة، وقد تم إدراج مجموعة من الحالات الدراسية لحدائق السطح الموجود في كندا حيث تعتبر كندا في الوقت الراهن من الدول الرائدة في هذا المجال. الحالة الدراسية الأولى هي لحديقة سطح مبنى جمعية معدات الجبال، الموجودة في مدينة تورونتو، أونتاريو، كندا. أما الحالة الدراسية الثانية فهي لمكتبة فانكوفر العامة، الموجودة في مدينة كولومبيا البريطانية في كندا، أما الحالة الدراسية الثالثة فهي خاصة بحدائق سطح مبنى تورنتو سيتي هول، كندا.

1.7.3. الحالة الدراسية الأولى: حديقة سطح مبنى جمعية معدات الجبال

The Mountain Equipment Co-op (MEC) extensive green roof

يوضح الشكل (9.3) حديقة سطح مبنى جمعية معدات الجبال، تورونتو، أونتاريو، كندا والتي تعتبر ضمن مستوى نطاق المشروع أي أن معظم فوائدها تعود على نفسها وليس على المدينة ككل، وهي من النوع واسعة النطاق Extensive، وهي تقع في وسط مدينة تورنتو. مساحة السطح الأخضر 903 متر مربع تحيط بمنور يقع في الطابق الثاني من المبنى. يتميز السطح بالتعرض الكامل لأشعة الشمس وسعة تحميل تبلغ 40 psf. النباتات عبارة عن مزيج من الزهور البرية من بذور زهرة دوار الشمس والنباتات المعمرة، وقد تم تركيب السطح الأخضر في مايو 1998م وتم تشييد المبنى في خريف عام 1997م حتى شتاء عام 1998م، وقد تمت إضافة تكاليف إضافية لإعادة تصميم الهيكل الإنشائي نظرًا لأنه كان لابد من إجراء المزيد من التحسينات على هيكل السطح لاستيعاب الأحمال الحية، لكن على الرغم من تدعيم السطح إنشائياً إلا أنه لا يزال لا يتضمن إمكانية الوصول للسطح من قبل الأشخاص (<https://livingarchitecturemonitor.com>).



شكل (10.3): حديقة سطح مبنى جمعية معدات الجبال، تورونتو، أونتاريو، كندا

المصدر: (<https://livingarchitecturemonitor.com>)

2.7.3. الحالة الدراسية الثانية: حديقة سطح مكتبة فانكوفر العامة

Vancouver Public, British Columbia, Canada

يوضح الشكل (10.3) حديقة سطح مبنى مكتبة فانكوفر العامة، كولومبيا البريطانية، كندا والتي تعتبر ضمن مستوى نطاق المشروع أي أن معظم فوائدها تعود على نفسها وليس على المدينة ككل، يمكن رؤية هذا السطح الأخضر الشاسع بمساحة 2400 متر مربع في فانكوفر من أبراج المكاتب في وسط المدينة المحيطة. يقع السطح الذي يتعذر الوصول إليه في أعلى مكتبة القصص السبعة. وهي موجهة نحو المدينة والميناء. تزرع أنواع مختلفة من الأشجار والأوراق الخضراء والزرقاء المنعقدة في وسط نمو خفيف الوزن يتكون من نفايات نباتية معاد تكوينها المخلوط مع الرمل، تم بناء المبنى والسطح الأخضر في عام 1995، حقق السطح الأخضر نجاحًا كبيرًا ولكن لم يتم جمع بيانات قابلة للقياس عنه (<http://www.greenrooftechology.com>).



شكل (11.3): حديقة سطح مبنى مكتبة فانكوفر العامة، كولومبيا البريطانية، كندا

المصدر: (<http://www.greenrooftechology.com>)

3.7.3. الحالة الدراسية الثالثة: حدائق سطح مبنى تورنتو سيتي هول

يوضح الشكل (11.3) حديقة سطح مبنى تورنتو سيتي هول، كندا والتي تعتبر ضمن مستوى نطاق المدينة أي أن معظم فوائدها تعود على كل المدينة، وهي حديقة سطح شبه كثيفة Semi-intensive،، وتقع هذه الحديقة على سطح المنصة بالطابق الأول من مبنى Toronto City Hall في شارع Queen Street West 100. وهو متاح للجمهور، ويضم ثمانية قطع أراضي مختلفة تمثل مجموعة متنوعة من الأسطح الخضراء. وتشمل القطع الثمانية ما يلي:

1. قطعتان شبه مكثفتان يوضحان مجموعة متنوعة من أنواع النباتات وتقنيات المناظر الطبيعية
2. قطعة تحتوي على مروج البلوط الأسود السافانا نادر النوع مع نباتات محلية مستمدة من منطقة هاي بار القريبة المجاورة
3. منطقة حديقة الطيور والفرشات.
4. قطعتان أرض من النوع واسع النطاق Extensive بها مجموعة متنوعة من النباتات
5. قطعتان أرض زراعية حضرية مرتبطتان بالزراعة المستدامة

وقد تم إعادة تشييد وتدعيم الأسطح والسطح الأخضر في خريف عام 2000، ومن العوائق التي واجهت المشروع أنه تم إشراك العديد من الدوائر الانتخابية وكان من الضروري استيعابها جميعاً والتنسيق بينها من أجل تنفيذ السطح الأخضر، ومن مزاياه أنه يوفر فرصة ممتازة للوصول العام والمهني إلى مجموعة متنوعة من أنواع مختلفة من التطبيقات في مكان واحد (<https://urbantoronto.ca/database/projects>).



شكل (12.3): حديقة سطح مبنى مكتبة فانكوفر العامة، كولومبيا البريطانية، كندا

المصدر: (<https://urbantoronto.ca/database/projects>)

8.3. ملخص الفصل

وضح الفصل كيف أن مصطلح السطح الأخضر على الرغم من أنه يبدو بسيطاً إلا أنه أصبح صفة للحد من التلوث وتحسين البيئة الحضرية للتخفيف على نطاق واسع من إهدار مياه الأمطار، ولتحقيق أقصى استفادة من الأراضي الحضرية. وحيث أن معظم المدن تواجه الكثير من المشاكل البيئية مثل ندرة الأراضي، وتلوث الهواء والضوضاء بسبب زيادة عدد السيارات، وقلة نسبة المناطق الخضراء بات من الضروري اللجوء إلى تطبيق مثل هذه الاستراتيجيات لما توفره من أهمية بالغة لأصحاب المباني ومخططي المجتمع لأنها توفر العديد من الفوائد الاجتماعية والبيئية والاقتصادية ذات الطبيعة العامة والخاصة. حيث يتوجب على القادة والمخططين تشجيع ودعم هذه الحقائق ذات الأسطح الخضراء وتوفير القوانين والتشريعات لتطبيقها، كما أشار الفصل إلى بعض الحالات الدراسية لأسطح خضراء مطبقة في كندا حيث تعد من الدول الرائدة في تطبيق الأسطح الخضراء حالياً.

الفصل الرابع

مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالقياس الفيزيائي

الفصل الرابع

مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالقياس الفيزيائي

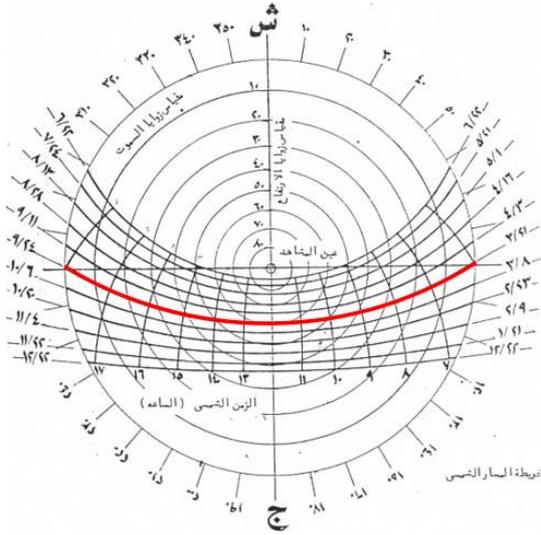
1.4. مقدمة

يناقش الفصل تحديد مستوى الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي، حيث يناقش معدل التصويت الحراري المتوقع (PMV) Predicted Mean Vote، ونسبة عدم الرضا التنبؤية (PPD) Predicted Percentage of discomfort في الغرف الصفية التي تم اختيارها من المدرسة، حيث تم عمل قياسات فيزيائية عن طريق احضار أدوات فيزيائية إلى داخل الغرف الصفية وتم قياس كل من درجة حرارة الهواء (Air temperatures T_A)، ومتوسط درجات حرارة الإشعاعات (Mean Radiant Temperatures T_{MRT}) وذلك لحساب قيمة درجة الحرارة الناتجة (Resultant temperature T_R)، وتم افتراض سرعة الرياح (Air Velocity V_A) حيث أنه من خلال هذه القياسات وباستخدام معادلات معينة يمكن تحديد قيم PMV و PPD في كل غرفة صفية حيث أن العدد الكلي للغرف الصفية 12 غرفة صفية جميعهم في الطابق الثاني (الأخير) من المدرسة 4 منهم مخصصة لتحديد تأثير التوجيه المعماري على الراحة الحرارية، و6 منهم مخصص لتحديد تأثير مساحات الحوائط الخارجة على الراحة الحرارية، و2 منهم مخصصين لتحديد تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية.

2.4. تعريف بمدرسة بيت المقدس في قطاع غزة

الدراسة الميدانية تم إجراؤها في منطقة حضرية تقع في مدينة خانيونس الواقعة في قطاع غزة والذي يقع على دائرة عرض 30-31 شمالاً وعلى خط طول 28-34 شرقاً. وينقسم قطاع غزة إلى خمس محافظات إدارية كما هو واضح في الشكل (1.4)، وهي محافظة الشمال، ومحافظة غزة، ومحافظة الوسطى، ومحافظة خانيونس، ومحافظة رفح (عرنس، 2015م، 11) كما ويتمتع القطاع بمناخ حار ورطب في فصل الصيف ومعتدل مائل للبرودة في فصل الشتاء. وقد تم اختيار فصل الصيف في هذا البحث لتطبيق الدراسة عليه والشكل (2.4) يوضح دائرة المسار الشمسي لقطاع غزة مع تحديد الخط الخاص بفصل الصيف وبشهر سبتمبر بالتحديد والذي تمت الدراسة خلاله. وبما أن قطاع غزة يعتبر من المناطق التي تعاني من نقص في توليد الطاقة الكهربائية فإن الجزء الأكبر من المباني الموجودة في هذه المنطقة يعتمد على التهوية الطبيعية، مما يعني أنه لا توجد أنظمة تهوية وتكييف ميكانيكية (Heating, ventilation, and air conditioning). مما يضطر مستخدمي الفراغات الداخلية إلى توظيف

آليات تكييفية مثل التحكم اليدوي للنوافذ وتغيير الملابس أو تخفيفها وشرب المشروبات الباردة أو الساخنة للحفاظ على ظروف الراحة الحرارية المناسبة.



شكل (2.4): خريطة المسار الشمسي التابعة لمنطقة قطاع غزة



شكل (1.4): خريطة قطاع غزة وموقعه بالنسبة لفلسطين

المصدر: (وزارة الحكم المحلي، 2004م)

المصدر: (ويكيبيديا، 2020م، تعديل الباحثة)

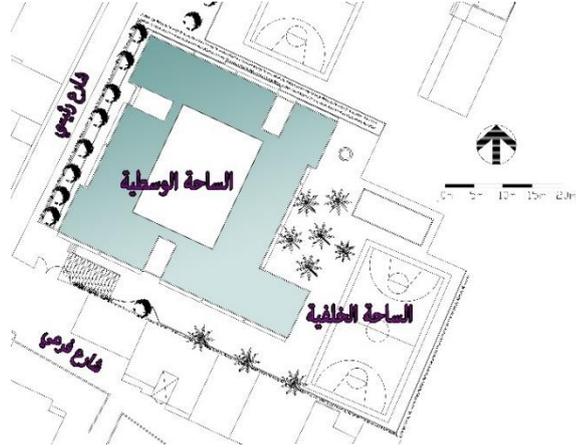
المدرسة التي تم اختيارها هي مدرسة حكومية والمدارس الحكومية في قطاع غزة تعتبر مؤسسات تعليمية تديرها وزارة التربية والتعليم كما وتشرف الوزارة على تصميم وإدارة وتنفيذ هذه المدارس. تطور تصميم المدارس الحكومية عما سبق، فقبل عام 1994م وقعت المدارس تحت حكم الاحتلال الاسرائيلي، وتميزت تلك الفترة ببناء المدارس بطرق عشوائية، وعدم التوجيه الصحيح للمبنى، واحتوائها على نوافذ بفتحات غير كافية للإضاءة، وعدم وجود مختبرات علمية ومعامل حاسوب، وعدم توافر ملاعب (فليفل، 2017م، 52). ومن أكثر الأنماط الشكلية شيوعاً قديماً وحديثاً في قطاع غزة هي المدارس على شكل حرف L وحرف U وحرف F وحرف O وحرف A. المبنى الذي تم اختياره هو مبنى مدرسة ثانوية للبنات يقع على أرض بمساحة 3150م²، وتبلغ مساحة إشغال المبنى 1150م² كما ويحتوي على ساحة وسطية بمساحة 320م² وساحة خلفية بمساحة 790م² بالإضافة إلى الارتدادات الجانبية، ويوضح الشكل (3.4) الموقع العام للمدرسة والشوارع المحيطة بها ومدخلها وارتفاع المباني القريبة منها، كما يوضح الشكل (4.4) الساحة الوسطية والساحة الخلفية للمدرسة، ويوضح الشكل (5.4) ساحة المبنى من داخل المدرسة مع سقفها المعروش.



شكل (3.4): الموقع العام للمدرسة مع الشوارع والمباني المحيطة



شكل (5.4): الساحة الوسطية المظللة عن طريق سقف زينكو (صفيح)



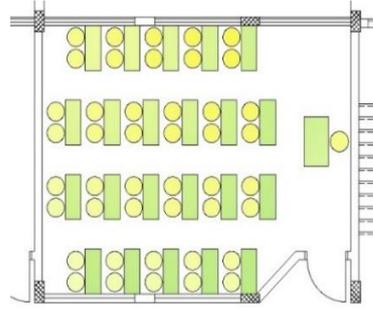
شكل (4.4): مواقع الساحتين الوسطية والخلفية في الموقع الخاص

يتكون المبنى من طابق أرضي وطابق أول وطابق ثاني، حيث سيتم التركيز في هذا البحث على الغرفة الصفية الواقعة في الطابق الثاني (الأخير). يبلغ ارتفاع كل من الغرفة الصفية 3.18 متر. التهوية الطبيعية هي إستراتيجية التكييف الرئيسية داخل الغرفة الصفية الدراسية، والتي يتم تحفيزها عن طريق التشغيل اليدوي للنوافذ المطلة على الخارج والنوافذ الأخرى المطلة على الممرات الداخلية للمدرسة. كما أنه لا يوجد في أي من الغرف الصفية أي وسائل للتهوية الميكانيكية مثل مراوح السقف أو المكيفات، تبلغ مساحة سطح كل غرفة من الغرف الصفية 47.8 مترًا مربعًا، كما تحتوي كل غرفة على عدد يتراوح بين (39-44) طالبة بالإضافة إلى المعلمة كما هو واضح في الشكل (6.4)، وقد تم اختيار هذه المدرسة بالتحديد للأسباب التالية:

1. طالبات المدرسة هم في المرحلة الثانوية وهذا يعني أن عندهم القدرة على التجاوب مع الباحثة أكثر من غيرهم.
2. المدرسة على شكل حرف O أي أن جميع الجهات تحتوي على غرف صفية مما يساعد على دراسة جميع التوجيهات.
3. لا يوجد أي من المباني العالية المحيطة بالمدرسة في أي جهة من الجهات الأربعة مما يعمل على ثبات ظروف المقارنة.
4. سطح المبنى لا يوجد عليه ظلال خارجية مؤثرة طوال وقت الدوام المدرسي فكتل بيت الدرج متوقفة عند الطابق الثاني وغير بارزة كما هو موضح في الشكل (7.4) والشكل (8.4)، باستثناء كتلة واحدة تصل حتى للسطح لأعمال الصيانة والكتلتان موضحتان في الشكل (9.4)، وتأثير كتلة بيت الدرج البارزة وذروة المبنى غير كبير خلال أوقات الدوام إلا خلال الساعة السابعة صباحاً كما هو واضح في الشكل (10.4).



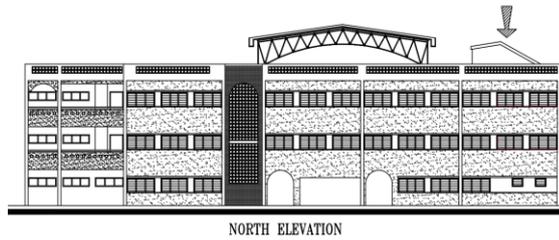
شكل (7.4): مبنى المدرسة ويتضح منه أن جميع الكتل على نفس الارتفاع



شكل (6.4): توزيع مقاعد وكراسي الطالبات والمعلمة في الغرفة الصفية



0m 5m 10m 15m 20m

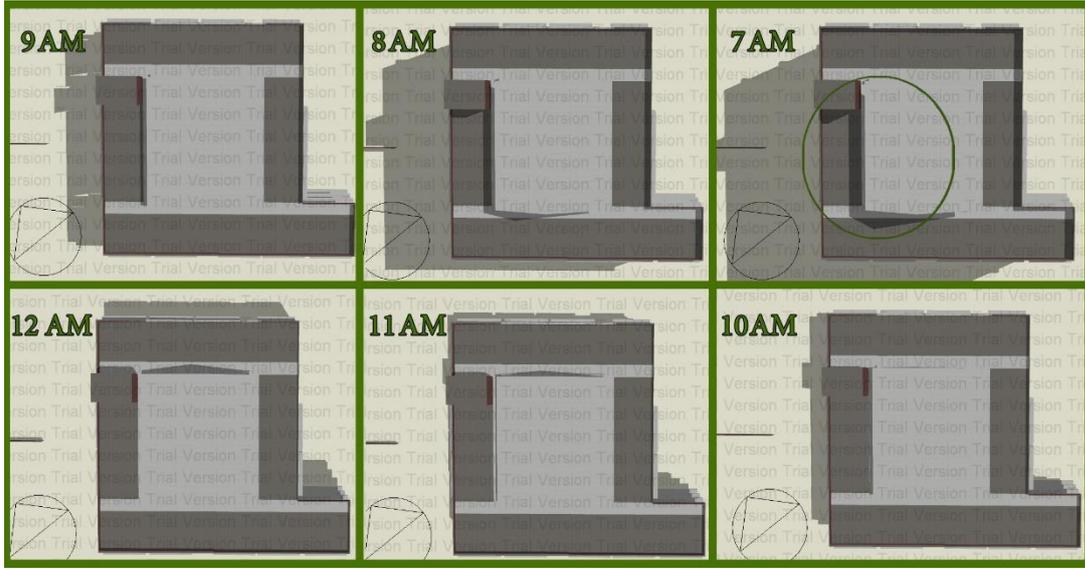


NORTH ELEVATION

0m 5m 10m 15m 20m

شكل (9.4): كتلة بيت الدرج الأول والثاني غير الواصلات إلى السطح على جهة اليمين وعلى جهة اليسار الكتلة الواصلة للسطح

شكل (8.4): واجهة المدرسة ويتضح منها أن الكتل على نفس الارتفاع باستثناء كتلة بيت الدرج المشار إليها



شكل (10.4): يتضح أن تأثير الذروة وكتلة بيت الدرج البارزة على سطح المبنى غير واضح إلا عند الساعة السابعة والثامنة صباحاً كما أن تأثير خفيف.

3.4. طريقة حساب الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالقياس الفيزيائي

لحساب مستوى الراحة الحرارية يجب حساب كل من PMV و PPD واللذان يتم حسابهما عن طريق قياس قيم درجات حرارة الهواء T_A وقيم الرطوبة النسبية RH ومتوسط درجات حرارة الإشعاعات T_{MRT} ، وبالنسبة لقيم سرعات الرياح فقد تم تجاهلها ووضع قيمة افتراضية لها كما سيتم التوضيح لاحقاً، تم عمل القياسات الفيزيائية على 12 غرفة صفية، تم تطبيق التجربة الأولى على 4 من هذه الغرف الصفية مختلفة في توجيهها المعماري، ثم تم تطبيق التجربة الثانية على 6 غرف صفية ثلاث منها واقعة على الاتجاه الجنوبي الغربي للمدرسة ومتشابهة في جميع الخصائص إلا أنها مختلفة في مساحة الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية حيث أن هناك غرفتان صفيتان طرفيتان يوجد بهما مساحة كبيرة من الحوائط معرضة للعوامل الخارجية وهناك غرفة وسطية يوجد بها مساحة ضئيلة، ثم تم تكرار نفس التجربة ولكن على ثلاث غرف صفية واقعة على الاتجاه الشمالي الشرقي من المدرسة، والهدف من هذه التجربة هو دراسة مدى تأثير مساحة الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية على الراحة الحرارية، أما عدد الغرف الصفية في التجربة الأخيرة فهو 2 وقد تم تخصيصهم لدراسة تأثير وجود كاسرات الشمس المثبتة على نوافذ الغرف الصفية على مستوى الراحة الحرارية الداخلية، حيث تم عمل التجربة على غرفتين صفيتين يوجد بكلاهما كاسرات شمس إلا أن إحدهما قد تمت إزالة كاسرات الشمس عن نوافذها مؤقتاً حتى إتمام التجربة والانتهاء منها.

ومن أجل حساب قيم كل من PMV و PPD في كل غرفة صيفية فإنه يتوجب أيضاً حساب قيمة كل من معدل الأيض (Metabolic rate (Met) ومعدل عزل الملابس (Clothing insulation (Clo) حيث يوضح الجدول (2.4) مجموع قيمة Clo التي تم حسابها من قبل الباحثة بناءً على الجدول (2.2) الخاص بجميع قيم Clo الموجود في الفصل الثاني من البحث وبناءً على أن زي الطالبات موحد إلى حد كبير في المدرسة فقد تم التعامل به في حساب قيمة PMV لكل غرفة صيفية.

جدول (1.4): قيمة Clo الخاصة بزي طالبات المدرسة

قيمة كلو clo	نوع الثياب
0.4	ثوب طويل بأكمام طويلة
0.1	بنطال طويل
0.09	بلوزة داخلية
0.02	جوارب
0.05	بوت رياضي
0.05	حجاب رأس
(0.71)	المجموع

أما بالنسبة لمعدل الأيض الخاص بالحركة التي تقوم بها الطالبات في وضعية الجلوس أثناء الحصص المدرسية فقد تم اختيار قيمة $70w/m^2$ بناءً على القيم الموجودة في الجدول الموجود في الفصل الثاني من البحث وذلك مع اعتبار متوسط مساحة جسم الإنسان تساوي m^2 1.8 تقريباً.

تم أخذ القياسات في آن واحد لذلك استعانت الباحثة بأشخاص مساعدين لمراقبة الأجهزة وتدوين البيانات حيث تم قياس كل من درجات حرارة الهواء (Air temperature) ومتوسط درجات حرارة الإشعاعات (Mean radiant temperature) وقيم الرطوبة النسبية (Relative humidity) كل دقيقتان، تم استخدام جهاز HTC-1 الموضح في الشكل (11.5) لقياس كل من قيم درجة حرارة الهواء وقيم الرطوبة النسبية، أما قيم متوسط درجة حرارة الإشعاعات فقد تم استخدام جهاز HTC-2 لحسابها وهو جهاز شبيه ب HTC-1 ولكن مع فرق أن حساس قياس درجة الحرارة موضوع في الخارج وليس داخلي، وذلك للتمكن من وضع الحساس داخل كرة بينج بونج سوداء كما يوضح الشكل (12.4) وهذا لأن هذه الكرة قادرة على امتصاص كافة الإشعاعات المحيطة وقياس متوسط درجات حرارة الإشعاعات بسهولة (Kotbi etc, 2012, p3)، أما سرعة الرياح فقد تم افتراضها على أن تكون 0.2 متر/ ثانية حيث أشار نيكول وهمبريز ورووف في

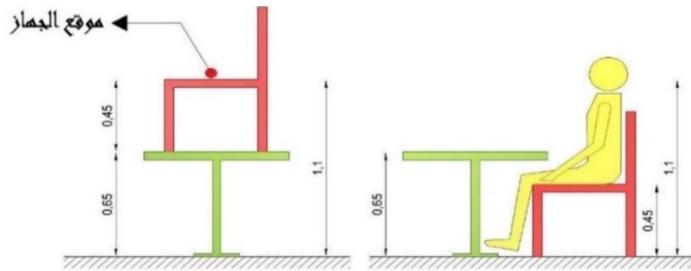
كتابهم "الراحة الحرارية التكميلية: المبادئ والمعايير العملية"، إلى أن سرعة الهواء عندما تكون أقل من 0.1 م/ث يمكن إهمالها، وأنه يمكن في أي فراغ افتراض سرعة هواء قدرها 0.2 م/ث عندما تكون النوافذ مفتوحة، وسرعة هواء قدرها 0.1 م/ث عندما يتم إغلاق النوافذ (Gallardo etc, 2016,p6)، لهذا فقد تم إدراج قيمة 0.2 م/ث لسرعة الهواء في جميع التجارب لحساب قيمة PMV و PPD. وقد تم تثبيت الأجهزة على ارتفاع 1.1 متر وهو الارتفاع المناسب لقياس مستوى الرضا الحراري للشخص الجالس (ASHRAE-55, 2017, 16) كما يوضح الشكل (13.4) والشكل (14.4). كما تم وضع جميع الأجهزة في منتصف كل غرفة صفية كما هو واضح في الشكل (15.4).



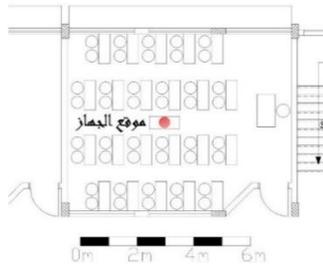
شكل (12.4): إدخال الحساس الخارجي لجهاز HTC-2 داخل كرة البينج بونج السوداء



شكل (11.4): جهاز HTC-1 الذي استخدم لقياس درجات حرارة الهواء والرطوبة النسبية



شكل (13.4): كيفية الحصول على ارتفاع 1.1 متر عن طريق وضع كرسي فوق الطاولة



شكل (15.4): موقع الجهاز في منتصف كل غرفة صفية



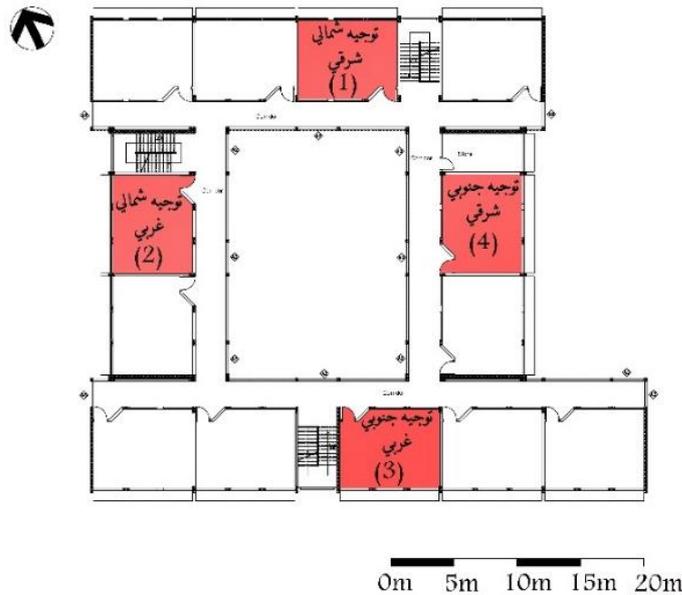
شكل (14.4): وضع الأجهزة على الكرسي فوق الطاولة في منتصف كل غرفة صفية

ومن أجل الحصول على النتائج بشكلها الأوضح والأبسط فإنه سيتم دمج قيم درجة حرارة الهواء Air Temperatures مع قيم متوسط درجات حرارة الإشعاعات Mean Radiant Temperature في قيمة واحدة والتي تسمى درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature والتي يمكن الحصول عليها باستخدام المعادلة التالية:
Resultant temperature (T_R) = $(T_A + T_{MRT}) / 2$ (ASHEAR, 2010, 13)

وقد تم الحصول على جميع قيم T_R لكافة الفترات باستخدام نفس المعادلة وبنفس الآلية

4.4. تأثير توجيه الغرف الصفية على الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي

تم إجراء التجربة على 4 غرف صفية متشابهة في جميع الخصائص إلا أنها مختلفة في التوجيه المعماري، والشكل (16.4) يوضح الغرف الصفية المدروسة وهي الغرفة الصفية (1) والتي تتمتع بتوجيه شمالي شرقي والغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي والغرفة الصفية (3) والتي تتمتع بتوجيه جنوبي غربي، والغرفة الصفية (4) وهي بتوجيه جنوبي شرقي. تم توزيع أجهزة القياس في نفس التوقيت على الغرف الصفية الأربعة حتى تكون الظروف متشابهة حيث تم عمل هذه التجربة في يوم الخميس الموافق 2019/9/26م وتم البدء بأخذ القياسات من بداية الحصة الأولى والتي تبدأ 7:30 صباحاً حتى نهاية الحصة الخامسة والتي تنتهي الساعة 11:05 قبل الظهر مع العلم أن الدوام في المدرسة عبارة عن 6 حصص إلا أنه في يوم الخميس يكون عدد الحصص فقط 5، وتوضح الأشكال (17.4) و(18.4) و(19.4) و(20.4) الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية المختلفة.



شكل (16.4): مواقع الغرف الصفية الواقعة على التوجيهات المعمارية المختلفة



شكل (18.4): الغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي



شكل (17.4): الغرفة الصفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي



شكل (20.4): الغرفة الصفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي



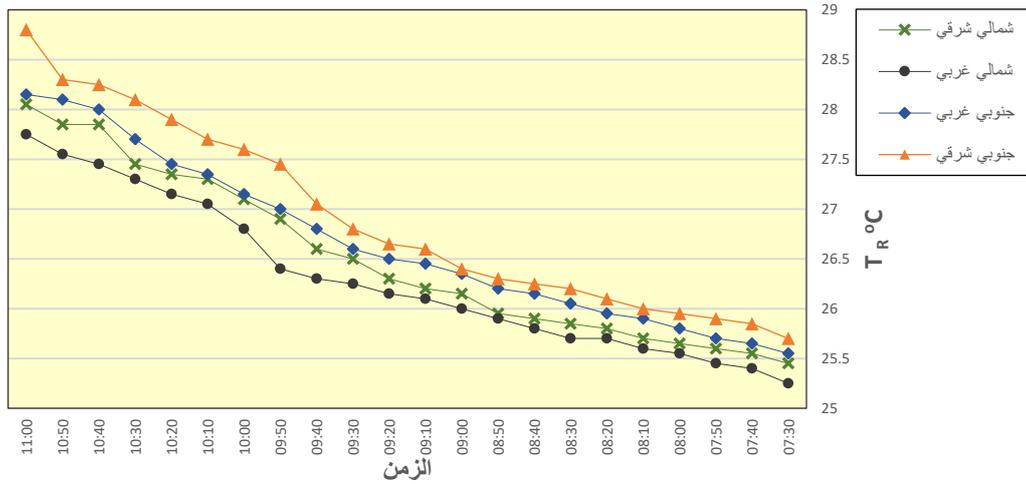
شكل (19.4): الغرفة الصفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي

1.4.4. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري

تم قياس درجات حرارة الهواء Air Temperatures ودرجات حرارة الإشعاعات Mean Radiant Temperatures لكافة الغرف الصفية في نفس الوقت للمحافظة على ثبات الظروف و تم استخدام المعادلة الموجودة في الفصل الثاني من البحث وهي:

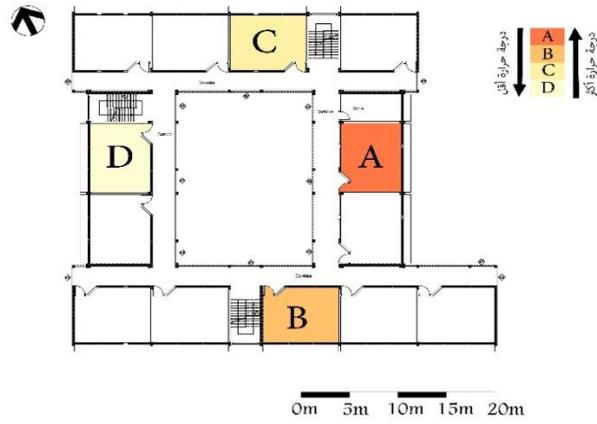
$$(T_R) = (T_A + T_{MRT}) / (2) \quad (ASHEAR, 2010, 13)$$

حيث تم استخدامها للحصول على قيم درجات الحرارة الناتجة resultant Temperatures، يوضح الشكل (21.4) نتائج القياس لدرجات الحرارة الناتجة في كل غرفة صفية والمعروضة على شكل مخطط يعرض نتائج درجات الحرارة الناتجة مقابل الزمن.



شكل (21.4): قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري

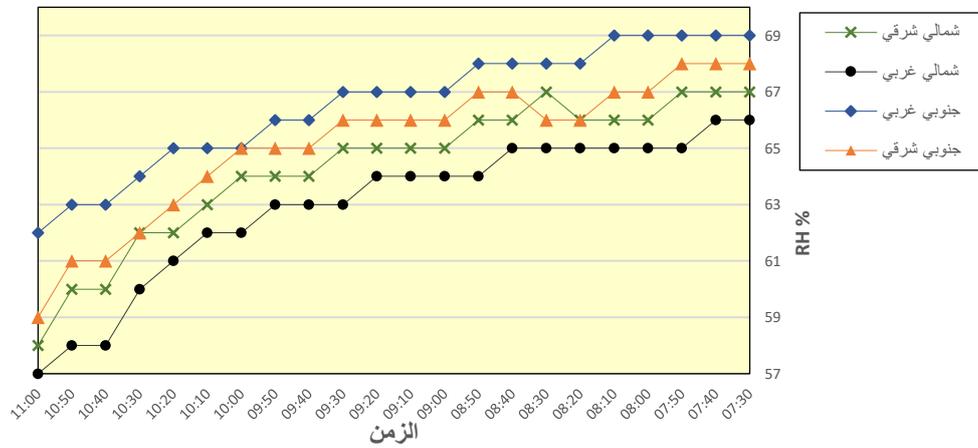
من القيم السابقة الموضحة في المخطط نجد أن جميع قيم درجات حرارة الهواء تتزايد كلما تقدم الوقت إلا أن الفرق في قيم درجات الحرارة الناتجة بين الغرف يعتبر بسيطاً وتعتبر جميع الغرف ضمن النطاق نفسه لدرجات الحرارة الناتجة، ولكن يمكن القول أن الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي تعاني من أكثر الدرجات ارتفاعاً، تليها الغرفة الصيفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي، ثم تأتي الغرفة الصيفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي، أما أقل الغرف الصيفية ارتفاعاً في درجات الحرارة الناتجة هي الغرفة الصيفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي، ويمكن تعليل ذلك إلى أنه عند تحليل حركة المسار الشمسي في خريطة المسار الشمسي التابعة لقطاع غزة والموضحة في بداية الفصل نلاحظ أن الشمس في شهر سبتمبر تبدأ بالظهور من جهة الشرق عند الساعة 6:00 صباحاً وتنتقل إلى اتجاه الجنوب مروراً بالاتجاه الجنوبي الشرقي خلال الساعات التالية (7:00-8:00-9:00-10:00-11:00-12:00)، مما يعني أن الفصول الواقعة على الاتجاه الجنوبي الشرقي ستكون معرضة لأشعة الشمس المباشرة خلال جميع ساعات الدوام وهذا يعني أنها ستحظى بأعلى درجات الحرارة، والشكل (22.4) يوضح تلوين للغرف الصيفية في المسقط للتمييز بين الغرف الصيفية الأعلى في درجات الحرارة الناتجة والغرف الصيفية الأقل.



شكل (22.4) تلوين للغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري لتمييز الغرفة الصيفية الأعلى في درجات الحرارة الناتجة والغرفة الأقل

2.4.4. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري

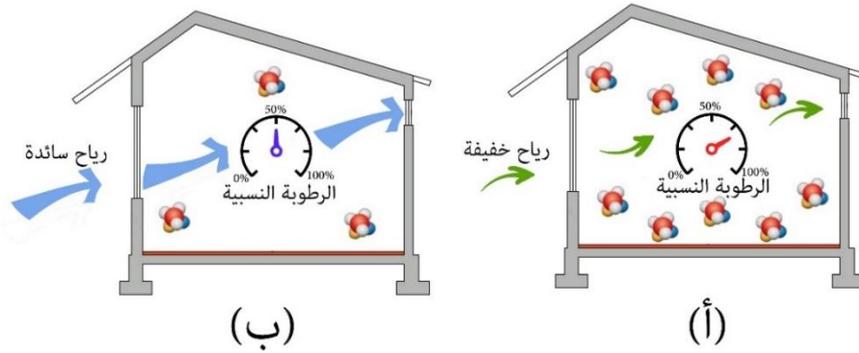
تم قياس قيم الرطوبة النسبية Relative humidity لكافة الغرف الصيفية في نفس الوقت للمحافظة على ثبات الظروف، والشكل (23.4) يوضح مخطط قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها في كل غرفة صيفية.



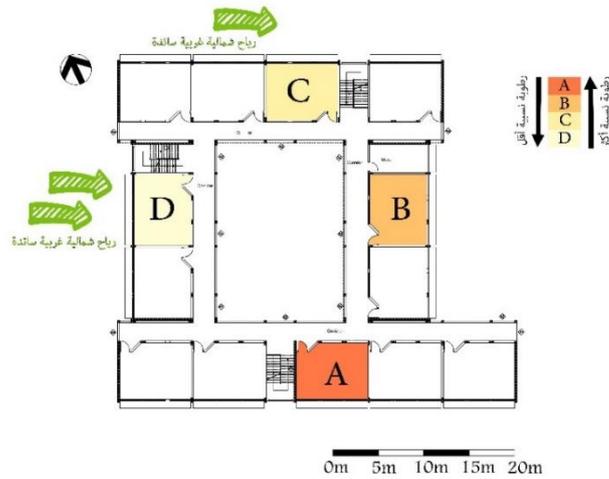
شكل (23.4): قيم الرطوبة النسبية في الغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري

من المخطط نجد أن جميع قيم الرطوبة النسبية تتنازلياً كلما تقدم الوقت خلال ساعات الدوام، كما يتضح لنا من النتائج أن الغرفة الصيفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي تمتلك أكبر قيم رطوبة نسبية ارتفاعاً، تليها الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي، ثم الغرفة الصيفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي، وأقل الغرف الصيفية ارتفاعاً في نسبة الرطوبة النسبية

هي الغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي، ويمكن تعليل هذه النتائج إلى أن قيم الرطوبة النسبية لها علاقة بالتوجيه حيث وجد أن الغرف المعرضة للتهوية أكثر نسبة الرطوبة فيها أقل، وحيث أن الرياح السائدة في قطاع غزة هي الرياح الشمالية الغربية لذلك فإن الغرف الأكثر تعرضاً لها هي الأقل في نسبة الرطوبة، حيث أن الهواء النقي يعمل على استبدال هواء الغرفة المحمل ببخار الماء الناتج عن المستخدمين كما هو موضح في الشكل (24.4) حيث أنه كلما زادت حركة الهواء كلما قل بخار الماء المسبب للرطوبة العالية في الفراغ المعماري كما هو واضح في الفراغ (ب)، وكلما قلت حركة الهواء كلما زادت الرطوبة النسبية كما هو في الفراغ (أ)، والشكل (25.4) يوضح تلوين للغرف الصفية في المسقط للتمييز بين الغرفة الصفية الأعلى في الرطوبة النسبية والغرفة الصفية الأقل.



شكل (24.4): زيادة حركة الهواء تعمل على تقليل بخار الماء المسبب للرطوبة العالية في الفراغ المعماري



الشكل (25.4) تلوين للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري لتمييز الغرفة الصفية الأعلى في الرطوبة النسبية والغرفة الأقل مع توضيح اتجاه الرياح السائدة في قطاع غزة

3.4.4. مقارنة قيم PMV و PPD للغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري

استنادًا إلى البيانات البيئية المقاسة (درجة حرارة الهواء ومتوسط درجات الحرارة الإشعاع، والرطوبة النسبية) والقيم المقدرة لسرعة الهواء النسبية، ومعدل الأيض، وعزل الملابس، تم حساب قيم مؤشر الراحة الحرارية PMV و PPD باستخدام الخوارزمية المدرجة في ISO 7730 ((2005)) وآشري (2017)، حيث تم حساب القيم لكل حصة من خلال برنامج يتم فيه ادخال متوسط قيم T_A و T_{MRT} و RH و Air Speed و Met و Clo كما هو موضح في الشكل (26.4).

JAVA applet for ISO 7730
Calculation of Predicted mean Vote (PMV),
and Predicted Percentage Dissatisfied (PPD),
PMV 2008 ver 1.0, Ingvar Holmer.
BOOKMARK THIS PAGE in order to ALWAYS
use the LATEST VERSION of the code.
Disclaimer and references at the end of the document.

Calculation of PMV and PPD

70	M (W/m2), Metabolic energy production (58 to 232 W/m2)
0	W (W/m2), Rate of mechanical work, (normally 0)
22	Ta (C), Ambient air temperature (10-30)
22	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
0.1	v (m/s), Relative air velocity (0.1 to 1 m/s)
50	rh (%), Relative humidity
1.0	Icl (clo), basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m2K)

PMV and PPD

PMV -3 cold to +3 hot

PPD (%)

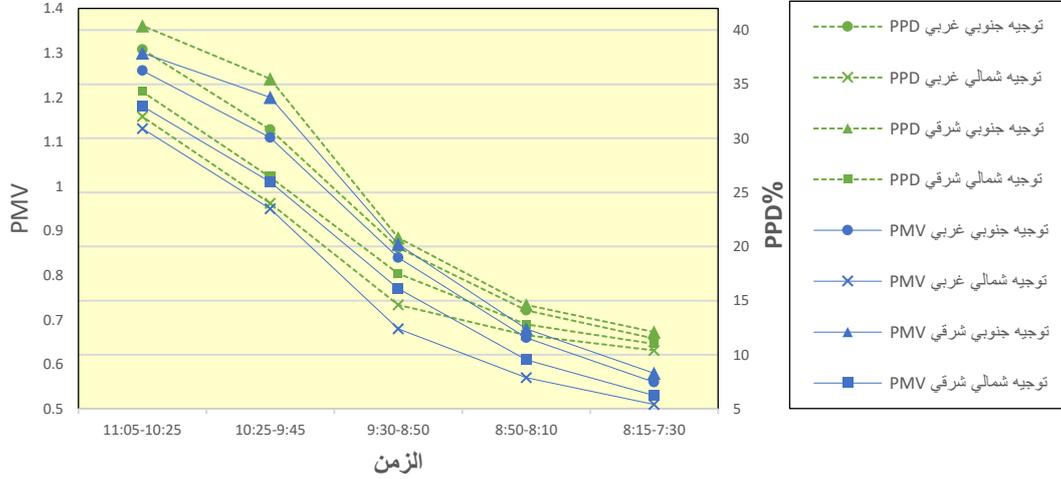
message

شكل (26.4): البرنامج الذي تم استخدامه لحساب قيم كل من PMV و PPD

المصدر: http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html

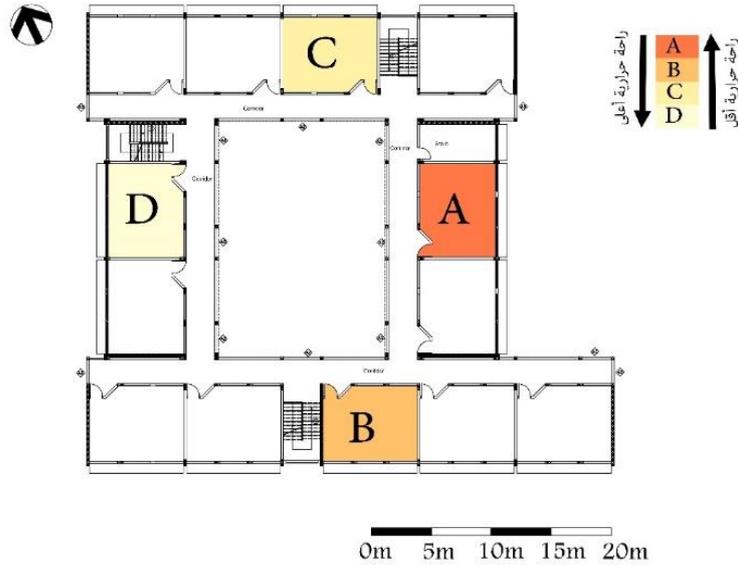
وبعد الحصول على النتائج تم ترجمتها على شكل مخطط بياني يوضح أي الغرف الصيفية تعاني من ارتفاع في قيم كل من PPD و PMV. يوضح الشكل (27.4) أن الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي تعاني من أعلى قيم لمعدل التصويت الحراري المتوقع (PMV) من قبل الطالبات وتليها الغرفة الصيفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي ثم تليهم الغرفة الصيفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي والغرفة الصيفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي تمتلك أفضل مستوى راحة حرارية بين هذه الغرف، مما يترتب عليه أن الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي تعاني من أعلى قيم لنسبة عدم الرضا التنبؤية (PPD) وتأتي بعدها الغرفة الصيفية (3) ثم الغرفة الصيفية (1) ثم الغرفة الصيفية (2) ويمكن ملاحظة ذلك بوضوح في المخطط الموجود في الشكل (27.4)، ومن هنا نجد أن العلاقة متناسبة طردياً بين كل من PPD

و PMV . حيث أن النتائج مرتبطة ببعضها ارتباطاً وثيقاً، كما نلاحظ متانة العلاقة بين قيمة T_R وقيمة PMV حيث أن الترتيب التصاعدي من الأقل في مستوى الراحة الحرارية حتى الأعلى هو نفسه في كليهما.



شكل (27.4): قيم PMV و PPD للغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري

في نهاية التجربة الأولى يمكن القول أنه من خلال القياس الفيزيائي الميداني وجد أن الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي يعاني مستخدموها من أسوأ مستوى للراحة الحرارية مقارنة مع باقي الغرف الصيفية ثم تليها الغرفة الصيفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي، وتأتي بعدها الغرفة الصيفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي، لتحصل الغرفة الصيفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي على أفضل مستوى من الراحة الحرارية مقارنة بباقي الغرف الصيفية، كما لوحظ أن قيم درجات الحرارة الناتجة أثرت أكثر من قيم الرطوبة النسبية على قيم PMV و PPD وبالتالي على الراحة الحرارية، والشكل (28.4) يوضح تلوين للغرف الصيفية للتمييز بين الأكثر راحة حرارية والأقل راحة حرارية. وسيتم أخذ هذه النتائج بعين الاعتبار ليطم بعد ذلك مقارنتها بالنتائج التي سيتم الحصول عليها من استطلاع آراء مستخدمي هذه الغرف الصيفية الأربع، كما سيتم مقارنتها بالنتائج التي سيتم الحصول عليها بالمحاكاة المحوسبة لنفس الغرف الصيفية أيضاً حيث أنه كلما كانت النتائج متشابهة في الطرق الثلاثة للقياس، كلما كانت أداة القياس ذات موثوقية أكثر.



شكل (28.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر راحة حرارية والأقل راحة حرارية للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري

5.4. تأثير مساحات الحوائط الخارجية للغرف الصفية على الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي

تمت دراسة مستوى الراحة الحرارية في ست غرف صفية مقسمة إلى مجموعتين؛ المجموعة الأولى عبارة عن ثلاث غرف صفية بنفس الخصائص (غرفة صفية 1، 2، 3) بحيث أن توجيههم جميعاً جنوبي غربي وكلهم لهم نفس الحجم كما أن جميعهم يمتلكون نفس النوافذ من حيث المواقع والمساحة والعدد، إلا أن هناك اختلاف في مساحة الحوائط الخارجية المعرضة لأشعة الشمس، فأحدى هذه الغرف الصفية وسطية وهي معرض للعوامل الخارجية من حائط واحد فقط بحيث أن مساحة الحوائط الخارجية فيها قليلة والشكل (29.4) يعبر عنها بشكل مبسط، أما الغرفتين الأخرتين فهما طرفيتين ومعرضتين للعوامل الخارجية من حائطين أي أن مساحة الحوائط الخارجية فيها كبيرة وهي موضحة بصورة مبسطة في الشكل (30.4)؛ والحائط الثاني في إحدهما جنوبي شرقي والأخرى حائطها الخارجي الثاني شمالي غربي وهو في كلا الفصلين عبارة عن خرسانة مسلحة كما هو موضح في الشكل (31.4) والذي تم إعداده بواسطة وزارة التربية والتعليم، كما أنه لا يحتوي نوافذ فهو مصمت بالكامل، أما المجموعة الثانية من الغرف الصفية التي تمت دراستها فهي شبيهة بالمجموعة الأولى إلا أن الغرف الصفية الموجودة فيها تقع على الاتجاه الشمالي الشرقي. والشكل (32.4) يوضح الست غرف الصفية المدروسة في هذه التجربة والتي

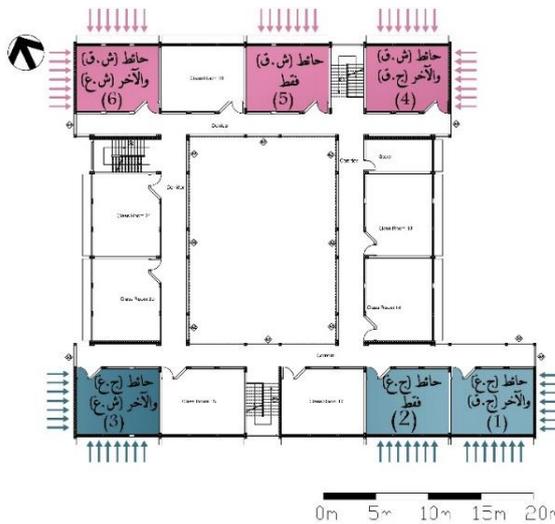
تهدف إلى تحديد مدى تأثير مساحة الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية على الراحة الحرارية، وقد تمت الدراسة في يوم السبت بتاريخ 2019/9/28م.



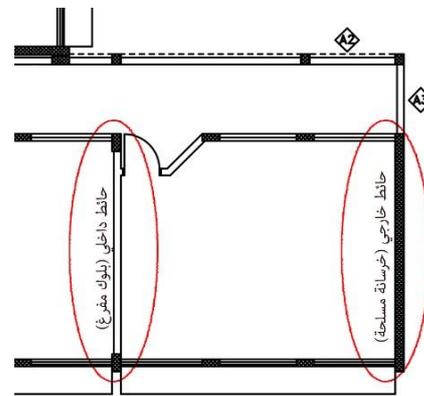
شكل (30.4): غرفة صفية طرفية معرضة للعوامل الخارجية من حائطين



شكل (29.4): غرفة صفية وسطية معرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد



شكل (32.4): الغرف الصفية ذات المساحات المختلفة المعرضة للعوامل الخارجية



شكل (31.4): الحائط الخارجي خرسانة مسلحة أما الحائط الداخلي بلوك مفروق

تم أخذ القياسات الفيزيائية داخل الفصول التي تمت مراقبتها في يوم السبت بتاريخ 28 سبتمبر لعام 2019 وتم البدء بأخذ القياسات من بداية الحصة الأولى والتي تبدأ 7:30 صباحاً حتى نهاية الحصة السادسة والتي تنتهي الساعة 11:45 قبل الظهر، حيث تم استخدام جهاز لقياس درجات حرارة الهواء T_A وجهاز لقياس قيم الرطوبة النسبية RH وجهاز لقياس قيم متوسط درجات حرارة الإشعاعات T_{MRT} أما سرعة الرياح V_S فقد تم افتراضها كما حدث في التجربة السابقة، كما تم حساب قيم درجات الحرارة الناتجة T_R عن طريق قيم كل من T_A و T_{MRT} وتوضح الأشكال من (33.4) حتى (38.4) الغرف الصفية ذات مساحات الحوائط الخارجية المختلفة.



شكل (34.4): الغرفة الصفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط



شكل (33.4): الغرفة الصفية (1) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق)



شكل (36.4): الغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق)



شكل (35.4): الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ)



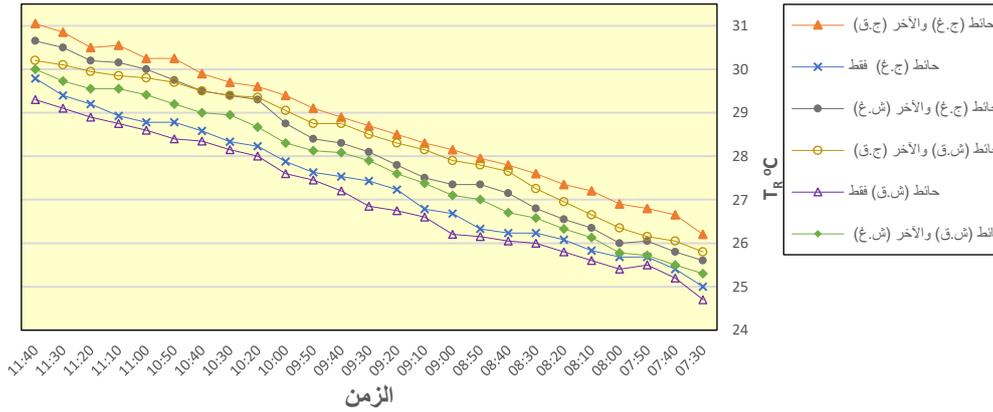
شكل (38.4): الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ)



شكل (37.4): الغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط

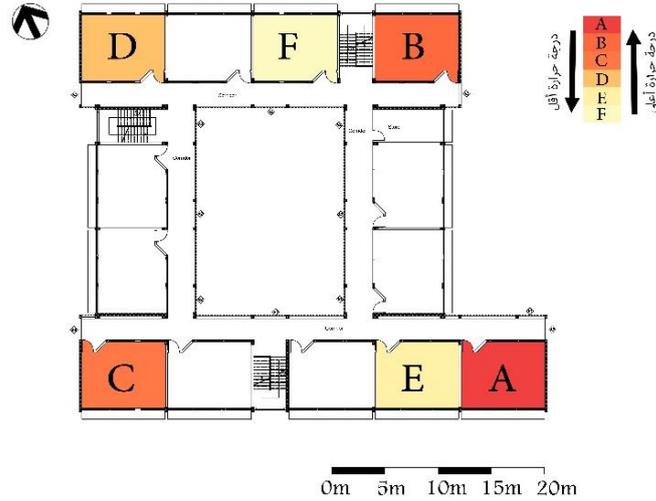
1.5.4. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

تم الحصول على قيم درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature داخل الفصول المختلفة في مساحات الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية بالآلية التي تم العمل بها سابقاً، والشكل (39.4) يوضح نتائج قيم درجات حرارة الهواء في كل غرفة صافية مقابل الزمن.



شكل (39.4): قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرف الصافية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

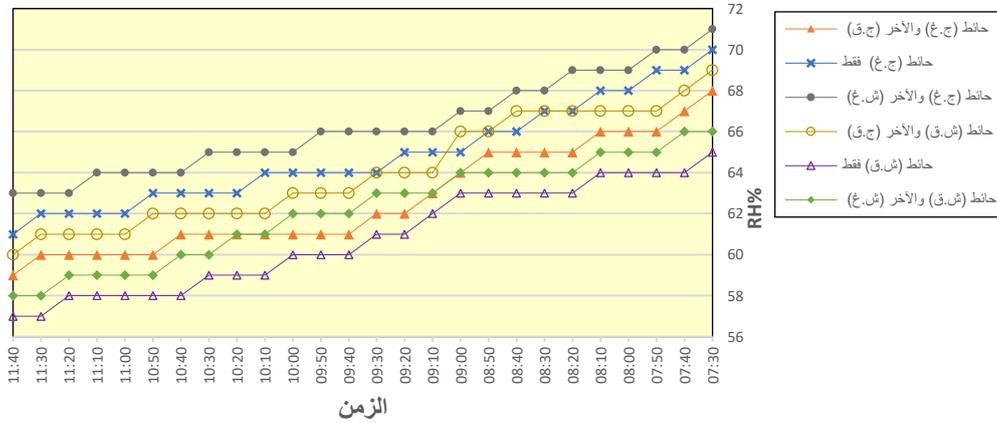
من المخطط نجد أن قيم درجات حرارة الهواء تتراد كلما تقدم الوقت كما يتضح لنا من النتائج أن الغرف الصافية الطرفية أي ذات حائطين خارجيين هم الأكثر ارتفاعاً في قيم درجات الحرارة الناتجة، وأعلاهم هي الغرفة الصافية (1) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق) ثم الغرفة الصافية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق)، ثم (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ)، ثم (6) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ)، ونقل عنهم الغرف الصافية ذات حائط خارجي واحد وهم الغرف الصافية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط، ثم الغرفة الصافية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط والتي كانت قيمها هي الأقل مقارنة بباقي الغرف الصافية كما هو واضح في المخطط وبهذا يمكن القول أن أقل قيم لدرجات الحرارة الناتجة كانت في الغرف الصافية المعرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد فقط أي أن مساحة الحوائط الخارجية فيها قليلة حيث يمكن تليل ذلك بأن الغرفة الصافية المعرضة للعوامل الخارجية من أكثر من حائط تكون مساحات أكبر منها معرضة لأشعة الشمس وبالتالي ترتفع درجات حرارة الهواء والإشعاعات فيها أكثر من غيرها والشكل (40.4) يوضح تلوين للغرف الصافية في المسقط للتمييز بين الغرف الصافية الأعلى في درجات الحرارة الناتجة والغرف الصافية الأقل.



شكل (40.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر درجة حرارة والأقل درجة حرارة للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

2.5.4. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

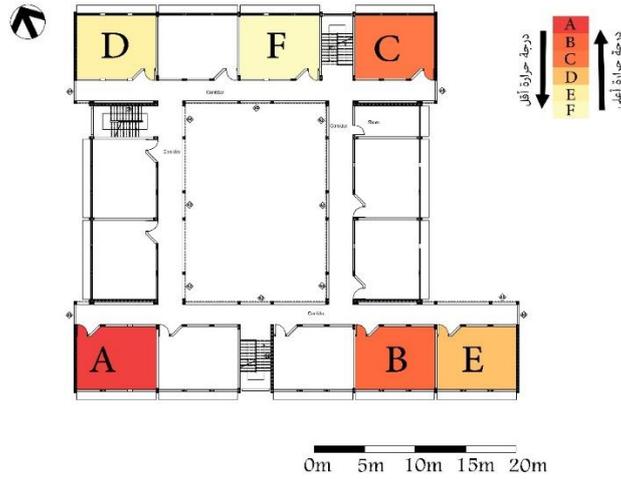
تم توزيع جهاز لقياس مستوى الرطوبة النسبية Relative humidity الداخلية بالآلية نفسها، والشكل (41.4) يوضح مخطط قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في كل غرفة صفية.



شكل (41.4): قيم الرطوبة النسبية في الغرف الصفية مختلفة مساحة الحوائط الخارجية

من المخطط الموضح في الشكل (41.4) نجد أن قيم للرطوبة النسبية تتخفف كلما تقدم الوقت كما يمكن ملاحظة أن نتائج الغرفة الصفية (3) الطرفية ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية بحيث أن أحدهم (ج.غ) والآخر (ش.غ) تمتلك أعلى قيم للرطوبة النسبية ارتفاعاً، تليها الغرفة الصفية (2) الوسطية ذات الحائط (ج.غ) فقط، ثم تأتي الغرفة الصفية (4) الطرفية ذات الحائط (ش.ق) والحائط (ج.ق)، وتأتي بعدها الغرفة الصفية (1) الطرفية ذات الحائطين

المعرضين للعوامل الخارجية بحيث أن أحدهم (ج.غ) والآخر (ج.ق)، ثم الغرفة الصفية (6) الطرفية ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية بحيث أن أحدهم (ش.ق) والآخر (ش.غ)، أما أقل الغرف الصفية ارتفاعاً في قيم الرطوبة النسبية فهي الغرفة الصفية (5) الوسطية ذات الحائط الواحد المعرض للعوامل الخارجية وهو الحائط (ش.ق)، ومن هنا نلاحظ أن قيم الرطوبة النسبية ليس لها علاقة بمساحة الحوائط الخارجية، والشكل (42.4) يوضح تلوين للغرف الصفية في المسقط للتمييز بين الغرفة الصفية الأعلى في الرطوبة النسبية والغرفة الصفية الأقل.

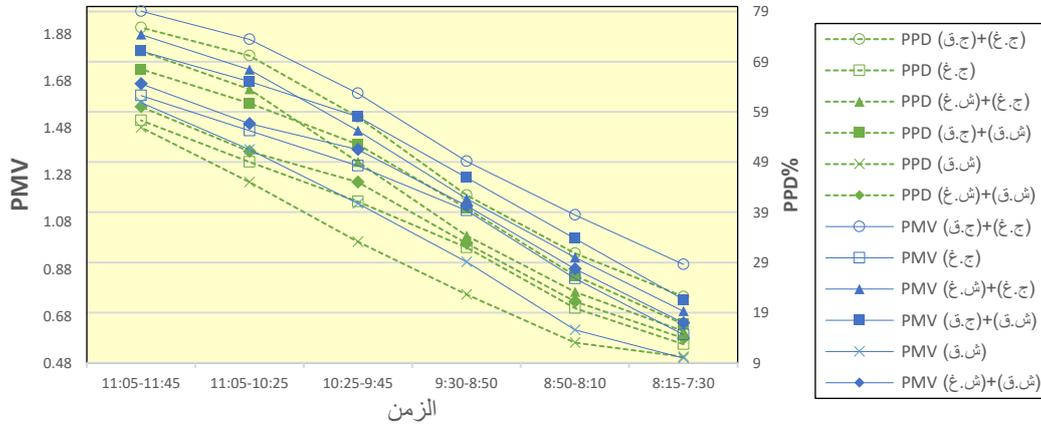


شكل (42.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأعلى رطوبة نسبية والأقل رطوبة نسبية للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

4.2.2. مقارنة قيم PMV و PPD للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

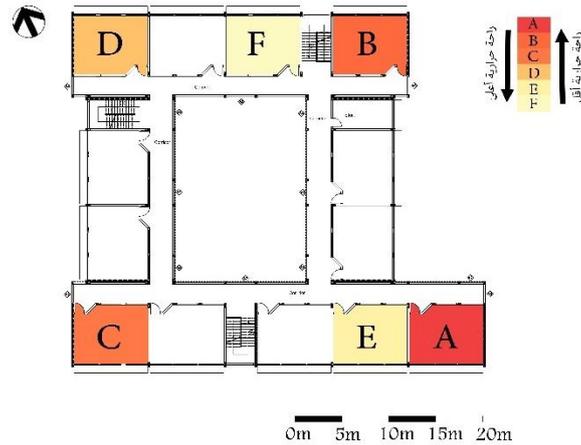
يوضح الشكل (43.4) قيم PMV و PPD والتي تم حسابها من خلال برنامج يتم فيه ادخال القيم T_A و T_{MRT} و RH و Air velocity و Met و Clo للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية، ويبدو واضحاً أن الغرفة الصفية (1) ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية وهما الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق) تعاني من أعلى قيم لمعدل التصويت الحراري المتوقع (PMV) من قبل الطالبات تليها الغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق) ثم تليها الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ)، وتأتي بعدهم الغرفة الصفية (6) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ)، وتقل عنها الغرفة الصفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط، وبالنسبة للغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط فقد كانت قيمها هي الأقل مقارنة بباقي الغرف الصفية. وبالتالي فإن الغرفة الصفية (1) أيضاً تعاني من أعلى قيم لنسبة عدم الرضا التنبؤية (PPD) ثم تليها الغرفة (4) ثم الغرفة (3) ثم الغرفة (6) ثم الغرفة (2) وأقلهم في القيم هي

الغرفة الصفية (5)، ويمكن ملاحظة أن قيم PPD و PMV لهم ارتباط قوي بقيم درجات الحرارة الناتجة T_R .



شكل (43.4): مخطط لقيم PMV و PPD للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

في نهاية التجربة الثانية يمكن القول أن الغرف الصفية المعرضة للعوامل الخارجية عن طريق حائطين تعاني من مستوى راحة حرارية أقل من الغرف المعرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد، مما يعني أنه كلما زادت مساحة الحوائط الخارجية المعرضة لأشعة الشمس كلما قل مستوى الراحة الحرارية الداخلية في الفراغ المعماري، كما أن قيمة درجات الحرارة الناتجة تؤثر أكثر من غيرها على قيم PPD و PMV وبالتالي على الراحة الحرارية، والشكل (44.4) يوضح تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر راحة حرارية والأقل راحة حرارية. وسيتم أخذ هذه النتائج بعين الاعتبار ليتم بعد ذلك مقارنتها بالنتائج التي سيتم الحصول عليها من الاستبيان و*المحاكاة.

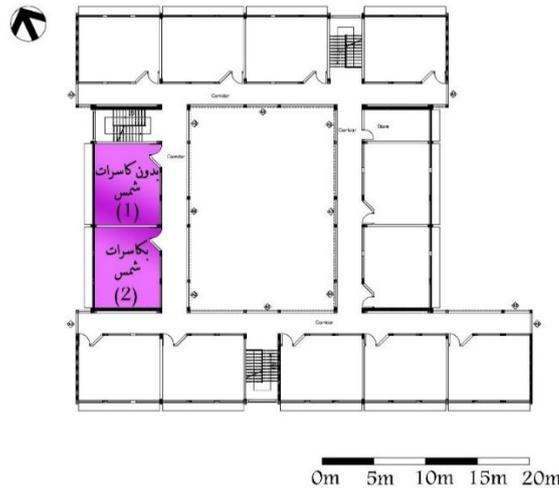


شكل (44.4): تلوين للغرف الصفية للتمييز بين الأكثر راحة حرارية والأقل راحة حرارية

للغرفة الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

6.4. تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية باستخدام القياس الفيزيائي

تم اختيار غرفتين فصليتين كليهما تقع على الاتجاه الشمالي الغربي من المبنى المدرسي كما هو واضح في الشكل (45.4) بحيث أن أحد هذه الغرف الصفية تمتلك نوافذها كاسرات شمس والأخرى بدون كاسرات شمس وقد تمت التجربة في يوم الأحد الموافق 2019/9/29 وتم البدء بأخذ القياسات من بداية الحصة الأولى والتي تبدأ 7:30 صباحاً حتى نهاية الحصة السادسة والتي تنتهي الساعة 11:45 قبل الظهر، ويرجع سبب اختيار هاتين الغرفتين الفصليتين إلى أن المدرسة قد وضعت عناصر خشبية على الاتجاه الشمالي الغربي حتى لا يتشتت تركيز الطالبات حيث أن هذه الاتجاه مطل على شارع رئيسي وفيه حركة مستمرة لأنه يؤدي إلى مبنى المستشفى المجاور للمدرسة، هذا بالإضافة إلى أن هذه الكاسرات تحقق الخصوصية من المارة. وفي نفس الوقت تعمل هذه العناصر ككاسرات للشمس. في الوضع القائم الغرفتين الفصليتين يوجد عليهم كاسرات شمس ولكن لأن التجربة الأولى والتي تقارن بين التوجيهات المعمارية المختلفة كانت تتطلب إزالة الكاسرات حتى يتم المقارنة بين جميع الغرف الصفية تحت نفس الظروف فقد تمت إزالة كاسرات الشمس عن الغرفة الصفية (1) وتم عمل التجربة الأولى الخاصة بالتوجيهات المعمارية المختلفة بالإضافة لهذه التجربة والكاسرات غير موجودة. يوضح الشكل (46.4) الغرفة الصفية (1) والتي تمت إزالة الكاسرات عن نوافذها ويوضح الشكل (47.4) الغرفة الصفية (2) والذي توجد على نوافذها كاسرات الشمس الخشبية.



شكل (45.4): موقع الغرفة الصفية بكاسرات الشمس وبدون كاسرات الشمس



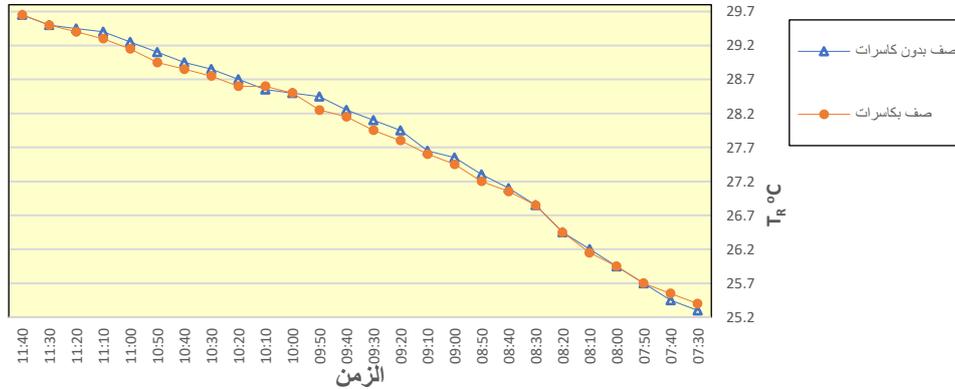
شكل (47.4): الغرفة الصفية (2) والتي بها كاسرات شمس



شكل (46.4): الغرفة الصفية (1) بعد إزالة كاسرات الشمس

1.6.4 درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات

تم حساب درجات الحرارة الناتجة باستخدام المعادلة عن طريق إدخال قيم درجات حرارة الهواء ومتوسط درجات حرارة الإشعاعات، والشكل (48.4) يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة في الغرفة الصفية بالكاسرات والغرفة الصفية بدون الكاسرات مقابل الزمن.

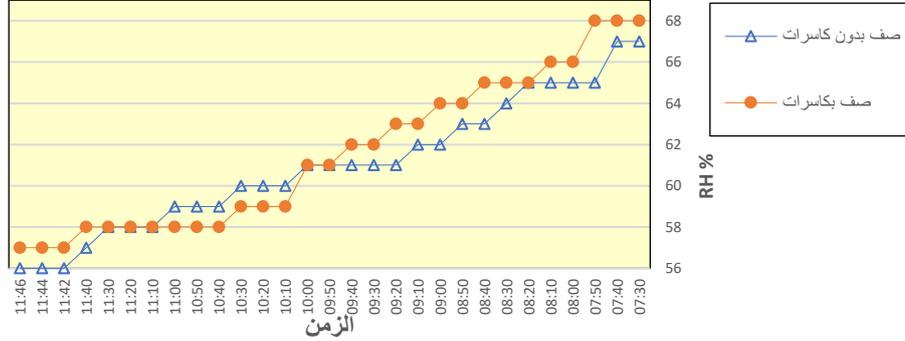


شكل (48.4): مخطط علاقة درجات الحرارة الناتجة في الغرفة الصفية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات

من المخطط نجد أن متوسط قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرفتين تتزايد كلما تقدم الوقت وهذا بسبب ارتفاع درجات حرارة الهواء الخارجية، ولكن من الواضح في المخطط أن الفرق بينهما ليس كبيراً، وربما يرجع السبب في هذا الفرق البسيط إلى أن الفصلين يقعان على الاتجاه الشمالي الغربي من المبنى المدرسي مما يعني أن كلاهما لا يتعرضان إلى نسبة كبيرة من الإشعاع الشمسي إلا في وقت متأخر من اليوم بعد انتهاء الدوام المدرسي أي أن وجود كاسرات أو عدمه على هذا الاتجاه قد لا يكون ذو تأثير واضح، ولكن القصد من وراء وضعه هو حجب رؤية الطالبات للشوارع الرئيسي المطل على هذه الجهة من المدرسة، وحجب المارة من رؤية الطالبات.

2.6.4. قيم الرطوبة النسبية Relative humidity للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات

تم توزيع جهاز لقياس مستوى الرطوبة النسبية الداخلية Relative humidity بالآلية نفسها، والشكل (49.4) يوضح مخطط قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها في كل غرفة صافية.

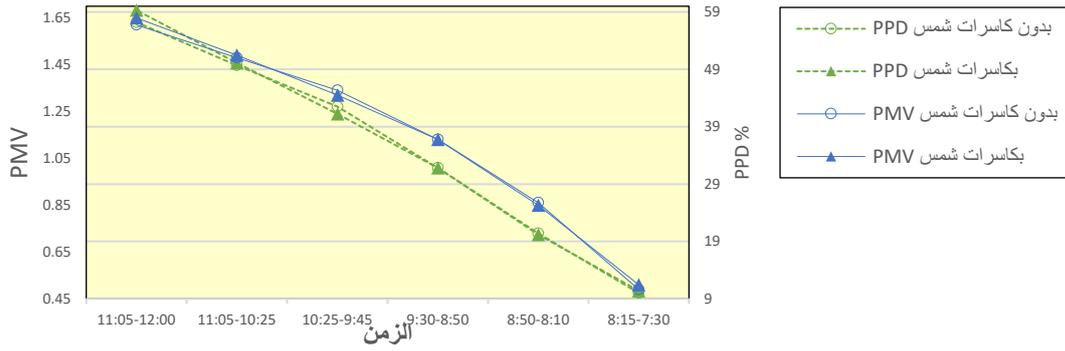


شكل (49.4): قيم الرطوبة النسبية في الغرفة الصافية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات

من المخطط نجد أن متوسط القيم للرطوبة النسبية تتخفض كلما تقدم الوقت كما يتضح لنا من النتائج أن متوسط الرطوبة النسبية في الغرفة الصافية (2) بكاسرات الشمس أعلى بقليل من الغرفة الصافية (1) بدون الكاسرات، ويمكن تفسير ذلك بأن الكاسرات تعمل على تقليل حركة الهواء وبالتالي الرطوبة النسبية في الغرفة تزيد لأن حركة الهواء تعمل على استبدال الهواء الداخلي المحمل بالأبخرة.

3.6.4. مقارنة قيم PMV و PPD للغرفة بكاسرات الشمس والغرفة بدون كاسرات الشمس

يوضح الشكل (50.4) قيم PMV و PPD واللذان تم حسابهما عن طريق برنامج يتم فيه إدخال القيم T_A و T_{MRT} و RH و Air Speed و Met و Clo. وجد أن الغرفة الصافية (1) والتي لا يوجد على نوافذها كاسرات شمس تعاني من أعلى قيم لمعدل التصويت الحراري المتوقع (PMV) من قبل الطالبات تليها الغرفة الصافية (2) والتي يوجد على نوافذها كاسرات شمس، ولكن يعتبر الفرق بينهما قليلاً جداً ويمكن تجاهله، مما يترتب عليه أن الغرفة الصافية (1) أيضاً تعاني من أعلى قيم لنسبة عدم الرضا التنبؤية (PPD) ثم تليها الغرفة (2) وبفرق قليل أيضاً، حيث أن العلاقة طردية بين كل من PPD و PMV.



شكل (50.4): مخطط لقيم PMV و PPD للغرفة الصفية بالكاسرات والغرفة الصفية بدون الكاسرات

في نهاية التجربة الثالثة ومن خلال القياس الفيزيائي الميداني وجد أن الغرفة الصفية (1) بدون كاسرات الشمس يعاني مستخدموها من مستوى راحة الحرارية أقل من الغرفة الصفية (2) والتي يوجد على نوافذها كاسرات شمس ولكن الفرق بين مستويات الراحة الحرارية بينهم يعتبر قليل جداً. كما أن قيمة درجات الحرارة الناتجة تؤثر أكثر من غيرها على قيم PMV و PPD وبالتالي على مستوى الراحة الحرارية الداخلية. وسيتم أخذ هذه النتائج بعين الاعتبار ليتم بعد ذلك مقارنتها بالنتائج التي سيتم الحصول عليها من استطلاع آراء مستخدمي هاتين الغرفتين الفصليتين، كما سيتم مقارنتها بالنتائج التي سيتم الحصول عليها بال محاكاة المحوسبة.

7.4. ملخص الفصل

من خلال القياسات الفيزيائية وجد أن التوجيهات المعمارية المختلفة تؤثر على الراحة الحرارية وقد لوحظ أن حركة المسار الشمس تؤثر على رفع درجات الحرارة وأن حركة الرياح السائدة من الممكن أن تكون سبباً في خفض درجات الرطوبة النسبية. أما بالنسبة لتجربة مساحة الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية فقد وجد أن الغرف الصفية المعرضة للعوامل الخارجية عن طريق حائطين تعاني من قلة الراحة الحرارية أكثر من الغرف الصفية المعرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد، وبشكل عام يمكن القول بأنه كلما زادت مساحة الحوائط الخارجية المعرضة لأشعة الشمس كلما قل مستوى الراحة الحرارية في الفراغ المعماري، وبالنسبة لتجربة وجود كاسرات شمس أو عدم وجودها فإن الغرف الصفية التي لا تحتوي على كاسرات شمس تعاني من عدم الراحة الحرارية أكثر من الغرف التي تحتوي نوافذها على كاسرات الشمس، إلا أن الغرف الصفية التي لا يوجد على نوافذها كاسرات الشمس نسبة الرطوبة النسبية فيها أقل، ولكن بشكل عام لم يتم ملاحظة فرق واضح بين نتائج الغرفتين وربما يرجع ذلك إلى أن الفراغين يقعان على التوجيه الشمالي الغربي أي أن الشمس لن تصلهم طوال فترة الدوام المدرسي وسيكون تأثير كاسرات الشمس قليل على درجة الحرارة والرطوبة النسبية.

الفصل الخامس

دراسة وتحليل الاستبيان

الفصل الخامس دراسة وتحليل الاستبيان

1.5. مقدمة الفصل

يركز الفصل على الاستبيان وعلى تحليل البيانات الموجودة فيه ومعرفة مدى موثوقيته، ففي نفس الأثناء التي تم فيها عمل القياسات الفيزيائية في الغرف الصفية الاثنتي عشر تم توزيع استبانة على الطالبات لدراسة شعورهن الحقيقي بمستوى الراحة الحرارية Actual Mean Vote (AMV)، كما تمت دراسة علاقات الارتباط بين جميع أسئلة الاستبيان وأهم سؤال في أسئلة الاستبيان وهو "ما هو إحساسك الحراري والذي يمكن الإجابة عنه باستخدام خيارات مقياس ASHRAE والتي تتراوح بين (بارد بدرجة كبيرة حتى حار بدرجة كبيرة)" وأيضاً من خلال دراسة التوزيع الطبيعي لأجوبة هذا السؤال تم الحصول على قيم متوسط الإجابات وهي قيم AMV الخاصة بكل فصل وفي كل حصة بشكل مستقل والتي تمت مقارنتها بقيم PMV التي تم الحصول عليها في الفصل الرابع من هذا البحث.

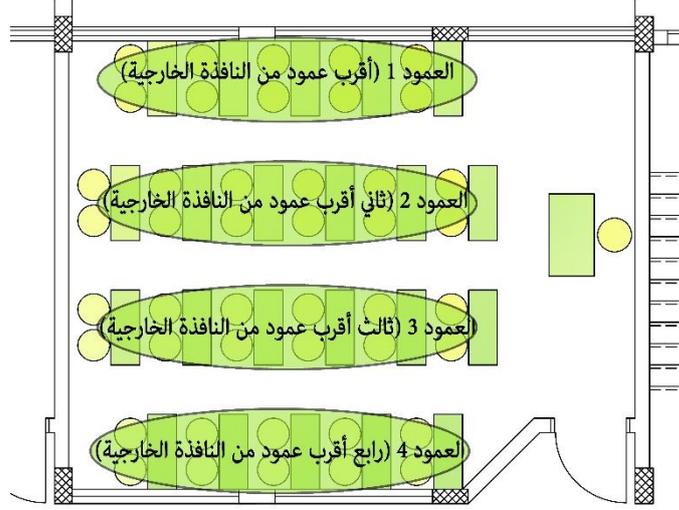
2.5. استخدام أداة الاستبيان

تم إجراء تحليل شخصي للبيئة الحرارية الداخلية للغرف الصفية، حيث تم عمل استبيان للدراسة الاستقصائية وهو عبارة عن الاستبيان المقترح في (ASHRAE 55, 2017, 26)، ويشمل الاستبيان:

- المعلومات الأساسية من المجيبين مثل موقع جلوسهم ونوعية ملابسهم والذي يسمح بتقدير قيم عزل الملابس.
- تم تضمين مقياس ASHRAE ذو السبع نقاط للإحساس الحراري (3- بارد بدرجة كبيرة، 2- بارد، 1- بارد بدرجة قليلة، 0 محايد، 1+ حار بدرجة قليلة، 2+ حار، 3+ حار بدرجة كبيرة).
- يمكن لشاغلي الغرف الصفية التعبير عن مستوى الإحساس الحراري الخاص بهم في كل حصة حيث أن مدة الحصة (40) دقيقة من خلال التصويت الفعلي المتوسط Actual Mean Vote (AMV)، والذي سيقارن مع الإحساس الحراري المتوقع باستخدام نموذج PMV.
- كما شمل الاستبيان أسئلة متعلقة بمستوى إحساسهم بنسبة الرطوبة وهو من سبع نقاط أيضاً (3- جاف بدرجة كبيرة، 2- جاف، 1- جاف بدرجة قليلة، 0 محايد، 1+ رطب

بدرجة قليلة، +2 رطب، +3 رطب بدرجة كبيرة)، وذلك لمعرفة العلاقة بين نسبة الرطوبة والإحساس الحراري.

- واحتوى أيضاً أسئلة متعلقة بمستوى إحساسهم تجاه سرعة الرياح (3- سرعة عالية بدرجة كبيرة، 2- سرعة عالية، 1- سرعة عالية بدرجة قليلة، 0 محايد، +1 سرعة منخفضة بدرجة قليلة، +2 سرعة منخفضة، +3 سرعة منخفضة بدرجة كبيرة) وبالتالي تقدير سرعة الهواء النسبية داخل الغرف الصفية ومعرفة علاقتها بمستوى الإحساس الحراري.
- واحتوى الاستبيان أيضاً على سؤال متعلق بمستوى عزل الملابس، لمعرفة العلاقة بين مستوى عزل الملابس ومستوى الإحساس الحراري.
- كما احتوى الاستبيان سؤال متعلق بموقع جلوس الفرد سواء أكان في العمود الأول الملاصق للشباك أم العمود الثاني أم الثالث أم الرابع والذي يعد الأبعد عن الشبائيك الخارجية والشكل (1.5) يوضح الآلية التي تم بها تقسيم الأعمدة في الغرفة الصفية الواحدة لمعرفة العلاقة بين موقع الطالبة ومستوى الإحساس الحراري.
- تم توزيع الاستبيان من 26 سبتمبر إلى 29 سبتمبر 2019، خلال هذه الفترة استجاب شاغلوا الغرف الصفية إلى أقصى حد ممكن إلى الاستطلاع طوال اليوم الدراسي للإجابة عن السؤال المتعلق بالإحساس بالراحة الحرارية (تمت التعبئة كل 40 دقيقة مرة).
- باقى الأسئلة تمت الإجابة عنها بعد نهاية الدوام في كل يوم من الأيام التي تمت تعبئة الاستبيان.
- تم توزيع الاستبيان على المستخدمين في جميع الغرف الصفية بعدد 12 غرفة وهي نفس الغرف التي تم قياسها في المرحلة الأولى باستخدام القياس الفيزيائي، والتي سيتم حسابها في المرحلة الثالثة باستخدام المحاكاة المحوسبة.
- تم جمع ما مجموعه 510 استبيان تقريباً والملحق (أ) يوضح أسئلة الاستبانة.
- قامت الباحثة بتحليل البيانات باستخدام الاختبارات الإحصائية المناسبة بهدف الحصول على النتائج المتعلقة بفروض هذه الدراسة، وقد تم تحليل النتائج وتفسيرها للإجابة على الأسئلة البحثية.
- وبناء على تلك النتائج وتفسيرها خرجت الباحثة بمجموعة من الاستنتاجات التي تم بناء عليها تقديم مجموعة من النتائج والتوصيات والحلول المقترحة.



شكل (1.5): الآلية التي تم بها تقسيم الأعمدة في الغرفة الصفية لمعرفة العلاقة بين الراحة الحرارية وموقع الطالبة

1.2.5. أهداف الاستبيان

إن الهدف الرئيس من الاستبيان هو: تحديد مدى إحساس الطالبات الحراري في غرفهم الصفية في أوقات الدوام المختلفة، ومن خلاله تتبثق عدة أهداف فرعية وهي:

- الهدف الأول: تحديد مدى إحساس الطالبات بنسبة الرطوبة في غرفتهم الصفية
- الهدف الثاني: تحديد مدى إحساس الطالبات بسرعة الهواء في غرفتهم الصفية.
- الهدف الثالث: تحديد ما إذا كان هناك علاقة بين مستوى الإحساس الحراري وكل من مستوى الرطوبة النسبية ومستوى سرعة الهواء ومدى القرب من النافذة وقيمة عزل الملابس، وتحديد قيمة الارتباط في حال وجود علاقة.

2.2.5. فرضيات الاستبيان

بناءً على ما تم ذكره من أهداف سابقاً تم صياغة مجموعة من الفرضيات الإحصائية وهذه الفرضيات هي مفصلة عن الفرضية الرئيسية وهي أن الرطوبة النسبية وسرعة الهواء وموقع جلوس الطالبات وطبيعة ملابسهم تؤثر على مستوى إحساسهم الحراري.

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين إحساس الطالبات بالحراري وإحساسهم بمستوى الرطوبة النسبية.

- توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين إحساس الطالبات الحراري وإحساسهم بسرعة الهواء.

- توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين إحساس الطالبات الحراري وموقع جلوسهم بالنسبة للنافذة.

- توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين إحساس الطالبات الحراري ومستوى عزل ملابسهم.

3.2.5. الحدود المكانية والزمانية للاستبيان

- **الحدود المكانية:** لقد تم تحديد مجتمع الدراسة في مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات ولقد تم وصف مجتمع الدراسة في الفصل السابق، وفي أداة الاستبيان فإن الحدود المكانية للتطبيق هي الغرفة الصفية الاثنتي عشر من مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات أيضاً.
- **الحدود الزمانية:** تتمثل في الفترة التي تم خلالها توزيع الاستبيان وهي تتراوح بين (2019/9/26م حتى 2019/9/29م).

4.2.5. أسئلة وفقرات الاستبيان

بعد الاطلاع على الدراسات السابقة المتعلقة بمشكلة الدراسة وإعداد الدراسة النظرية والاطلاع على المقاييس التي تناولت موضوع الدراسة تم بناء الاستبيان وفق مجموعة من الأسئلة والتي تتدرج تحت نفس المحور المتعلق بالإحساس الحرارية:

- **السؤال الأول:** تحديد كل طالبة لموقع جلوسها الدقيق في الغرفة الصفية عن طريق التظليل ومن ثم تقسيم الفصل إلى أعمدة كل عمود له رقم حيث أن العمود القريب من النافذة يحمل الرقم 1 والعمود الأخير يحمل الرقم 4.
- **السؤال الثاني:** تحديد مدى شعور الطالبة بمستوى الإحساس الحرارية في الغرفة الصفية ويندرج هذا السؤال تحت مقياس أشري ASHRAE ذو السبع نقاط للإحساس الحراري إلا أنه تم تقسيمه إلى فترات حيث اعتبرت كل حصة كفترة (40 دقيقة)، وذلك لمعرفة مستوى الراحة الحرارية في كل حصة لوحدها لحساب قيمة AMV الخاصة بكل غرفة صفية ومقارنتها بالقيم الأخرى.

بارد بدرجة كبيرة Cold	بارد Cool	بارد بدرجة قليلة Slightly cool	مريح Comfortabl e/ Neutral	حار بدرجة قليلة Slightly warm	حار Warm	حار بدرجة كبيرة Hot
-3	-2	-1	0	1	2	3

- السؤال الثالث: تحديد مدى شعور الطالبة بمستوى نسبة الرطوبة في الغرفة الصفية ويندرج هذا السؤال تحت مقياس آشري ASHRAE ذو السبع نقاط أيضاً.

رطب بدرجة كبيرة Very humid	رطب Humid	رطب بدرجة قليلة Slightly humid	مريح Comfortable/ Neutral	جاف بدرجة قليلة Slightly dry	جاف Dry	جاف بدرجة كبيرة Very dry
3	2	1	0	-1	-2	-3

- السؤال الرابع: تحديد مدى شعور الطالبة بمستوى الإحساس تجاه سرعة الهواء في الغرفة الصفية ويندرج هذا السؤال تحت مقياس آشري ASHRAE ذو السبع نقاط أيضاً.

سرعة منخفضة بدرجة كبيرة Very still	سرعة منخفضة Still	سرعة منخفضة بدرجة قليلة Slightly still	مريح Comfortable/ Neutral	سرعة عالية بدرجة قليلة Slightly dry	سرعة عالية breezy	سرعة عالية بدرجة كبيرة Very breezy
3	2	1	0	-1	-2	-3

- السؤال الخامس: تحديد وضع الملابس في هذه اللحظة مع جمع قيم كل قطعة من الجدول الخاص بقيمة Clo ووضع مجموع الملابس.

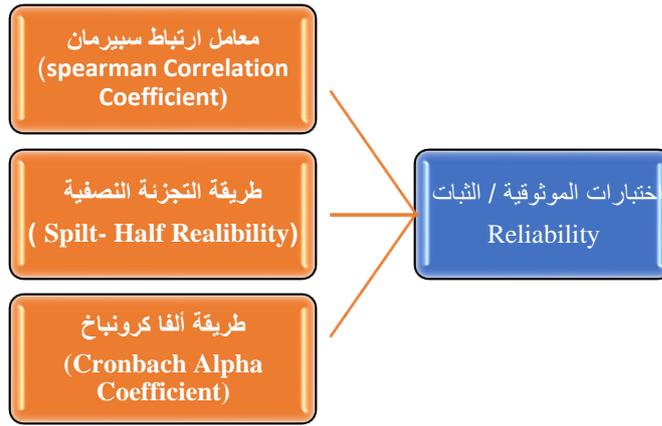
3.5. الصدق والموثوقية في الاستبيان

1.3.5. الصدق في الاستبيان Validity

للتحقق من الصدق في الاستبيان يجب أن يتم عرضه على مجموعة من المحكمين ولكن في حالة قياس مستوى الراحة الحرارية في أي فراغ معماري فإن مرجع آشر ASHRAE قام بعمل نموذج عام يتوجب على الباحث استخدامه وتطبيقه على العينة الموجودة عنده، ولقد قامت الباحثة باستخدام مرجع ASHRAE (ASHRAE 2017, 26)

2.3.5. الموثوقية/ الثبات في الاستبيان Reliability

لقد تم إجراء اختبارات الموثوقية لهذه الدراسة بعدة طرق وهي معامل ارتباط سبيرمان وطريقة التجزئة النصفية ومعامل ألف كرونباخ، ويتضح ذلك من خلال ما يظهر في الشكل (1.5)



شكل (2.5): اختبارات الموثوقية/ الثبات

- أولاً: معامل ارتباط سبيرمان (spearman Correlation Coefficient): جرى التحقق من الاتساق الداخلي للاستبيان بتطبيقه على عينة استطلاعية مكونة من 30 طالبة، وقد تم حساب معامل الارتباط بين درجات كل الأسئلة ذات المقياس الترتيبي Ordinal والأسئلة الترتيبية تخضع لمقياس سبيرمان (النجار، 2013، 233) وذلك بين كل سؤال من الاستبيان مع الدرجة الكلية للأسئلة الترتيبية من الاستبيان أي مع المحور الدال على الإحساس الحراري بشكل عام والجدول (1.5) يوضح معامل الارتباط ومستوى الدلالة للأسئلة الترتيبية الثلاثة في الاستبيان مع الدرجة الكلية للأسئلة الترتيبية من الاستبيان.

معامل ارتباط كل سؤال مع المحور الرئيسي وهو الإحساس بالرضا الحراري:

جدول (1.5): معامل الارتباط ومستوى الدلالة للأسئلة الترتيبية الثلاثة في الاستبيان مع المحور الرئيسي للاستبيان.

السؤال	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
1 مستوى الإحساس الحراري	0.909	دالة عند 0.01
2 مستوى الرطوبة النسبية	0.897	دالة عند 0.01
3 مستوى سرعة الهواء	0.902	دالة عند 0.01

يبين الجدول أن معاملات الارتباط بين كل سؤال من الأسئلة الترتيبية من الاستبيان والدرجة الكلية للأسئلة الترتيبية دالة عند (0.01)، ومعامل الارتباط مناسب وذلك وفقاً لما ذكره (Zikmund, 2000) أنه عندما يكون معامل الارتباط فوق 0.8-1 فهو ارتباط عالٍ جداً (النجار، 2013، 223)، لذا تعتبر الفقرات صادقةً لما وضعت لقياسه.

- ثانياً: طريقة التجزئة النصفية (Spilt- Half Realibility): وهي الطريقة الثانية التي يتم من خلالها التأكد من موثوقية هذا الاستبيان حيث تم استخدام درجات العينة الاستطلاعية لحساب ثبات الاستبيان حيث احتسبت درجة النصف الأول وكذلك درجة النصف الثاني وذلك بحساب معامل الارتباط بين النصفين ثم جرى تعديل الطول باستخدام معادلة سبيرمان براون (Spearman-Brown Coefficient) حيث كانت القيمة قبل التعديل تساوي 0.762 أما بعد التعديل فقد أصبحت 0.861 حيث تم استخدام معادلة جتمان لأن النصفين غير متساويين حيث أن عدد الأسئلة 3 وهذا عدد فردي، وحيث أن معامل الثبات وصل إلى 0.861 وبما أن القيمة التي تكون فوق 0.8 تعتبر جيدة فإن هذا يدل على أن الاستبيان يتمتع بدرجة عالية من الثبات
- ثالثاً: طريقة ألفا كرونباخ (Cronbach Alpha Coefficient): تم استخدام طريقة ألفا كرونباخ لإيجاد معامل ثبات أسئلة الاستبيان وتم تطبيق الاستبيان على العينة الاستطلاعية، ووجد أن معامل الارتباط يساوي 0.887 وهذا يعني الاستبيان يتمتع بدرجة عالية من الثبات.

4.5. تحليل نتائج الاستبيان

لقد تم إجراء المعالجات الإحصائية للاستبيان باستخدام برنامج الرزم الإحصائية للدراسات الاجتماعية SPSS وفي هذه الدراسة تم تحليل الاستبيان اتباعاً لأهدافه التي ذكرت سابقاً، كما وتم اعتماد محك للدراسة من خلال تحديد طول الخلايا في مقياس أشري ASHRAE ذو السبع نقاط من خلال حساب المدى بين الدرجات (6=1-7)، ومن ثم تقسيمه على أكبر قيمة في المقياس للحصول على طول الخلية أي (6/7) = 0.85، وبعد ذلك يتم تحديد الحد الأعلى لهذه الخلية وهكذا أصبح طول الخلايا كما هو موضح في الجدول (2.5).

جدول (2.5): محك الدراسة للأسئلة التابعة لمقياس أشري

الدرجة	الوزن النسبية المقابل له	طول الخلية
(بارد/جاف/سريعة) بدرجة كبيرة جداً	25 فأقل	من 3- إلى 2.15
(بارد/جاف/سريعة)	25-37.5	من 2.15- إلى 1.3
(بارد/جاف/سريعة) بدرجة قليلة جداً	37.5-50	من 1.3- إلى 0.45
محايد	50- 62.5	من 0.45- إلى 0.4
(حار/رطب/بطيئة) بدرجة قليلة جداً	62.5-75	من 0.4 إلى 1.25
(حار/رطب/بطيئة)	75-87.5	من 1.25 إلى 2.1
(حار/رطب/بطيئة) بدرجة كبيرة جداً	87.5-100	من 2.1 - 3

ولتفسير نتائج الاستبيان لأبد من مراعاة عدة نقاط هامة والتي تتلخص فيما يلي:

- لتفسير نتائج الدراسة والحكم على مستوى الاستجابة، اعتمد الباحث على ترتيب المتوسطات الحسابية، وقد حدد الباحث درجة التقدير حسب المحك المعتمد للدراسة والجدول (3.5) يوضح البيانات الخاصة بكل سؤال من الأسئلة الترتيبية.
- توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين مستوى الحرارة وكل من مستوى الرطوبة ومستوى سرعة الرياح وموقع الجلوس وعزل الملابس.

جدول (3.5): بيانات المتوسط والوزن النسبي والترتيب والانحراف المعياري ودرجة التقدير الخاصة بأسئلة الاستبيان الترتيبية

المتوسط	الوزن النسبي	الترتيب	الانحراف المعياري	درجة التقدير
0.82	70%	1	1.401	حار بدرجة قليلة جداً
0.67	66.75%	3	1.427	رطب بدرجة قليلة جداً
0.69	67.25%	2	1.549	سريع بدرجة قليلة جداً

تم دراسة الفروق لجميع الأسئلة في الجدول السابق وتبين أن جميع الفقرات دالة عند (0.01)، ويتضح من الجدول (3.5) أن إحساس الطلاب الحراري يعتبر حار بدرجة قليلة جداً حيث وصل المتوسط لها إلى 0.82 وصل الوزن النسبي له (70%)، أما بالنسبة للرطوبة النسبية فقد وصل المتوسط لها 0.67 ووصل الوزن النسبي له (66.75%)، وبالنسبة لسرعة الهواء فقد وصل الوزن النسبي لها ما قيمته 0.69 ووزنها النسبي (67.25%)، ويفسر الباحث ذلك بما يتوافق مع القياس الفيزيائي حيث بلغ متوسط قيمة PMV الدالة على الإحساس 1.107 لكافة الفصول وهذا يعني أنها ضمن نفس النطاق (حار/رطب/بطيئة) بدرجة قليلة جداً.

5.5. مقارنة قيم PMV مع AMV

ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي وقيم AMV، يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً، وقد وجد أن قيمة sig لنتائج PMV بلغت 0.757، أما لنتائج AMV فقد بلغت 0.445، مما يعني أن جميع البيانات موزعة توزيعاً طبيعياً ومنه يمكن استخدام اختبار Paired sample T-test، ومن نتائج اختبار Paired sample T-test، وجد أن:

- يوجد فرق بين قيم PMV وقيم AMV عند قيمة $t = 7.6$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.000$.

والجدول (4.5) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين قيم PMV وAMV

جدول (4.5): نتائج اختبار Paired samples T- test بين قيم PMV و AMV

قيمة sig التابعة للارتباط	الارتباط بالسطح التقليدي	Std. Error Mean	Std. Deviation	عدد القيم N	متوسط القيم	
-	-	0.064	0.22	12	1.1	PMV
0.000	.928	0.060	0.20	12	0.92	AMV

وبهذا يتضح أن متوسط قيم AMV أقل من متوسط قيم PMV ويمكن تعليل ذلك إلى أن معظم طالبات الفصل لديهم خلفية بيئية داخل منازلهم مشابهة للغرفة الصفية الخاصة بهم حيث أن معظم منازل قطاع غزة لا يوجد بها مكيفات هواء وهذا يجعلهم متقبلين للوضع الموجود في الغرف الصفية، وقد أشار (Gallardo, 2016, 17) إلى أنه عند قياس مستوى الراحة الحرارية فإن المنهج التكيفي Adaptive approach (AMV) يعطي قيماً أقل من المنهج العقلاني (PMV) The rational approach، وذلك لأن المنهج العقلاني يتعامل مع قيم ثابتة ولا يعطي بالاً للحالة النفسية والخلفية البيئية للأشخاص.

6.5. العلاقة بين الإحساس الحراري والعوامل الأخرى

لدراسة علاقات الارتباط يجب في البداية معرفة قيمة معامل الارتباط (r) ومدى قوته والجدول (1.5) يوضح معايير قوة معامل الارتباط اعتماداً على قيمة (r).

جدول (5.5): معايير قوة معامل الارتباط اعتماداً على قيمة (r)

مدى قوة معامل الارتباط	قيمة معامل الارتباط (r)
لا يوجد ارتباط	0.00
ارتباط منخفض	0.00-أقل من 0.30
ارتباط متوسط	0.30-أقل من 0.60
ارتباط عال	0.60-أقل من 0.80
ارتباط عال جداً	0.80-أقل من 1.00
ارتباط تام	1.00

المصدر: (النجار، 2013م، 223)

ولدراسة علاقة الارتباط بين أي عاملين يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً، وقد وجد أن قيمة sig لقيم الإحساس الحراري بلغت 0.000، أما لقيم الرطوبة النسبية فقد بلغت 0.000، ولقيم سرعة الهواء بلغت 0.000، ولقيم

درجة القرب من النافذة بلغت 0.000، أما لقيم مستوى عزل الملابس فقد بلغت 0.000 مما يعني أن جميع البيانات غير برامترية وغير موزعة توزيعاً طبيعياً ومنه يمكن استخدام اختبار Spearman correlation.

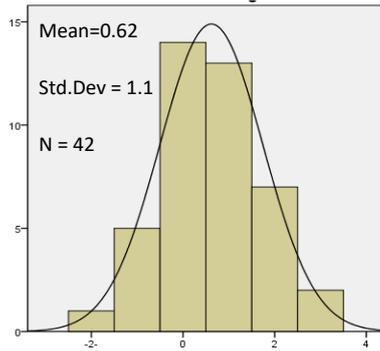
ويوضح الجدول (6.5) قيم الارتباط بين سؤال مستوى الإحساس الحراري وباقي العوامل

جدول (6.5): قيم الارتباط بين سؤال مستوى الإحساس الحراري وباقي العوامل

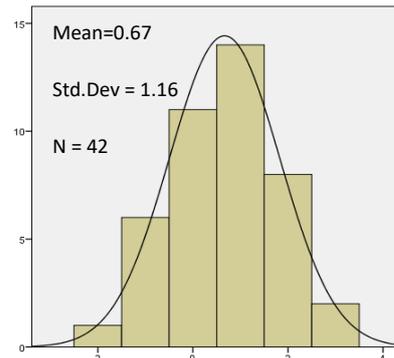
نوعية الارتباط	معنوية الارتباط	قيمة الارتباط	عدد القيم N	
ارتباط عالٍ	0.000	0.749	503	مستوى الرطوبة النسبية
ارتباط عالٍ	0.000	0.747	503	مستوى سرعة الهواء
ارتباط متوسط	0.000	0.414	503	درجة القرب من النافذة
ارتباط متوسط	0.000	0.502	503	مستوى عزل الملابس

7.5. تأثير توجيه الغرف الصيفية على الراحة الحرارية (AMV)

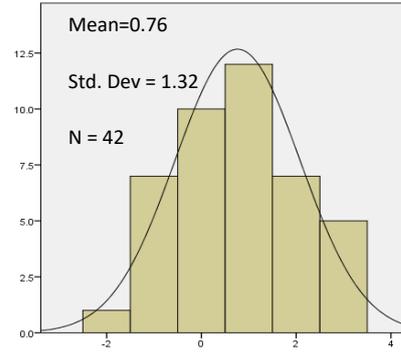
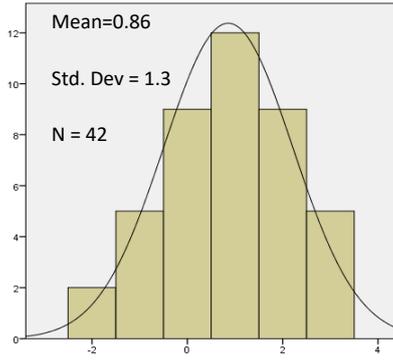
توضح الأشكال من (3.5) حتى (6.5) التوزيع الطبيعي للغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري الخاصة بسؤال الإحساس الحراري أي متوسط قيم AMV الخاص بكل غرفة صيفية والتي تراوحت قيمها بين (0.62-0.86) أي أنها حارة بدرجة قليلة جداً حسب مقياس آشري، ولكن أسوأهم في الراحة الحرارية هي الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي وأفضلهم في مستوى الراحة الحرارية هي الغرفة الصيفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي، وهذا يتوافق مع نتائج التجربة الفيزيائية.



شكل (4.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصيفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي



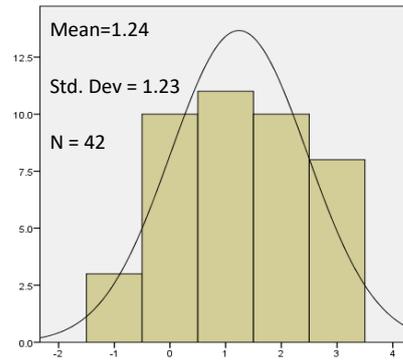
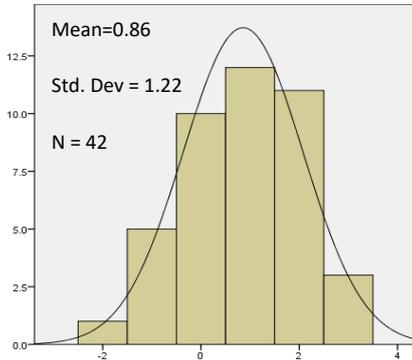
شكل (3.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصيفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي



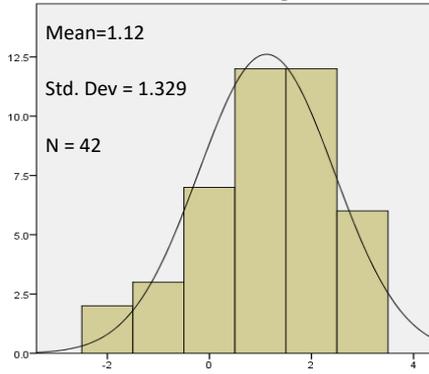
شكل (5.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصيفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي
شكل (6.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي

8.5. تأثير مساحات الحوائط الخارجية على الراحة الحرارية (AMV)

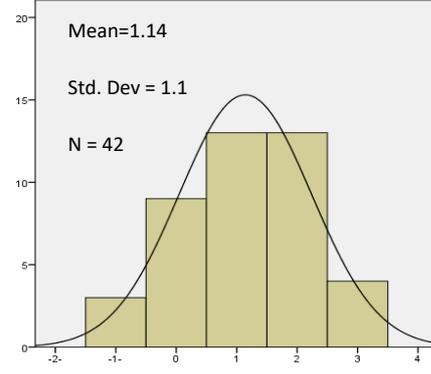
أما الأشكال من (7.5) حتى (12.5) فهي توضح التوزيع الطبيعي للغرف الصيفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية الخاصة بسؤال الإحساس الحراري أي متوسط قيم AMV الخاص بكل غرفة صيفية والتي تراوحت قيمها بين (0.67-1.24) أي أنها حارة بدرجة قليلة جداً حسب مقياس أشري، ولكن أسوأهم في الراحة الحرارية هي الغرفة الصيفية (1) ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية وهما الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق)، وأفضلهم في مستوى الراحة الحرارية هي الغرفة الصيفية (5) ذات الحائط الواحد فقط المعرض للعوامل الخارجية وهو الحائط (ش.ق) فقط، وبشكل عام فإن الغرف المعرضة للعوامل الخارجية من حائطين مستوى راحتها الحرارية أسوء من الغرف المعرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد فقط، وهذا يتوافق مع نتائج التجربة الفيزيائية.



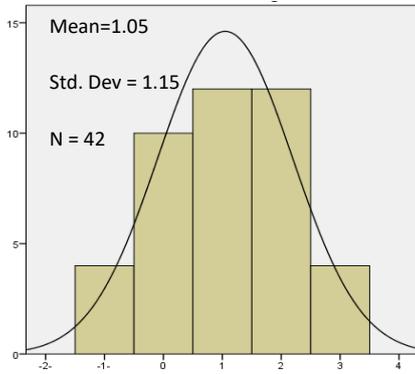
شكل (7.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصيفية (1) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق)
شكل (8.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصيفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط



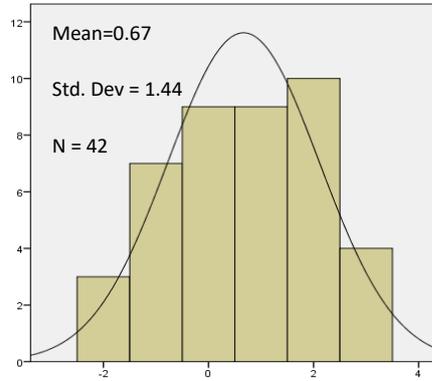
شكل (10.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق)



شكل (9.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ)



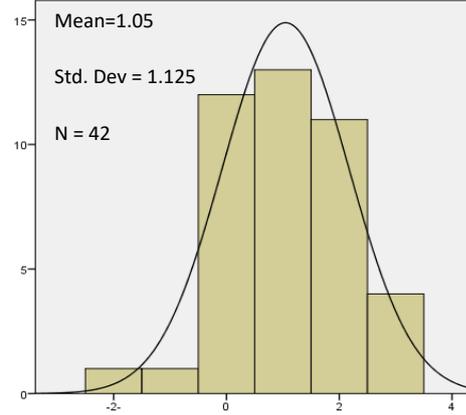
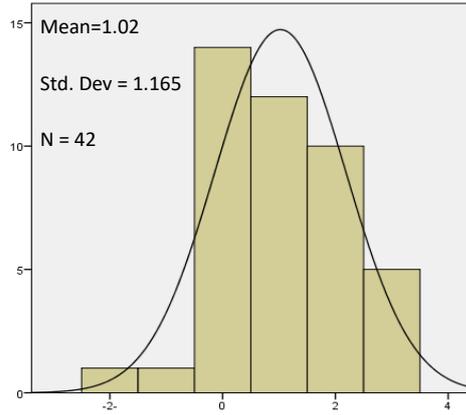
شكل (12.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصفية (6) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ)



شكل (11.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط

9.5. تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية (AMV)

الشكلين (13.5) و (14.5) يوضحان التوزيع الطبيعي للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات الخاصة بسؤال الإحساس الحراري أي متوسط قيم AMV الخاص بكل غرفة صفية والتي تراوحت قيمها بين (1.02-1.05) أي أنها حارة بدرجة قليلة جداً حسب مقياس أشري، والأقل في الراحة الحرارية هي الغرفة الصفية (1) بدون كاسرات الشمس وتأتي بعدها الغرفة الصفية (2) بكاسرات الشمس، ولكن الفرق بينهما طفيف جداً، وهذا يتوافق مع نتائج التجربة الفيزيائية.



شكـل (13.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصفية (1) بدون كاسرات الشمس
شكـل (14.5): متوسط قيم AMV للغرفة الصفية (2) بكاسرات الشمس

10.5. ملخص الفصل

من خلال تحليل الاستبيان وجد أن سؤال الإحساس الحراري له علاقة ذات ارتباط عال مع كل من الرطوبة النسبية وسرعة الهواء وعلاقة ذات ارتباط متوسط مع موقع الجلوس وعزل الملابس، حيث أن العلاقة التي تربطه بالرطوبة النسبية وسرعة الهواء أقوى من العلاقة بينه وبين عزل الملابس وموقع الجلوس كما تم في هذا الفصل مقارنة قيم (PMV) المحسوبة بقيم التصويت الفعلي المتوسط (AMV) المبلغ عنها في استطلاعات البيئة الحرارية والتي تشير إلى الإحساس الحراري الفعلي للمستخدمين. ومن خلال النتائج لوحظ أن قيم AMV أقل من قيم PMV وهذا الشي موجود في معظم الدراسات السابقة وقد فسر ذلك إلى أن الإنسان يتكيف مع البيئة المحيطة به فيشعر بإحساس حراري أفضل مما هو متوقع فمن الممكن أن يقوم بعمل إجراءات تكيفية مثل فتح النوافذ أو شرب مشروبات باردة أو ساخنة أو إزالة بعض ملابسه للتغير من إحساسه الحراري. كما وجد أن اختلاف التوجيه المعماري، واختلاف مساحة الحوائط الخارجية، واختلاف وجود كاسرات الشمس كان لهم تأثير على مستوى الراحة الحرارية (AMV) وكان النتائج شبيهة بنتائج PMV في تجربة القياس الفيزيائي.

الفصل السادس

حساب الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة المحوسبة

الفصل السادس

حساب الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة المحوسبة

1.6. مقدمة الفصل

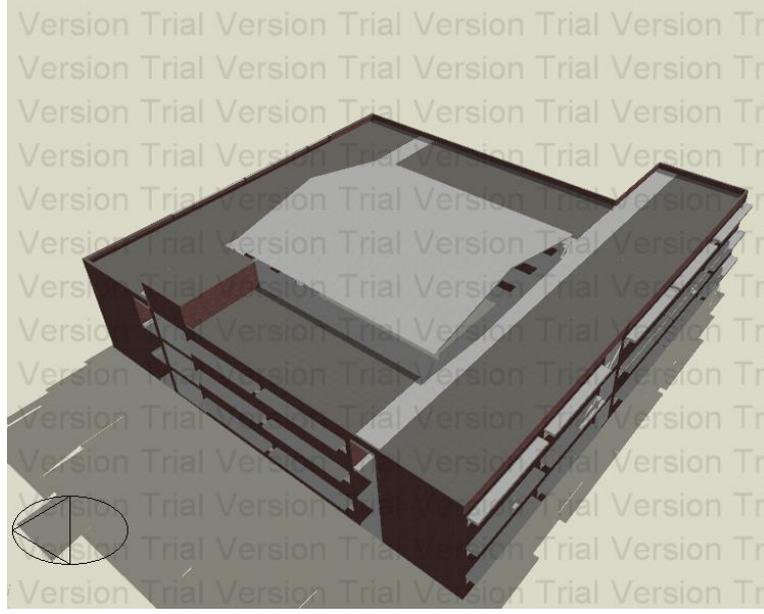
في هذا الفصل يتم تحديد مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية الاثنتي عشر باستخدام المحاكاة وهي الأداة الثالثة والأخيرة للقياس، وبما أنه قد تم قياس مستوى الراحة الحرارية في الغرف الصفية المدرسية المطلوبة فيزيائياً تحت السطح التقليدي مسبقاً في الفصل الرابع من البحث، وتم عمل استطلاع لوجهات نظر وآراء مستخدمي الغرف الصفية ذاتها وتحليل مستوى راحتهم الحرارية في الفصل الخامس من البحث، فقد تم في هذا الفصل مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بالطريقتين السابقتين بالنتائج الخاصة بالمحاكاة المحوسبة، وبعد ذلك إدخالها إلى برنامج SPSS لمعرفة مدى التقارب بين نتائج أدوات القياس الثلاثة (الطرق الثلاثة) وذلك لمعرفة مدى دقة ومصداقية النتائج.

2.6. طريقة حساب الراحة الحرارية في الغرف الصفية بالمحاكاة المحوسبة

تعتبر أداة المحاكاة المحوسبة من الأدوات المهمة في القياس، وذلك بسبب توفيرها للوقت ولأنها تعطي نتائج قريبة إلى حد كبير من الواقع، وقد تم اختيار برنامج DesignBuilder- (4.5.0.148) لأنه من البرامج التي أثبتت كفاءتها في حسابات الراحة الحرارية الداخلية، ولأنه يعطي فرصة لإضافة السطح الأخضر ودراسة تأثيره ومعرفة مدى جدوته.

1.2.6. إدخال المبنى على برنامج المحاكاة Design Builder

تم عمل محاكاة للمبنى في برنامج Energy Plus وتم تصميم النموذج في (DesignBuilder-4.5.0.148). وفقاً للفراغات والكتل الأصلية للمبنى كما هو موضح في الشكل (1.6). حيث أن النموذج يحتوي على أربع مناطق حرارية رئيسية: الفصول الدراسية والممرات مع الخدمات والفراغات الإدارية والمختبرات، بالإضافة إلى التغطيات.



شكل (1.6): نموذج للمبنى المدرسي الذي تم إنشاؤه باستخدام برنامج Design Builder

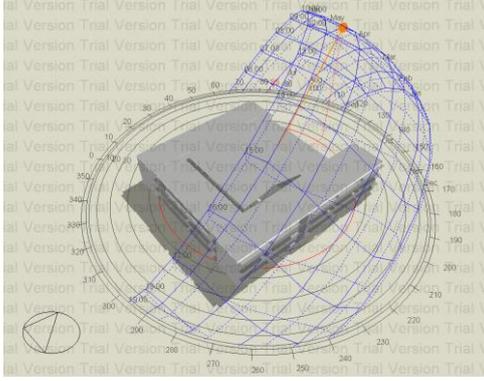
تم إدخال وظيفة الفراغ كفصل دراسي بسعة 40 طالبة بمساحة 47.5 متر مربع (كثافة 0.84 شخص / متر مربع). كما تم عمل جدول لساعات وأيام الدوام وقد تم استخدام الجدول الموضح في الشكل (2.6) في المحاكاة ويتضح من الجدول أن الدوام في جميع أيام الأسبوع من الساعة 7:30 حتى الساعة 11:45 ظهراً باستثناء يوم الخميس فالدوام ينتهي عند الساعة 11:05 ظهراً.

Month	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Jan	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
Mar	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
Apr	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
May	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Aug	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
Oct	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
Nov	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45
Dec	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:45	7:30-11:05	Off	7:30-11:45	7:30-11:45

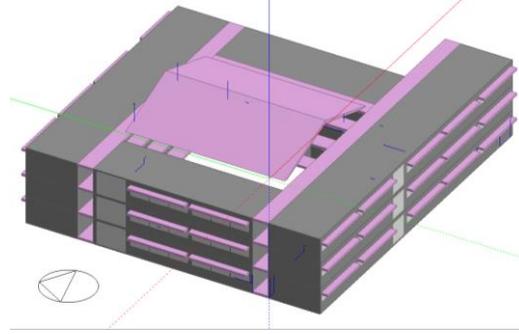
شكل (2.6): جدول ساعات وأيام الدوام المستخدمة في المدرسة

2.2.6. رفع المبنى بكافة أبعاده وخواصه

تم عمل نموذج للمبنى باستخدام برنامج Design Builder حيث وتم إضافة كتلة المظلة والشكل (3.6) يظهر نموذج المحاكاة للمبنى أما الشكل (4.6) فيظهر نموذج المبنى الذي تم تجسيده في البرنامج مع ظلال افتراضية ودائرة المسار الشمسي.

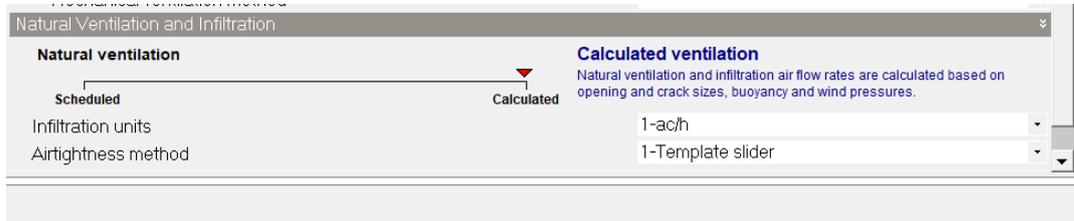


شكل (4.6): نموذج المبنى مع الظلال ودائرة المسار الشمسي



شكل (3.6): نموذج المبنى الذي تم تجسيده في البرنامج

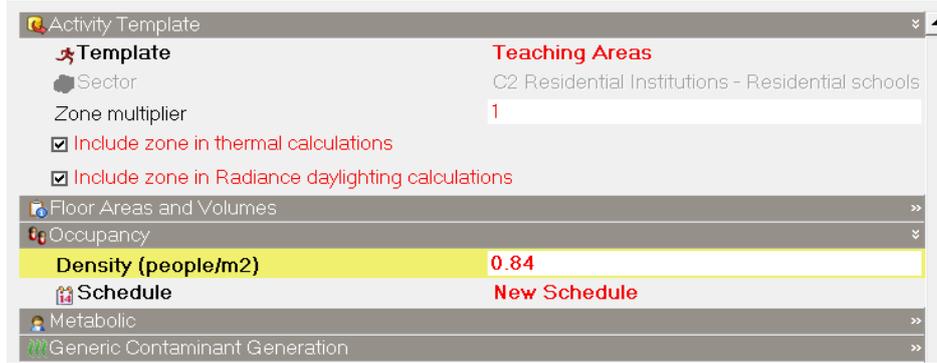
وقد تم عمل الإعدادات اللازمة على البرنامج والأشكال من (5.6) حتى (7.6) تشرح الإعدادات التي تم تطبيقها للحصول على نموذج لمبنى بالتهوية الطبيعية، حيث يوضح الشكل (5.6) كيف تم تحويل قيمة Natural ventilated إلى calculated مع إغلاق كل من أنظمة التبريد والتدفئة الميكانيكية وذلك من قائمة model options، ثم تم إدخال Weather Data للبرنامج وهي البيانات التابعة لمنطقة بيت دجن في الضفة الغربية حيث أنها من المناطق القريبة لقطاع غزة والتي يوجد لها بيانات مناخية كاملة، ويوضح الشكل (6.6) بيانات بيت دجن بعد إدخالها إلى البرنامج، كما يوضح الشكل (7.6) أنه تم اختيار Teaching Area للتعبير عن استخدام الفراغ بأنه تعليمي كما تم تغيير كثافة السكان إلى 0.84 (شخص/م²) في الغرف الصفية في المدرسة وذلك بحساب أن عدد طالبات الفصل 40 ومساحة الفصل تساوي 47.6 متر مربع.



شكل (5.6): تحويل قيمة natural ventilated إلى calculated



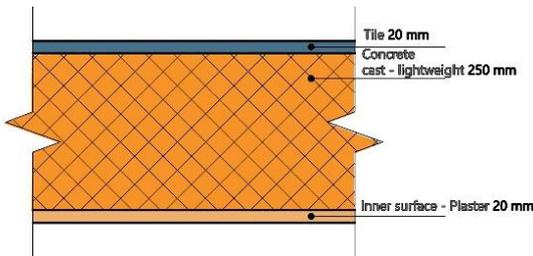
شكل (6.6): إدخال موقع بيت دجن في بيانات الموقع داخل البرنامج



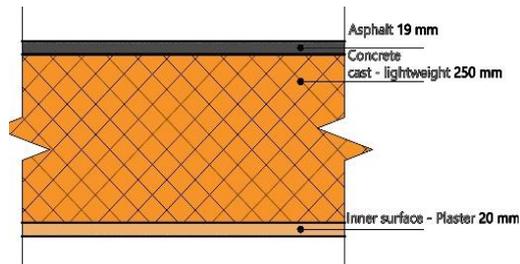
شكل (7.6): تغيير طبيعة استخدام الفراغ وكثافة المستخدمين

3.2.6. تعريف خصائص أسطح المبنى

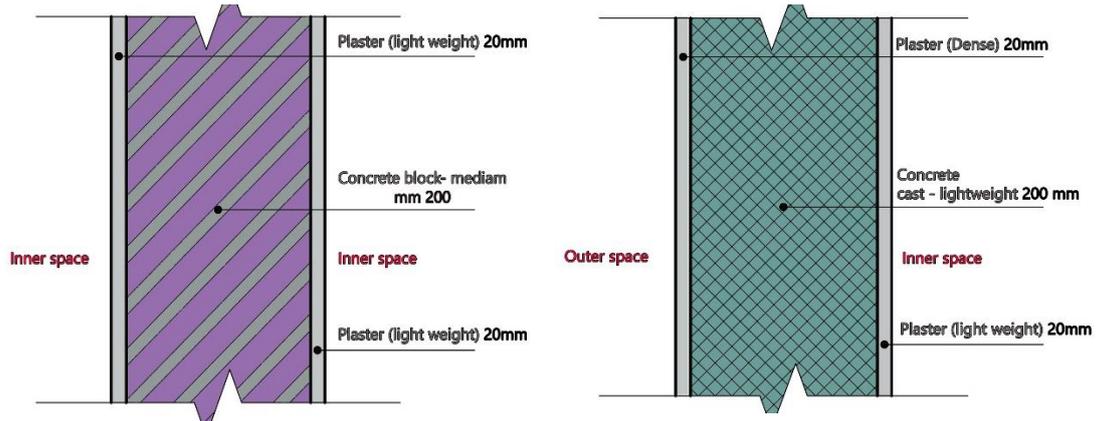
تم إجراء التجربة المحوسبة على نوعين من الأسطح، السطح الأول هو السطح التقليدي الموجود على أرض الواقع في المدرسة حيث تم أخذ نوع المواد المستخدمة فيه وسماكة كلٍ من هذه المواد من المخططات التنفيذية والتفصيلية للمدرسة ومن ثم تم نقلها إلى البرنامج، والأشكال (8.6) و (9.6) و (10.6) و (11.6) توضح مواد البناء التي تم استخدامها في التجربة مع سماكة وخصائص كل منهم، وذلك لمعرفة الظروف الحرارية للغرفة بناءً على خصائص مواد البناء فيها، ومن ثم مقارنتها بالنتائج التي تم قياسها فيزيائياً وبالنتائج التي تم الحصول عليها بالاستبيان تحت نفس خصائص السطح بحيث إذا كانت نتائج جميع أدوات القياس متقاربة فيمكننا الأخذ بهذه النتائج واعتمادها، ثم تم إضافة سطح أخضر وطبقاته سيتم شرحها في الفصل السابع من البحث.



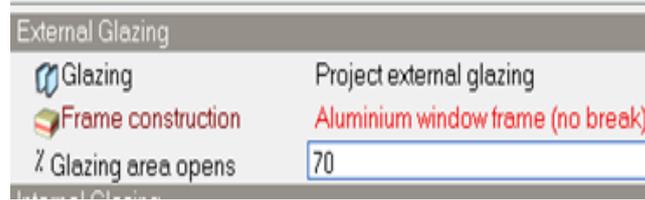
شكل (9.6): طبقات الأرضية



شكل (8.6): طبقات السطح التقليدي



شكل (10.6): طبقات الحائط الخارجي ذو الحائط الخرساني
شكل (11.6): طبقات الحائط الداخلي ذو الحائط المبنى من الطوب



شكل (12.6): خصائص النوافذ

3.6. تأثير توجيه الغرف الصفية على الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة

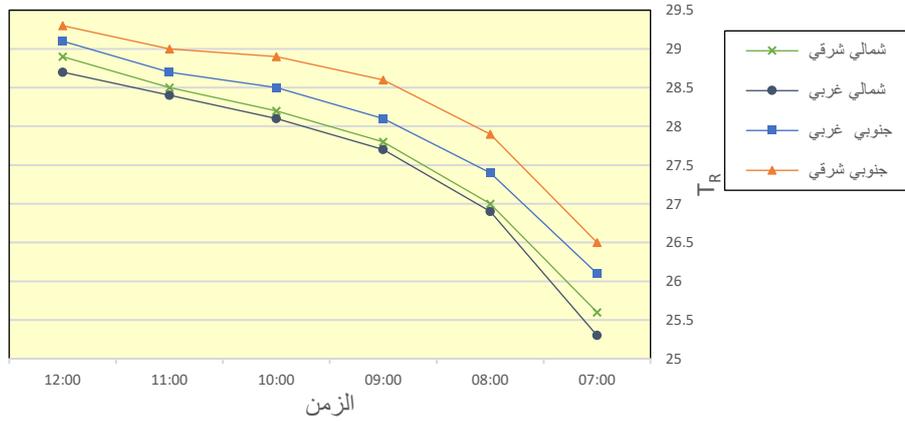
تمت المقارنة بين الغرف الصفية (1 و 2 و 3 و 4) مختلفة التوجيه المعماري الموضحة في الشكل (13.6) باستخدام برنامج Design Builder وذلك لمقارنة نتائج المحاكاة المحوسبة بنتائج التجربة الفيزيائية والاستبيان وذلك عن طريق مقارنة قيم PMV في المحاكاة المحوسبة بقيم PMV و AMV في التجارب الأخرى، عن طريق المحاكاة تم الحصول على بيانات الراحة (درجة حرارة الهواء T_A)، ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات (T_{MRT}) ، ودرجة الحرارة الناتجة (T_R) ، والرطوبة النسبية (RH) وقيمة PMV تحت السطح التقليدي للغرف الصفية الأربعة ولكن سيتم الاكتفاء بقيم درجات الحرارة الناتجة T_R لأنها تعبر عن قيم درجات حرارة الهواء T_A وقيم متوسط درجات حرارة الإشعاعات T_{MRT} ، وقد تم تحديد تاريخ المحاكاة في نفس اليوم ونفس الأوقات التي تمت فيها قياسات الطرق الأخرى وذلك لدراسة تأثير توجيه الغرف الصفية على الراحة الحرارية حيث أن اليوم الذي تمت فيه الدراسة هو يوم الخميس بتاريخ 2019/9/26 والذي تأخذ فيه الطالبات خمس حصص فقط حيث تمت الدراسة للفترات المشغولة من الساعة 7:30 حتى الساعة 11:05.



شكل (13.6): مواقع الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية المختلفة

1.3.6 درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف الصفية مختلفة التوجيه

يقوم برنامج Design Builder بحساب درجات الحرارة الناتجة resultant Temperatures تلقائياً، والشكل (14.6) يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة T_R بعد إحضارها من برنامج المحاكاة وإدخالها إلى برنامج Excel في كل غرفة صفية حيث أن المخطط يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة مقابل الزمن.



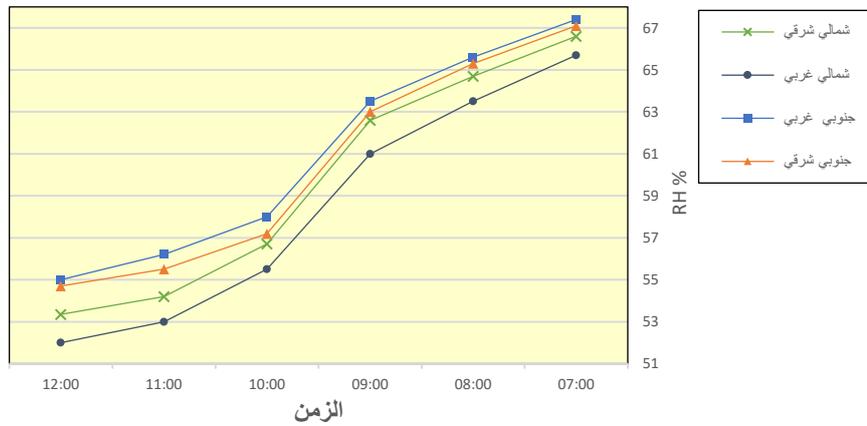
شكل (14.6): قيم درجات الحرارة الناتجة مقابل الزمن التي تم الحصول عليها من المحاكاة في الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية المختلفة

من القيم السابقة المبينة في المخطط يتضح أن جميع قيم درجات الحرارة الناتجة تتزايد كلما تقدم الوقت، ولكن يمكن القول أن الغرفة الصفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي تعاني من أكثر الدرجات ارتفاعاً تليها الغرفة الصفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي، ثم تأتي الغرفة

الصفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي أما أقل الغرف الصفية ارتفاعاً في درجات الحرارة الناتجة هي الغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي، وهذا يتوافق مع نتائج تجربة القياس الفيزيائي.

2.3.6. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف الصفية مختلفة التوجيه

تم أخذ قيم الرطوبة النسبية Relative humidity لكافة الغرف الصفية من خلال برنامج المحاكاة، والشكل (15.6) يوضح مخطط قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها في كل غرفة صفية.

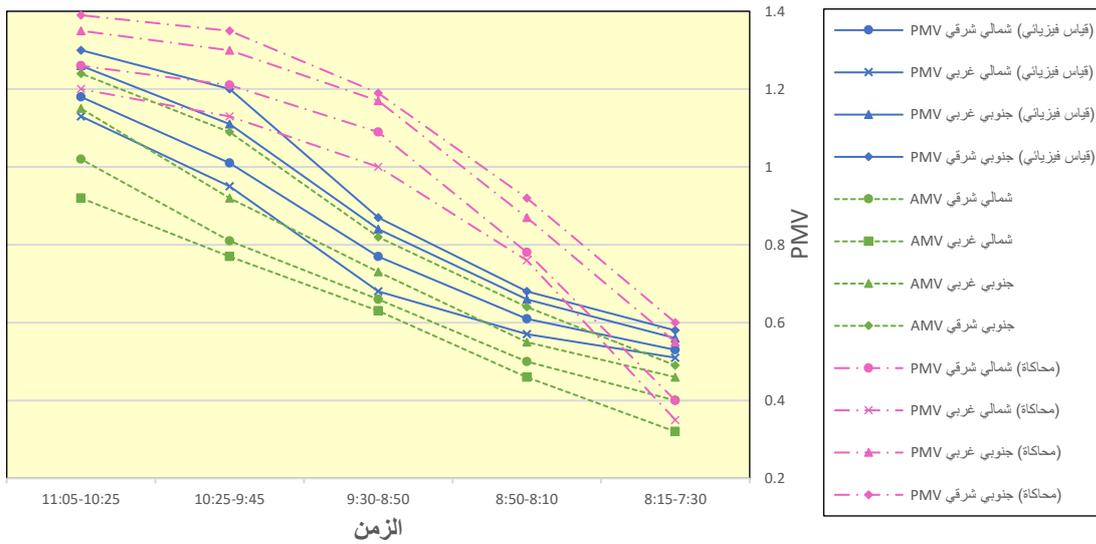


شكل (15.6): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في الغرف الصفية ذات التوجيهات المعمارية المختلفة

من المخطط يتضح أن جميع قيم الرطوبة النسبية تنخفض تنازلياً كلما تقدم الوقت خلال ساعات الدوام إلا أنها تعود للارتفاع مرة أخرى في نهاية الدوام، كما يتضح من النتائج أن الغرفة الصفية (3) ذات التوجيه الجنوبي الغربي تمتلك أكبر قيم رطوبة نسبية مرتفعة تليها الغرفة الصفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي، ثم الغرفة الصفية (1) ذات التوجيه الشمالي الشرقي، وأقل الغرف الصفية ارتفاعاً في نسبة الرطوبة النسبية هي الغرفة الصفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي، وهذا متوافق مع نتائج القياس الفيزيائي.

3.3.6. مقارنة قيم PMV للغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري

يقوم برنامج Design Builder بحساب قيم PMV وقد تم أخذ البيانات وإدخالها إلى المخطط الواضح في الشكل (16.6)، وقد تمت إضافة قيم PMV الناتجة من القياس الفيزيائي وقيم AMV الناتجة من الاستبيان بجوار قيم PMV للمحاكاة المحوسبة لملاحظة العلاقة بين جميع النتائج.



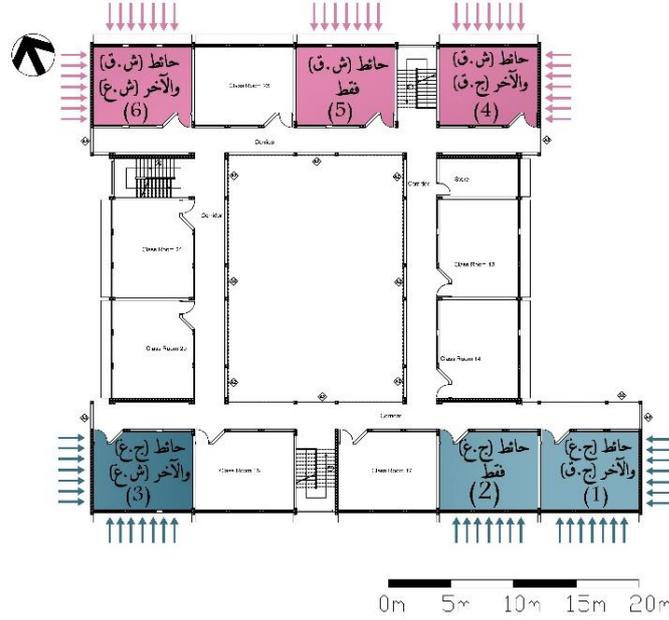
شكل (16.6): قيم الرطوبة النسبية PMV الناتجة من المحاكاة مع قيم PMV و AMV الناتجتان عن القياس الفيزيائي والاستبيان

يمكن ملاحظة أنه في جميع التجارب الخاصة بالغرف الصيفية مختلفة التوجيه المعماري كانت الغرفة الصيفية (4) ذات التوجيه الجنوبي الشرقي تعاني من مستوى راحة حرارية أقل من باقي الغرف الصيفية، أما أفضل مستويات الراحة الحرارية فقد كانت للغرفة الصيفية (2) ذات التوجيه الشمالي الغربي، كما نلاحظ أن نتائج المحاكاة المحوسبة أعلى بقليل من نتائج القياس الفيزيائي ومن نتائج الاستبيان إلا أنهم جميعاً ضمن نفس النطاق، وسيتم تحديد مدى الارتباط بين أدوات القياس الثلاثة باستخدام SPSS

4.6. تأثير مساحات الحوائط الخارجية على الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة.

تمت دراسة الستة فصول الموضحة في الشكل (17.6) والتي تختلف بعدد الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية، تمت المقارنة باستخدام برنامج design Builder وذلك لمقارنة نتائج المحاكاة المحوسبة بنتائج التجربة الفيزيائية والاستبيان وذلك عن طريق مقارنة قيم PMV في المحاكاة المحوسبة بقيم PMV و AMV في التجارب الأخرى، عن طريق المحاكاة تم الحصول على بيانات الراحة (درجة حرارة الهواء، ومتوسط درجة حرارة الإشعاعات، درجة الحرارة الناتجة، والرطوبة النسبية) وقيم PMV تحت السطح التقليدي للغرف الصيفية الستة في نفس اليوم ونفس الأوقات التي تمت فيها قياسات الطرق الأخرى، وذلك لدراسة تأثير مساحات الحوائط المعرضة للعوامل الخارجية على الراحة الحرارية حيث أن اليوم الذي تمت فيه الدراسة للغرف

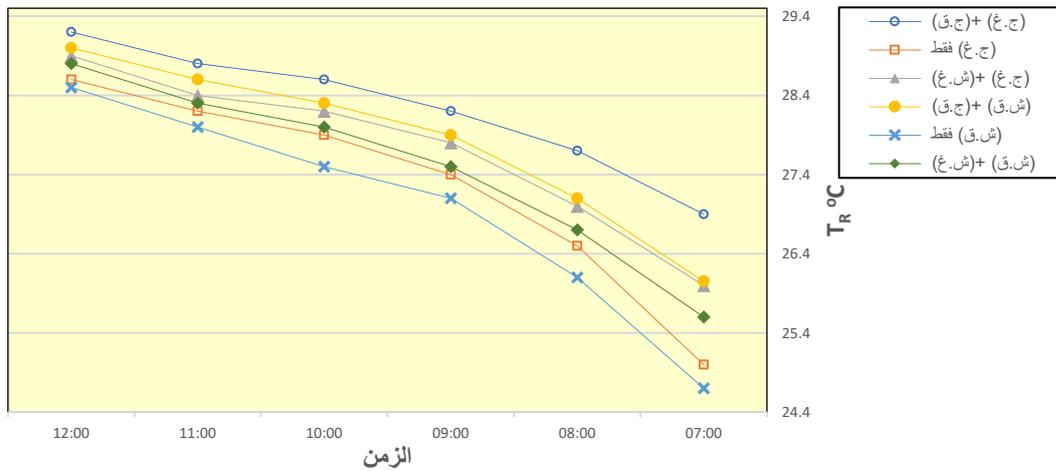
الصفية هو يوم السبت بتاريخ 2019 /9/28 والذي تأخذ فيه الطالبات ستة حصص، وقد تمت الدراسة في فترات الدوام من الساعة 7:30 حتى الساعة 11:45.



شكل (17.6): الغرف الصفية ذات المساحات المختلفة المعرضة للعوامل الخارجية

1.4.6 درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperature للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

يقوم برنامج Design Builder بحساب درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperatures تلقائياً، والشكل (18.6) يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة T_R بعد إحضارها من برنامج المحاكاة وإدخالها إلى برنامج Excel في كل غرفة صفية حيث أن المخطط يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة مقابل الزمن.

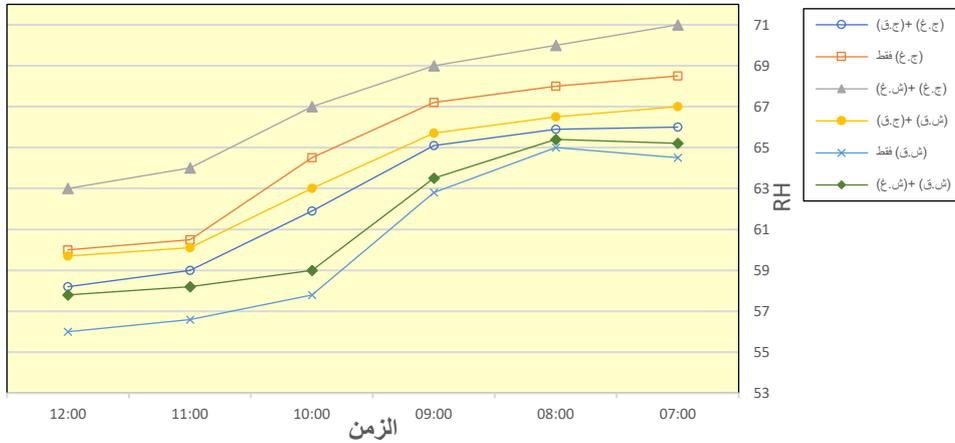


شكل (18.6): قيم درجات الحرارة الناتجة في الغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

من المخطط يتضح أن قيم درجات حرارة الهواء تتزايد كلما تقدم الوقت كما يتضح أن الغرفة الصفية (1) الطرفية ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق) تعاني من أكثر درجات حرارة الهواء ارتفاعاً تليها الغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ج.ق)، وتأتي بعدهما الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ) ولكن الفرق بينها وبين الغرف (4) غير كبير، ثم تأتي الغرفة الصفية (6) ذات الحائط (ش.ق) والآخر (ش.غ) وتقل عنها الغرفة الصفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط، وبالنسبة للغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق) فقط فقد كانت قيمها هي الأقل مقارنة بباقي الغرف الصفية، ويمكن ملاحظة أن أقل قيم لدرجات الحرارة الناتجة كانت في الغرف الصفية المعرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد فقط أي أن مساحة الحوائط الخارجية فيها قليلة، وهذا يتوافق مع نتائج تجربة القياس الفيزيائي.

2.4.6. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرف مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

تم أخذ قيم الرطوبة النسبية Relative humidity للغرف الصفية مختلفة مساحة الحوائط الخارجية من خلال برنامج المحاكاة، والشكل (19.6) يوضح مخطط قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها في كل غرفة صفية.



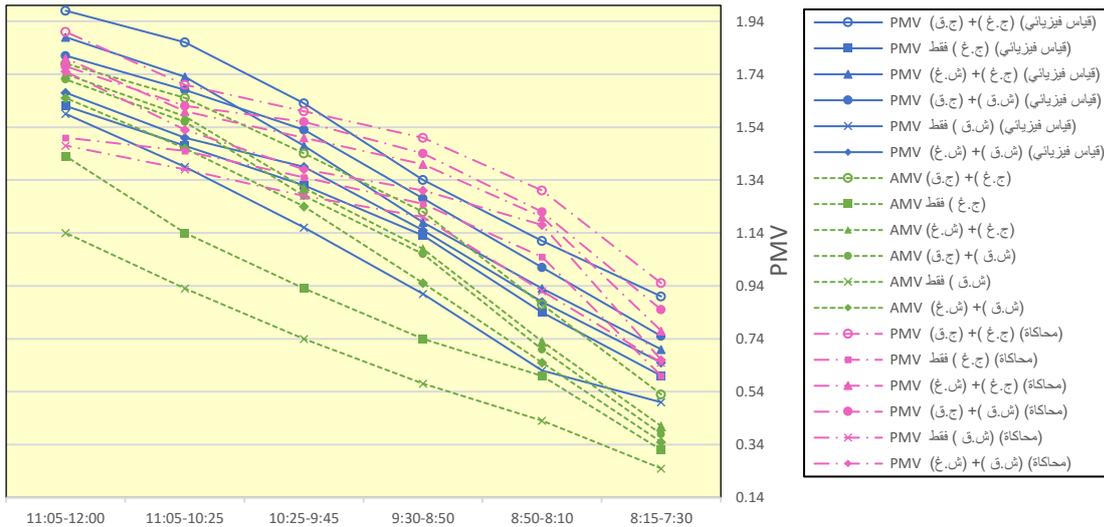
شكل (19.6): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في الغرف الصفية الجنوبية حسب مساحة الحوائط الخارجية

يبين المخطط أن قيم للرطوبة النسبية تتخفف كلما تقدم الوقت كما يمكن ملاحظة أن نتائج الغرفة الصفية (3) الطرفية ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية بحيث أن أحدهم (ج.غ) والآخر (ش.غ) تمتلك أعلى قيم للرطوبة النسبية ارتفاعاً تليها الغرفة الصفية (2) الوسطية ذات الحائط (ج.غ) فقط، ثم تأتي الغرفة الصفية (4) الطرفية ذات الحائط (ش.ق) والحائط (ج.ق)

وتأتي بعدها الغرفة الصفية (1) الطرفية ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية بحيث أن أحدهم (ج.غ) والآخر (ج.ق) ثم الغرفة الصفية (6) الطرفية ذات الحائطين المعرضين للعوامل الخارجية بحيث أن أحدهم (ش.ق) والآخر (ش.غ) أما أقل الغرف الصفية ارتفاعاً في قيم الرطوبة النسبية فهي الغرفة الصفية (5) الوسطية ذات الحائط الواحد المعرض للعوامل الخارجية وهو الحائط (ش.ق)، ومن هنا يمكن ملاحظة أن قيم الرطوبة النسبية الناتجة عن المحاكاة المحوسبة متوافقة مع نتائج القياس الفيزيائي.

3.4.6. مقارنة قيم PMV للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

يقوم برنامج Design Builder بحساب قيم PMV وقد تم أخذ البيانات وإدخالها إلى المخطط الواضح في الشكل (20.6)، وقد تمت إضافة قيم PMV الناتجة من القياس الفيزيائي وقيم AMV الناتجة من الاستبيان بجوار قيم PMV للمحاكاة المحوسبة لملاحظة العلاقة بين جميع النتائج.

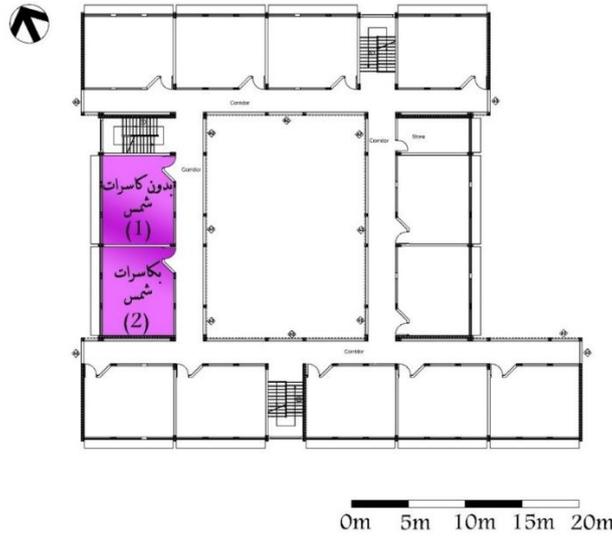


شكل (20.6): مقارنة بين قيم PMV الناتجة من المحاكاة و PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي و AMV للغرف الصفية مختلفة مساحات الحوائط الخارجية

يمكن القول أن الغرف الصفية المعرضة للعوامل الخارجية عن طريق حائطين تعاني من مستوى راحة حرارية أقل من الغرف المعرضة للعوامل الخارجية من حائط واحد، مما يعني أنه كلما زادت مساحة الحوائط الخارجية المعرضة لأشعة الشمس كلما قل مستوى الراحة الحرارية الداخلية في الفراغ المعماري، كما نلاحظ أن نتائج المحاكاة المحوسبة أعلى بقليل من نتائج القياس الفيزيائي ومن نتائج الاستبيان إلا أنهم جميعاً ضمن نفس النطاق وسيتم تحديد مدى الارتباط بين نتائج أدوات القياس الثلاثة باستخدام برنامج SPSS

5.6. تأثير وجود كاسرات الشمس على الراحة الحرارية باستخدام المحاكاة.

تمت الدراسة على فصلين واقعين على الاتجاه الشمالي الغربي ولهما نفس الخصائص، إلا أن هناك اختلاف في وجود كاسرات الشمس، فأحد هذه الفصول لا يوجد على نوافذه كاسرات شمس حيث تمت إزالة كاسرات الشمس منه لفترة مؤقتة والفصل الآخر يوجد على نوافذه كاسرات شمس والشكل (21.6) يوضح مكان الفصلين. وقد تم عمل المحاكاة بيوم الأحد بتاريخ 2019/9/29 والذي تأخذ فيه الطالبات ست حصص حيث تمت الدراسة للفترات المشغولة من الساعة 7:30 حتى الساعة 11:45 في نفس اليوم ونفس الأوقات التي تمت بها باقي التجارب لهاتين الغرفتين الفصليتين.



شكل (21.6): موقع الغرفة الصفية بكاسرة والغرفة بدون كاسرة

وقد تم إيقاف تفعيل خيار وجود كاسرات الشمس على نوافذ الغرفة الصفية (1) كما يوضح الشكل (22.6)، أما بالنسبة للغرفة الصفية (2) فقد تم تفعيل خيار كاسرات الشمس على نوافذها كما يوضح الشكل (23.6).



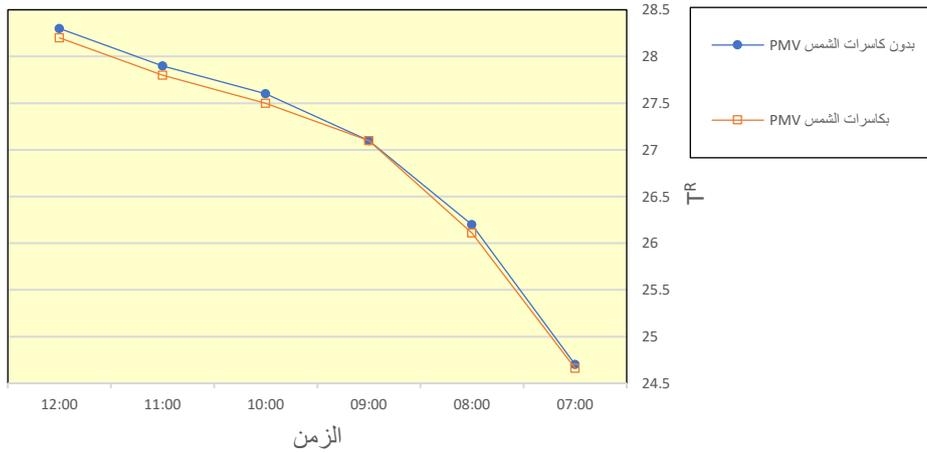
شكل (23.6): تفعيل خيار كاسرات الشمس على نوافذ الفصل (2) في برنامج المحاكاة



شكل (22.6): عدم تفعيل خيار كاسرات الشمس على نوافذ الفصل (1) في برنامج المحاكاة

1.5.6. درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperatures للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات

تم حساب درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperatures تلقائياً ببرنامج Design Builder، والشكل (24.6) يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة T_R بعد إحضارها من برنامج المحاكاة وإدخالها إلى برنامج Excel في كل غرفة صفية حيث أن المخطط يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة مقابل الزمن في الغرفة الصفية بالكاسرات والغرفة الصفية بدون الكاسرات.

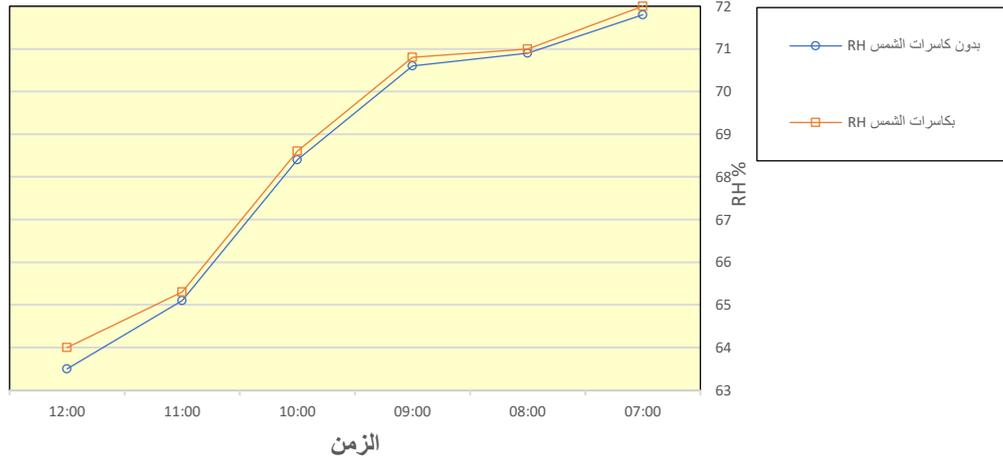


شكل (24.6): مخطط درجات الحرارة الناتجة في الغرفة الصفية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات

من المخطط نجد أن متوسط قيم درجات الحرارة تتزايد كلما تقدم الوقت كما يتضح أن الفصل (1) بدون كاسرات الشمس يعاني أكثر من ارتفاع درجات الحرارة الناتجة يليه الفصل (2) والذي توجد على نوافذه كاسرات شمس، ولكن من الواضح في المخطط أن الفرق بينهما ليس كبيراً، وربما يرجع السبب في هذا الفرق البسيط إلى أن الفصلين يقعان على الاتجاه الشمالي الغربي من المبنى المدرسي (كما تم شرحه سابقاً) مما يعني أن كلاهما لا يتعرض إلى نسبة كبيرة من الإشعاع الشمسي إلا في وقت متأخر من اليوم بعد انتهاء الدوام المدرسي أي أن وجود كاسرات أو عدمه على هذا الاتجاه قد لا يكون ذا تأثير حراري يذكر خصوصاً في وقت الدوام، بالإضافة إلى أن هذه النتائج متوافقة مع نتائج التجربة الأولى الخاصة بالقياس الفيزيائي.

2.5.6. قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات

تم حساب قيم الرطوبة النسبية Relative Humidity تلقائياً ببرنامج Design Builder، والشكل (25.6) يوضح مخطط قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها في كل غرفة صافية.

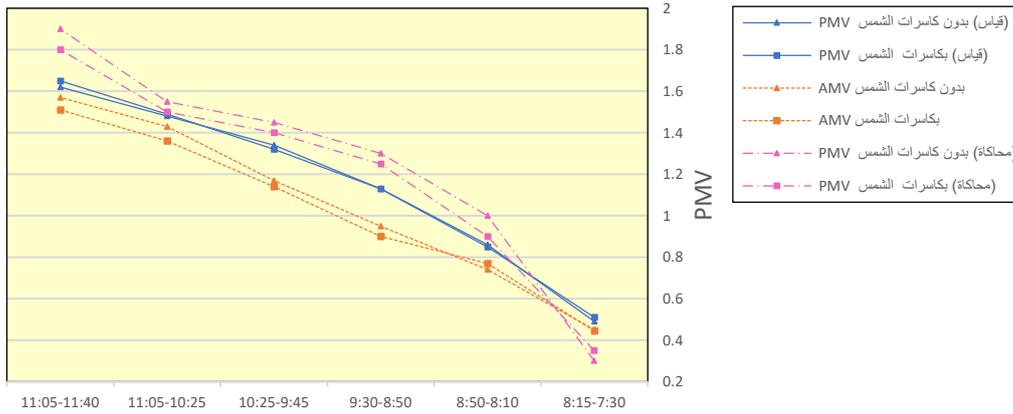


شكل (25.6): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن في الغرفة الصافية بكاسرات والغرفة بدون كاسرات

من المخطط نجد أن متوسط القيم للرطوبة النسبية تنخفض كلما تقدم الوقت كما يتضح من النتائج أن الغرفة الصافية (2) بكاسرات الشمس تمتلك أكثر متوسط قيم للرطوبة النسبية ارتفاعاً تليها الغرفة الصافية (1) والتي لا يوجد بها كاسرات شمس، ولكن لا يعتبر الفرق بينهما كبيراً، وهذه النتائج شبيهة بنتائج القياس الفيزيائي.

3.5.6. مقارنة قيم PMV في الغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات

يقوم برنامج Design Builder بحساب قيم PMV وقد تم أخذ البيانات وإدخالها إلى المخطط الواضح في الشكل (26.6)، وقد تمت إضافة قيم PMV الناتجة من القياس الفيزيائي وقيم AMV الناتجة من الاستبيان بجوار قيم PMV للمحاكاة المحوسبة لملاحظة العلاقة بين جميع النتائج.



شكل (26.6): مقارنة PMV الناتجة من المحاكاة وقيم PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي وقيم AMV للغرفة بالكاسرات والغرفة بدون الكاسرات

في نهاية هذه التجربة ومن خلال القياس الفيزيائي الميداني وجد أن الغرفة الصفية (1) بدون كاسرات الشمس يعاني مستخدموها من مستوى راحة الحرارية أقل من الغرفة الصفية (2) والتي يوجد على نوافذها كاسرات شمس ولكن الفرق بين مستويات الراحة الحرارية بينهم يعتبر قليل جداً. كما يمكن ملاحظة مشابهة النتيجة لنتائج باقي أدوات القياس (القياس الفيزيائي، والاستبيان)

6.6. مقارنة نتائج أدوات القياس الثلاثة

في البداية تم إدخال البيانات الموجودة في الجدول (1.6) والخاصة بمتوسط قيم PMV الناتجة من القياس الفيزيائي ومتوسط قيم AMV الناتجة عن الاستبيان، ومتوسط قيم PMV الناتجة عن المحاكاة المحوسبة.

جدول (1.6): متوسطات قيم PMV القياس و AMV و PMV المحاكاة.

PMV (المحاكاة) (المحوسبة)	AMV (الاستبيان)	PMV (القياس) (الفيزيائي)	نوع الغرفة الصفية	نوع المجموعة
.95	0.68	0.82	الغرفة الصفية (1) توجيه شمالي شرقي	مجموعة الغرف الصفية مختلفة التوجيه المعماري
.89	0.62	0.77	الغرفة الصفية (2) توجيه شمالي غربي	
1.05	0.76	0.89	الغرفة الصفية (3) توجيه جنوبي غربي	
1.10	0.86	0.93	الغرفة الصفية (3) توجيه جنوبي شرقي	مجموعة الغرف الصفية ذات مساحات الحوائط الخارجية مختلفة
1.49	1.25	1.47	الغرفة الصفية (1) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ج.ق)	
1.20	0.86	1.16	الغرفة الصفية (2) ذات الحائط (ج.غ) فقط	
1.40	1.14	1.35	الغرفة الصفية (3) ذات الحائط (ج.غ) والآخر (ش.غ)	

PMV (المحاكاة المحوسبة)	AMV (الاستبيان)	PMV (القياس الفيزيائي)	نوع الغرفة الصفية	نوع المجموعة
1.39	1.12	1.34	الغرفة الصفية (4) ذات الحائط (ش.ق.) والآخر (ج.ق.)	
1.15	0.67	1.03	الغرفة الصفية (5) ذات الحائط (ش.ق.) فقط	
1.35	1.05	1.21	الغرفة الصفية (6) ذات الحائط (ش.ق.) والآخر (ج.ق.)	
1.25	1.05	1.153	الغرفة الصفية (1) بدون كاسرات الشمس	المجموعة التي تحتوي الغرفة بالكاسرات والأخرى بدون الكاسرات
1.2	1.02	1.158	الغرفة الصفية (2) بكاسرات الشمس	

ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم PMV الناتجة عن الاستبيان وقيم PMV الناتجة عن المحاكاة المحوسبة وقيم AMV يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً، وقد وجد أن قيمة sig الناتجة عن القياس الفيزيائي بلغت 0.757، أما قيمة sig AMV فقد بلغت 0.445، أما قيمة sig PMV الناتجة عن المحاكاة المحوسبة فقد بلغت 0.224، مما يعني أن جميع البيانات موزعة توزيعاً طبيعياً ومنه يمكن استخدام اختبار Paired T- test.

ومن نتائج اختبار Paired T- test، وجد أنه يوجد فرق ذو دلالة إحصائية بين PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي و AMV عند قيمة $t = 7.6$ ، ودرجة حرية $df = 11$ ، وقيمة sig = 0.000 = منه لا نستطيع قبول الفرضية العدمية، وقد وجد أنه يوجد فرق ذو دلالة إحصائية ل PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي و PMV الناتجة عن المحاكاة عند قيمة $t = -6.3$ ، ودرجة حرية = 11، وقيمة sig = 0.00 = أي أنها معنوية ومنه لا نستطيع قبول الفرضية العدمية كما نلاحظ أن نتيجة t بين PMV للقياس الفيزيائي و PMV للمحاكاة سالبة وهذا يعني أنه نتيجة المحاكاة أكبر من نتيجة القياس الفيزيائي، والجدول (2.6) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين قيم PMV القياس و AMV و PMV المحاكاة.

جدول (2.6): نتائج اختبار Paired samples T-test بين قيم PMV القياس و AMV و PMV المحاكاة.

Std. Error Mean	Std. Deviation	الارتباط بـ PMV القياس الفيزيائي	عدد القيم N	متوسط القيم	
0.064	0.22	-	12	1.1	PMV القياس الفيزيائي
0.060	0.20	0.928	12	0.92	AMV
0.053	0.18	0.984	12	1.2	PMV المحاكاة المحوسبة

يتضح من النتائج أن الفروقات بين جميع أدوات القياس ذات دلالة إحصائية، وأن قيمة PMV الناتجة عن المحاكاة المحوسبة هي الأعلى تليها قيمة PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي، والأقل هي قيمة AMV، حيث ظهر في معظم الأبحاث أن المنهج التكيفي يكون في الغالب أقرب للراحة الحرارية من باقي المناهج، كما وجد أن النتائج بين الأدوات الثلاثة للقياس بينها علاقة ذات دلالة إحصائية ونوع العلاقة هي علاقة قوية جداً.

7.6. ملخص الفصل

ناقش الفصل المقارنة باستخدام المحاكاة المحوسبة باستخدام برنامج Design Builder بين الأربع فصول ذات التوجيهات المعمارية المختلفة وبين الغرف الصفية الست ذات مساحات الحوائط الخارجية المختلفة، وفي النهاية بين الغرفتين الفصليتين اللتين تمتلك إحداهما كاسرات شمس والأخرى بدون كاسرات الشمس، وذلك عن طريق مقارنة قيم درجات الحرارة الناتجة وقيم الرطوبة النسبية وقيم PMV، وفي نهاية الفصل تمت المقارنة بين قيم PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي و AMV الناتجة عن الاستبيان و PMV الناتجة عن المحاكاة المحوسبة، وبعد ذلك تمت مقارنة التقارب والارتباط بين القيم باستخدام برنامج SPSS، ووجد أن النتائج بين الأدوات الثلاثة للقياس بينهم علاقة ذات دلالة إحصائية ونوع العلاقة هي علاقة قوية جداً، وأن الفروقات بين جميع أدوات القياس ذات دلالة إحصائية، وأن قيمة PMV الناتجة عن المحاكاة المحوسبة هي الأعلى تليها قيمة PMV الناتجة عن القياس الفيزيائي، والأقل هي قيمة AMV.

الفصل السابع

دراسة تأثير الأسطح الخضراء على الراحة الحرارية

الفصل السابع

دراسة تأثير الأسطح الخضراء على الراحة الحرارية

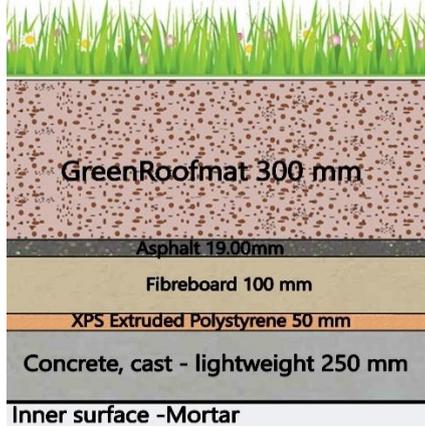
1.7. مقدمة الفصل

نظراً لتقارب النتائج بين أدوات القياس الثلاثة وبسبب وجود ارتباط قوي بين النتائج التي تم الحصول عليها من جميع أدوات القياس، فقد تم التأكد من أن جميع الأدوات يمكنها إعطاء نتائج دقيقة فيما يخص هذه الحالة الدراسية، ولهذا السبب فإن هذا الفصل سيدرس تأثير الأسطح الخضراء على مستوى الراحة الحرارية باستخدام أداة المحاكاة المحوسبة للقياس والتي تم التأكد من دقتها مسبقاً، والذي من خلاله يتم معرفة تأثير السطح الأخضر في فصل الصيف وفصل الشتاء، كما تم إدراج نوعين آخرين من الأسطح وهما السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري، ليتم مقارنة نتائجهم بنتائج كل من السطح التقليدي والسطح الأخضر، ولاختيار السطح الأنسب من بين الأسطح الأربعة في الصيف والسطح الأنسب في الشتاء والسطح الذي يمكن تطبيقه طوال العام كحل دائم. كما تم النظر في سماكة طبقة التربة وقيمة مؤشر مساحة الورقة LAI في السطح الأخضر لاختيار المناسب من القيم والتي تتناسب المبنى المدروس، وفي نهاية الفصل تم دراسة تأثير السطح الأخضر على استهلاك الطاقة في الطابق الأخير من المبنى ومعرفة مقدار التوفير السنوي والذي يوفره كل نوع من أنواع الأسطح المختلفة عند مقارنتهم بالسطح التقليدي.

2.7. تعريف خصائص الأسطح المدروسة

الأسطح التي تمت دراستها لمقارنتها بالسطح التقليدي عددها ثلاثة وهم السطح الأخضر والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري. السطح الأخضر الذي تم استخدامه هو من نوع Extensive green roof وذلك لأن هذا النوع من الأسطح الخضراء هو المناسب للمباني القائمة. طبقات السطح الأخضر التي تم إدراجها هي (طبقة الأسفلت العازل للمياه وطبقة التصريف وفلتر الترشيح وخليط التربة والحصى وطبقة النباتات) بالإضافة إلى الطبقة الداخلية وهي الخرسانة المصبوبة كما يوضح الشكل (1.7)، أما السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري فهو شبيه بالسطح التقليدي الذي تم توضيحه مسبقاً إلا أنه يحتوي على طبقتين من العازل الحراري وطبقاته موضحة في الشكل (3.7)، والسطح الثالث هو السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري وهو شبيه بالسطح الأخضر إلا أنه يحتوي على طبقتين من العازل الحراري وطبقاته موضحة في الشكل (2.7)، أما الشكل (4.7) فهو يوضح

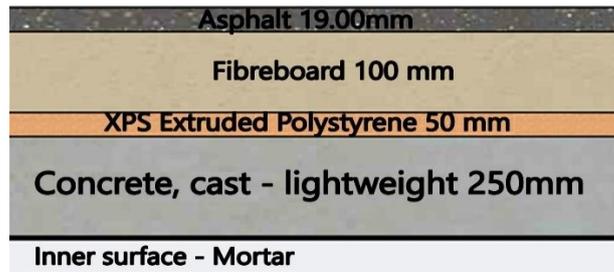
قيم عناصر السطح الأخضر، وبالنسبة للشكل (5.7) والشكل (6.7) فهما يوضحان نوع طبقتين العازل الحراري المستخدمتين في المحاكاة.



شكل (2.7): طبقات السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري



شكل (1.7): طبقات السطح الأخضر



شكل (3.7): طبقات السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري

Green Roof	
<input checked="" type="checkbox"/> Green roof	
Height of plants (m)	0.1500
Leaf area index (LAI)	3.0000
Leaf reflectivity	0.250
Leaf emissivity	0.950

شكل (4.7): خصائص طبقة السطح الأخضر



شكل (6.7): مادة Fibreboard العازلة حرارياً



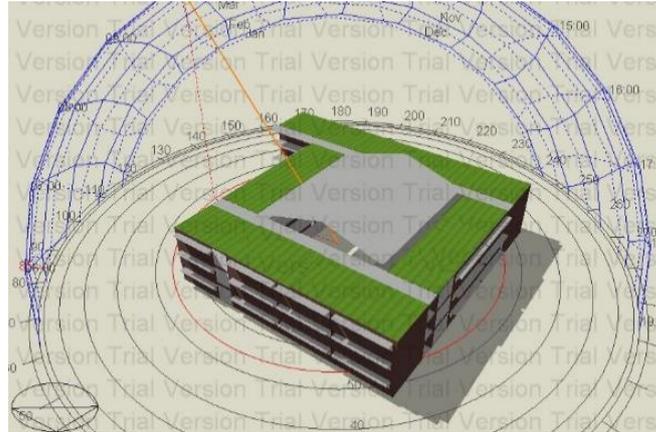
شكل (5.7): مادة Extruded XPS

Polystyrene العازلة حرارياً

بالنسبة لطبقة السطح الأخضر والمكونة من التربة والحصى والطينة والنباتات فإن سماكتها تساوي 30 سم وقد تم اختيارها بناءً على مرجع ASHRAE Handbook كما يوضح الشكل (7.7)، ويوضح الشكل (8.7) نموذج المبنى على برنامج المحاكاة بعد إضافة طبقة السطح الأخضر له.

Name	GreenRoofmat
Description	
Source	ASHRAE Handbook
Category	Sands, stones and soils
Region	ISRAEL
Material Layer Thickness	
<input checked="" type="checkbox"/> Force thickness	
Default thickness (m)	0.3000
Thermal Properties	
Detailed properties	
Thermal Bulk Properties	
Conductivity (W/m-K)	1.0000
Specific Heat (J/kg-K)	1000.00
Density (kg/m3)	1900.00

شكل (7.7): خصائص الطبقة الأخيرة (التربة والحصى والطينة)



شكل (8.7): المبنى في برنامج المحاكاة بعد إضافة طبقة السطح الأخضر له

3.7. تأثير السطح الأخضر على مستوى الراحة الحرارية

تم عمل دراسة باستخدام برنامج المحاكاة تحت الأسطح المختلفة (سطح تقليدي - سطح أخضر - سطح تقليدي مع طبقة عازل حراري - سطح أخضر مع طبقة عازل حراري) خلال جميع الأشهر من العام، ومع أن المدرسة التي تم تطبيق الدراسة عليها غير مشغولة خلال أشهر الصيف الحارة مثل شهر يونيو ويوليو وأغسطس، كما أنها غير مشغولة أيضاً خلال فترة المساء،

إلا أنه تم تضمين هذه الأوقات والشهور في النتائج، وذلك حتى تكون النتائج شاملة وعامة ويمكن الاستفادة منها على أي مبنى في نفس المنطقة. تم تقسيم أشهر العام إلى ثلاث فترات وهي:

1. أشهر فصل الصيف (22-يونيو حتى 22-سبتمبر).
2. أشهر فصول الاعتدالين (23-سبتمبر حتى 22-ديسمبر)+(22-مارس حتى 22-يونيو).
3. أشهر فصل الشتاء (22 - ديسمبر حتى 21-مارس).

1.3.7. درجة الحرارة الناتجة Resultant Temperature

يقوم برنامج Design Builder بحساب درجات الحرارة الناتجة Resultant Temperatures تلقائياً طوال العام، ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم درجات الحرارة الناتجة طوال العام قبل إضافة الأسطح المختلفة وبعد إضافتها، يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، والجدول (1.7) يوضح قيمة sig لنتائج فصل الصيف وفصل الشتاء والاعتدالين، والخاصة بكل نوع من أنواع الأسطح.

جدول (1.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بدرجة الحرارة الناتجة لكل نوع من

أنواع الأسطح

قيمة sig	أشهر الاعتدالين	قيمة sig	أشهر فصل الشتاء	قيمة sig	أشهر فصل الصيف	نوع السطح
0.127		0.332		0.33		السطح التقليدي
0.336		0.91		0.9		السطح الأخضر
0.120		0.674		0.67		السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري
0.123		0.604		0.60		السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري

ونظراً لأن النتائج في الجدول كلها أكبر من 0.05 فهذا يعني أن التوزيع طبيعي في جميع القيم خلال فصول السنة المختلفة، وبالتالي يمكن استخدام اختبار Paired samples T- test، وقد تم تقسيم النتائج إلى الصيف والشتاء والاعتدالين، ومن خلال نتائج الاختبار والتي تقارن الأسطح المختلفة بالسطح التقليدي وجد أن:

نتائج أشهر فصل الصيف

1. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = 5.00$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.00$.

2. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 8.86$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.00$.
3. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 9.87$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.00$.

نتائج أشهر فصل الشتاء

1. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = -5.34$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.003$ ، وقيمة t سالبة لأن السطح الأخضر قيمه أعلى من السطح التقليدي شتاءً.
2. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = -5.5$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.003$ ، وقيمة t سالبة لأن السطح التقليدي مع طبقة عازل قيمه أعلى من قيم السطح التقليدي شتاءً.
3. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = -6.05$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.002$ ، وقيمة t سالبة لأن السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري قيمه أعلى من قيم السطح التقليدي شتاءً.

نتائج أشهر الاعتدالين

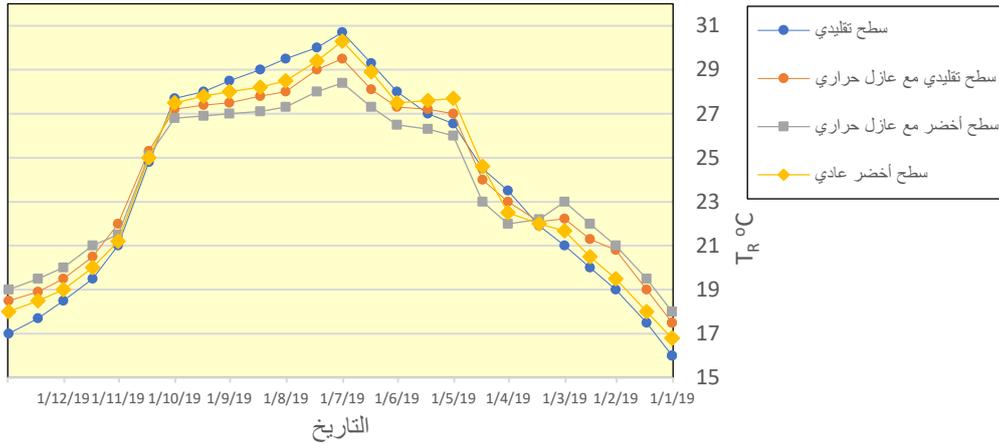
1. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = -0.928$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.374$.
2. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 0.69$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.504$.
3. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 0.659$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.523$.
4. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = -0.928$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.374$.

والجدول (2.7) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة.

جدول (2.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة لنتائج درجات الحرارة الناتجة

الارتباط بالسطح التقليدي	Std. Error Mean	Std. Dev	عدد القيم N	متوسط قيم T^R °C	نوع السطح	
-	0.40	0.99	6	29.28	السطح التقليدي	أشهر فصل الصيف
0.958	0.39	0.96	6	28.7	السطح الأخضر	
0.958	0.34	0.85	6	28.2	السطح التقليدي مع عازل حراري	
0.949	0.24	0.61	6	27.45	السطح الأخضر مع عازل حراري	
-	0.9	2.2	6	19.2	السطح التقليدي	أشهر فصل الشتاء
0.996	0.84	2.05	6	19.7	السطح الأخضر	
0.976	0.76	1.87	6	20.4	السطح التقليدي مع عازل حراري	
0.955	0.76	1.88	6	20.9	السطح الأخضر مع عازل حراري	
-	1.14	3.97	12	24	السطح التقليدي	أشهر الاعتدالين
.989	1.1	3.78	12	24.16	السطح الأخضر	
.991	0.96	3.33	12	24.16	السطح المعزول	
.974	0.83	2.87	12	23.75	السطح الأخضر المعزول	

يتضح من النتائج أن السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري يعطي أفضل النتائج في فصل الصيف حيث أن معدل القيم فيه 27.45°C وهي أقل القيم أي الأعلى راحة حرارية في فصل الصيف. ويتضح أن السطح الأخضر مع طبقة العازل الحراري يعطي أفضل النتائج في فصل الشتاء أيضاً حيث أن معدل القيم فيه 20.9°C وهي أعلى القيم أي الأعلى راحة حرارية في فصل الشتاء، أما في الاعتدالين فإن السطح الأخضر المعزول يعطي أفضل القيم أيضاً حيث أن معدل درجات الحرارة فيه يساوي 23.75°C وهي درجة حرارة مريحة. بعد إحضار النتائج من برنامج المحاكاة تم إدخالها إلى برنامج Excel في كل غرفة صيفية ثم تم الحصول على المخطط الموجود في الشكل (9.7) الذي يوضح نتائج درجات الحرارة الناتجة مقابل التاريخ، وقد لوحظ أن شهر يوليو سجل أعلى قيم لدرجات الحرارة الناتجة صيفاً، وأقل قيمة درجة حرارة سجلت في شهر يناير.



شكل (9.7): قيم درجات الحرارة الناتجة عند استخدام الأسطح المختلفة طوال العام

كما يلاحظ أن قيم درجات الحرارة الناتجة خلال فترة أشهر الشتاء تكون أعلى تحت السطح الأخضر المعزول مما يعني أنها أدفأ وأكثر راحة حرارية في أشهر الشتاء، أما في أشهر فصل الصيف فإن السطح الأخضر المعزول حرارياً كانت قيمه هي الأقل أي أنها الأبرد وهي الأكثر راحة حرارية في الصيف، وهذا يشير إلى أن السطح الأخضر المعزول حرارياً هو الأفضل طوال العام في درجات الحرارة الناتجة، وعند المقارنة بين السطح الأخضر والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري يلاحظ أن قيم السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري أقل في أشهر فصل الصيف وأعلى في أشهر فصل الشتاء، ومنه نلاحظ أن تأثير السطح الأخضر بدون عازل حراري أقل كفاءة من تأثير السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري صيفاً وشتاءً.

2.3.7. الرطوبة النسبية Relative Humidity

يقوم برنامج Design Builder بحساب الرطوبة النسبية Relative Humidity تلقائياً ولن يتم حساب قيم فصل الصيف والشتاء والاعتدالين بالتفصيل بل سيتم حساب القيم طوال العام وذلك لأن الرطوبة النسبية لا تتأثر بالأشهر المختلفة بل تتأثر بالليل والنهار، ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم الرطوبة النسبية قبل إضافة الأسطح المختلفة وبعد إضافتها، يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً، وقد وجد أن قيمة sig في البيانات تحت السطح التقليدي بلغت 0.299، أما تحت السطح الأخضر فقد بلغت قيمة sig 0.345، أما تحت السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري فقد بلغت 0.558، أما تحت السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري فبلغت 0.184، مما يعني أن البيانات موزعة توزيعاً طبيعياً ومنه تم استخدام اختبار Paired samples T- test.

ومن نتائج اختبار Paired samples T- test، وجد أنه:

1. يوجد فرق قبل إضافة السطح الأخضر وبعد إضافته عند قيمة $t = -0.23$ ، ودرجة حرية = 12، ولكنه ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.82$ ، والسبب في أن هذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية هو أن قيم درجات الحرارة الناتجة في بعض الأشهر من السنة تكون أعلى تحت السطح التقليدي وفي بعض الأشهر تكون أعلى تحت السطح الأخضر.

2. يوجد فرق قبل إضافة السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري وبعد إضافته عند قيمة $t = 0.780$ ، ودرجة حرية = 12، ولكنه ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.450$ ، والسبب في أن هذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية هو أن قيم الرطوبة النسبية في بعض الأشهر من السنة تكون أعلى تحت السطح التقليدي وفي بعض الأشهر تكون أعلى تحت السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري.

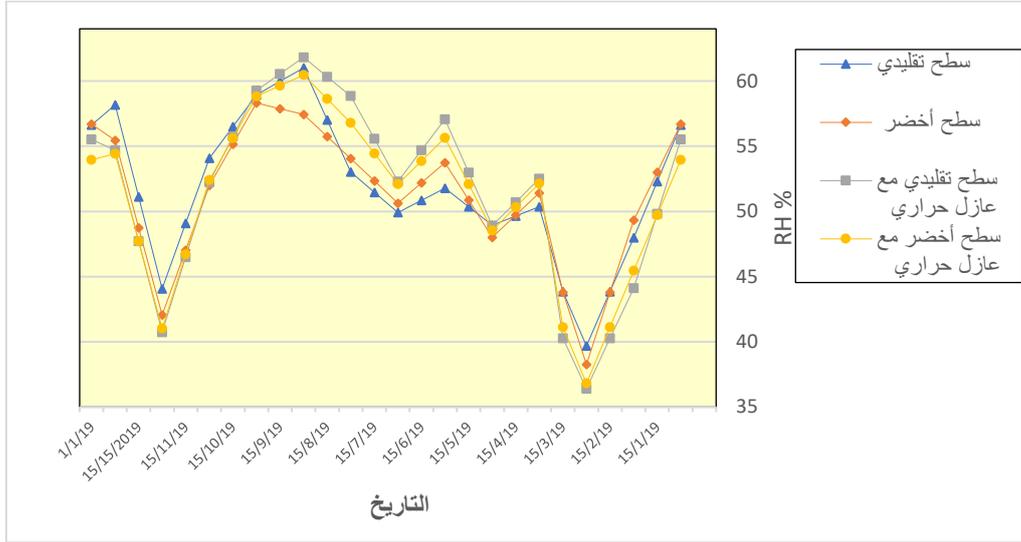
3. يوجد فرق قبل إضافة السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري وبعد إضافته عند قيمة $t = 0.297$ ، ودرجة حرية = 12، ولكنه ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.772$ ، والسبب في أن هذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية هو أن قيم درجات الحرارة الناتجة في بعض الأشهر من السنة تكون أعلى تحت السطح التقليدي وفي بعض الأشهر تكون أعلى تحت السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري.

والجدول (3.7) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة.

جدول (3.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة لنتائج الرطوبة النسبية

الارتباط بالسطح التقليدي	Std. Error Mean	Std. Deviation	عدد القيم N	متوسط القيم	
-	1.59	5.74	13	51.6	السطح التقليدي
0.903	2.1	7.54	13	51.8	السطح الأخضر
0.968	1.63	5.89	13	51.3	السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري
0.921	1.91	6.86	13	51.4	السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري

يتضح أن متوسط نتائج الرطوبة النسبية تحت السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري هي الأفضل طوال العام حيث بلغ معدلها 51.3، أما الأسوأ فهي الناتجة عن السطح الأخضر. بعد إحضار النتائج من برنامج المحاكاة تم إدخالها إلى برنامج Excel ثم تم الحصول على المخطط الموجود في الشكل (10.7) الذي يوضح نتائج الرطوبة النسبية مقابل التاريخ.



شكل (10.7): قيم الرطوبة النسبية مقابل الزمن التي تم الحصول عليها من المحاكاة المحوسبة تحت الأسطح المختلفة طوال العام

وقد لوحظ من المخطط أن شهر سبتمبر سجل أعلى قيم لدرجات الرطوبة النسبية، كما لوحظ أن درجات الرطوبة النسبية في أشهر الشتاء تحت الأسطح المختلفة قلت عما كانت عليه تحت السطح التقليدي، أما في فصل الصيف فقد زادت قيم الرطوبة النسبية تحت الأسطح المختلفة عما كانت عليه تحت السطح التقليدي.

3.3.7. مقارنة قيم PMV الخاصة بالأسطح المختلفة

يقوم برنامج Design Builder قيم PMV تلقائياً طوال العام في قطاع غزة، ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم PMV قبل إضافة الأسطح المختلفة وبعد إضافة الأسطح المختلفة يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً، والجدول (4.7): قيم sig الناتجة عن اختبار Shapiro-wilk لتقييم التوزيع الطبيعي للنتائج.

جدول (4.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بقيم PMV لكل نوع من أنواع

الأسطح

قيمة sig	شهر الاعتدالين	قيمة sig	شهر فصل الشتاء	قيمة sig	شهر فصل الصيف	نوع السطح
0.77		0.197		0.39		السطح التقليدي
0.58		0.277		0.82		السطح الأخضر
0.47		0.277		0.47		السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري
0.625		0.197		0.19		السطح الأخضر مع طبقة عازل

ونظراً لأن النتائج في الجدول كلها أعلى من 0.05 فهذا يعني أن التوزيع طبيعي في جميع القيم خلال فصول السنة المختلفة، لذلك فقد تم تقسيم النتائج إلى الصيف والشتاء والاعتدالين، ومن نتائج اختبار Paired samples T- test، وجد أن:

نتائج أشهر فصل الصيف

1. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = 6.15$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.002$.
2. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 6.97$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.001$.
3. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 11.2$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.000$.

نتائج أشهر فصل الشتاء

1. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = -8$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.000$ ، وقيمة t سالبة لأن السطح الأخضر قيمه أعلى من السطح التقليدي شتاءً.
2. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = -13.17$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $sig = 0.000$ ، وقيمة t سالبة لأن السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري قيمه أعلى من السطح التقليدي شتاءً.

3. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = -24.88$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$ ، وقيمة t سالبة لأن السطح الأخضر مع عازل حراري قيمه أعلى من السطح التقليدي شتاءً.

نتائج أشهر الاعتدالين

1. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر عند قيمة $t = -0.389$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.704$.
2. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 0.766$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.460$.
3. يوجد فرق بين السطح التقليدي والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري عند قيمة $t = 1.755$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ليس ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.107$.

والجدول (5.7) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة.

جدول (5.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح التقليدي والأسطح المختلفة

لقيم PMV في ظل فصول السنة المختلفة

الارتباط بالسطح التقليدي	Std. Error Mean	Std. Dev	عدد القيم N	متوسط قيم PMV	نوع السطح	أشهر فصل الصيف
-	0.1	0.26	6	1.56	السطح التقليدي	
0.973	0.068	0.16	6	1.3	السطح الأخضر	
0.944	0.03	0.087	6	1.05	السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري	
0.980	0.1	0.10	6	0.83	السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري	
-	0.12	0.30	6	-0.98	السطح التقليدي	
0.996	0.136	0.33	6	-0.85	السطح الأخضر	
0.999	0.10	0.26	6	-0.75	السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري	

يلاحظ من المخطط أن قيم PMV خلال فترة أشهر الشتاء تكون أعلى تحت السطح الأخضر المعزول مما يعني أنها أدفأ وأكثر راحة حرارية في أشهر الشتاء، أما في أشهر فصل الصيف فإن السطح الأخضر المعزول حرارياً كانت قيمه هي الأقل أي أنها الأبرد وهي الأكثر راحة حرارية في الصيف، وجميع المؤشرات تشير إلى أن السطح الأخضر المعزول حرارياً هو الأفضل طوال العام. وعند المقارنة بين السطح الأخضر والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري يلاحظ أن قيم السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري أقل في أشهر فصل الصيف وأعلى في أشهر فصل الشتاء، ومنه نلاحظ أن تأثير السطح الأخضر بدون عازل حراري أقل كفاءة من تأثير السطح التقليدي مع طبقة عازل حراري صيفاً وشتاءً.

4.7. تأثير مكونات السطح الأخضر على الراحة الحرارية

تمت دراسة تأثير مكونات السطح الأخضر على مستوى الراحة الحرارية طوال العام (صيفاً وشتاءً) وذلك لمعرفة تأثير هذه المكونات على مستوى الراحة الحرارية حتى يتسنى تعميم النتائج الأفضل المناسبة لمناخ قطاع غزة، والمكونات التي تمت دراستها هي (سمك التربة، قيمة مؤشر مساحة الورقة LAI) وقد تم تطبيق النتائج على السطح الأخضر المعزول حرارياً لأنه يعتبر الحل الأمثل كما وجد سابقاً.

1.4.7. تأثير تغير سماكة طبقة التربة

تم تجربة أربع قيم لسماكة التربة حيث أن القيمة الأولى والتي تم تطبيقها في الأصل تساوي 30 سم كما تم التوضيح في الشكل (2.7) وهي تابعة لنوع الأسطح الخضراء قليلة السماكة Extensive green roof، كما تم تطبيق قيمة أقل وهي 20 سم وهي تابعة للأسطح قليلة السماكة أيضاً، كما تم تطبيق سماكة 40 سم وهي تابعة لنوع الأسطح خضراء شبه الكثيفة Semi-intensive green roof، وسماكة 60 سم وهي تابعة للأسطح الخضراء الكثيفة Intensive green roof، مع تثبيت كافة المتغيرات الأخرى.

ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم PMV قبل التغير في سماكة التربة وبعد التغير في سماكتها يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً، والجدول (6.7): قيم sig الناتجة عن اختبار Shapiro-wilk لتقييم التوزيع الطبيعي للنتائج.

جدول (6.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بقيم PMV لكل قيمة من سماكات التربة

قيمة sig	أشهر الاعتدالين	قيمة sig	أشهر فصل الشتاء	قيمة sig	أشهر فصل الصيف	سماكة التربة (سم)
0.426		0.253		0.786		20
0.472	0.467	0.473	30			
0.515	0.933	0.528	40			
0.433	0.803	0.428	50			

ونظراً لأن النتائج في الجدول كلها أعلى من 0.05 فهذا يعني أن التوزيع طبيعي في جميع القيم خلال فصول السنة المختلفة، لذلك فقد تم تقسيم النتائج إلى الصيف والشتاء والاعتدالين، ومن نتائج اختبار Paired samples T- test، وجد أن:

نتائج أشهر فصل الصيف

1. يوجد فرق بين السطح بسماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 20 سم عند قيمة $t = -14.5$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.
2. يوجد فرق بين سماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 40 سم عند قيمة $t = -12.4$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.
3. يوجد فرق بين سماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 60 سم عند قيمة $t = -9.8$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.

نتائج أشهر فصل الشتاء

1. يوجد فرق بين السطح بسماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 20 سم عند قيمة $t = -3.73$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.013$.
2. يوجد فرق بين سماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 40 سم عند قيمة $t = -3.13$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.026$.
3. يوجد فرق بين سماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 60 سم عند قيمة $t = -5.45$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.003$.

نتائج أشهر الاعتدالين

1. يوجد فرق بين السطح بسماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 20 سم عند قيمة $t = -4.637$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.001$.

2. يوجد فرق بين سماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 40 سم عند قيمة $t = -3.4$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.006$.
3. يوجد فرق بين سماكة تربة 30 سم وسماكة تربة 60 سم عند قيمة $t = -7.35$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$. والجدول (7.7) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح الأخضر بسماكات تربة مختلفة.

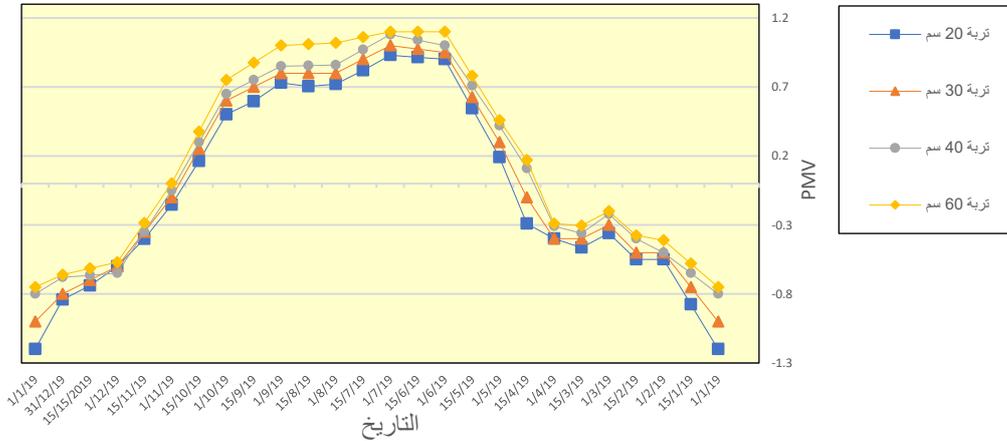
جدول (7.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين سماكات التربة المختلفة خلال الفصول

المختلفة

الارتباط بسماكة 30 سم	Std. Error Mean	Std. Dev	عدد القيم N	متوسط قيم PMV	سماكة التربة (سم)	
0.096	0.046	0.11	6	0.75	20	أشهر فصل الصيف
-	0.042	0.10	6	0.83	30	
0.998	0.046	0.114	6	0.89	40	
0.924	0.031	0.76	6	1.01	60	
-	0.12	0.31	6	-0.66	20	أشهر فصل الشتاء
0.997	0.10	0.25	6	-0.57	30	
0.978	0.085	0.2	6	-0.48	40	
0.995	0.08	0.198	6	-0.43	60	
-	0.164	0.56	12	0.05	20	أشهر فصول الاعتدالين
0.996	0.168	0.58	12	0.12	30	
0.995	0.173	0.60	12	0.18	40	
0.996	0.176	0.61	12	0.24	60	

ولأنه كلما اقتربت القيمة من صفر فإن الراحة الحرارية تكون أفضل فيلاحظ أنه عند سماكة 20 سم يتم الحصول على أفضل النتائج طوال العام، والشكل (12.7) يوضح نتائج هذه القيم، حيث وجد أنه كلما زادت سماكة التربة كلما قلت الراحة الحرارية في المبنى في فصل الصيف، وبالنسبة لفصل الشتاء وجد أنه كلما زادت سماكة التربة كلما زادت الراحة الحرارية، وهذا يتطابق مع الدراسات السابقة التي تم طرحها في الفصل الأول من البحث حيث تم الحصول على نفس النتائج في مناخ لشبونة البرتغالية الدافئ صيفاً والمائل للبرودة شتاءً، ومناخ فينكس الإيطالية الحار الجاف، ومناخ شيكاغو البارد الرطب، ومناخ أنتاناناريفو في مدغشقر المداري الحار

الرطب، ويتعارض مع مناخ لوس انجلوس الساحلي الدافئ الذي تعتبر زيادة سماكة التربة فيه إيجابية صيفاً وشتاءً.



شكل (12.7): تأثير تغيير سماكة التربة على قيمة PMV

2.4.7. تأثير تغير قيمة مؤشر مساحة الورقة LAI

قامت الباحثة بتجربة ثلاث قيم لمؤشر مساحة الورقة لمعرفة الفرق بينهم حيث أن القيمة الأولى والتي تم تطبيقها في الأصل تساوي 3 وتم تطبيق القيمة 4 والقيمة 5 في هذه التجربة حيث أنه كلما زادت قيمة LAI كلما انتقل السطح الأخضر من سطح أخضر واسع الانتشار Extensive إلى سطح أخضر كثيف Intensive، مع تثبيت كافة المتغيرات.

ولدراسة الفروق الإحصائية بين قيم PMV قبل التغير في قيمة LAI وبعد التغير في قيمتها يجب في البداية التأكد من أن البيانات بارامترية وموزعة توزيعاً طبيعياً وذلك من اختبار Shapiro-Wilk، حيث أنه إذا كانت قيم sig في هذا الاختبار أكثر من 0.05 فإن التوزيع يعتبر طبيعياً. والجدول (8.7): قيم sig الناتجة عن اختبار Shapiro-wilk لتقييم التوزيع الطبيعي للنتائج.

جدول (8.7): قيم sig لنتائج الصيف والشتاء والاعتدالين، والخاصة بقيم PMV لكل قيمة من قيم LAI

قيمة sig	شهر الاعتدالين	قيمة sig	شهر فصل الشتاء	قيمة sig	شهر فصل الصيف	سماكة التربة (سم)
0.472		0.467		0.473		LAI = 3
0.368		0.364		0.708		LAI = 4
0.326		0.398		0.279		LAI = 5

ونظراً لأن النتائج في الجدول كلها أعلى من 0.05 فهذا يعني أن التوزيع طبيعي في جميع القيم خلال فصول السنة المختلفة، لذلك فقد تم تقسيم النتائج إلى الصيف والشتاء والاعتدالين، ومن نتائج اختبار Paired samples T- test، وجد أن:

نتائج أشهر فصل الصيف

1. يوجد فرق بين السطح بقيمة LAI = 3 وقيمة LAI = 4 عند قيمة $t = 10.83$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.
2. يوجد فرق بين السطح بقيمة LAI = 3 وقيمة LAI = 5 عند قيمة $t = 30.3$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.

نتائج أشهر فصل الشتاء

1. يوجد فرق بين السطح بقيمة LAI = 3 وقيمة LAI = 4 عند قيمة $t = 8.55$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.
2. يوجد فرق بين السطح بقيمة LAI = 3 وقيمة LAI = 5 عند قيمة $t = 10.15$ ، ودرجة حرية = 5، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.

نتائج أشهر الاعتدالين

1. يوجد فرق بين السطح بقيمة LAI = 3 وقيمة LAI = 4 عند قيمة $t = 5.8$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.
2. يوجد فرق بين السطح بقيمة LAI = 3 وقيمة LAI = 5 عند قيمة $t = 10.15$ ، ودرجة حرية = 11، وهذا الفرق ذو دلالة إحصائية حيث بلغت قيمة $\text{sig} = 0.000$.

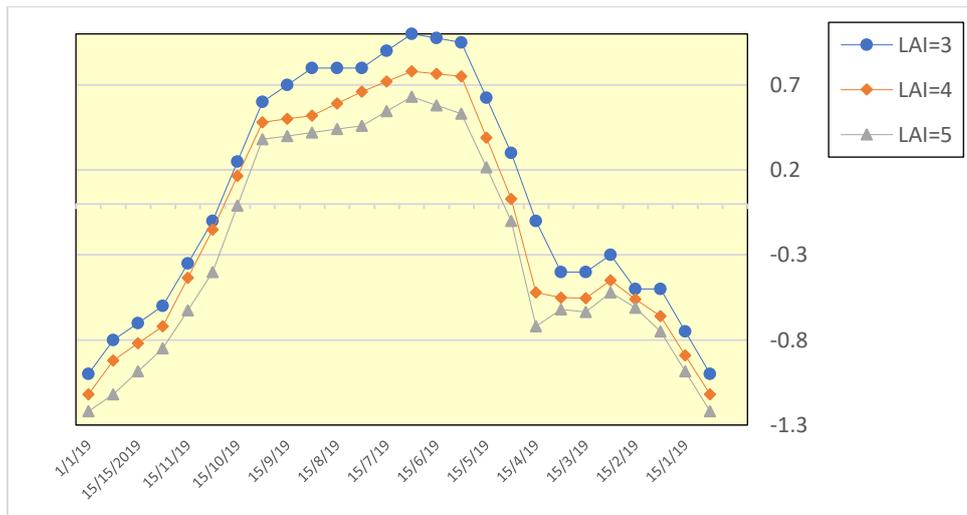
والجدول (9.7) يوضح نتائج اختبار Paired samples T- test بين السطح الأخضر بسماكات تربة مختلفة.

جدول (9.7): نتائج اختبار Paired samples T- test بين قيم LAI المختلفة خلال الفصول المختلفة

الارتباط بقيمة LAI=3	Std. Error Mean	Std. Dev	عدد القيم N	متوسط قيم PMV	سماكة التربة (سم)	
0.909	0.042	0.103	6	0.833	LAI = 3	القيمة قبل
-	0.045	0.111	6	0.628	LAI = 4	
0.969	0.036	0.087	6	0.48	LAI = 5	
-	0.10	0.25	6	-0.57	LAI = 3	

0.989	0.102	0.251	6	-0.71	LAI = 4	أشهر فصل الشتاء
0.982	0.11	0.266	6	-0.78	LAI = 5	
-	0.168	0.58	12	0.12	LAI = 3	أشهر الاعتدالين
0.984	0.162	0.56	12	-0.05	LAI = 4	
0.980	0.160	0.55	12	-0.21	LAI = 5	

والشكل (13.7) يوضح نتائج هذه القيم، حيث وجد أنه كلما زادت قيمة LAI قلت قيمة PMV وبالتالي زادت الراحة الحرارية في المبنى في فصل الصيف، وبالنسبة لفصل الشتاء فقد وجد أنه كلما زادت قيمة LAI فإن قيمة PMV تقل وبالتالي يقل مستوى الراحة الحرارية، مما يدل على أن زيادة قيمة LAI تؤثر تأثيراً سلبياً على مستوى الراحة الحرارية في فصل الشتاء، وهذا يتطابق مع الدراسات السابقة التي تم طرحها في الفصل الأول من البحث حيث تم الحصول على نفس النتائج في مناخ لشبونة البرتغالية الدافئ صيفاً والمائل للبرودة شتاءً، ومناخ فينكس الإيطالية الحار الجاف، ومناخ شيكاغو البارد الرطب، ويتعارض مع مناخ لوس انجلوس الساحلي الدافئ الذي تعتبر زيادة قيم LAI فيه إيجابية صيفاً وشتاءً.



شكل (13.7): تأثير تغيير قيمة مؤشر مساحة الورقة على قيمة PMV

5.7. تأثير السطح الأخضر على استهلاك الطاقة

تم افتراض أن المبنى يعمل بالنظام الميكانيكي وذلك لدراسة تأثير الأسطح المختلفة على استهلاك الطاقة حيث تم افتراض أنه يستخدم التدفئة في فصل الشتاء والتبريد في فصل الصيف والشكل (14.7) يوضح كيف تم تحويل النظام إلى نظام ميكانيكي في برنامج Design Builder، في البداية تم عمل المحاكاة والحصول على نتائجها في ظروف أن الطابق الأخير من المبنى يغطيه سطح تقليدي طوال العام، ثم تم عمل المحاكاة في ظروف أن الطابق الأخير

تغطيه الأنواع المختلفة من الأسطح (سطح أخضر، سطح تقليدي مع طبقة عازل حراري، سطح أخضر مع طبقة عازل حراري) لمقارنتهم مع النتائج السابقة تحت السطح التقليدي.



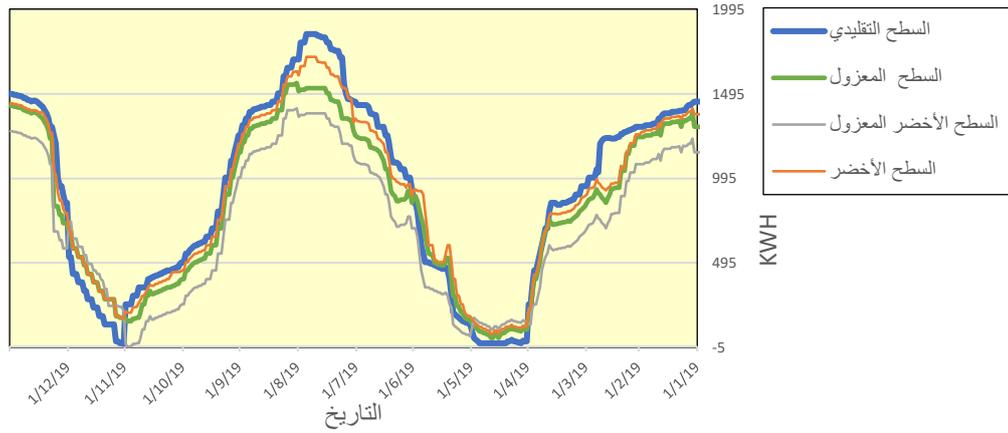
شكل (14.7): تحويل النظام إلى نظام ميكانيكي في برنامج المحاكاة

والجدول (10.7) يوضح مجموع استهلاك الطاقة تحت كل نوع من أنواع الأسطح المختلفة طوال العام، وكذلك يوضح الشكل (15.7).

جدول (10.7): مجموع استهلاك الطاقة السنوي تحت كل نوع من أنواع الأسطح المختلفة

نوع السطح	استهلاك الطاقة السنوي (KWh)
سطح تقليدي	331,833
سطح معزول حرارياً	303,025
سطح أخضر معزول حرارياً	259,285
سطح أخضر	322,660

ومن هذه النتائج نلاحظ أن السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري هو أقل أنواع الأسطح في استهلاك الطاقة ويليهِ السطح المعزول حرارياً، ثم السطح الأخضر، وأكثر أنواع الأسطح في استهلاك الطاقة هو السطح التقليدي، وبهذا نقول أن السطح الأخضر المعزول حرارياً يوفر 72548 كيلووات/ساعة سنوياً أي 22% من استهلاك الطاقة السنوي. كما يلاحظ أن السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري يوفر قيمة أكثر من الطاقة في أشهر فصل الصيف أكثر من الشتاء أي أن تأثير الأسطح الخضراء مع طبقة عازل حراري أقوى في فصل الصيف.



الشكل (15.7) يوضح نتائج استهلاك الطاقة خلال أشهر العام

6.7. ملخص الفصل

من خلال المقارنة بين نتائج الأسطح المختلفة مع السطح التقليدي لوحظ أن جميع الأسطح لها تأثير إيجابي على مستوى الراحة الحرارية حيث أن جميعهم يعطون قيم PMV أقل في فصل الصيف مقارنة بالسطح التقليدي، أي أكثر راحةً حراريةً صيفاً، والسطح الأفضل من بينهم في فصل الصيف هو السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري، كما أن جميع الأسطح التي تم تطبيقها تعطي قيم PMV أعلى في فصل الشتاء مقارنة بالسطح التقليدي، أي أكثر راحةً حراريةً شتاءً، والأفضل من بين الأسطح المختلفة في فصل الشتاء هو السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري أيضاً، كما أنه هو الأفضل في الاعتدالين وهذا يعني أنه الأفضل راحةً حراريةً طوال العام. ولكن عند مقارنة السطح الأخضر بدون طبقة العازل الحراري مع السطح التقليدي مع طبقة العازل الحراري فنجد أن السطح الأخضر له تأثير أقل صيفاً وشتاءً من السطح التقليدي مع طبقة العازل الحراري، لذا فإنه لا ينصح بتنفيذ السطح الأخضر بدون طبقة العازل الحراري بل ينصح باستخدامه مع طبقة العازل الحراري في مناخ قطاع غزة.

وبالنسبة لتأثير عناصر السطح الأخضر على الراحة الحرارية فقط لوحظ أن زيادة سماكة التربة تعمل على تقليل مستوى الراحة الحرارية في الصيف وزيادة مستوى الراحة الحرارية في الشتاء، أما زيادة قيمة LAI فهي تعمل على زيادة مستوى الراحة الحرارية في الصيف وتقليل مستوى الراحة الحرارية في الشتاء.

وبخصوص استهلاك الطاقة فقد لوحظ أن جميع الأسطح عملت على تقليل مجموع استهلاك الطاقة السنوي، إلا أن السطح الأخضر المعزول حرارياً عمل على تقليل استهلاك الطاقة بشكل أفضل من باقي الأسطح حيث أن استهلاك الطاقة السنوي قل بنسبة 22% عما كان عليه تحت السطح التقليدي.

الفصل الثامن

النتائج والتوصيات

الفصل الثامن النتائج والتوصيات

1.8. المقدمة

يشمل هذا الفصل خلاصة الدراسة بجزئها النظري والعملي، مع تقديم التوصيات والاقتراحات الممكنة لتفعيل دور الأسطح الخضراء في المباني المبنية والمباني قيد الإنشاء والمباني المنوي إنشاؤها في المستقبل، حيث يشمل هذا الاقتراح المباني بشكل عام والمباني المدرسية بشكل خاص حتى يحظى طلاب المدارس في القطاع بمستوى راحة حرارية جيد أثناء أخذهم لحصصهم المدرسية استناداً إلى الدراسة الوصفية والتحليلية والتي تمت في الفصول السابقة عن الطرق المختلفة لحساب مستوى الراحة الحرارية في الفراغات الداخلية تحت أي نوع من أنواع الأسطح (تقليدي أم أخضر أم أخضر تقليدي مع عازل حراري، أم أخضر مع عازل حراري)، اتضح مدى أهمية دور الأسطح الخضراء في تحسين البيئة الحرارية داخل الفصول المدرسية مختلفة الخصائص وبالأخص إذا تم تطبيقها مع عازل حراري. وقد أفرد الفصل الثامن للحديث عن النتائج المستسقة من الدراسة، وأهم التوصيات المستخلصة منها، وينقسم الفصل الثامن إلى شقين الأول النتائج والثاني التوصيات

2.8. النتائج

توصلت الدراسة من خلال الفصول السابقة إلى النتائج التالية:

1. يسهل إضافة الأسطح الخضراء واسعة النطاق Extensive green roofs إلى المباني القائمة بالفعل أكثر من باقي الأنواع.
2. كلما استخدم الباحثة أدوات أكثر لقياس نفس الموضوع كلما تأكد من دقة نتائجه واقتربها من الواقع.
3. عند مقارنة أكثر من فراغ يقع كل واحد منهم على توجيه معماري مختلف يمكن ملاحظة أنه في ساعات النهار المبكرة تكون الفراغات ذات التوجيه الشرقي والجنوبي تكون أقل راحة حرارية من باقي التوجيهات ويمكن تعليل ذلك إلى أنها تكون معرضة لأشعة الشمس أكثر من غيرها.
4. كلما زادت مساحة أسطح الجدران الخارجية من الفراغ المعماري، كلما قل مستوى الراحة الحرارية فيها، لذلك فإن الغرف الوسطية المحتضنة بين غرف أخرى يكون مستوى الراحة الحرارية فيها أفضل من الغرف الطرفية المعرضة لأشعة الشمس من مساحات كبيرة.

5. يشعر المستخدمون بمستوى راحة حرارية أفضل عند استخدام المنهج التكيفي Adaptive approach في القياس (AMV) مقارنة بالمنهج العقلاني Rational approach (PMV)، وربما يرجع السبب في ذلك إلى أن الإنسان قابل للتكيف مع البيئة الموجود فيها والتأقلم معها خصوصاً إذا كانت شبيهة في البيئة التي جاء منها أي قريبة من بيئة مسكنه الخاص.
6. يؤثر السطح الأخضر، والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري تأثيراً إيجابياً على الفراغات الداخلية صيفاً، إلا أن أفضل نوع من هذه الأسطح في أشهر فصل الصيف هو السطح الأخضر مع طبقة عازل حراري لأنه يعطي أفضل النتائج عند مقارنته بالسطح التقليدي، وهذه النتائج شبيهة بنتائج الدراسات السابقة التي تم تناولها في الفصل الأول حيث أن معظم الدراسات السابقة أشارت إلى إيجابية استخدام الأسطح الخضراء في الصيف.
7. يؤثر السطح الأخضر، والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري تأثيراً إيجابياً على الفراغات الداخلية شتاءً، إلا أن تأثيرها أقل من تأثيرها في فصل الصيف، وأفضل نوع من هذه الأسطح هو السطح الأخضر المعزول حرارياً لأنه يعطي أفضل النتائج عند مقارنته بالسطح التقليدي، وهذه النتائج شبيهة بنتائج الدراسات السابقة التي تم تناولها في الفصل الأول حيث أن معظم الدراسات السابقة أشارت إلى إيجابية استخدام الأسطح الخضراء في الشتاء، باستثناء حالة مدينة صقلية في إيطاليا حيث أن نتائجها كانت سلبية للسطح الأخضر في فصل الشتاء.
8. عند مقارنة السطح الأخضر بدون طبقة العازل الحراري مع السطح التقليدي مع طبقة العازل الحراري فنجد أن السطح الأخضر له تأثير أقل صيفاً وشتاءً من السطح التقليدي مع طبقة العازل الحراري، لذا فإنه لا ينصح بتنفيذ السطح الأخضر بدون طبقة العازل الحراري بل ينصح باستخدامه مع طبقة العازل الحراري في مناخ قطاع غزة.
9. كلما زادت سماكة التربة في الأسطح الخضراء كلما أدى ذلك إلى تحسين أداء الأسطح الخضراء في فصل الشتاء والزيادة من درجات الحرارة المنخفضة والعمل على تحسين مستوى الراحة الحرارية، في المقابل هو يعطي تأثير سلبي في فصل الصيف ويقلل من مستوى الراحة الحرارية وهذا شبيه بنتائج مدينة لشبونة البرتغالية الدافئ صيفاً والمائل للبرودة شتاءً، ومناخ فينكس الإيطالية الحار الجاف، ومناخ شيكاغو البارد الرطب، ومناخ

- أنتاناناريفو في مدغشقر المداري الحار الرطب، ويتعارض مع مناخ لوس انجلوس الساحلي الدافئ الذي تعتبر زيادة سماكة التربة فيه إيجابية صيفاً وشتاءً.
10. كلما زادت قيمة LAI في الأسطح الخضراء كلما أدى ذلك إلى تحسين أداء الأسطح الخضراء في فصل الصيف والتخفيض من درجات الحرارة العالية والعمل على تحسين مستوى الراحة الحرارية، في المقابل هو يعطي تأثير سلبي في فصل الشتاء ويقلل من مستوى الراحة الحرارية وهذا شبيه بنتائج مدينة لشبونة البرتغالية الدافئ صيفاً والمائل للبرودة شتاءً، ومناخ فينكس الإيطالية الحار الجاف، ومناخ شيكاغو البارد الرطب، ويتعارض مع مناخ لوس انجلوس الساحلي الدافئ الذي تعتبر زيادة قيمة LAI فيه إيجابية صيفاً وشتاءً.
11. يعمل السطح الأخضر، والسطح التقليدي مع طبقة عازل حراري، والسطح الأخضر مع طبقة عازل حراري على تقليل استهلاك الطاقة طوال العام مقارنة بالسطح التقليدي، أي أنها تعمل على تخفيض درجات الحرارة داخل المبنى والتقليل من حاجة المبنى إلى التكييف أو التدفئة، إلا أن أفضل الأسطح هو السطح الأخضر المعزول حرارياً حيث عمل على توفير 22% من استهلاك الطاقة مقارنة بالسطح التقليدي.
12. لا تقتصر فائدة الأسطح الخضراء على تحسين البيئة الحرارية الداخلية للمباني إلا أنها تعمل أيضاً على زيادة التنوع الحيوي وإضافة مساحات ترفيهية وجمالية خصوصاً في المناطق ذات المساحات المحدودة والتي طغى فيها العمران على المناطق الخضراء.

3.8 التوصيات

- سيتعرض هذا الشق إلى توصيات توجه لصناع القرار والمهندسين المعماريين والجامعات والوزارات وتخص الدراسة وزارة التربية والتعليم بهدف رسم مستقبل أفضل بيئياً وجمالياً، وفي هذا الإطار أدرجت توصيات خاصة لكل فئة على النحو التالي:
- أولاً: توصيات خاصة بصناع القرار من الحكومات ومؤسسات المجتمع المحلي
1. عمل دراسة جدوى حول آليات تحسين الأداء الحراري للمباني باستخدام الأسطح الخضراء.
 2. توعية المواطنين بأهمية الأسطح الخضراء عن طريق توظيف وسائل الإعلام المرئية والمسموعة والمكتوبة بالإضافة إلى وسائل التواصل الاجتماعي الإلكترونية.
 3. ارشاد وتوجيه المواطنين حول مقدرة الأسطح الخضراء على التحسين من البيئة الحرارية للمباني في فصل الصيف الذي يعتبر حاراً في قطاع غزة مما قد يساعد على عدم الحاجة لأجهزة التكييف وبالتالي يقلل من التكلفة الاقتصادية على المدى البعيد.

4. إنشاء وحدات في الجامعات والمراكز العلمية والتي من شأنها تطوير مجال الأسطح الخضراء ودراسة إمكانية تطبيقها في قطاع غزة.
5. تسهيل وتوفير واستيراد عناصر الأسطح الخضراء للتقليل من تكلفتها على المواطنين، وتبني الحكومة لمثل هذه الأنظمة البيئية وتقديم تسهيلات للمواطنين عند تطبيقها.
6. تطوير قاعدة بيانات مع مختلف الجهات المعنية لتوفير بيانات محدثة عن حالات الطقس والمناخ والبيانات الأخرى التي يحتاجها الباحثون لمدن قطاع غزة.

ثانياً: توصيات خاصة بالمهندسين المعماريين

1. الاهتمام عند تصميم المباني بالبعد البيئي وإمكانية إضافة الأسطح الخضراء لأي مبنى سواء أثناء التصميم أم أثناء التنفيذ أم في المستقبل، أي أن تكون الأسطح الخضراء فكرة أصيلة من تصميم المبنى المعماري.
2. زيادة قيمة مؤشر كثافة الورقة LAI في للسطح الأخضر فوق الغرف الجنوبية والشرقية والتي تعتبر أشد حرارة في فصل الصيف، وذلك لتحسين أداء السطح الأخضر صيفاً
3. وضع مرجع تفصيلي خاص وشامل للمعايير التصميمية والمتطلبات الخاصة بالأسطح الخضراء في مباني قطاع غزة.

ثالثاً توصيات خاصة بوزارة التربية والتعليم

1. توعية مهندسي الوزارة من معماريين وبيئيين وإنشائيين بأهمية دور الأسطح الخضراء في المباني المدرسية في تحسين البيئة الحرارية وبالتالي تحسين أداء وتحصيل الطلاب.
2. تركيب الأسطح الخضراء فوق المباني وذلك للسعي لتحقيق المستطاع من مواصفات المدارس الخضراء من أسطح خضراء واستغلال للطاقة الشمسية من الخلايا كما هو وارد في أنظمة تقييم أداء المدارس الخضراء "LEED"
3. تعزيز المناهج الدراسية وتعليم الطلبة فكرة وآلية عمل أساليب المدارس الخضراء وبالأخص استراتيجية الأسطح الخضراء لترسيخ مفاهيم الاستدامة والمحافظة على البيئة.
4. إضافة كاسرات شمس في الجهات الجنوبية والشرقية من المدارس.

رابعاً: توصيات خاصة بالجامعات

1. توجيه أحد المساقات البيئية في تخصص كلية الهندسة المعمارية إلى أنظمة البناء الأخضر بشكل عام والأسطح الخضراء بشكل خاص، وتطبيقها على أحد مساقات التصميم المعماري بشكل متناسب وظيفياً وجمالياً.
2. عقد مؤتمرات وورشات عمل في الجامعات لأهم مشاريع الأسطح الخضراء وكيفية تطبيقها وما هي أسسها ومعاييرها التصميمية.
3. توجيه الطلبة لأهمية مبادئ العمارة الخضراء الصديقة للبيئة وذات الإنتاج الصفري للغازات الكربونية وحثهم على تضمين فكرة هذه المباني مع الأفكار التصميمية الأولية.
4. حث وتشجيع طلبة الدراسات العليا على دراسة تأثير الأسطح الخضراء فيزيائياً عن طريق إنشاء عينة سطح أخضر فوق أحد المباني مع قياس النتائج تحتها طوال العام.

خامساً: توصيات خاصة للباحثين والمهتمين بمجال الأسطح الخضراء

5. تقديم حلول وتوصيات عملية لصانعي القرار وفق أسس علمية بحثية تجريبية مما سيساهم في وضع التنظيمات والتشريعات المناسبة لتنظيم تطبيقات واستثمارات مناسبة للأسطح الخضراء.
6. تعزيز التعاون المشترك بين الباحثين والمؤسسات البحثية محلياً وعالمياً، وزيادة الترابط بين الأبحاث العلمية والتطبيقية والتطوير والتعاون مع القطاعات الصناعية ذات الصلة بمواضيع استغلال الأسطح كأسطح خضراء صديقة للبيئة وموفرة للطاقة.
7. عمل تجربة مستقبلية متخصصة بدراسة تأثير كاسرات الشمس على مستوى الراحة الحرارية بالتفصيل وعلى كافة التوجيهات المعمارية.

تمت بحمد الله وتوفيقه

المصادر والمراجع

المصادر والمراجع

القرآن الكريم

المراجع العربية

- اللوح، حسن عبد الكريم. (فبراير، 2015م). الامتداد العمراني، كلية الدراسات العليا، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين.
- ثابت، أحمد. (2011م). المناخ وأثره على راحة وصحة الإنسان في الضفة الغربية وقطاع غزة (رسالة ماجستير غير منشورة)، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين.
- حريز، عاطف. (2018م). الراحة الحرارية الخارجية مفاهيم ونظريات، (ط1). بريطانيا، لندن: دار إي كتب المحدودة للنشر.
- الجزيرة ووكالات. (2017 م). أزمة الكهرباء بغزة وجه مظلم آخر للحصار، فلسطين، غزة: مقال إلكتروني تاريخ الزيارة 2020/10/16، على شبكة الإنترنت:
<https://www.aljazeera.net/encyclopedia/issues/2017/6/13/>
- الجهاز المركزي للإحصاء الفلسطيني، 2018 . مشروع النشر والتحليل لبيانات التعداد الزراعي 2017، تقييم الإنتاج النباتي والحيواني في الأراضي الفلسطينية. رام الله - فلسطين
- زكري، يوسف محمد. (2005م)، مناخ ليبيا دراسة تطبيقية لأنماط المناخ الفسيولوجي (أطروحة دكتوراة غير منشورة)، كلية علوم الأرض، الجغرافيا، والتهيئة العمرانية، جامعة منتوري، قسنطينة، الجزائر.
- عرنديس، عادل محمود. (إبريل، 2016م)، التقرير السنوي: السكان والصحة في قطاع غزة، دولة فلسطين - وزارة الصحة.
- عمار، سهير. (2019م)، التصميم المعماري والبيئي، محاضرة نظرية تابعة لقسم العمارة في الجامعة الإسلامية، قطاع غزة- فلسطين
- فيلفل، عبير. (2017م). الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى وأثرها على التصميم المعماري للمباني العامة- مباني المدارس في قطاع غزة كحالة دراسية (رسالة ماجستير غير منشورة)، الجامعة الإسلامية، قطاع غزة، فلسطين.
- وزارة الحكم المحلي. (2004م) الدليل الإرشادي لتصميم المباني الموفرة للطاقة. شركة بيلسان. رام الله، فلسطين.

يامين، داليا. (مارس، 2016م). تعديل تصميم المباني السكنية القائمة في فلسطين لتتكيف مع بيئتها في ظل ظاهرة التغير المناخي (أطروحة ماجستير غير منشورة)، كلية الدراسات العليا في الهندسة المعماري، جامعة النجاح الوطنية، نابلس، فلسطين.

المراجع الأجنبية

- ANSI/ASHRAE, (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Abd Aziz, Haziq, Ismail, Zulhabri, (2011). *Design Guideline For Sustainable Green Roof System*, Universiti Teknologi MARA (UiTM), Shah Alam, Selangor.
- Albatayneh, Aiman, Alterman, Dariuse, Page, Adrian, and Moghtaderi, Behdad, (2018). The Impact of the Thermal Comfort Models on the Prediction of Building Energy Consumption, *Sustainability Journal*, 36(9), Newcastle, Australia.
- Arab Climate Resilience Initiative. (2010, Nov 5), *United Nations Development Programme and UNDB Regional Bureau for Arab States*, Rabat, Morocco.
- Applied Research Institute (2003, 30 September), *Climatic Zoning for Energy Efficient Buildings in the Palestinian Territories (the West Bank and Gaza)*, United Nations Development Programme / Programme of Assistance to the Palestinian People (UNDP / PAPP, Jerusalem, Palestinian
- ASHRAE STANDERD (2013), *Thermal Environmental Conditions for human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and air – conditioning engineering, Inc.
- ASHRAE STANDERD, (2017). *Thermal Environmental Conditions for human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and air – conditioning engineering, Inc.
- Bean, Robert (2010, February 1). Solve the mean radiant temperature problems to solve building energy problems. Retrieved from <https://www.hpacmag.com/features/formulas-for-success/Building in Subtropical Climate>, *Journal of Architectural Engineering Technology*, 6(1), 2168-9717, Shenzhen, China.
- CENTNEROVÁ, LADA HENSEN, (2018). On the history of indoor environment and it's relation to health and wellbeing, *REHVA Journal*, 55(2), 14-20. Eindhoven, Netherlands.
- Cirincione, Laura, La Gennusa, Maria, Peri, Giorgia, Rizzo, Gianfranco, Scaccianoce, Gianluca, Sorrentino, Giancarlo, and Aprile, Simona, (2020), Green Roofs as Effective Tools for Improving the Indoor

- Comfort Levels of Buildings—An Application to a Case Study in Sicily, *applied science journal, Italy*, 10(893)
- Deng, Xiang, (2017), *Indoor Thermal Comfort in Naturally Ventilated and Mixed-mode Indoor Thermal Comfort in Naturally Ventilated and Mixed-mode Ventilated Buildings*, Doctor of Philosophy thesis, Sustainable Buildings Research Centre, Faculty of Engineering and Information Sciences, The University of Wollongong, Australia.
- Dimitrijevic, Dragana, Živkovic, Predrag, and Tomic, Mladen (2015, 23 October). *Environmental Sustainability and Thermal Comfort with Green Roof Implementation in the Building Envelope*, Conference Paper: 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Niš university, Sokobanja, Serbia.
- Deb, Chirag, (2010). Evaluation of thermal comfort in a rail terminal location in India, *Building and Environment Journal*, 45(11):2571-2580.
- Dimitrijević, Dragana, Živković, Predrag, Tomić, Mladen, (2015), *Environmental Sustainability and Thermal Comfort with Green Roof Implementation in the Building Envelope*, 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia
- Djongyang, Najomo, (2010). *Thermal comfort: A review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2626–2640).
- Engineering ToolBox, (2004). *Clo - Clothing and Thermal Insulation*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/clo-clothing-thermal-insulation-d_732.html, Accessed Day Mo. Year.
- Engineering ToolBox, (2003). *Clothing, Activity and Human Metabolism*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/metabolism-clothing-activity-d_117.html.
- Ekisi, Can, (2013). *A review of thermal comfort and method of using Fanger's PMV equation*, *Reaserch Gate*, Conference: 5TH International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions 27-29 June, Vancouver, Canada.
- Enshassi, Adnan Ali, (2000) *Environmental Concerns For Construction Growth In Gaza Strip*, Civil Engineering Department, Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine.
- European Commission DG ENV (2007), *Buildings And Climate Change. Status, Challenges and Opportunities*, NITEDNATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME.
- El-Zafarany, Abbas Mohammad, (2000). *Climatic Design Of Buildings A Quantitative Approach For Evaluating Climatic Performance Of*

- The Building Envelope And Its Interaction With Its Urban Context*, PhD in Architecture, Cairo University, Cairo, Egypt.
- Engineering ToolBox, (2003). *Physiology - Activity and Metabolic Rate*. [online] Retrieved from: https://www.engineeringtoolbox.com/metabolism-activity-d_116.html.
- Fabbri, Kristian (2015), *Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children*. Springer International Publishing AG, Switzerland.
- Ferreira, Marcelo and Silva, Rocha (2014, May), *Green roof energy simulation*, DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisbon University, Lisbon, Portugal.
- Fabbri, Kristian, (2015). *Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children*, Springer International Publishing, AG, Switzerland.
- Gallardo, A, Palme, M, Lobato-Cordero, A, Beltrán, R, and Gaona, G. (2016). Evaluating Thermal Comfort in a Naturally Conditioned Office in a Temperate Climate Zone, *Buildings Journal*, 6(27).
- HAVENITH, George, (2007). Metabolic rate and clothing insulation data of children and adolescents during various school activities. *Ergonomics Journal*, 50(10), (1689-1701).
- Herman, R. (2003). *Green roofs in Germany: Yesterday, today and tomorrow*. In Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Chicago, north America.
- Huizenga, H, Abbaszadeh, S and Zagreus, E and Arens, E (2006). Air quality and thermal comfort in office buildings: Results of a large indoor environmental quality survey, *Center for the Built Environment Journal, University of California, USA, Vol(3)*, (393-397)
- Jaffal, Issa, Ouldboukhitine, Salah-Eddine, Belarbi, Rafik (2012). A Comprehensive Study of the Impact of Green Roofs on Building energy Performance, *Renewable Energy journal* 43, (157-164), La Rochelle, France.
- Jim, C. Y, (2014, April), *Passive warming of indoor space induced by tropical green roof in winter*, Article in *Energy* 68:272–282
- Khan, Hassan Saeed, and Asif, Muhammad (2017), Impact of Green Roof and Orientation on the Energy Performance of Buildings: A Case Study from Saudi Arabia, *Sustainability Journal*, 9(4), 640, Dhahran, Saudi Arabia.

- Kharrufa, Sahar (2015), *Green Roofs and Their Implementations in Architecture The obstacle and challenges in Erbil city*, Conference Paper, Ishik university/Architectural Department, Erbil, Kurdistan.
- Kotbi, M, King, S, and Prasad, D. (2012). *Validating Fanger's PMV model in a "real" field study*, *Network for Comfort and Energy Use in Buildings*, Faculty of the Built Environment University of New South Wales Sydney, NSW, Australia.
- Krebs, Lisandra Fachinello. (2018). *Extensive green roofs in Porto Alegre, Brazil: Effect on indoor thermal comfort in residential*, Department of Architecture and Built Environment, Lund University, Alegre, Brazil.
- Kántor, Noémi, Unger, János. (2011). The most problematic variable in the course of human biometeorological comfort assessment—the mean radiant temperature, Department of Climatology and Landscape Ecology, *Central European Journal of Geosciences* (3), (100-90) Szeged, Hungary.
- La roche, Pablo, Berardi, Umberto, (2014), Comfort and energy savings with active green roofs, *Energy and Buildings journal Vol* (82), (492-504), Elsevier, ScienceDirect.
- Liu, Kyle, Baskaran, Bas (2005, Jan), *Thermal performance of extensive green roofs in cold climates*, National Research Council Canada.
- Maiolo, Mario, Pirouz, Behrouz, Bruno, Roberto, Palermo, Stefania Anna, Arcuri, Natale, Arcuri, (2020, Jan), The Role of the Extensive Green Roofs on Decreasing Building Energy Consumption in the Mediterranean Climate, *Sustainability*, 12(1),359
- Magill, John, Midden, Karen, Groninger, John, and Matthew, Therrell (2011), *A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research*, unpublished master thesis, Southern Illinois University Carbondale, Illinois, United States.
- Ma, Xiaowen , Liu, Gang, Luo, Zhiqiang , Tan, Yifan , and Lei, Jiangli (2017), Comprehensive Evaluation of Energy and Environmental Performances of an Extensive Green Roof of a Building in Subtropical Climate. *Journal of Architectural Engineering Technology. Volume 6* (1).
- Moody, Seth, Sailor, David (2013), Development and application of a building energy performance metric for green roof systems, *Energy and Buildings Vol* (60) 262–269
- Mukherjee, Sananda, La Roche, Pablo, Konis, Kyle, And Ho Choi, Joon (2013 12 September), *Thermal Performance of Green Roofs: A Parametric Study through Energy Modelling in Different Climates*,

- 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany.
- Nasrollaho, Nazanin, Jones, Phil, Knight. Ian (2008), Workplace Satisfaction and Thermal Comfort in Air Conditioned Office Buildings: Findings from a Summer Survey and Field Experiments in Iran, *SAGE Journal*, 17(1),69-79, Ilam, Iran.
- Nicol, J., Humphreys, M., (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings. Humphreys* 34(6): 563-572.
- Nicol, J., Humphreys, M., (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings. Humphreys* 34(6): 563-572.
- Rakotondramiarana, Hery, Ranaivoarisoa, Tojo, and Morau, Dominique (2015). Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar, *Buildings Journal*, 5(2), 497-520, Antananarivo, Madagascar.
- Raman, Sudharshan, Mohamed, Mohd Farid, Zulkifli, Mohd Nopiah, (2014). *The Perception of Malaysian Architects towards the Implementation of Green Roofs: A Review of Practices, Methodologies and Future Research*, EDP Sciences Publisher, Malaysia.
- Ramesh. T, Prakash, Ravi, Shukla. K (2010); Life cycle energy analysis of buildings: An overview, *Energy and buildings journal*, 42(1592-1600). Allahabad, UP, India.
- Santamouris, Mat (2003), *computer addication Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art*. (DX Reader version. Retrieved from: <https://searchworks.stanford.edu/view/5942899>).
- Shaharon, Mohd Nafiz, and Jalaludin, Juliana, (2012). Thermal Comfort Assessment-A Study Toward Workers' Satisfaction in a Low Energy Office Building, *American Journal of Applied Sciences* 9(7): 1037-1045, Serdang, Malaysia.
- Simion, Mihaela, Unguresan, Paula, and Socaciu, Lavinia (2016), Factors which influence the thermal comfort inside of vehicles, *Science Direct Journal*, 85(472-480), Bucharest, Romania.
- Szokolay, Steven, (2008). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Development*, Second edition. ELSEVIER, British.
- Sun, Ting, Bou-Zeid, Elie, Wang, Zhi-Hua, Zerba, Eileen, Ni, Hydro, (2013), meteorological determinants of green roof performance via

- a vertically-resolved model for heat and water transport, *Building and Environment journal Vol (60)*, (211–224).
- Thomson, Luke, (2015). *Increasing Thermal Comfort in Buildings Through Optimization of Interior Surface Geometries*, University of Wisconsin-Milwaukee, Chicago USA.
- Wen-Pin, Huang, Hwang, Ruey-Lung, Huang, and Kuo-Tsang (2014); The Effect of a green roof on thermal comfort and learning performance in a naturally ventilated classroom in a hot and humid climate, *World SB journal 58(2)*, (134-143), Barcelona, Spain.
- West Bank And Gaza Strip, (2007), *FAO Programme coordination, MoA, UN agencies, NGOs*.
- Yost, Peter. (2018, May 8). *Understanding and Measuring Mean Radiant Temperature*. Retrieved from <https://www.buildinggreen.com/blog/understanding-and-measuring-mean-radiant-temperature>.
- Yao R, Li B, Liu J.(2009). A theoretical adaptive model of thermal comfort adaptive predicted mean vote (aPMV). *Building and Environment Journal; 44*:(2089–2096).
- Zhao, Mingjie, Paulo, Tabares-Velasco, Paulo, Srebric, Jelena, Komarneni, Berghage, Berghage (2014), Effects of plant and substrate selection on thermal performance of green roofs during the summer, *Energy and Buildings journal Vol (78)*, (199-211), Elsevier, ScienceDirect.
- Qin, Xiaosheng, Wu, Y.M, Chiew, Yee-Meng, (2012), A green roof test bed for storm water management and reduction of urban heat island effect in Singapore, *British Journal of Environment & Climate Change 2 (4)* 410–420.
- Narigon, Henry, (2013), *Green roof biodiversity in design: Influence of local and contextual attributes on bird usage*, Graduate Theses And Dissertations, 13601.
<http://www.greenrooftechnology.com/semi-intensive-green-roof>
<http://www.mec.ca/AST/ContentPrimary/Services/Stores/Toronto/GreenBuildingProgram.jsp>
- Zhang, Gaochuan, He, Bao-Jie, Zhu, Zongzhou, and Dewancker, Bart (2019), Impact of Morphological Characteristics of Green Roofs on Pedestrian Cooling in Subtropical Climates, *International journal of environmental research and public health vol 16 (179)*, Basel, Switzerland
- Zikmund, W. (2000). Business research methods (6Th ed.). *Fort worth: Harcourt College Publisher* p. 513.

قائمة الملاحق

قائمة الملاحق

الملحق رقم (1): الاستبانة.

ماجستير قسم الهندسة المعمارية

2019-2020



الجامعة الإسلامية - غزة

عمادة البحث العلمي والدراسات
العلية

استبيان خاص بقياس الراحة الحرارية في الفصول المدرسية لإتمام أطروحة الماجستير

عنوان الرسالة: تقييم وتحسين الأداء الحراري للمباني المدرسية في قطاع غزة باستخدام
الأسطح الخضراء

حالة دراسية: مبنى مدرسة بيت المقدس

اسم الباحثة: علا عازي الفرا

دأمل تعاونكم معنا في تعبئة هذا الاستبيان بكل موضوعية وحيادية حتى يؤدي الغرض المعد من أجله ويساهم في تقديم حلول لتحسين مستوى الراحة الحرارية في الفصول المدرسية (مدرسة بيت المقدس الثانوية للبنات)، كما نفيديكم بأن الاستبيان لا يحوي معلومات تدل على شخصية الذي يقوم بتعبئته حتى نضمن الحيادية وإبداء الرأي بكل حرية.

1) السؤال الأول: ما هو إحساسك تجاه مستوى درجة الحرارة في الفصل في كل حصة دراسية

بارد درجة كبيرة	بارد	بارد درجة قليلة	مريح	حار درجة قليلة	حار	حار درجة كبيرة	
<input type="checkbox"/>	الحصة الأولى						
<input type="checkbox"/>	الحصة الثانية						
<input type="checkbox"/>	الحصة الثالثة						
<input type="checkbox"/>	الحصة الرابعة						
<input type="checkbox"/>	الحصة الخامسة						
<input type="checkbox"/>	الحصة السادسة						

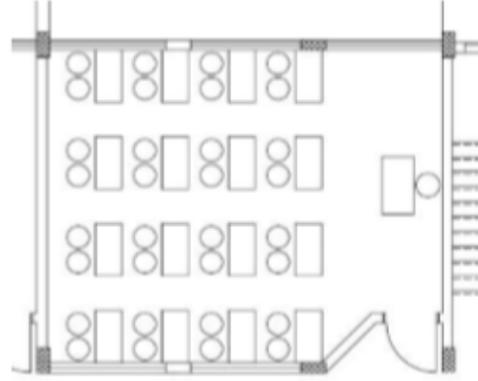
2) السؤال الثاني: ما هو إحساسك تجاه نسبة الرطوبة في الفصل

جاف درجة كبيرة	جاف	جاف درجة قليلة	مريحة	رطب درجة قليلة	رطب	رطب درجة كبيرة
<input type="checkbox"/>						

(3) السؤال الثالث: ما هو احساسك تجاه سرعة الهواء في الفصل

سرعة منخفضة بدرجة كبيرة	سرعة منخفضة	سرعة منخفضة بدرجة قليلة	مريحة	سرعة عالية بدرجة قليلة	سرعة عالية	سرعة عالية بدرجة كبيرة
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(4) السؤال الرابع: قتل المكان الذي تجلس فيه في الفصل



(5) السؤال الخامس: ما هو وضع ملابسك في هذه اللحظة (ملاحظة: يمكنك اختيار أكثر من خيار)

الملابس الأساسية	قميص بكم طويل	تنورة طويلة	جلباب
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
الملابس الثانوية/ الداخلية	بمطالون ثقيل	بمطالون خفيف	شباب
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
الأحذية	حذاء رياضي	حذاء من الجلد	صندل
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
غير ذلك	حجاب رأس	جوارب	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

الاستبانة التي تم توزيعها على الفصول التي تمت دراستها

المصدر: (ASHRAE 55 (2017)

