

Ministry of Higher Education
and Scientific Research
Syrian Virtual University
Program Master of BIMM



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
الجامعة الافتراضية السورية
برنامج نمذجة معلومات البناء
وإدارتها BIMM

تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة المؤثّرة على الرّاحة الحراريّة (حالة دراسيّة: مبنى الأكاديمية العربيّة للعلوم و التكنولوجيا في مدينة اللاذقيّة)

Classification of sustainable architectural practices Influencing thermal comfort

(Case study: Arab Academy for Science and Technology in latakia city)

بحث مُقدّم لنيل درجة ماجستير التّأهيل والتّخصص في إدارة ونمذجة معلومات البناء BIMM

إعداد الطالب

طارق فراس قيراطه

tarek_237294

إشراف الدكتور المهندس

علاء جمال قاضي

2024 - 2025

أتوجّه بجزيل الشكر و الامتنان إلى:

الدكتور المهندس علاء قاضي، لما قدّمه لي من دعم و توجيه و إرشاد، فله منّي خالص الحب و التقدير.

الأساتذة أعضاء لجنة التحكيم، لتفضّلهم بالإشراف على مناقشة هذا البحث.

أساتذتي في الجامعة الافتراضية، الذين ساهموا بإغناء معلوماتي حتى تمكّنت من إعداد و إنجاز هذا البحث.

أساتذتي و أصدقائي الذين تواصلت معهم خلال بحثي و الذين قدّموا لي المعلومات و النصح اللازم لإتمام هذا البحث.

الدكتورة المهندسة سونيا أحمد مديرة برنامج ماجستير إدارة و نمذجة معلومات البناء في الجامعة الافتراضية السورية على سعيها و جهودها المُستمرّة في دعمنا و رفع مُستوى البرنامج.

أحمدُ الله تعالى على توفيقه لي و أنْ أوصلني إلى هذا النجاح.

أهدي هذا البحث إلى:

الذي زرع فيّ حب العلم، الذي كان لي السند والداعم في كل خطوة.

أبي العزيز

إلى العطاء الأبدي، من علّمتني كل شيء، من كانت محبتها منارتي .

أمي الغالية

صديقتي في هذه الحياة، من كانت دائماً بجانبني في الضراء قبل السراء، داعمتي في كل شيء.

زوجتي الحبيبة روان

إلى من وهبني الله تعالى نعمة وجودهم في حياتي.

أولادي ألما و فراس

- 1 - الإطار العام للبحث: 1
- 1-1 - المقدمة 1
- 2-1 - المشكلة البحثية 1
- 3-1 - فرضيات البحث 2
- 4-1 - أهداف وأهمية البحث 2
- 5-1 - منهج البحث 2
- 6-1 - أدوات البحث 3
- 7-1 - مجتمع وعينة الدراسة 3
- 8-1 - حدود البحث 3
- 9-1 - هيكلية البحث 3
- 2 - الإطار النظري 6
- 1-2 - منهجية تحليل الدراسات السابقة (Analysis Methods) : 6
- 2-2 - التحليل الكمي للدراسات السابقة : 7
- 1-2-2 - عدد الدراسات والأبحاث المنشورة خلال الأعوام: 7
- 2-2-2 - أكثر مصادر النشر نشرأ PUBLICATION SOURCE : 7
- 3-2-2 - أكثر المؤلفين استشهاداً Most Cited Author 8
- 4-2-2 - أكثر المؤلفين إنتاجية Most Productive Author 8
- 5-2-2 - أكثر الدول نشرأ Most productive Countries 9
- 6-2-2 - المقالات الأكثر استشهاداً Most Cited Articles 10
- 7-2-2 - تكرار الممارسات المعمارية المُستدامة ضمن الدراسات السابقة: 11
- 3-2 - التحليلي النوعي للدراسات السابقة Qualitative Analysis : 12
- 1-3-2 - الدراسة الأولى: 12
- 2-3-2 - الدراسة الثانية 14
- 3-3-2 - الدراسة الثالثة: 16
- 4-3-2 - الدراسة الرابعة : 18
- 5-3-2 - الدراسة الخامسة 20
- 4-2 - العلاقة و أوجه التشابه بين الدراسات السابقة مع بعضها البعض 21
- 5-2 - أوجه التشابه بين البحث الحالي و الدراسات السابقة 22
- 6-2 - أوجه الاختلاف بين البحث الحالي و الدراسات السابقة 22

24.....	: Historical background	لمحة تاريخية عن الرّاحة الحراريّة	7-2
24.....	Climature Parameters	عناصر المناخ	8-2
25.....	Solar Radiation	الإشعاع الشمسي	1-8-2
25.....	Air Temperature	درجة حرارة الهواء	2-8-2
26.....	Wind	الرياح	3-8-2
26.....	Humidity	الرطوبة	4-8-2
26.....	Precipitation	التساقط	5-8-2
26.....	(Heat Transfer)	انتقال الحرارة	9-2
27.....	Conduction	التوصيل	1-9-2
27.....	Convection	الحمل الحراري	2-9-2
28.....	Radiation	الإشعاع	3-9-2
28.....	Evaporation	التبخر	4-9-2
28.....	Thermal Properties of Materials	الخصائص الحراريّة للمواد	10-2
29.....	Thermal conductivity λ	الناقلية الحراريّة	1-10-2
29.....	Thermal resistance R	المقاومة الحراريّة	2-10-2
29.....	Thermal transmittance U	النفاذية الحراريّة	3-10-2
29.....	Heat capacity C	السعة الحراريّة	4-10-2
29.....	Density ρ	الكتلة الحجمية	5-10-2
29.....	Thermal Mass	الكتلة/العطالة الحراريّة	6-10-2
30.....	Thermal Comfort	مفهوم الرّاحة الحراريّة	11-2
30.....	(Thermal Comfort impact factors)	العوامل المؤثرة على الرّاحة الحراريّة	12-2
30.....	(Personal Factors)	العوامل الشخصية	1-12-2
30.....	(Metabolic Rate, M)	معدل الإستقلاب/الأيض	1-1-12-2
31.....	(Clothing resistance, Clo)	مقاومة الملابس	2-1-12-2
32.....	Occupant Behavior	سلوك السكّان (الشاغلين للبناء)	3-1-12-2
32.....	(Environmental Factors)	العوامل البيئية	2-12-2
32.....	(Air Temperature, Ta)	درجة حرارة الهواء	1-2-12-2
33.....	(Air Velocity, Va)	سرعة الرياح	2-2-12-2
33.....	(Relative Humidity, RH)	الرطوبة النسبية	3-2-12-2
33.....	(Radiant temperature, Tr)	حرارة الإشعاع	4-2-12-2
34.....	Thermal Comfort indices & models	مؤشرات قياس الرّاحة الحراريّة	13-2

- 34.....:Fanger's PMV/PPD model نمودج فانجر 1-13-2
- 35.....:Adaptive model النمودج التكييفي 2-13-2
- 36..... Thermal Comfort Standards معايير الزاحة الحراريّة 14-2
- 36..... ISO7730 معيار 1-14-2
- 37.....ASHRAE 55 معيار 2-14-2
- 39..... Building Performance Modeling نمودجة أداء المباني 15-2
- 39..... Building Performance Simulation محاكاة أداء المباني 16-2
- 39..... Simulation Definition تعريف المحاكاة 17-2
- 40..... Importance of Simulation أهميّة المحاكاة 18-2
- 40..... Thermal Simulation المحاكاة الحراريّة 19-2
- 40..... أدوات المحاكاة الحراريّة للمباني 1-19-2
- 42..... Thermal analysis and calculation types أنماط الحساب و التحليل الحراري 2-19-2
- 42..... Conceptual Energy Analysis تحليل الطاقة المفاهيمي 1-2-19-2
- 42..... Dynamic Thermal Simulation المحاكاة الحراريّة الديناميكية 2-2-19-2
- 42..... Steady State Thermal Simulation المحاكاة الحراريّة للحالة المُستقرّة 3-2-19-2
- 42..... BPS Tools and its properties برمجيات محاكاة أداء المبني و خصائصها 20-2
- 43.....™DesignBuilder 1-20-2
- 44.....™Autodesk Revit 2-20-2
- 45.....™Autodesk Insight 3-20-2
- 46..... (Green Building Studio™ (GBS 4-20-2
- 46.....™Ecotect 5-20-2
- 46..... Energyplus 6-20-2
- 47.....e QUEST 7-20-2
- 48.....(Integrated Environmental Solution Virtual Environment (IES VE 8-20-2
- 49..... تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة 21-2
- 50..... Building Envelope غلاف المبني 22-2
- 51..... الممارسات الخاصّة بغلاف المبني بالنسبة للجدران و الأسقف 23-2
- 51..... Thermal Insulation Materials مواد العزل الحراري 1-23-2
- 51..... تصنيف العزل الحراري التقليدي 1-1-23-2
- 51..... The most common insulators العوازل الحراريّة الأكثر شيوعاً 2-1-23-2
- 53..... Aerogel مادة الهلام الهوائي 3-1-23-2

- 53.....Vacuum Insulation Panels VIPs الفراغي العزل - 4-1-23-2
- 54..... PHASE CHANGE MATERIALS مواد العزل مُتغيرة الطور - 5-1-23-2
- 55..... Double Skin Facade System DSF الواجهات المزدوجة - 2-23-2
- 56.....DSF classification تصنيف الواجهات المزدوجة - 1-2-23-2
- 56.....Fenestration تصميم وتكوين النوافذ - 3-23-2
- 56..... U-value عامل الناقلية الحرارية للنوافذ - 1-3-23-2
- 56..... Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) مُعامل كسب الحرارة الشمسية - 2-3-23-2
- 57..... Visible Light Transmission VT انتقال الضوء المرئي - 3-3-23-2
- 57..... Conventional Glazing الفتحات الزجاجية التقليدية - 4-3-23-2
- 58..... Advanced Glazing الفتحات الزجاجية المتطورة - 5-3-23-2
- 59..... Opening Configuration تكوين و موضع الفتحات - 6-3-23-2
- 60..... Construction Materials مواد البناء - 4-23-2
- 61.....Building Form & Orientation شكل و توجيه المبنى - 5-23-2
- 61 Building Form شكل المبنى - 1-5-23-2
- 62 Building Orientation توجيه المبنى - 2-5-23-2
- 62..... أهمية توجيه المبنى في التصميم المُستدام - 3-5-23-2
- 63..... 24-2 - الممارسات الخاصة بالتصميم المُنفعل
- 63..... 1-24-2 - ممارسات التظليل الشمسي
- 66..... 2-24-2 - التهوية الطبيعية
- 66..... 1-2-24-2 - القوى الطبيعية الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في الأبنية:
- 67..... 2-2-24-2 - أنماط التهوية الطبيعية
- 68..... 3-2-24-2 - تقنيات التهوية الطبيعية
- 68..... 3-24-2 - التبريد الأرضي
- 69..... 4-24-2 - التبريد التبخيري
- 70..... 5-24-2 - التسخين الشمسي المُنفعل
- 71..... 6-24-2 - الغطاء النباتي
- 71..... 25-2 - الخلاصة
- 74..... 3 - الاستبيان و تحليله
- 74..... 1-3 - مقدمة
- 74..... 2-3 - أسلوب الدراسة
- 74..... 3-3 - عينة الدراسة

74.....	4-3 - أسئلة الاستبيان.....
75.....	1-4-3 - القسم الأول.....
75.....	2-4-3 - القسم الثاني.....
75.....	3-4-3 - القسم الثالث.....
76.....	5-3 - جمع البيانات و تحليلها.....
76.....	1-5-3 - وصف أفراد عيّنة الدراسة.....
77.....	2-5-3 - الإحصاءات الوصفية.....
77.....	6-3 - نتائج المتوسط الحسابي للمحاور ضمن الاستبيان.....
78.....	1-6-3 - المحور الأول : الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مستوى غلاف المبنى.....
78.....	2-6-3 - المحور الثاني : الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مستوى التصميم المُنفعل.....
79.....	3-6-3 - نتائج تكرارات الممارسات المعمارية المستدامة على مستوى غلاف المبنى حسب سنوات الخبرة لعيّنة الدراسة.....
81.....	4-6-3 - نتائج تكرارات الممارسات المعمارية المستدامة على مستوى التصميم المُنفعل حسب سنوات الخبرة لعيّنة الدراسة.....
84.....	7-3 - ترتيب المُمارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الرّاحة الحراريّة.....
85.....	8-3 - الفرق في ترتيب المُمارسات المعمارية المستدامة بين الاستبيان و تكرارها ضمن الدراسات السابقة.....
86.....	9-3 - الخلاصة.....
88.....	4 - الحالة الدراسية و تحليل الرّاحة الحراريّة و مناقشتها.....
88.....	1-4 - مقدّمة.....
88.....	2-4 - تعريف بالحالة الدراسية.....
89.....	1-2-4 - معلومات عن شاغلي المبنى.....
89.....	3-4 - قيمة الرّاحة الحراريّة المُثلى ضمن مدينة اللاذقية.....
89.....	4-4 - مقاييس و مؤشرات الرّاحة الحراريّة التي سيتم استخدامها في التحليل.....
90.....	5-4 - نمذجة مبنى الأكاديمية البحريّة (الوضع الراهن) على برنامج DesignBuilder.....
91.....	1-5-4 - النشاط التشغيلي ضمن المبنى Building activity.....
92.....	2-5-4 - مواد البناء الحاليّة الخاصّة بالجدران و السقف النهائي و النوافذ.....
93.....	3-5-4 - نظام التبريد و التسخين و التكييف HVAC.....
93.....	6-4 - مُخرجات المُحاكاة للرّاحة الحراريّة ضمن برنامج DesignBuilder.....
94.....	7-4 - نمذجة مبنى الأكاديمية البحريّة (المُمارسات المُقترحة) ضمن برنامج DesignBuilder.....
96.....	8-4 - مُناقشة نتائج بيانات الطقس في مدينة اللاذقية(موقع الحالة الدراسية).....
97.....	9-4 - نتائج التحليل و المُحاكاة الحالة الدراسية(الوضع الراهن).....
97.....	1-9-4 - نتائج مؤشرات الرّاحة الحراريّة.....
99.....	2-9-4 - نتائج الاكتساب الحراري الشمسي و الطاقة المطلوبة لتحقيق الرّاحة الحراريّة.....

100.....	10-4 - نتائج التحليل و المُحاكاة للمبنى(التصميم المقترح)
100.....	1-10-4 - نتائج مؤشرات الرّاحة الحراريّة.....
103.....	2-10-4 - نتائج الاكتساب الحراري الشمسي و الطاقة المطلوبة لتحقيق الرّاحة الحراريّة.....
107.....	4-5 - مقارنة نتائج الطاقة الكليّة الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح و الوضع الراهن.....
107.....	5-5 - الخلاصة
110	5 - النتائج و التوصيات
110.....	1-5 - النتائج
111.....	2-5 - التوصيات

قائمة الأشكال

- شكل(1-2) : منهجية البحث عن الدراسات.....6
- شكل(2-2): عدد الدراسات خلال الأعوام من 2003-2024.....7
- شكل(3-2): المجالات الأكثر نشرًا في مجال الزاحة الحرارية.....8
- شكل(4-2): الدول الأكثر نشرًا في مجال الزاحة الحرارية.....9
- شكل(6-2): مُخطّط بياني لتكرار الممارسات المعمارية المستدامة ضمن الدراسات السابقة.....12
- شكل(7-2): مؤشر PMV كدالة لـ PPD المصدر (ASHRAE،2013).....35
- شكل(8-2): مُعدّل الحرارة التشغيلية المقبولة للمباني ذات التهوية الطبيعية المصدر (ASHRAE55,2004).....36
- شكل(10-2): النطاقات المقبولة لدرجة حرارة التشغيل حسب سرعات الهواء.....38
- شكل(9-2): سرعة الهواء المطلوبة للتعويض عن زيادة درجة الحرارة.....38
- شكل(11-2): بيانات الإدخال العامة لمُحرّكات المُحاكاة الحرارية.....41
- شكل(12-2): إدخال النموذج الحراري (Bahar, 2013).....41
- شكل(13-2): تدفّق العمل لتحليل الأداء ضمن برنامج الريفيت.....45
- شكل(14-2): تدفّق العمل لتحليل الأداء ضمن بيئة اليبم.....45
- شكل(15-2): تصنيف الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الزاحة الحرارية.....50
- شكل(16-2): مُكونات غلاف المبنى، المصدر (Mirrahimi et al., 2016).....50
- شكل(17-2): بعض أنواع مواد العزل الحراري.....52
- شكل(18-2): ألواح العزل الفراغي.....54
- شكل(19-2): تحولات تغيير المرحلة للمياه ، المصدر (Nave, 2015).....54
- شكل(20-2): أنواع الواجهات المزودة المختلفة.....56
- شكل(21-2): رسم توضيحي للزجاج المفرّغ.....58
- شكل(22-2): أنواع النوافذ التي فحصها (Gao and Lee 2011).....59
- شكل(23-2): أنواع النوافذ التي فحصها (von Grabe et al., 2014).....60
- شكل(24-2): أنواع تظليل السقف.....65
- شكل(25-2): مناطق الضغط الموجب والسالب نتيجة لقوة الرياح.....66
- شكل(26-2): التهوية القائمة على الطفو: التهوية بالإزاحة (يسار) - التهوية المُختلطة (يمين).....67
- شكل(28-2): التهوية المُتقاطعة.....67
- شكل(29-2): التهوية بتأثير المُكّدس.....68
- شكل(30-2): استراتيجية التبريد الأرضي.....69
- شكل(31-2): استراتيجية التبريد التبخيري المُنخفض السليبي في مركز أبحاث تورنت.....69
- شكل(1-3): المخططات البيانية الخاصة بالمغيرات الديموغرافية لعينة البحث.....77
- شكل(2-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة العزل الحراري.....79

- شكل(3-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة الواجهات المزدوجة.....80
- شكل(4-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة موقع و تصميم النوافذ.....80
- شكل(5-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة مواد البناء.....81
- شكل(6-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة شكل و توجيه المبنى.....81
- شكل(7-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التظليل الشمسي.....82
- شكل(8-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التهوية الطبيعية.....82
- شكل(9-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التبريد الأرضي.....83
- شكل(10-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التبريد التبخيري.....83
- شكل(11-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التسخين الشمسي المنفعل.....84
- شكل(12-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة الغطاء النباتي.....84
- شكل(1-4): شكل المبنى الخاص بالحالة الدراسية.....88
- شكل(2-4): كاسرات الشمس الموجودة ضمن الحالة الدراسية.....88
- شكل(3-4): شكل المبنى(الوضع الراهن) ضمن برنامج DesignBuilder.....89
- شكل(4-4): ضبط خيارات النموذج ضمن برنامج DesignBuilder.....90
- شكل(5-4): ضبط معلومات قسم النشاط ضمن برنامج DesignBuilder.....91
- شكل(6-4): جدول ساعات الإشغال ضمن برنامج DesignBuilder.....91
- شكل(7-4): طبقات الجدران و الأسقف النهائية ضمن برنامج DesignBuilder.....92
- شكل(8-4): ضبط معلومات قسم الفتحات ضمن برنامج DesignBuilder.....92
- شكل(9-4): ضبط معلومات قسم التبريد و التسخين ضمن برنامج DesignBuilder.....93
- شكل(10-4): ضبط بيانات المحاكاة ضمن برنامج DesignBuilder.....94
- شكل(11-4): نتائج المحاكاة المطلوبة ضمن برنامج DesignBuilder.....94
- شكل(12-4): طبقات الجدران و الأسقف النهائية و النوافذ و كاسرات الشمس المقترحة ضمن برنامج DesignBuilder.....95
- شكل(13-4): التصميم المقترح للحالة الدراسية ضمن برنامج DesignBuilder.....96
- شكل(14-4): بيانات الطقس لمدينة اللاذقية ضمن برنامج DesignBuilder.....97
- شكل(15-4): نتائج التحليل الخاص بدرجات الحرارة الداخلية و الخارجية ضمن برنامج DesignBuilder.....97
- شكل(16-4): نتائج التحليل الخاص بعدد ساعات عدم الراحة ضمن برنامج DesignBuilder.....98
- شكل(17-4): نتائج التحليل الخاص بمؤشرات الراحة الحرارية ضمن برنامج DesignBuilder.....98
- شكل(18-4): نتائج الاكتساب الحراري لمكونات المبنى ضمن برنامج DesignBuilder.....99
- شكل(19-4): نتائج الطاقة المطلوبة لإزالة الرطوبة(الحمل الكامن) ضمن برنامج DesignBuilder.....99
- شكل(20-4): نتائج الطاقة المطلوبة لتبريد و تدفئة المبنى و الحمل الطاقوي المطلوب.....100
- شكل(21-4): نتائج التحليل الخاص بدرجات الحرارة الداخلية و الخارجية للتصميم المقترح.....101
- شكل(22-4): نتائج التحليل الخاص بمؤشرات الراحة الحرارية للتصميم المقترح.....101
- شكل(23-4): نتائج التحليل الخاص بعدد ساعات عدم الراحة للتصميم المقترح و مقارنتها مع قيم الوضع الراهن.....102

- شكل(4-25): نتائج التحليل الخاص بمؤشر PMV للتصميم المقترح و مقارنتها مع القيم القديمة للوضع الراهن.....102
- شكل(4-26): نتائج التحليل الخاص بمؤشر PPD للتصميم المقترح و مقارنتها مع القيم القديمة للوضع الراهن103
- شكل(4-27): نتائج الاكتساب و الفقدان الحراري لمكونات المبنى للتصميم المقترح.....104
- شكل(4-28): نتائج الاكتساب و الفقد الحراري لجدران المبنى للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن.....104
- شكل(4-29): نتائج الاكتساب و الفقد الحراري لسقف المبنى للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن.....104
- شكل(4-30): نتائج الاكتساب الحراري الشمسي من خلال نوافذ المبنى الخارجية للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن.....105
- شكل(4-31): نتائج الطاقة الخاصة بالجمل الكامن للتصميم المقترح المطلوب و مقارنته مع نتائج الوضع الراهن105
- شكل(4-32): نتائج الطاقة الكهربائية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح ضمن برنامج.....106
- شكل(4-33): نتائج الطاقة الكهربائية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن.....106
- شكل(4-34): نتائج الطاقة الكهربائية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن.....106
- شكل(4-35): نتائج الطاقة الكهربائية الكلية الخاصة بالتبريد و التدفئة خلال العام للوضع الراهن و التصميم المقترح.....107

قائمة الجداول

- جدول(1-2) : معايير القبول و الإقصاء للدراسات السابقة.....7
- جدول(2-2) : أفضل 5 باحثين اقتباساً8
- جدول(3-2) : أفضل 5 باحثين نشرأ للأبحاث9
- جدول(4-2): أهم 5 دول نشرأ9
- جدول(5-2): أكثر 5 مقالات استشهاداً10
- جدول(6-2): تكرار الممارسات المعمارية المُستدّامة ضمن الدراسات السابقة11
- جدول(7-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الأولى.....12
- جدول(8-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثانية.....14
- جدول(9-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثالثة.....16
- جدول(10-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الرابعة.....18
- جدول(11-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الخامسة.....20
- جدول(12-2): العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية.....30
- جدول(13-2): معدلات الاستقلاب/الأيض بناءً على النشاط (BS EN ISO 8996:2021)31
- جدول(14-2): قيمة مقاومة الملابس لمجموعة الملابس النموذجية، المصدر: ASHRAE standard 55.....31
- جدول(15-2): الفئات الثلاثة للبيانات الحرارية (ISO 7730:2005)36
- جدول(16-2): ممارسات غلاف المبنى49
- جدول(17-2): ممارسات التصميم المنفعل49
- جدول(18-2): أنواع العوازل الحرارية و قيمة مقاومتها للحرارة53
- جدول(19-2): عناصر التظليل الأفقية و الشاقولية.....65
- جدول(1-3): أسئلة البيانات الشخصية75
- جدول(2-3): أسئلة المحور الأول.....75
- جدول(3-3): أسئلة المحور الثاني.....75
- جدول(4-3): وصف للمتغيرات الديموغرافية لأفراد العينة.....76
- جدول(5-3): تفسير النتائج وفق مقياس ليكرت الخماسي77
- جدول(6-3): نتائج المتوسط الحسابي لممارسات غلاف المبنى78
- جدول(7-3): نتائج المتوسط الحسابي لممارسات التصميم المنفعل78
- جدول(8-3): تكرار الممارسات المعمارية المُستدّامة ضمن الدراسات السابقة85
- جدول(9-3): ترتيب الممارسات المعمارية المُستدّامة ضمن الاستبيان و الدراسات السابقة86
- جدول(1-4): قيمة المقاومة و الموصلية الحرارية للسقف النهائي و الجدران الخارجية و النوافذ93
- جدول(2-4): قيمة المقاومة و الموصلية الحرارية للسقف النهائي و الجدران الخارجية و النوافذ للتصميم المقترح96
- جدول(1-6): إشغال فراغات المبنى.....j

قائمة الملاحق

- a..... الاستبيان
- h بيانات الإشغال لفراغات المبنى
- k..... مخططات المبنى

قائمة الاختصارات

المصطلح	المقابل الإنكليزي	المقابل العربي
BPM	Building Performance Modeling	نمذجة أداء المباني
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers	مهندسو المجتمع الأمريكي للتدفئة و التبريد و التكييف
WWR	Window Wall Ratio	نسبة النوافذ للجدران
PCM	Phase Change Materials	المواد متغيرة الطور
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied	النسبة المئوية المتوقعة للأشخاص غير الراضين
PMV	Predicted Mean Vote	متوسط التصويت المتوقع
R-Value	Thermal Resistance	المقاومة الحرارية
U-Value	Thermal Transmittance	الموصلية الحرارية
IEQ	Indoor Environmental Quality	جودة البيئة الداخليّة
DBT	Dry Bulb Temperature	درجة حرارة الهواء الجافة
WBT	Dry Bulb Temperature	درجة حرارة الهواء الرطبة
MRT	Mean Radiant Temperature	متوسط حرارة الإشعاع
RH	Relative Humidity	الرطوبة النسبيّة
NV	Natural Ventilation	التهوية الطبيعيّة
BPS	Building Performance Simulation	محاكاة أداء المبنى
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning	التدفئة، التهوية و تبريد الهواء
DTS	Dynamic thermal Simulation	المحاكاة الحراريّة الديناميكيّة
SSTS	Steady State Thermal Simulation	المحاكاة الحراريّة للوضع الثابت
CFD	Computational Fluid Dynamics	ديناميكا الموائع الحسابيّة

المصطلح	المقابل الإنكليزي	المقابل العربي
GBXML	Green Building XML	–
AEC	Architecture, Engineering and Construction	العمارة، الهندسة و الإنشاء
DSF	Double Skin Facade	الواجهات المزدوجة
VIPs	Vacuum Insulation Panels	ألواح العزل المفرّغة
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient	معامل الكسب الحراري الشمسي
VT	Visible light Transmission	معامل انتقال الضوء المرئي
Low-E	Low Emissivity	قليل الانبعاثية (للزجاج)
AAC	Autoclaved Aerated Concrete	الخرسانة المُحكمة التهوية

مُلخَص البَحْث

الرّاحة الحراريّة عنصر رئيسي ضمن معيار جودة البيئة الداخليّة للمباني بكافة أنواعها و وظائفها، و أخذها بعين الاعتبار يُعتبر عاملاً هاماً من عوامل نجاح المبني تصميمياً و وظيفياً.

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة من حيث تأثيرها على الرّاحة الحراريّة ضمن المباني، مُساعدة أصحاب العلاقة من مُهندسين و معماريين و مالكين في تحسين ظروف البيئة الداخليّة ضمن تلك المباني من خلال اختيار الممارسات الأكثر مُلاءمةً معها، سواء في مرحلة التصميم أو الصيانة. بالإضافة إلى التأكيد على الدور الهام الذي تلعبه برمجيات تحليل أداء المباني في اختيار الممارسات الأفضل و تحديد مدى توافقها مع طبيعة و موقع المبني. من خلال تحليل مُحتوى الدراسات السابقة، ظهر لدينا أحد عشرة مُمارسة، تم تصنيفها إلى ممارسات معماريّة مُستدامة على مُستوى غلاف المبني، و أخرى على مُستوى التصميم المُنفعل. و من خلال الاستبانة التي وُزعت على 52 خبيراً في مجال الاستدامة، و التي هدفت إلى ترتيب الممارسات حسب الأهميّة و التأثير على الرّاحة الحراريّة، تبيّن أنّ مُمارسة العزل الحراري للجدران و الأسقف و النوافذ، هي الأهم من بين تلك الممارسات، تليها مُمارسة تصميم النوافذ من حيث الشكل و طريقة الفتح و الإغلاق و نسبتها بالنسبة للجدران و التي تُعتبر ممارسات خاصّة بغلاف المبني، و ثالثاً ممارسات التهوية الطبيعيّة و التي صُنّفت على أنّها مُمارسة تصميم مُنفعل، في حين جاءت ممارستي التبريد التبخيري و الأرضي في المرتبتين الأخيرتين.

و قد تبيّن من خلال تطبيق بعض أهم تلك الممارسات المعماريّة المُستدامة مثل العزل الحراري ، تصميم و موقع النوافذ، التظليل الشمسي في ظروف التهوية الطبيعيّة و التبريد و التدفئة الميكانيكيّة على مبني تعليمي (جامعي) في مدينة اللاذقية، على أحد برمجيات تحليل أداء المبني و هو **DesignBuilder®** ، أنّ لتلك البرمجيات دور كبير في تحديد أهميّة تلك الممارسات بالنسبة للمبني و أكثرها تأثيراً على الرّاحة الحراريّة و استهلاك الطّاقة فيه في مرحلة التصميم و الصيانة. و قد خلصت نتيجة التحليل إلى أنّ مُمارسة العزل الحراري للجدران و الأسقف و النوافذ فعلاً هي الممارسة ذات التأثير الأكبر على الرّاحة الحراريّة لأنّها ساعدت على تخفيض التبادل الحراري بين المبني و البيئة المحيطة به من خلال غلاف المبني. بالإضافة إلى أنّ تطبيق الممارسات المُقترحة ساعد في زيادة ساعات الراحة بالنسبة لساعات عدم الراحة بنسبة تصل لـ **86.82%**.

و انتهت الدراسة بتقديم مجموعة من التوصيات و التي من أهمّها، زيادة الوعي و نشر ثقافة استخدام برمجيات نمذجة و تحليل أداء المباني بشكل عام ضمن قطاع البناء و العمارة في مرحلة التصميم و الصيانة. بالإضافة إلى أهميّة تطبيق أكثر من مُمارسة واحدة ضمن المبني لزيادة كفاءة المبني حرارياً بشكل مُنفعل، و بالتالي التقليل من استهلاكه الطّاقة.

Abstract

Thermal comfort is a critical component of the indoor environmental quality (IEQ) standards for buildings of all types and functions. Considering thermal comfort in design is a key factor in the architectural and functional success of a building.

The primary objective of this research is to classify sustainable architectural practices based on their impact on thermal comfort within buildings. This aims to assist stakeholders including engineers, architects, and owners in improving indoor environmental conditions by selecting the most suitable practices during the design and maintenance phases. Additionally, the study emphasizes the vital role of building performance analysis software in identifying optimal practices and evaluating their compatibility with a building's specific characteristics and location.

Through an analysis of previous studies, eleven sustainable architectural practices were identified and categorized into two groups: those related to the building envelope and those classified as passive design strategies. A questionnaire distributed to 52 sustainability experts, aimed at ranking these practices by their importance and impact on thermal comfort, revealed that thermal insulation of walls, roofs, and windows was the most critical practice. This was followed by window design (considering shape, opening/closing mechanisms, and window-to-wall ratios), categorized as a building envelope practice, and natural ventilation, classified as a passive design strategy. In contrast, evaporative cooling and geothermal cooling ranked lowest.

Applying some of the most impactful sustainable practices—such as thermal insulation, window design and placement, solar shading, natural ventilation, and mechanical heating/cooling to an educational (university) building in Latakia, Syria, using the DesignBuilder® building performance analysis software, demonstrated the significant role of such tools in evaluating the effectiveness of these practices. The analysis concluded that thermal insulation of walls, roofs, and windows had the greatest impact on thermal comfort by reducing heat exchange between the building and its environment through the envelope. Implementing the proposed practices also increased thermal comfort hours by 86.82% relative to discomfort hours.

The study concluded with a set of recommendations, the most important of which is to increase awareness and promote the culture of using modeling and performance analysis software for buildings in general within the construction and architecture sector during the design and maintenance phases. Additionally, it is crucial to implement more than one practice within the building to enhance its thermal efficiency passively, thereby reducing its energy consumption.

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

1-1 - المقدمة

تُشكّل الفراغات الداخليّة للمباني منظومة تحتوي على العديد من الأنشطة، و تتحدّد معالم الوظيفة بناءً على الظروف البيئية السائدة في المكان، بحيث يأتي تصميم الفراغ مُنسجماً مع بيئته ليُحقق الرّاحة الشاملة لكل الأفراد الشاغلين له. ومن هنا تأتي أهميّة التقييم البيئي و المناخى للفراغ الداخلى للمباني و الذي بدوره ينقسم إلى عدة أقسام من ضمنها البيئة و الرّاحة الحراريّة التي تُؤثر تأثيراً واضحاً في الأداء الوظيفي داخل الفراغ.

لا يمكن التقليل من أهمية الرّاحة الحراريّة في البيئة الداخليّة. في الواقع، فإن الغالبية العظمى من الشكاوى المتعلّقة بالمناخ الداخلي تتعلق بعدم الرّاحة الحراريّة. تُعتبر الرّاحة الحراريّة مهمة للغاية، وذلك لأن عدم الرّاحة الحراريّة في المباني يُمكن أن يخلق ظروفاً غير مرضية للشاغلين، ومن المحتمل أن يُقلّل من إنتاجيتهم وأدائهم. لهذه الأسباب، يتم إجراء أبحاث حول الرّاحة الحراريّة للمباني في مناطق مُختلفة من العالم.

هناك العديد من النماذج و المؤشرات لتقدير و حساب الرّاحة الحراريّة، و لكن أهمّها و أكثرها استخداماً، نموذج فانغر للراحة الحراريّة (Fanger, 1972) و نموذج الرّاحة الحراريّة التكيّفي **Adaptive thermal Comfort Model** (Humphreys et al., 2015).

على الرغم من التطور الكبير في مجال تصميم و تشييد المباني، إلا أن العديد من المباني في العالم و سورية خاصّة تعاني من مُشكلة عدم تحقّق الرّاحة الحراريّة المطلوبة، فاختلاف درجات الحرارة و الرطوبة و تسرب الهواء البارد أو الساخن، كلها عوامل تُؤثر سلباً على الرّاحة الحراريّة ضمن المباني.

إنّ استخدام برمجيات المحاكاة أصبح شائعاً هذه الأيام خلال تصميم أي بناء جديد. استخدام برمجيات و أدوات المحاكاة **Simulation Tools & Softwares** لا يُساعد المُستخدمين فقط في تقدير استهلاك الطاقة، بل أيضاً في تقدير الرّاحة الحراريّة و جودة الهواء الداخلي للبناء. بل و يسمح لهم بتحليل و اختيار أفضل البدائل التصميمية و مواد الإنشاء و الإكساء لتحقيق الكفاءة خلال فترة تشغيل المبنى.

يهدف هذا البحث إلى دراسة و تحليل الممارسات المعماريّة المُستدامة المُؤثّرة على الرّاحة الحراريّة بشكل عام، من خلال المنهجية الموضوعية للبحث و التي تشمل بدايةً، القيام بترتيب العوامل المعماريّة المُستدامة المُؤثّرة على الرّاحة الحراريّة بناءً على الاستبيان الذي سيقوم به الباحث. ثانياً، من خلال الترتيب الذي تم الحصول عليه سنقوم بنمذجة مبنى التعليمي و من ثم تحليل تأثير الممارسات الأكثر تأثيراً على الرّاحة الحراريّة باستخدام برنامج التحليل البيئي **Design Builder®**. أخيراً، تحليل نتائج المحاكاة و استخلاص النتائج و التوصيات.

1-2 - المشكلة البحثية

الرّاحة الحراريّة حالة عقلية، تُعبّر عن رضا الشاغلين ضمن البيئة الحراريّة المحيطة بهم، هي عامل مهم و رئيسي في عمليات تصميم الأبنية، و عنصر مؤثر بشكل مُباشر على صحّة و راحة الشاغلين. مُعظم البشر في العصر الحديث يقضون 90% وقتهم داخل الأبنية (Zomorodian et al., 2016)، والتي لا تحقّق في الغالب المستوى الأمثل للرّاحة الحراريّة، و بالتالي تُؤثر على إنتاجيتهم و شعورهم بالتعب و عدم الارتياح و تدهور في الصحّة العامة (Korsavi et al., 2020).

عملية تصميم و إنشاء أي مبنى مهمها كان نوعه، عملية مُجهدة و مُكلفة و تحتاج وقت كبير، لذلك عدم الأخذ بعين الاعتبار موضوع الرّاحة الحراريّة للشاغلين، يُقلّل من كفاءته و يُلغي الجهود المبذولة في إنشائه.

من هنا جاءت أهمية الدراسة و التي تسعى للبحث و تصنيف الممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الرَّاحة الحراريّة، و زيادة مستوى الوعي بأهمية تطبيقها في مختلف مراحل دورة حياة المبنى، و ما هو الدور الذي تلعبه نمذجة أداء المبنى **Building Performance Modeling (BPM)** في تحقيق هذا المفهوم، و يمكن صياغة مشكلة البحث بالأسئلة التالية :

- هل يوجد تصنيف مُحدّد للممارسات المعماريّة المُستدامة المؤثرة على الرَّاحة الحراريّة ؟
- ما هي البرمجيات و الأدوات التي تُساعد في عملية تقدير و حساب الرَّاحة الحراريّة في مرحلة التصميم و الصيانة؟
- هل فعلاً تلك البرمجيات و الأدوات تُساعد في اختيار البديل التصميمي الأفضل للرَّاحة الحراريّة للمبنى؟

1-3 - فرضيات البحث

- يعتمد البحث على الفرضيات التالية :
- بما لا شكّ فيه أن هناك ممارسات معماريّة مؤثرة على الرَّاحة الحراريّة للمباني، و تصنيف تلك الممارسات يُساعد أصحاب العلاقة على اتخاذ القرار و الأسلوب المناسب لتحسين الرَّاحة الحراريّة ضمن المبنى خلال مرحلة تصميمه و صيانتها.
 - استخدام برمجيات نمذجة أداء المبنى **(BPM)** يُساعد بشكل كبير أصحاب العلاقة اختيار البديل التصميمي و الممارسات الأمثل لتحقيق الرَّاحة الحراريّة.

1-4 - أهداف و أهميّة البحث

- إن مفهوم الرَّاحة الحراريّة مُرتبط ارتباطاً وثيقاً بمفهوم الاستدامة البيئية، و الذي يُعدّ الشغل الشاغل للعالم بأسره، و إن أخذها بعين الاعتبار أثناء تصميم المبنى، يُحقّق الفائدة المرجوة من عمليّة البناء و يُحسّن مزاج الشاغلين و راحتهم النفسية و الجسدية و بالتالي زيادة إنتاجيتهم في المرتبة الأولى، و يُقلّل من استهلاك الموارد و الطاقة للتعويض عن عدم أخذ مشكلة الرَّاحة الحراريّة بعين الاعتبار أثناء تصميم المبنى.
- يكمن هدف و أهميّة هذا البحث فيما يلي :

- الوعي بأهمية تطبيق مفهوم الرَّاحة الحراريّة في المباني في سورية.
- وضع تصنيف مُحدّد للممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الرَّاحة الحراريّة، مُساعدة الممارسين و المُصممين على اختيار الممارسات الأكثر مُلاءمة لمبانيهم خلال فترة تصميمها و صيانتها.
- يُبرز البحث أهمية استخدام نمذجة أداء المبنى **(BPM)** ، في اختيار البديل التصميمي الأفضل المُحقق للرَّاحة الحراريّة.

1-5 - منهج البحث

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي، لاستخدامه في وصف و تحديد العوامل المعماريّة المؤثرة على الرَّاحة الحراريّة من خلال الأبحاث و الدراسات السابقة في هذا المجال و تحليلها تحليلاً علمياً. و المنهج التجريبي، من خلال قيامنا بنمذجة مبنى الأكاديمية العربية للعلوم و التكنولوجيا و النقل البحري، و اختبار هل المبنى مُحقق للرَّاحة الحراريّة في وضعه الحالي، و إعادة تحليل المبنى بعد اختيار عامل مُحدّد من عوامل الرَّاحة الحراريّة و تطبيقه على المبنى، و اكتشاف

مستوى التحسين في الراحة الحرارية.

6-1 - أدوات البحث

قام الباحث بالاعتماد على عدد من الأدوات لجمع البيانات وتحليلها وهي :

1. الاستبيان : وهو أداة جمع المعلومات من العينة الدراسية.
2. برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية **SPSS** : للقيام بتحليل وتصنيف نتائج الاستبيان.
3. برنامج نمذجة أداء المبنى **DesignBuiler** : للقيام بتحليل وتقييم مدى توافق النموذج المعماري للحالة الدراسية مع الراحة الحرارية، و معرفة التحسّن في الراحة الحرارية عند تطبيق الممارسات المعمارية المستدامة.

7-1 - مجتمع و عينة الدراسة

قام الباحث بجمع البيانات عن طريق توزيع استبيان على الخبراء في مجال الاستدامة و الراحة الحرارية، سواء كانوا (مدرسين أكاديميين في الكليات الهندسية – طلاب دراسات عليا [ماجستير- دكتوراه] – مهندسين بكافة الاختصاصات).

8-1 - حدود البحث

- الحدود المكانية : مدينة اللاذقية – الجمهورية العربية السورية
- الحدود الزمانية : من منتصف الشهر التاسع/ أيلول إلى منتصف الشهر الثاني عشر/ كانون الأول، ثلاثة أشهر .
- الحدود الموضوعية : تُركّز الدراسة على تحديد وتصنيف الممارسات المعمارية والمستدامة فقط المؤثرة على الراحة الحرارية. بغض النظر عن العوامل الأخرى كالعوامل الميكانيكية (أساليب التدفئة والتكييف الميكانيكية).

9-1 - هيكلية البحث

يتكون البحث من ستة فصول، يُقسم كل فصل إلى عدة أقسام وفقرات على النحو التالي:

■ الفصل الأول:

تمّ في هذا الفصل تناول خطة البحث و التي تشمل مشكلة البحث، أهداف البحث، منهجية البحث، فرضيات البحث، حدود البحث، ومجتمع الدراسة وعينته.

■ الفصل الثاني:

يشمل الفصل الثاني الإطار النظري للبحث، التحليل البيلومتري **Bibliometric analysis** للدراسات السابقة، و التي تُظهر عدد الأبحاث و ارتفاعها على مدى الأعوام للدلالة على أهمية الموضوع المُختار. بالإضافة للقيام بتحليل نوعي (تحليل المحتوى) لأهم خمس أبحاث منشورة عن الراحة الحرارية، و شرح المتغيرات المُستقلة و التابعة الخاصة بالدراسة.

■ الفصل الثالث:

القسم العملي الخاص بالاستبيان لتصنيف و ترتيب الممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية

حسب الأكثر تأثيراً على معيار الراحة الحراريّة، و تحليل ذلك الاستبيان إحصائياً للوصول في النهاية لجدول التصنيف النهائي لتلك الممارسات حسب رأي الخبراء في هذا المجال.

■ الفصل الرابع:

القسم العملي الخاص بالنمذجة و التحليل على برنامج **DesignBuilder**، و كيفية إدخال المدخلات اللازمة لعملية المحاكاة للوصول في نهاية هذا الفصل للنتائج الخاصّة بالحالة الدراسية قبل و بعد تطبيق الممارسات و مناقشة تلك النتائج الخاصّة بعملية تحليل أداء المبنى.

■ الفصل الخامس:

الخاتمة و التوصيات

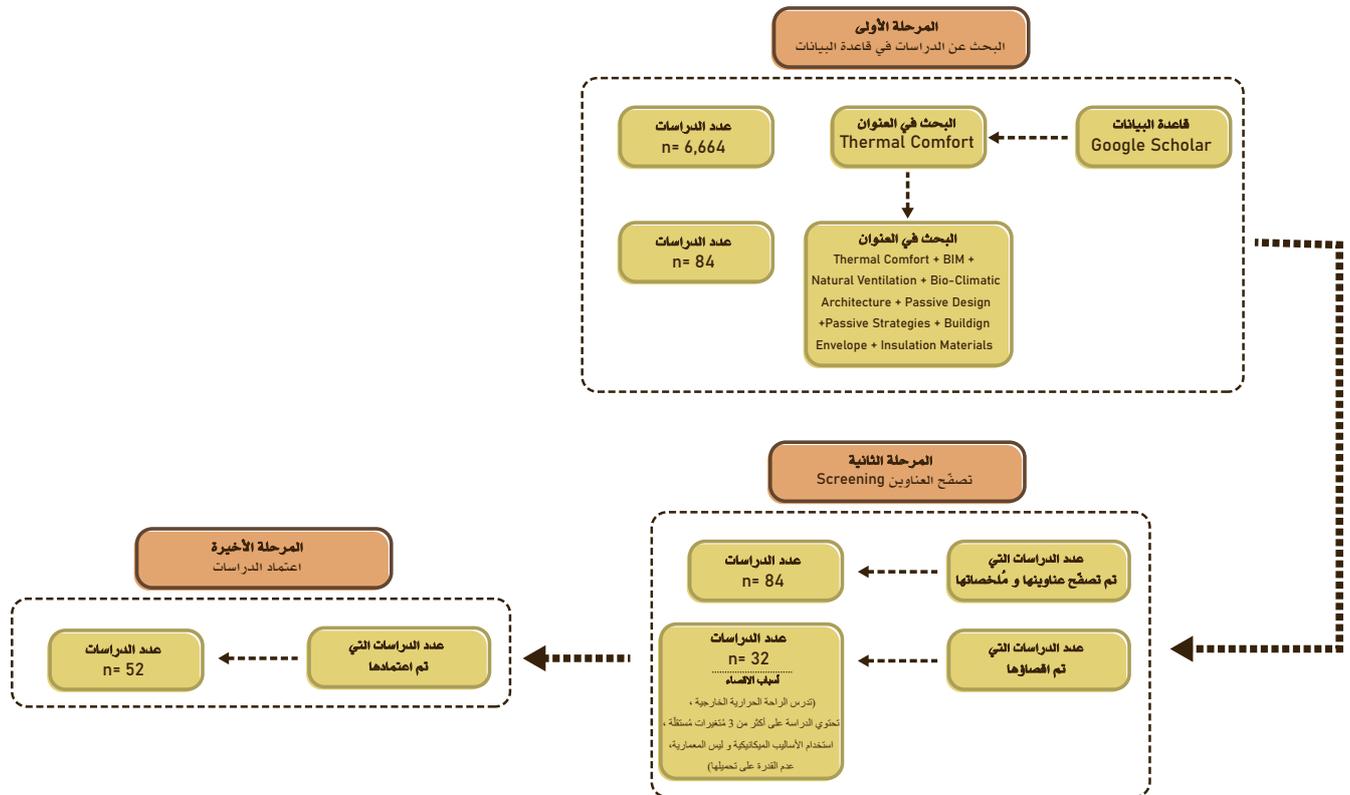
الفصل الثاني

الإطار النظري

1-2 - منهجية تحليل الدراسات السابقة (Analysis Methods) :

تسعى هذه الفقرة إلى الكشف عن هوية الدراسات التي أُجريت حول "الراحة الحرارية" في المباني خلال العقد الماضي. لتحقيق هذا الهدف، تم استخدام الأساليب البيبليومترية في التحليل. أُضف إلى ذلك، يعتمد التحليل البيبليومتري على تتبع الدراسات حول موضوع مُعيّن وكشف النتائج من خلال تحليل هذه الدراسات وفقاً لخصائص متنوعة. تم البحث في الدراسات ذات الصلة في قاعدة بيانات **Google Scholar** في الدراسة للوصول إلى مقالات ذات جودة عالية. في المسح الذي أُجري، تم البحث عن الكلمات المفتاحية في العنوان فقط. تم تضمين المقالات باللغة الإنجليزية في الدراسة من بين المقالات التي تم الحصول عليها بعد البحث. تم استخدام كلمات (**Thermal comfort, Natural ventilation, Building envelope, Bio-climatic architecture, Passive design, Passive Strategies, BIM, Insulation materials**)، ككلمات مفتاحية وعبارات مرتبطة بها.

نتائج قاعدة البيانات الإجمالية عند البحث في كلمة "**thermal Comfort**" في العنوان هي **6,664** دراسة، وعند إضافة الكلمات المفتاحية السابقة معها تقلص العدد إلى **84** دراسة. شكل (1-2) منهجية البحث عن الدراسات، الجدول (1-2) معايير القبول والإقصاء للدراسات السابقة.



شكل (1-2) : منهجية البحث عن الدراسات

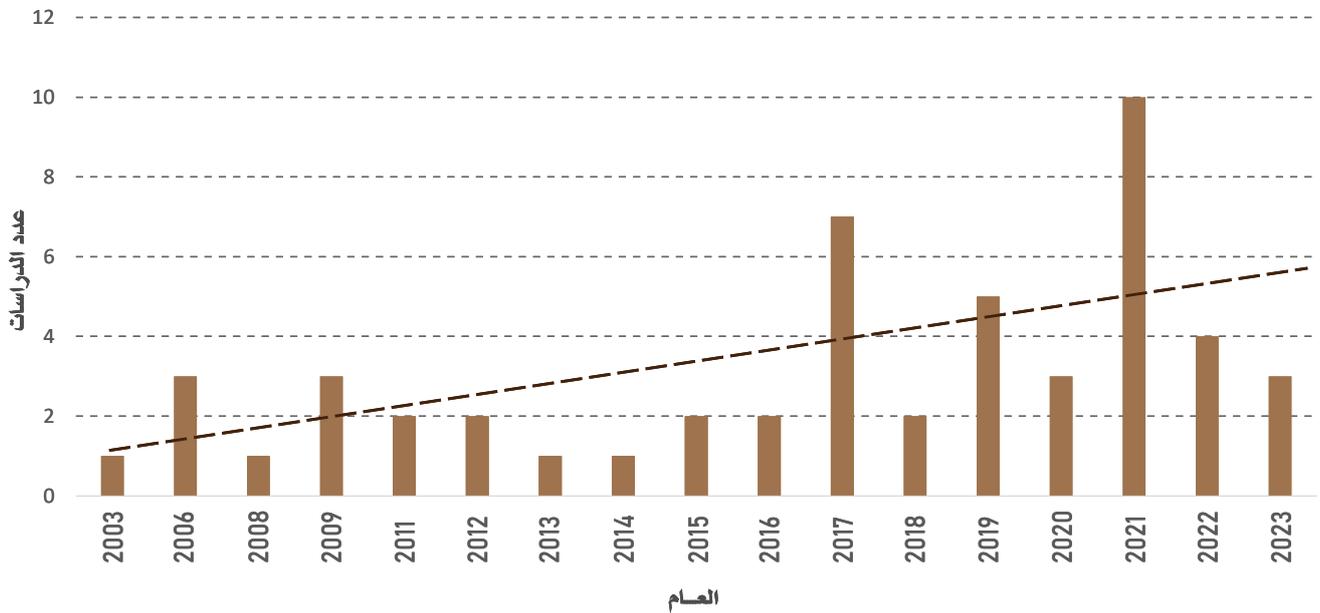
معايير الإقصاء	معايير القبول
الدراسات التي ليست باللغة الانكليزية	الدراسات التي تحتوي في عنوانها فقط على كلمات (الرّاحة الحراريّة، التهوية الطبيعيّة، التصميم المُنفعل، الاستراتيجيات السلبيّة، مواد العزل، البيم، العمارة البيومناخيّة، غلاف المبنى)
الدراسات التي لا تتحدث عن الرّاحة الحراريّة الداخلية	
الدراسات التي تتحدث عن أكثر من ثلاثة مُتغيرات	
الدراسات التي تتحدث عن الممارسات الميكانيكيّة	
الدراسات التي لم يسطع الباحث تحميلها	

جدول(1-2) : معايير القبول و الإقصاء للدراسات السابقة

2-2 - التحليل الكمي للدراسات السابقة :

1-2-2 - عدد الدراسات و الأبحاث المنشورة خلال الأعوام:

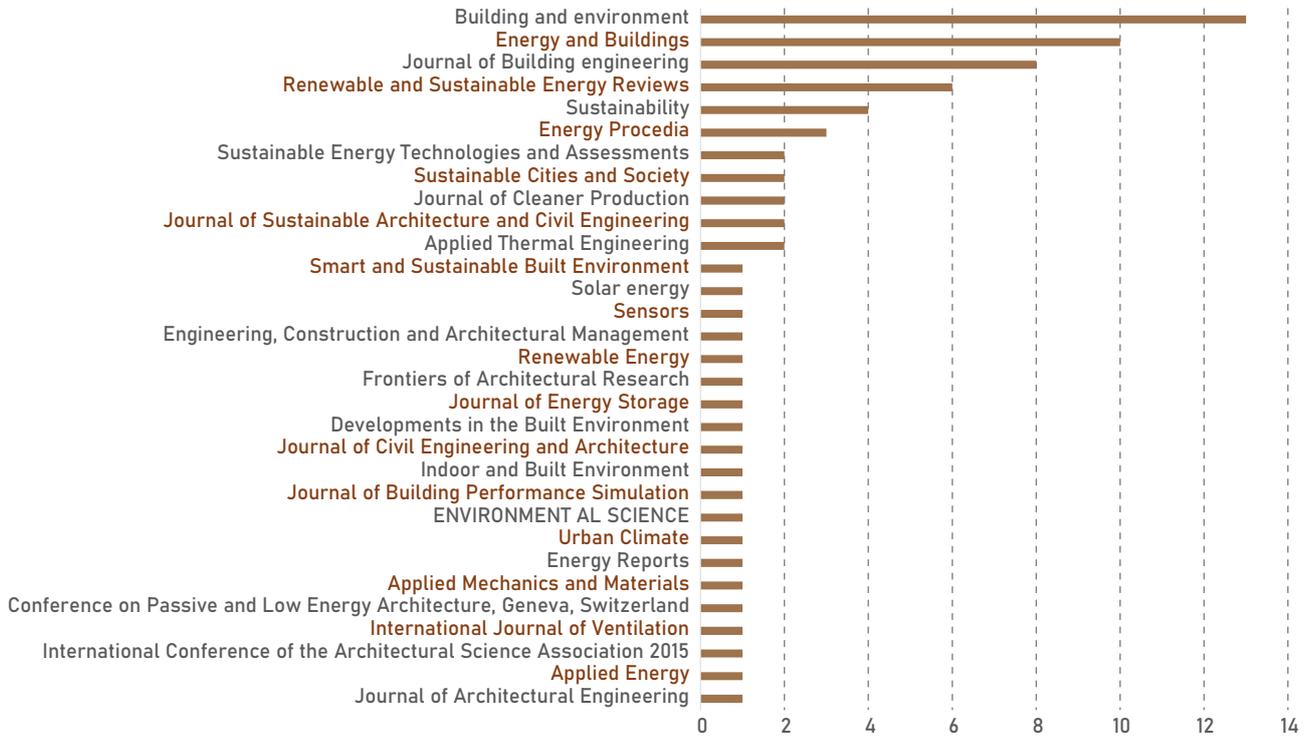
يوضح الشكل (2-2) توزيع 52 مقالاً منشوراً حول الرّاحة الحراريّة بين عامي 2003-2023. إن اتجاهات البحث المتعلقة بالرّاحة الحراريّة ذو نزعة تصاعديّة، وقد تزامن هذا الارتفاع في المنشورات مع قبول معيار **ASHRAE 55** لطريقة التكيّف الحراري **adaptive thermal approach** في عام 2004. يمكن الاستنتاج أن هذا المجال يحظى بأهمية كبيرة بين العلماء في المجال العلمي.



شكل(2-2): عدد الدراسات خلال الأعوام من 2003-2024

2-2-2 - أكثر مصادر النشر نشرًا : PUBLICATION SOURCE :

ما هي المجلات الأكثر صلة بأبحاث الرّاحة الحراريّة؟ في تحليل المحتوى الذي تم إجراؤه لأكثر المجلات نشرًا في هذا المجال، تم اختيار "إجمالي المنشورات" **Total Publication**، كمعيار للتحليل كما هو موضح في الشكل (2-3).



شكل (2-3): المجلات الأكثر نشرًا في مجال الراحة الحرارية

3-2-2 - أكثر المؤلفين استشهاداً *Most Cited Author*

تم التحقيق في أكثر المؤلفين اقتباساً في مجال الراحة الحرارية. في تحليل المحتوى الذي أُجري حول المؤلفين الأكثر اقتباساً في هذا المجال، تم اختيار معايير التحليل "المؤلف"، "إجمالي الاقتباسات" *Total Citations*. كما هو موضح في الجدول (2-2).

الدولة	إجمالي الاستشهادات	اسم الباحث	ترتيب
Malaysia	439	Mirrahimi, Seyedehzahra	1
Iraq	397	Qudama Al-Yasiri	2
Hungary	345	Marta Szabo	3
Australia	317	Veronica Garcia-Hansen	4
Malaysia	296	Payam Nejat	5

جدول (2-2) : أفضل 5 باحثين اقتباساً

4-2-2 - أكثر المؤلفين إنتاجية *Most Productive Author*

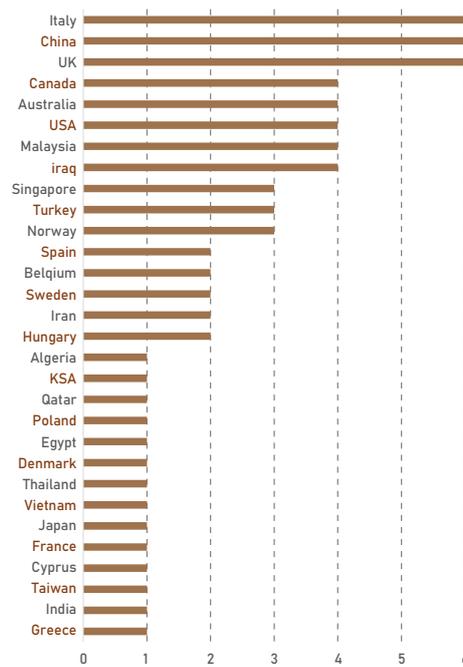
تم التحقيق في أكثر المؤلفين إنتاجاً في مجال الراحة الحرارية. في تحليل المحتوى الذي أُجري حول المؤلفين الأكثر إنتاجية في هذا المجال، تم اختيار معايير التحليل "المؤلف"، "إجمالي المنشورات" *Total Publications*. كما هو موضح في الجدول (2-3).

الدولة	عدد المقالات المنشورة	اسم الباحث	الترتيب
Iraq	4	Qudama Al-Yasiri	1
Australia	3	Veronica Garcia-Hansen	2
Hungary	2	Marta Szabo	4
Malaysia	2	Payam Nejat	4
Australia	2	Sara Omrani	4

جدول (3-2) : أفضل 5 باحثين نشرًا للأبحاث

5-2-2 - أكثر الدول نشرًا *Most productive Countries*

تم التحقيق في أكثر الدول إنتاجاً في مجال الراحة الحرارية. تم اختيار معايير التحليل "الدولة"، "إجمالي المنشورات" *Total Publications*، كما هو موضح في الشكل (4-2) و الجدول (4-2).



شكل (4-2): الدول الأكثر نشرًا في مجال الراحة الحرارية

عدد المقالات المنشورة	اسم الدولة	الترتيب
6	Italy	2
6	China	2
6	United Kingdom	2

جدول (4-2): أهم 5 دول نشرًا

عدد المقالات المنشورة	اسم الدولة	ترتيب
4	Canada	6
4	Australia	6

جدول(4-2): أهم 5 دول نشرأ

6-2-2 - المقالات الأكثر استشهاداً *Most Cited Articles*

تم التحقيق في أكثر المقالات استشهاداً في مجال الراحة الحرارية. تم اختيار معايير التحليل "إجمالي الاستشهادات" *Total Citations* ، كما هو موضح في الجدول (2-5).

تاريخ النشر	إجمالي الاستشهادات	عنوان المقالة العلمية	ترتيب
2016	439	The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate	1
2021	323	Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis	2
2009	241	An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates	3
2017	238	A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment	4
2008	219	Natural cross-ventilation in buildings: Building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation	5

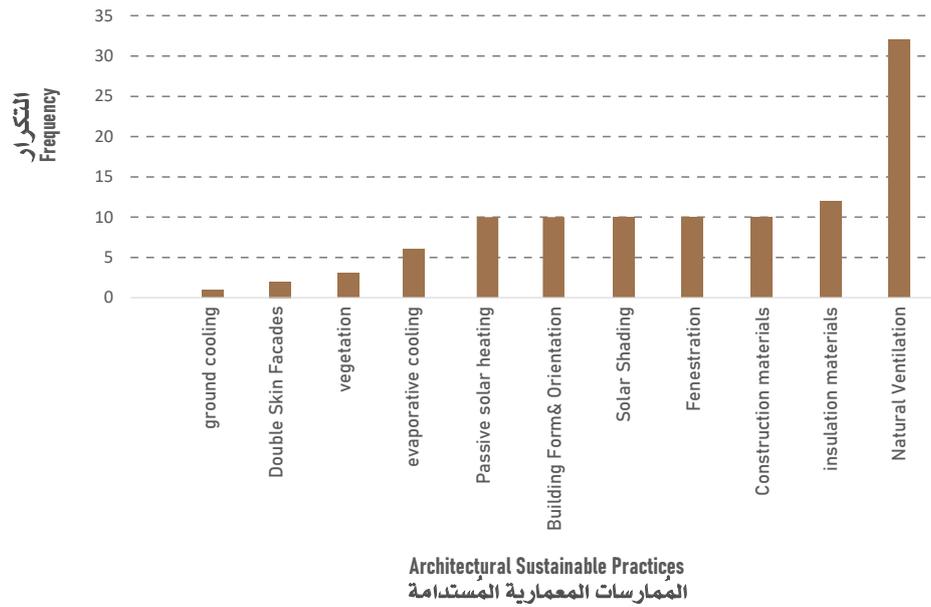
جدول(5-2): أكثر 5 مقالات استشهاداً

7-2-2 - تكرار الممارسات المعمارية المُستدامة ضمن الدراسات السابقة:

تم التحقيق في أكثر الممارسات تكراراً ضمن الدراسات السابقة في مجال الراحة الحرارية. يُمثل الجدول (2-6) والشكل (2-6) عدد مرات تكرار الممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية.

الرتبة	عدد مرات تكرارها ضمن الدراسات السابقة	الممارسات	تسلسل
1	32	Natural Ventilation	1
2	12	Thermal Insulation	2
5	10	Construction materials	3
5	10	Fenestration	4
5	10	Solar Shading	5
5	10	Building Form & Orientation	6
5	10	Passive Solar Heating	7
8	6	Evaporative Cooling	8
9	3	Vegetation	9
10	2	Double Skin Facades	10
11	1	Ground Cooling	11

جدول (2-6): تكرار الممارسات المعمارية المُستدامة ضمن الدراسات السابقة



شكل(6-2): مخطط بياني لتكرار الممارسات المعمارية المستدامة ضمن الدراسات السابقة

3-2 - التحليل النوعي للدراسات السابقة *Qualitative Analysis* :

قام الباحث في هذا القسم بدراسة تحليلية نوعية لأهم 5 أبحاث حسب معيار "الأكثر استشهاداً". وتم قراءة الأبحاث و تحليلها من خلال الفكرة الرئيسية، الهدف من البحث، المتغيرات الرئيسية، النتائج التي توصل إليها البحث، التوصيات التي يقترحها البحث. وتم ترتيبها ترتيباً تنازلياً من الأكثر استشهاداً إلى الأقل.

1-3-2 - الدراسة الأولى:

The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate	عنوان البحث
Mirrahimi, Seyedehzahra	المؤلف
2016	تاريخ النشر
دولة ماليزيا	الموقع الجغرافي للحالة الدراسية
المناخ المداري الحار	نوع المناخ للحالة الدراسية
مبنى مرتفع	نوع المبنى
غلاف المبنى	المتغير المستقل
الراحة الحرارية - استهلاك الطاقة	المتغير التابع (المشكلة)

جدول(7-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الأولى

أهداف البحث

- تتمثل الأهداف الرئيسية لهذا البحث فيما يلي:
1. دراسة تأثير غلاف المبنى على استهلاك الطاقة والأداء الحراري للمباني العالية في المناخ الاستوائي الماليزي.
 2. مراجعة نتائج الدراسات السابقة لتحديد المعايير المناسبة لغلاف المبنى في المباني السكنية العالية.
 3. تحليل معايير تصميم المبنى من خلال مجموعة من العوامل مثل:
 - الظروف المناخية
 - شكل المبنى وأبعاده
 - الجدران الخارجية والأسقف
 - مساحة النوافذ الزجاجية
 - التهوية الطبيعية
 - الراحة الحرارية للسكان
 - أجهزة التظليل الخارجية
 4. دراسة نطاق الراحة الحرارية للمباني السكنية في ماليزيا.
 5. تقديم توصيات للمصممين لمساعدتهم في وضع خطط تصميم المباني العالية في المناخ الحار والرطب.
 6. استكشاف استراتيجيات كفاءة الطاقة وتصميم الغلاف السلبي لتقليل استهلاك الطاقة في المباني العالية.
- الهدف العام هو تحسين كفاءة الطاقة والراحة الحرارية في المباني العالية في المناخ الاستوائي من خلال التصميم الأمثل لغلاف المبنى.

النتائج الرئيسية من البحث

- الجدران الخارجية:
- استخدام الجدران ذات السعة الحرارية العالية يقلل من انتقال الحرارة إلى داخل المبنى.
 - الجدران المصنوعة من الطوب الأحمر والخرسانة أظهرت أداءً حراريًا أفضل مقارنة بالمواد الأخرى.
- النوافذ والزجاج:
- زيادة نسبة مساحة النوافذ إلى الجدران (WWR) يؤدي إلى زيادة اكتساب الحرارة وارتفاع درجة الحرارة الداخلية.
 - استخدام الزجاج منخفض الانبعاثية يساهم في تقليل اكتساب الحرارة الشمسية.

جدول(2-7): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الأولى

<p>جهاز التظليل:</p> <ul style="list-style-type: none"> • استخدام أجهزة التظليل الخارجية يُقلل بشكل كبير من اكتساب الحرارة الشمسية. • الكاسرات الشمسية الأفقية والعمودية فعالة في تحسين الأداء الحراري للمبنى. <p>تأثير شكل المبنى وتوجيهه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • الشكل المستطيل للمبنى مع توجيهه الواجهة الطويلة نحو الشمال والجنوب يوفر أداءً حراريًا أفضل. • التوجيه الأمثل للمبنى يساعد في تقليل اكتساب الحرارة الشمسية وتحسين التهوية الطبيعية. <p>استراتيجيات التهوية الطبيعية:</p> <ul style="list-style-type: none"> • التهوية الطبيعية تلعب دوراً هاماً في تحسين الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة. • تصميم الفتحات بشكل مناسب يساعد في تعزيز حركة الهواء داخل المبنى. <p>نطاق الراحة الحرارية:</p> <p>تم تحديد نطاق الراحة الحرارية للمباني السكنية في ماليزيا بين 23.9 درجة مئوية و 29.2 درجة مئوية.</p> <p>الرطوبة النسبية المثلى تتراوح بين 40% و 70%.</p>	<p>النتائج الرئيسية من البحث</p>
<p>تطبيق استراتيجيات التصميم المُنفعل:</p> <ul style="list-style-type: none"> • دمج تقنيات التصميم المُنفعل في غلاف المبنى لتقليل الاعتماد على أنظمة التبريد الميكانيكية. <p>تقييم الأداء الحراري:</p> <ul style="list-style-type: none"> • إجراء محاكاة حرارية للمبنى في مرحلة التصميم لتحسين الأداء الحراري وكفاءة الطاقة. • استخدام مواد البناء ذات العزل الحراري الجيد 	<p>التوصيات</p>

جدول(7-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الأولى

2-3-2 - الدراسة الثانية

<p>Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis</p>	<p>عنوان البحث</p>
<p>Al-Yasiri, Qudama</p>	<p>المؤلف</p>

جدول(8-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثانية

2021	تاريخ النشر
مناطق جغرافية مختلفة	الموقع الجغرافي للحالة الدراسية
متنوع	نوع المناخ للحالة الدراسية
المباني السكنية	نوع المبنى
مواد العزل متغيرة الطور - غلاف المبنى	المتغير المستقل
الراحة الحرارية - توفير الطاقة	المتغير التابع (المشكلة)
<ul style="list-style-type: none"> تحسين الأداء الحراري: تهدف الدراسة إلى استكشاف كيفية دمج المواد متغيرة الطور (PCMs) في غلاف المباني لتحسين الأداء الحراري وتقليل الأحمال الحرارية المطلوبة للتدفئة والتبريد. توفير الطاقة: تسعى الدراسة إلى تقييم تأثير دمج PCMs على تقليل استهلاك الطاقة في المباني، مما يساهم في تحقيق كفاءة طاقة أعلى. تحقيق الراحة الحرارية: تهدف الدراسة إلى تحسين مستوى الراحة الحرارية للسكان من خلال التحكم في درجات الحرارة الداخلية للمباني. تحديد التقنيات المناسبة: تستعرض الدراسة التقنيات والأساليب الحديثة لدمج PCMs في مواد البناء، وتحديد الخصائص المطلوبة لاختيار الأنواع المناسبة من هذه المواد. 	أهداف البحث
<ul style="list-style-type: none"> تحسين الأداء الحراري: أظهرت الدراسة أن دمج المواد متغيرة الطور PCMs في غلاف المباني يمكن أن يحسن الأداء الحراري بشكل كبير، مما يؤدي إلى تقليل الأحمال الحرارية المطلوبة للتدفئة والتبريد. توفير الطاقة: تم تحقيق توفير ملحوظ في استهلاك الطاقة، حيث أظهرت النتائج أن استخدام PCMs يمكن أن يقلل من استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 20%، مما يساهم في تحقيق كفاءة طاقة أعلى في المباني. تحسين الراحة الحرارية: أظهرت الدراسة أن دمج PCMs يساهم في تحسين مستوى الراحة الحرارية للسكان، حيث يساعد في الحفاظ على درجات حرارة داخلية مريحة على مدار اليوم. 	النتائج الرئيسية من البحث
<ul style="list-style-type: none"> تأثيرات الموقع: تم تحديد أن فعالية PCMs تختلف بناءً على الموقع الجغرافي وظروف المناخ، مما يشير إلى أهمية اختيار الأنواع المناسبة منها وفقاً لخصائص المناخ المحلي. 	النتائج الرئيسية من البحث

جدول(8-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثانية

التوصيات

- تطوير تقنيات دمج **PCMs**: يُوصى بتطوير وتحسين تقنيات دمج المواد ذات تغير الطور في غلاف المباني لتحقيق الأداء الأمثل، مع التركيز على التطبيقات في الجدران والأسطح.
- إجراء دراسات إضافية: يُنصح بإجراء مزيد من الأبحاث لاستكشاف أنواع جديدة من **PCMs** وتطبيقاتها المحتملة، بما في ذلك تأثيرها في ظروف مناخية متنوعة.
- تقييم الأداء على المدى الطويل: يُوصى بتقييم الأداء الحراري للمواد ذات تغير الطور على المدى الطويل، بما في ذلك استقرارها وكفاءتها خلال دورات الانصهار والتصلب.
- التعاون بين التخصصات: تعزيز التعاون بين المهندسين المعماريين والمهندسين الميكانيكيين والباحثين لتطوير حلول مُبتكرة تدمج **PCMs** بشكل فعال في تصميم المباني.
- توعية الصناعة: يُنصح بزيادة الوعي حول فوائد **PCMs** في تحسين كفاءة الطاقة والرّاحة الحراريّة، مما يشجع على اعتماد هذه التكنولوجيا في مشاريع البناء الجديدة.

جدول(2-8): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثانية

3-3-2 - الدراسة الثالثة:

An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates	عنوان البحث
Haase, Matthias	المؤلف
2009	تاريخ النشر
مناطق و دول مُختلفة في آسيا ذات المناخ المعتدل و الرطب	الموقع الجغرافي للحالة الدراسية
مناخ معتدل و رطب	نوع المناخ للحالة الدراسية
المباني السكنيّة و المباني التجاريّة	نوع المبنى
توجيه المباني	المتغير المستقل
الرّاحة الحراريّة	المتغير التابع (المشكلة)

جدول(2-9): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثالثة

<p>الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحليل تأثير الظروف المناخية على الراحة الحرارية في المباني، مع التركيز على كيفية تأثير توجيه المباني والتهوية الطبيعية في تحقيق راحة حرارية أفضل في المناخات المعتدلة والرطوبة.</p> <p>الأهداف المحددة تشمل:</p> <ul style="list-style-type: none"> • دراسة تأثير الموقع المناخي على الراحة الحرارية. • تقييم الإمكانيات لتحسين الراحة الحرارية من خلال استراتيجيات تصميم المباني الموفرة للطاقة. • تحليل فعالية التهوية الطبيعية كاستراتيجية تبريد سلبية في هذه المناخات. 	<h2>أهداف البحث</h2>
<p>Energyplus - TRNSYS</p>	<h2>البرمجيات المستخدمة</h2>
<ul style="list-style-type: none"> • تحسين الراحة الحرارية: أظهرت الدراسة أن استخدام التهوية الطبيعية يمكن أن يُحسن مستوى الراحة الحرارية بشكل ملحوظ، حيث تراوحت التحسينات بين 9% و41% في المناخات الاستوائية مثل كوالالمبور، بينما كانت التحسينات في المناخات شبه الاستوائية تتراوح بين 3% و14%، وفي المناخات المعتدلة بين 8% و56% • تأثير التوجيه: تم تحديد أن توجيه المباني له تأثير كبير على كمية الإشعاع الشمسي الذي تتعرض له، مما يؤثر بدوره على استهلاك الطاقة اللازمة للتبريد والتدفئة. التوجيه الأمثل للمباني يمكن أن يساعد في تقليل الحمل الحراري الزائد. • التحديات في المناخات شبه الاستوائية: أظهرت النتائج أن تطبيق التهوية الطبيعية يكون أكثر صعوبة في المناخات شبه الاستوائية، مثل هونغ كونغ، حيث كانت هناك تحسينات ضئيلة في الراحة الحرارية خلال فترات الصيف الحارة. • تصميم مباني مستجيبة للمناخ: أكدت النتائج على أهمية تصميم واجهات المباني بطريقة تأخذ بعين الاعتبار الظروف المناخية المحلية لتحقيق أقصى قدر من الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة. 	<h2>النتائج الرئيسية من البحث</h2>
<ul style="list-style-type: none"> • تعزيز استخدام التهوية الطبيعية: يُنصح بتطبيق استراتيجيات التهوية الطبيعية كوسيلة فعالة لتحسين الراحة الحرارية وتقليل الاعتماد على أنظمة التكييف، خاصة في المناخات الاستوائية. 	<h2>التوصيات</h2>

جدول(9-2): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثالثة

التوصيات

- تحسين تصميم الواجهات: ينبغي التركيز على تطوير واجهات مبنية بمواد ذات خصائص عازلة جيدة، مع استخدام تقنيات مثل أنظمة الواجهات المزدوجة لتقليل الحمل الحراري.
- تقييم مستمر للأداء الحراري: يُوصى بإجراء تقييمات دورية للأداء الحراري للمباني بعد تنفيذ التصميمات الجديدة، لضمان تحقيق الأهداف المرجوة من الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة.
- توعية الممارسين والمهندسين: ضرورة تعزيز الوعي والمعرفة بين الممارسين والمهندسين حول أهمية التصميم المُستدام وتأثيره على الراحة الحرارية واستهلاك الطاقة.

جدول(2-9): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الثالثة

4-3-2 - الدراسة الرابعة :

A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment	عنوان البحث
Fatemeh Jomehzadeh	المؤلف
2017	تاريخ النشر
مناطق جُغرافيّة مُختلفة	الموقع الجغرافي للحالة الدراسية
المناخات المُختلفة مثل الحارّة و الباردة و المعتدلة	نوع المناخ للحالة الدراسية
المباني السكنيّة و المكتبيّة و التعليميّة	نوع المبنى
ملاقف الرياح	المتغير المستقل
الرّاحة الحراريّة - جودة الهواء الداخلي	المتغير التابع (المشكلة)
<ul style="list-style-type: none"> • نظرة عامة شاملة: يسعى البحث إلى تلخيص ومقارنة الدراسات السابقة حول ملاقف الرياح، مع التركيز على فعاليتها في تعزيز جودة الهواء الداخلي والرّاحة الحراريّة داخل البيئات الداخلية. يتضمن ذلك تقييم تصميمات مصدات الرياح التقليدية والحديثة • استكشاف التطبيقات: استكشاف التطبيقات المُحتملة لملاقف الرياح في مختلف المناخات وأنواع المباني، وتقييم أدائها في كل من البيئات الحارة والباردة. 	أهداف البحث

جدول(2-10): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الرابعة

<ul style="list-style-type: none"> • فعالية جودة الهواء الداخلي : تشير الدراسات التي تمت مراجعتها إلى أن ملاقف الرياح تُحقق عموماً جودة هواء داخلية مرضية. عادةً لا يتجاوز التركيز الداخلي لثاني أكسيد الكربون في الأماكن التي يتم تهويتها بواسطة ملاقف الرياح المستويات المقبولة، خاصةً عند دمجها مع طرق تهوية أخرى مثل الفتحات الخارجية • الراحة الحرارية في المناخات الحارة: يُسلط البحث الضوء على أن دراسات الراحة الحرارية لملاقف الرياح أجريت في الغالب في المناخات الحارة، مثل الشرق الأوسط. تشير النتائج المُستخلصة من تقييمات ما بعد الإشغال (POE) إلى أن أنظمة ملاقف الرياح يمكن أن توفر مستويات راحة حرارية مقبولة للشاغلين في هذه المناطق 	<p style="text-align: center;">النتائج الرئيسية من البحث</p>
<ul style="list-style-type: none"> • تكامل طرق التبريد: يستكشف البحث طرق التبريد المختلفة المُدمجة مع ملاقف الرياح، مثل التبريد التبخيري، والمبادلات الحرارية من الأرض إلى الهواء (EAHE)، وأجهزة نقل الحرارة (HTD). تم العثور على هذه الطرق لتحسين الأداء الحراري لملاقف الرياح، خاصةً في المناخات الحارة حيث يكون التبريد الإضافي ضرورياً. 	<p style="text-align: center;">النتائج الرئيسية من البحث</p>
<ul style="list-style-type: none"> • تقييم ما بعد الإشغال (POE): هناك حاجة لمزيد من الدراسات التي تجمع التعليقات من شاغلي المبنى فيما يتعلق بتجاربهم ورضاهم عن ملاقف الرياح. • دراسات الراحة الحرارية في المناخات الباردة: ضرورة إجراء مزيد من التحقيقات حول الراحة الحرارية التي تُوفّرها ملاقف الرياح في المناخات الباردة، مثل المملكة المتحدة. هذا من شأنه أن يساعد على توسيع نطاق قابلية تطبيق ملاقف الرياح خارج المناخات الحارة. • تحليل التكلفة وتقييم دورة الحياة: يُوصى بإجراء تحليلات التكلفة، بما في ذلك تقييمات دورة الحياة، لتقييم الجدوى الاقتصادية لملاقف الرياح مقارنةً بأنظمة التبريد التقليدية. وهذا من شأنه أن يوفر رؤية قيمة لأصحاب المصلحة الذين يفكرون في تنفيذها. • التصميم الأيروديناميكي والتحليل الإنشائي: يجب أن تركز الدراسات الإضافية على التصاميم الديناميكية الهوائية لملاقف الرياح وسلامتها الهيكلية، فضلاً عن الجوانب الاجتماعية والجمالية لتطبيقها في تصميمات المباني. 	<p style="text-align: center;">التوصيات</p>

جدول(2-10): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الرابعة

Natural cross-ventilation in buildings: Building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation	عنوان البحث
Stavrakakis, George M	المؤلف
2008	تاريخ النشر
منطقة ريفية في دولة اليونان	الموقع الجغرافي للحالة الدراسية
المناخ الحار - فصل الصيف	نوع المناخ للحالة الدراسية
المباني السكنية و الخدمية	نوع المبنى
التهوية الطبيعية عن طريق الفتحات المتقابلة	المتغير المستقل
الراحة الحرارية - جودة البيئة الداخلية	المتغير التابع (المشكلة)
<ul style="list-style-type: none"> الهدف الرئيسي من هذا البحث هو التحقيق في إمكانية استخدام نمذجة تدفق الهواء باستخدام نماذج الأعداد المتوسطة (RANS) في تحقيق التهوية الطبيعية المتقاطعة في غرفة تجريبية تحتوي على فتحات غير متناظرة. يُركّز البحث على التحليل العددي لتدفق الهواء الداخلي باستخدام تقنيات الديناميكا الهوائية الحاسوبية (CFD) والتحقق من التنبؤات العددية مع النتائج التجريبية. يتم أخذ قوى الرياح والطفو بعين الاعتبار للحصول على نتائج لتوزيعات السرعة ودرجات الحرارة، بهدف تحسين الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة. 	أهداف البحث
<ul style="list-style-type: none"> تطوير طريقة تجريبية لتحديد نمط تدفق الهواء والبيئة الحرارية الداخلية في حالة التهوية الطبيعية. تم فحص إعدادين تجريبيين خلال ساعات الظهيرة وبعد الظهر في ظروف الصيف الحارة والرياح المعتدلة. أظهرت النمذجة الرياضية باستخدام نماذج RANS عالية الدقة، أنّ التنبؤات العددية كانت متوافقة بشكل عام مع القياسات التجريبية، مما يشير إلى موثوقية النماذج المستخدمة. التهوية الطبيعية يُمكن أن توفر ظروفاً جيدة من خلال مزج الهواء، مما يؤدي إلى تقليل الفروق في درجات الحرارة في المنطقة المشغولة وتقليل الغبار المحلي بسبب عدم توازن الهواء. 	النتائج الرئيسية من البحث

جدول(2-11): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الخامسة

التوصيات

- تحسين تصميم تدفق الهواء: تقترح الدراسة أنه يجب تحسين تصميم الفتحات لتعزيز تدفق الهواء وتقليل الاختلافات في درجات الحرارة في المناطق المشغولة. يمكن أن تؤدي المواقع غير المتماثلة للفتحات إلى خلط الهواء بشكل أفضل، وهو أمر بالغ الأهمية للحفاظ على الراحة الحرارية
- مراقبة وتعديل الظروف الداخلية: يُوصى بمراقبة الظروف الحرارية الداخلية باستمرار، خاصة خلال فترات درجات الحرارة الخارجية المرتفعة. تشير النتائج إلى أنه حتى مع الأبواب المفتوحة، يمكن أن يكون الحمل الحراري كبيراً، مما يؤدي إلى ظروف داخلية غير مقبولة. لذلك، قد تكون التعديلات ضرورية للحفاظ على الراحة.
- استخدام المحاكاة العددية: يؤكد البحث على موثوقية المحاكاة العددية في التنبؤ بالبيئات الحرارية الداخلية. يُمكن استخدام عمليات المحاكاة هذه بفعالية مع موارد حسابية متواضعة، مما يسمح بتخطيط وتصميم أفضل لأنظمة التهوية الطبيعية.
- التركيز على مقاييس الراحة الحرارية: تسلط الدراسة الضوء على أهمية استخدام مقاييس الراحة الحرارية مثل متوسط التصويت المتوقع (PMV) والنسبة المئوية للأشخاص غير الراضين (PPD). يجب أن توجه هذه المقاييس تصميم وتقييم استراتيجيات التهوية للتأكد من أن البيئات الداخلية تلبي مستويات الراحة المقبولة.

جدول(2-11): تحليل العناصر الخاصة بالورقة البحثية الخامسة

4-2 - العلاقة و أوجه التشابه بين الدراسات السابقة مع بعضها البعض

■ أوجه التشابه بين الدراسات:

- الموضوع الرئيسي: جميع الدراسات تُركّز على تحسين الرّاحة الحراريّة وتوفير الطّاقة في المباني.
- المتغير التابع: مُعظم الدراسات تتناول الرّاحة الحراريّة واستهلاك الطاقة كمتغيرات تابعة رئيسية.
- المنهجية: تستخدم الدراسات مزيجاً من المراجعات النظرية والتحليلات التجريبية.
- الهدف العام: تهدف جميع الدراسات إلى تحسين كفاءة الطاقة وتعزيز الراحة الحرارية في المباني.

■ أوجه الاختلاف بين الدراسات:

1. التركيز الخاص:

- الدراسة الأولى: تركّز على تأثير غلاف المبنى في المباني العالية.
- الدراسة الثانية: تتناول دمج المواد متغيرة الطور في غلاف المبنى.
- الدراسة الثالثة: تبحث في التهوية الطبيعية وتوجيه المباني.
- الدراسة الرابعة: تركّز على تقنية ملاقف الهواء.

- الدراسة الخامسة: تناول التهوية الطبيعية للفتحات المتقابلة.

2. المناخ:

- الدراسة الأولى: تركز على المناخ الاستوائي الحار والرطب.
- الدراسات الأخرى: قد تتناول مناخات مختلفة أو متنوعة.

3. المتغير المستقل:

- الدراسة الأولى: تركز على غلاف المبنى.
- الدراسة الثانية: تتناول المواد متغيرة الطور.
- الدراسات الأخرى: تركز على عناصر مختلفة مثل التهوية الطبيعية وتوجيه المباني.

هذه الاختلافات تعكس تنوع الأساليب والتقنيات المستخدمة لتحسين الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة في المباني، مع التركيز على جوانب مختلفة من تصميم المباني وأدائها.

2-5 - أوجه التشابه بين البحث الحالي و الدراسات السابقة

1. الموضوع الرئيسي:

البحث الحالي يُركّز على تصنيف العوامل المعمارية المؤثرة على الراحة الحرارية، وهذا يتوافق مع الموضوع الرئيسي للدراسات الخمس التي تتناول تحسين الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة في المباني.

2. التركيز على العوامل المعمارية:

يهتم البحث الحالي بالعوامل المعمارية المُستدامة، وهذا يتماشى مع تركيز الدراسات السابقة على عناصر مثل غلاف المبنى، التهوية الطبيعية، وتوجيه المباني.

3. الهدف العام:

الهدف من البحث الحالي هو تحسين الراحة الحرارية من خلال إيجاد تصنيف للعوامل المعمارية المُستدامة، وهو يتوافق مع الهدف العام للدراسات السابقة في تعزيز الراحة الحرارية وتوفير الطاقة في المباني.

4. المنهجية التحليلية:

يعتمد البحث الحالي على تصنيف الممارسات المعمارية المُستدامة حسب معيار الراحة الحرارية، وهذا يشبه المنهج التحليلي المُستخدم في الدراسات السابقة لتقييم فعالية مختلف الاستراتيجيات المعمارية.

5. الاهتمام بكفاءة الطاقة:

رغم أنّ البحث الحالي يُركّز على الراحة الحرارية، إلا أن اهتمامه بالعوامل المعمارية المُستدامة يشير ضمناً إلى الاهتمام بكفاءة الطاقة، وهو موضوع رئيسي في الدراسات السابقة.

2-6 - أوجه الاختلاف بين البحث الحالي و الدراسات السابقة

1. نطاق البحث:

البحث الحالي يُركّز على تصنيف شامل للممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية. بينما الدراسات

السابقة تُركّز على جوانب مُحدّدة مثل غلاف المبنى أو التهوية الطبيعية.

2. المنهجية:

البحث الحالي يعتمد على تصنيف الممارسات وفقاً لمعيار الرّاحة الحراريّة و القيام بنمذجة و تحليل الأداء الحراري. بينما الدراسات السابقة تستخدم منهجيات مختلفة مثل التجارب الميدانية.

3. الهدف الرئيسي:

هدف البحث الحالي الأساسي هو تقديم تصنيف شامل للممارسات المعمارية المُستدامة المُؤثّرة على الرّاحة الحراريّة. بينما الدراسات السابقة تهدف إلى تقييم فعالية استراتيجيات مُحدّدة أو تحليل أداء عناصر معماريّة مُعيّنة.

4. المتغيرات المدروسة:

البحث الحالي يشمل مجموعة واسعة من الممارسات المعمارية المُستدامة. بينما كُل دراسة من الدراسات السابقة تُركّز على مُتغيرات مُحدّدة مثل المواد مُتغيّرة الطور أو التهوية عن طريق الفتحات المُتقابلة.

5. التطبيق العملي:

البحث الحالي يهدف إلى تقديم إطار تصنيفي يُمكن استخدامه في مراحل التصميم المُختلفة عن طريق الاستبيان الخاص بالبحث لتصنيف تلك الممارسات المعماريّة المُستدامة. بينما الدراسات السابقة تقدّم توصيات مُحدّدة لتطبيقات مُعيّنة.

6. الشمولية:

البحث الحالي يسعى لتقديم نظرة شاملة لجميع الممارسات المعمارية المُؤثّرة على الرّاحة الحراريّة. بينما الدراسات السابقة تتعمق في جوانب مُحدّدة من التصميم المعماري المُستدام.

7. النتائج المتوقعة:

نتائج البحث الحالي ستكون في شكل تصنيف أو دليل للممارسات المعمارية المُستدامة . بينما نتائج الدراسات السابقة تقدّم بيانات كميّة عن أداء استراتيجيات مُعيّنة.

7-2 - لمحة تاريخية عن الراحة الحرارية *Historical background* :

حوالي 400 قبل الميلاد كان لسقراط بعض الأفكار حول الملاءمة المناخية للمنازل، حول كيفية البناء لضمان الراحة الحرارية. كتب فيثوفوس (القرن الأول قبل الميلاد) أيضًا عن الحاجة إلى مراعاة المناخ في تصميم المباني، لأسباب تتعلق بالصحة والراحة. ومع ذلك، كان لهذا تأثير ضئيل جدًا على ممارسة الهندسة المعمارية.

لم تكن الراحة الحرارية حتى الثورة الصناعية قضية عملية، حيث لم يكن هناك سوى عدد قليل جدًا من الأدوات المتاحة لنا للتأثير عليها. عندما كان الجو باردًا، أشعلت النار لتحسين الظروف. عندما كان الجو حارًا، كان استخدام المراوح المحمولة باليد هو الراحة الوحيدة، أو ربما المراوح الأكبر التي يديرها الخدم المطيعون. تم استخدام سعة التخزين الحرارية للكهوف في بعض الأحيان للتبريد، أو - في بعض الثقافات - تم استخدام الأنفاق التي من صنع الإنسان وأبراج التهوية لأغراض مماثلة. كانت إمكانات الضوابط المتاحة هي العامل المقيد، ولم يكن هناك خطر من ارتفاع درجة الحرارة في الشتاء أو ارتفاع درجة الحرارة في الصيف.

تحسنت تقنية التدفئة من أواخر القرن الثامن عشر فصاعدًا وأصبح التبريد الميكانيكي ممكنًا في أوائل القرن العشرين. على الرغم من أن **Heberden** (أوائل القرن التاسع عشر) أدرك أن درجة حرارة الهواء ليست السبب الوحيد للإحساس الحراري، وأن الرطوبة هي عامل مساهم، إلا أن أول دراسة جادة حول الراحة (خاصة تأثير درجات الحرارة المرتفعة) أجراها **Haldane** في إنجلترا (1905). جاء الدافع لأبحاث الراحة من المهندسين: أصبح من الممكن الآن تسخين المباني أو تبريدها بشكل مُفرد، لذلك كان من الضروري تحديد درجات حرارة التصميم.

في أوائل عشرينيات القرن العشرين، حاول **Yagloglou** و **Houghten** (1923) في مختبرات الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتهوية تحديد "منطقة الراحة". أجرى **Vernon** و **Warner** (1932) و **Bedford** لاحقًا (1936) دراسات تجريبية بين عمال المصانع. بدأ العمل التحليلي في الولايات المتحدة في منتصف الثلاثينيات، حيث قدم **Winslow** و **Herrington** و **Gagge** (1937) مساهمة كبيرة.

خلال الحرب العالمية الثانية وبعدها، زاد النشاط البحثي وأصبحت العديد من التخصصات تشارك إلى جانب الهندسة، من علم وظائف الأعضاء والطب إلى الجغرافيا وعلم المناخ. في الهندسة المعمارية، كان **Victor Olgyay** (1963) أول من جمع نتائج مختلف التخصصات وتفسيرها لأغراض عملية (معمارية).

قبل ذلك كان هناك نهجان متطرفان للتصميم:

تُعتبر الهندسة المعمارية كعوامل حرارية (في أحسن الأحوال) من الناحية النوعية فقط.

استند التصميم الهندسي للمنشآت الميكانيكية إلى "درجات حرارة التصميم"، لتحديد قدرة المصنع المطلوبة لـ "أسوأ الظروف" - يمكن بعد ذلك تشغيل المصنع على حمل جزئي، وإن كان ذلك بكفاءة طاقة منخفضة للغاية.

8-2 - عناصر المناخ *Climate Parameters*

عناصر المناخ تتفاعل فيما بينها ليكون نتاجها المناخ السائد في المنطقة، ولها تأثير بشكل مباشر على العملية التصميمية للمباني عن طريق الغلاف الخارجي لها. فعند تصميم المباني يجب على المهندس المعماري دراسة العناصر المناخية المختلفة جيدًا وتحليلها واستخلاص أهم المحددات الرئيسية لوضع الحلول التصميمية والمناخية المناسبة لتحقيق الراحة الحرارية للمستخدمين المبنى، ويمكن حصر عناصر المناخ كما يلي:

2-8-1 - الإشعاع الشمسي Solar Radiation

عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تنبثها الشمس إلى سطح الأرض، وإن كمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى الأرض تُقدر بحوالي 50% من كمية الإشعاع الشمسي الكلي المنبعث منها. وتُعتبر الشمس من أهم مقومات الحياة، فهي ذات تأثير مباشر وقوي على الإنسان وعلى نشاطاته وحياته اليومية، ويحتاج الإنسان إلى قدر مُعيّن من الأشعة الشمسية التي يجب أن يتعرض لها جسمه وذلك كضرورة صحيّة لازمة له.

هنالك عدة عوامل تتحكم في قوة تأثير أشعة الشمس على الموقع وهي التي يتوجب دراستها قبل البدء في أي تصميم، وتتلخّص هذه العوامل في الآتي:

▪ **مُدّة سطوع الشمس** : والمقصود بها عدد الساعات الفعلية لظهور أشعة الشمس خلال النهار من الشروق وحتى الغروب، وتتأثر في أي منطقة بحالة السماء التي يُعبر عنها بكمية السحب الموجودة. وأطول مدة لسطوع الشمس تكون في المناطق الواقعة على خطي عرض 15° ، 35° شمال وجنوب خط الاستواء.

▪ **شُدّة سطوع الشمس** : أكبر شُدّة لأشعة الشمس تكون في المكان الذي تسقط فيه عمودية على سطح الأرض وهي المناطق الشبه مدارية الجافة، وليس في المناطق الاستوائية كما هو مُعتقد. أهم العوامل المؤثرة على شُدّة أشعة الشمس تتمثل في التعرض المباشر لأشعة الشمس، الطاقة المفقودة في الجو، زاوية السقوط على السطح، درجة تشتت الإشعاع.

▪ **زاوية سقوط الشمس** : وتمثّل الزوايا الأفقية والرأسيّة لسقوط أشعة الشمس التي تختلف تبعاً لحركة الشمس صيفاً وشتاءً.

2-8-2 - درجة حرارة الهواء Air Temperature

تُعتبر من أهم عناصر المناخ، إذ ترتبط بها العناصر الأخرى للمناخ من ضغط ورياح وتساقط، كما أنّها تؤثر في توزيع مظاهر الحياة النباتية والحيوانية على سطح الأرض. مصدر الحرارة الرئيسي هو الشمس، والمدى الحراري هو الفارق بين أدنى وأعلى درجة حرارة، وينقسم إلى المدى الحراري اليومي، وهو الفارق بين أدنى وأعلى درجة حرارة تُسجّل في اليوم ويختلف من فصل لآخر، و المدى الحراري السنوي، وهو الفرق بين متوسط أعلى الشهور وهناك عوامل تؤثر على درجة حرارة الهواء هي :

- حالة السماء صافية أو غائمة، فكلما كان الجو محملاً ببخار الماء والغبار كلما قلت درجة الحرارة.
- زاوية سقوط أشعة الشمس، فالأشعة العمودية تتركز حرارتها على مساحة صغيرة من الأرض بينما الأشعة المائلة تتوزع حرارتها على مساحة أكبر، وبذلك تقل درجة الحرارة.
- طول النهار، حيث يزداد الإشعاع الشمسي كلما طال النهار.
- الغطاء النباتي، يمتص أشعة الشمس ويقلل من كمية الحرارة التي تصل إلى الأرض.
- المسطحات المائية، وظيفتها تلطيف درجة الحرارة في اليابسة.
- التضاريس، تنخفض درجة الحرارة بالارتفاع عن مستوى سطح البحر، فقمم الجبال أبرد من سفوحها.
- الامتصاص والانعكاس، تتوقف هذه العملية على لون الجسم المستقبل لأشعة الشمس.

2-8-3 - الرياح Wind

تُعرّف الرّيح بأنّها تحرك الكتل الهوائية في الاتجاه الأفقي، وتؤثر خصائص الرياح وسرعتها في الكثير من ظواهر الطقس المعروفة مثل ارتفاع درجات الحرارة وانخفاضها وتكاثف بخار الماء والأمطار. العوامل المؤثرة على حركة الرياح وسرعتها هي فروق الضغط الجوي، وطبيعة وطبوغرافية الموقع (أرض منبسطة - جبال - غابات - مزروعات.. الخ). وللرياح عدة أنواع (الرياح الدائمة - الرياح الموسمية - الرياح المحلية) تنشأ في مناطق محدّدة نتيجة اختلافات محلية في الضغط الجوي خلال فترات زمنية مختلفة.

إن التجارب أثبتت أن سرعة الهواء على مستوى الشارع تعادل ثلث سرعته في المناطق المفتوحة بالنسبة للكتل العمرانية. ومن المعروف أنه عند اصطدام الرياح بحاجز عالي أو مبنى تتكون منطقة ضغط مرتفعة (+) في واجهة الرياح ومنطقة ضغط منخفض (-) خلف المبنى. كما أن شدة الرياح تزداد حول قمم المباني العالية، وهذا التيار تزداد شدته بازدياد ارتفاع المبنى المواجه للريح.

2-8-4 - الرطوبة Humidity

كمية محتوي بخار الماء الموجود بالهواء. وترتبط الرطوبة بعلاقة عكسية مع درجة الحرارة، حيث أن أي ارتفاع في درجة الحرارة يصاحبه انخفاض في الرطوبة النسبية بشرط أن يكون المحتوي المائي للهواء ثابت والعكس صحيح. وتستمر الرطوبة النسبية في الارتفاع حتى تصل نسبتها % 100 حيث تنخفض درجة الحرارة لتسجل أقل درجة وذلك عند الفجر وعندها تحدث ظاهرة الندى. والعوامل المؤثرة على الرطوبة تتمثل في:

- خط العرض وفصول السنة، تختلف الرطوبة اختلافاً كبيراً من خط عرض إلى آخر نتيجة للتغير في درجة الحرارة حيث تربطهم علاقة عكسية.
- تأثير الطبوغرافيا ونوع الرياح، تختلف الرطوبة من منطقة لأخرى باختلاف الموقع ونوع الرياح.

2-8-5 - التساقط Precipitation

لكي تتم عملية التساقط يجب أن يكون الهواء مشبعاً ببخار الماء ويرتفع الهواء إلى طبقات الجو العليا ومن ثم تنخفض درجة حرارة الهواء المحمّل ببخار الماء إلى ما دون نقطة الندى لتكوين السحب. ويتمثل التساقط في الأمطار والثلوج والبرّد. ونوع التساقط إذا كانت مطراً أو ثلجاً أو برّداً يتوقف على درجة الحرارة السائدة. وتؤثر كميات الأمطار على شكل المعالجات الخارجية لأسقف الأبنية، فنجد أن ميل الأسقف يزداد حدة كلما كانت المنطقة ذات كمية أمطار أكبر وبالعكس.

2-9 - انتقال الحرارة (Heat Transfer) :

انتقال الحرارة هو انتقال الطاقة بسبب الاختلاف في درجات الحرارة. تنتقل الطاقة من المناطق ذات درجات الحرارة الأعلى إلى المناطق ذات درجات الحرارة الأدنى (الأكثر انخفاضاً) عبر واحدة أو أكثر من ثلاثة أوضاع:

▪ التوصيل **Conduction**

▪ الإشعاع **Radiation**

▪ الحمل الحراري **Convection**

▪ التبخر **Evaporation**

2-9-1 - التوصيل Conduction

التوصيل الحراري هو الطريقة الوحيدة التي يمكن بها نقل الطاقة من خلال مادة صلبة، أي بمعنى آخر هو انتقال الحرارة بين مادتين عن طريق التلامس بينهما (بدون وجود وسيط كالهواء مثلاً)، حيث تنتقل الحرارة من المادة الأعلى حرارة إلى المادة الأقل حرارة.

كمثال على التوصيل، فلنفرض أن لدينا جداراً بطول $10m$ عرض $3m$ وسماكة $10cm$. درجة حرارة أحد الجوانب $25C^\circ$ ، ودرجة حرارة الجانب الآخر $20C^\circ$. يحدث انتقال للحرارة بمعدل q عبر الجدار من الجانب الأكثر دفئاً إلى الأكثر برودة.

▪ إذا ارتفعت درجة حرارة الجانب الأول من $25C^\circ$ إلى $30C^\circ$ ، بينما يبقى كل شيء آخر على حاله، يتضاعف q لأن $t_{s1} - t_{s2}$ يتضاعف.

▪ إذا تضاعف طول الجدار، وبالتالي تضاعفت المساحة A_c من الجدار، فإن q تتضاعف أيضاً.

▪ إذا تضاعفت سماكة الجدار، فإن q سوف تتناقض للنصف.

وهنا يتبين لنا أن معدل انتقال الحرارة q يتناسب عكساً مع سماكة الجدار (المادة المدروسة)، ويتناسب طردياً مع المساحة و فروق الحرارة بين الجانبين.

$$q = \frac{(t_{s1} - t_{s2}) \times A_c}{L}$$

L = سماكة الجدار. إن هذه العلاقة لا تأخذ مواد بناء الجدار في الاعتبار: إذا كان الجدار مصنوع من مادة "الفوم" **Foam** بدلاً من الخرسانة، فمن الواضح أن q سيكون أقل. ثابت التناسب **constant of proportionality** يُعتبر من خصائص المادة ويُسمى الموصلية الحرارية **thermal conductivity (k) or λ** . وهكذا تُصبح العلاقة:

$$q = k \frac{(t_{s1} - t_{s2}) \times A_c}{L} = \frac{(t_{s1} - t_{s2})}{L/(k \times A_c)}$$

حيث k تُقاس بـ $W/(m.K)$. المقام في العلاقة السابقة $L/(k \times A_c)$ يُمثل مقاومة التوصيل.

2-9-2 - الحمل الحراري Convection

الإشعاع الحراري هو الطريقة التي تنتقل بها الطاقة من مادة صلبة عبر مائع **Fluid** كالهواء أو الماء، أي بمعنى آخر هو انتقال الحرارة بين مادتين مع وجود وسيط كالهواء مثلاً، حيث تنتقل الحرارة من المادة الأعلى حرارة إلى المادة الأقل حرارة.

فلنفترض أن لدينا سطح من مادة ما بدرجة حرارة t_s على تماس مع مائع مثل الهواء بدرجة حرارة t_∞ . بحسب قانون نيوتن للتبريد **Newton's law of cooling**، معدل انتقال الحرارة من سطح المادة ذات مساحة A_s يكون كالتالي:

$$q = h_c \times A_s \times (t_s - t_\infty) = \frac{(t_s - t_\infty)}{1/(h_c \times A_s)}$$

حيث h_c معامل انتقال الحرارة **heat transfer coefficient**. يُقاس بوحدة $W/(m^2.K)$. مقاومة الحمل الحراري **convection resistance** هي $1/(h_c \times A_s)$ تُقاس بوحدة K/W . لكي يتم اعتبار انتقال الحرارة انتقالاً بالحمل الحراري، يجب أن يكون المائع الملامس للسطح في حالة حركة، إذا لم يكن الأمر كذلك، فإن طريقة نقل الحرارة هي التوصيل. إذا كانت حركة السوائل ناتجة عن قوة خارجية (مروحة، مضخة، رياح)، فإن طريقة نقل الحرارة هي الحمل الحراري الإجباري **forced convection**.

2-9-3 - الإشعاع Radiation

تبعث المادة إشعاعاً حرارياً من سطحها عندما تكون درجة حرارتها أعلى من الصفر المطلق (هو أدنى درجة حرارة مُمكنة لأي جسم في أي مكان في الكون و قيمتها $273^\circ C$). يكون هذا الإشعاع في شكل فوتونات **photons** ذات ترددات متفاوتة. هذه الفوتونات التي تغادر السطح لا تحتاج إلى وسيط لنقلها، على عكس التوصيل والحمل الحراري (الذي يحدث فيه نقل الحرارة من خلال المادة). يعتمد معدل الطاقة الإشعاعية الحرارية المنبعثة من السطح على درجة حرارته المطلقة وخصائصه ذلك السطح. يُطلق على السطح الذي يمتص كل الأشعة الساقطة عليه اسم السطح الأسود **black surface**، ويصدر طاقة بأقصى معدل ممكن عند درجة حرارة معينة.

2-9-4 - التبخر Evaporation

عندما يتعرّض جسم الإنسان إلى ضغط حراري عالي، يتعذر عليه الحفاظ على توازنه الحراري، فإنه يلجأ إلى وسيلة فقدان الحرارة بواسطة التبخر، و تتم عملية التبخر في جسم الإنسان بطريقتين:

- تبخر قطرات العرق من السطح الخارجي لجسم الإنسان، ويتم التعرق عن طريق امتصاص الماء والأملاح من الدم عن طريق الجلد ويتم نشره على سطح الجسم على شكل قطرات من العرق. ولكي يتبخر العرق فإنه يحتاج إلى طاقة حرارية، والتي يحصل على جزء منها من جسم الإنسان وبالتالي تنخفض درجة حرارته.
- تبخر ذرات الماء من الرئة، والتي تُعتبر وسيلة من وسائل فقدان الحرارة بواسطة التبخر أثناء عملية الزفير. فعند دخول الهواء إلى الرئة أثناء عملية الشهيق يؤدي إلى تشبع الهواء بالماء وهو في نفس حرارة الأنسجة الداخلية للجسم، وعند الزفير تتبخر ذرات الماء وتؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة الهواء، ومن ثم تنخفض درجة حرارة الأنسجة الداخلية للرئة.

2-10 - الخصائص الحرارية للمواد Thermal Properties of Materials:

يُمكننا أن نبدأ دراسة الخصائص الحرارية للمادة من خلال تعريفات الحرارة ودرجة الحرارة. درجة الحرارة هي مقياس نسبي، أو دلالة على السخونة أو البرودة. يُقال إن الأداة الساخنة لها درجة حرارة عالية، بينما يُقال إن مكعب الثلج له درجة حرارة مُنخفضة. يُقال إن الجسم الذي لديه درجة حرارة أعلى من جسم آخر هو أكثر سخونة. لاحظ أن السخونة والبرودة هما مصطلحان نسبيان، مثل الطويل والقصير. يُمكننا إدراك درجة الحرارة باللمس. ومع ذلك، فإن هذا الإحساس بدرجة الحرارة غير موثوق إلى حد ما ونطاقه محدود جداً ليكون مفيداً للأغراض العلمية. هناك خاصيتان رئيسيتان للمواد (خصائص حرارية فيزيائية) مُرتبطتان بنقل الحرارة في المواد. هما قدرة المادة على تخزين الحرارة وقدرتها على نقل الحرارة عن طريق التوصيل.

2-10-1 - الناقلية الحرارية (λ) Thermal conductivity :

الناقلية الحرارية λ ويرمز لها أيضاً بـ K ، يُقاس بوحدة $W/m.K$ ، هو أهم خاصية لتقييم أداء العزل لأي مادة. تُعرّف الموصلية الحرارية بأنها قدرة المادة على نقل الطاقة الحرارية من منطقة ذات درجة حرارة عالية إلى منطقة ذات درجة حرارة منخفضة. كلما كانت قيمة الموصلية الحرارية للمادة عالية، كلما زادت سرعة نقل المادة للحرارة. بمعنى آخر يجب أن تكون هذه القيمة قليلة حتى تكون المادة فعّالة من ناحية العزل الحراري.

2-10-2 - المقاومة الحرارية (R) Thermal resistance :

المقاومة الحرارية هي مقاومة مادة أو نظام معين، لتدفق الحرارة عبر حدوده. أي قدرة المادة على مقاومة تدفق الحرارة. يُطلق على المقاومة الحرارية أيضاً لقب **R-Value** و تُقاس بوحدة $m^2.K/W$. لحساب المقاومة الحرارية نقو بقسمة سماكة المادة بالـ m على معامل الناقلية الحرارية λ ، كلما كانت قيمة المقاومة الحرارية للمادة أعلى، كلما كانت أكثر قدرة على مقاومة الانتقال/التدفق الحراري.

2-10-3 - النفاذية الحرارية (U) Thermal transmittance :

تصف النفاذية الحرارية قدرة الجسم على عزل الحرارة. كلما كانت قيمة النفاذية الحرارية للمادة أقل، كلما كانت المادة أفضل. يُطلق على النفاذية الحرارية أيضاً لقب **U-Value** و تُقاس بوحدة $W/m^2.K$. ويمكن حساب النفاذية الحرارية للمادة و ذلك من خلال مقاومتها الحرارية بالعلاقة $U = 1/R$ أي أنها مقلوب المقاومة الحرارية.

2-10-4 - السعة الحرارية (C) Heat capacity :

تتعرض المادة الصلبة، عند تسخينها، لزيادة في درجة الحرارة تدل على أن بعض الطاقة قد تم امتصاصها. السعة الحرارية هي خاصية تُشير إلى قدرة المادة على امتصاص الحرارة من المحيط الخارجي عند حدوث تغيير في درجة الحرارة. وهي تمثل كمية الطاقة المطلوبة لإنتاج ارتفاع في درجة حرارة الجسم بمقدار 1 K واحدة كلفن. تُقاس السعة الحرارية بوحدة $J/mol.K$ أو $cal/mol.K$ أو $KWh/m.C^\circ$ يتم تحديد السعة الحرارية لكل مول من المادة. كلما كانت كمية المادة كبيرة كلما كانت قدرتها الحرارية أكبر.

و يتفرع من مصطلح السعة الحرارية مُصطلح آخر و هو الحرارة النوعية **Specific heat** ويرمز له بـ c صغيرة، تمثل السعة الحرارية لكل وحدة كتلة/وزن، و تُقاس بوحدة $J/kg.K$ أو $cal/g.K$.

2-10-5 - الكتلة الحجمية (ρ) Density :

تُعبّر الكتلة الحجمية عن قيمة كتلة/وزن المادة في وحدة واحدة من الحجم. تُساعد الكتلة الحجمية على معرفة و تقييم أداء مادة البناء اتجاه الانتشار الحراري، حيث كلما كانت قيمتها كبيرة كلما كانت قدرة المادة على تخزين الحرارة أكبر. يُرمز للكتلة الحجمية بـ ρ ، و واحدتها kg/m^3 .

2-10-6 - الكتلة/العطالة الحرارية Thermal Mass :

تتميز مواد البناء الثقيلة كالحجارة و الخرسانة و غيرها بقدرتها الكبيرة على تخزين الحرارة. إذا كان لدينا جدار ما، فإنه يمتص الحرارة من الهواء الخارجي أو الداخلي الأكثر حرارة منه ، و يقوم بتخزينها داخله. تعود الحرارة المُخزنة من الخروج مرة أخرى عندما تصبح درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة سطح الجدار

و ذلك بواسطة الحمل و الإشعاع الحراري.

و هُنَا يُمكن تعريف الكتلة/العطالة الحرارية، أنها قدرة المادة على تخزين الحرارة و فقدها شيئاً فشيئاً. أي أنه كُلمًا كان الوقت المُستغرق لإخراج الحرارة من الجدار أكبر، كانت عطالته الحرارية أكبر. هذه الخاصية مُهمّة جداً لضمان الرّاحة الحرارية داخل المبنى صيفاً و شتاءً.

11-2 - مفهوم الرّاحة الحرارية Thermal Comfort

الرّاحة الحرارية تُعدّ أهم المكونات الرئيسية ضمن جودة البيئة الداخلية **Internal Environmental Quality (IEQ)** لشاغلي الأبنية (Frontczak et al., 2012)، و هي من أهم المتطلبات التي يجب تحقيقها ضمن المباني بمختلف أنواعها و وظائفها و لها عدّة تعاريف منها :

1. " حالة عقلية(ذهنية) تُعبّر عن الرضا عن البيئة الحرارية" (ASHRAE55, 2017).

2. " حالة لا يشعر معها الإنسان بالبرد أو بالحر " (watson et al, 2007) .

3. " الحالة الذهنية التي يشعر فيها الإنسان بالرضى والنشاط في البيئة الحرارية المحيطة به " (ISO-7730:2018)

12-2 - العوامل المؤثرة على الرّاحة الحرارية (Thermal Comfort impact factors):

يمكن تجميع المتغيرات التي تؤثر على تبيد الحرارة من الجسم (وبالتالي الرّاحة الحرارية أيضاً) في ثلاث مجموعات:

العوامل البيئية	العوامل الشخصية	عوامل أخرى مُساهمة
Environmental Factors	Personal Factors	contributing factors
درجة حرارة الهواء	معدّل الاستقلاب	الطعام والشراب
حركة الهواء	الملابس	عملية التآقلم.
الرطوبة		شكل الجسم.
الإشعاع		السن و الحالة الصحيّة.

جدول(12-2): العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية

1-12-2 - العوامل الشخصية (Personal Factors) :

1-1-12-2 - معدّل الإستقلاب/الأيض (Metabolic Rate, M) :

يُنتج الجسم البشري الطّاقة عن طريق استخدام الأوكسجين لاستقلاب الطعام و تحويله إلى أشكال مفيدة من الطّاقة. معدّل إنتاج هذه الطّاقة يُعرف بأنه مُعدّل الاستقلاب (Gay et al., 2006) . وهي واحد من أصل إثنين من العوامل الشخصية التي تؤثر على الإدراك البشري للراحة الحرارية و يتم التعبير عنه بوحدة **met** ، وهي تمثل قيمة **58.2 W/m²** (ASHRAE55, 2017) . معهد المعايير البريطاني قدم (الجدول 2-13) لتحديد قيمة

met لنوع الأنشطة النموذجية.

العدد	نوع النشاط	met	W/m ²	W (av)
1	النوم	0.7	40	70
2	الاستلقاء و الراحة في السرير	0.8	46	80
3	الجلوس (الراحة)	1.0	58	100
4	الوقوف (عمل مستقر)	1.2	70	120
5	أعمال خفيفة جداً (التسوق، الطبخ، الصناعة الخفيفة)	1.6	93	160
6	أعمال خفيفة متوسطة	2.0	116	200
7	عمل متوسط ثابت (آلة ثقب الصخور، رقص)	3.0	175	300
8	العمل الشاق (النشر بالمنشار اليدوي، التنس)	6.0	350	600
9	العمل الشاق للغاية (رياضة سكاوش، عمل الأفران)	7.0	410	700

جدول (13-2): معدلات الاستقلاب/الأيض بناءً على النشاط (BS EN ISO 8996:2021)

معدل الأيض هو الطريقة التي يتأقلم بها الجسم مع حرارته وفقاً لدرجة حرارة الجلد والجسم والهواء . درجة الحرارة الداخلية المثالية تكون حوالي 22°C درجة مئوية للشخص المحاكى خلال النشاط المنخفض وارتداء ملابس ذات قيمة تساوي 1 clo .

2-1-12-2 - مقاومة الملابس (Clothing resistance, Clo) :

مقاومة الملابس هي العزل الحراري لنقل الحرارة بين جسم الإنسان والبيئة المحيطة عن طريق الحمل والإشعاع والتوصيل الحراري.

ومع ذلك، فإن دليل **ASHRAE 55** و **ISO 7730** و **CIBSE** قام بتوحيد مجموعة من القيم لمقاومة الملابس حيث تم إجراء الدراسة التفصيلية بشكل شامل من خلال العديد من الدراسات مثل **Fanger (1970)** و **Olesen (1979)** و **de Dear (1998)** و **Gagge (1986)**. تتراوح قيم الملابس عادة بين 0.5 clo و 1.2 clo لبيئة داخلية .

clo	وصف المجموعة
0.36	شورت للمشي، قميص بأكمام قصيرة
0.57	بنطال، قميص بأكمام قصيرة
0.61	بنطال، قميص بأكمام طويلة

جدول (14-2): قيمة مقاومة الملابس لمجموعة الملابس النموذجية، المصدر: ASHRAE standard 55

clo	وصف المجموعة
0.96	نفس ما ورد أعلاه، بالإضافة إلى سترة البدلة suit jacket
0.96	نفس ما ورد أعلاه، بالإضافة إلى سترة vest وقميص T-shirt
1.01	بنطلون، قميص بأكمام طويلة، سترة بأكمام طويلة، قميص T-shirt
1.3	كما هو مذكور أعلاه، بالإضافة إلى سترة بدلة suit jacket وملابس داخلية طويلة
0.74	سروال رياضي و قميص رياضي
0.96	بلوزة سترة نوم pyjama بأكمام طويلة وبنطلون سترة نوم طويل pyjama ورداء قصير بأكمام 3/4 و نعال (بدون جوارب)
0.54	تنورة بطول الركبة، قميص بأكمام قصيرة، جوارب نسائية ، صندل
0.67	تنورة بطول الركبة، قميص بأكمام طويلة، سترة نوم نسائية، جوارب نسائية
1.1	تنورة بطول الركبة، قميص بأكمام طويلة، سترة نوم نسائية نصفية ، جوارب نسائية، سترة شتوية بأكمام طويلة
1.04	تنورة بطول الركبة، قميص بأكمام طويلة، سترة نوم نسائية نصفية ، جوارب نسائية، سترة بدلة
1.1	تنورة بطول الكاحل، قميص بأكمام طويلة، سترة بدلة، جوارب نسائية
0.72	معاطف بأكمام طويلة، قميص T-shirt
0.89	قميص بأكمام طويلة و قميص T-shirt و بدلة بحمالات
1.37	معاطف معزولة، ملابس داخلية حرارية بأكمام طويلة، سراويل ملابس داخلية طويلة
جدول(2-14): قيمة مقاومة الملابس لمجموعة الملابس النموذجية، المصدر: ASHRAE standard 55	

2-12-1-3 - سلوك السكان (الشاغلين للبناء) **Occupant Behavior** :

يعتبر السلوك (النشاط) المتبع لشاغلي البناء أو البيئة الداخلية من العوامل المهمة المؤثرة تأثيراً مباشراً على الراحة الحرارية. يشمل سلوك/نشاط شاغلي البناء عدد من النشاطات منها : الحضور الفيزيائي للشخص **Occupant presence** ، حركته و التفاعل مع الأجهزة و المكونات الخاصة بالبناء. ومن الواجب عند قياس الراحة الحرارية أخذ سلوك/نشاط شاغلي البناء بعين الاعتبار للوصول للمزيد من الدقة في النتائج .

2-12-2 - العوامل البيئية **(Environmental Factors)** :

تتأثر الراحة الحرارية بعدد من العوامل البيئية (المناخية) منها :

2-12-1-1 - درجة حرارة الهواء **(Air Temperature, T_a)** :

في سياق الراحة الحرارية البشرية، تُلَقَّب درجة حرارة الهواء أيضاً بدرجة حرارة الهواء الجافة **Dry Bulb**

Temperature (DBT) ، و هي العامل البيئي الأكثر أهمية لأنها ستحدد سلوك التوصيل الحراري و تبدده مع أي حركة للهواء. في وجود حركة الهواء، سيتم تقليل الإحساس بدرجة حرارة الهواء على الملابس والجسم (Auliciems&Szokolay, 2007). يمكن قياس درجة حرارة الهواء باستخدام موازين الحرارة التمددية (الزئبقية)، موازين الحرارة الكهربائية ومقاييس الحرارة الأخرى. يجب قياس درجة حرارة الهواء بعناية حتى لا يتأثر بالطاقة الشمسية أو مصادر الحرارة الأخرى.

2-2-12-2 - سرعة الرياح (Air Velocity, V_a) :

سرعة الرياح لها تأثير كبير على الراحة الحرارية العامة **General Thermal Comfort** و التي بدورها تؤدي للشعور بتيار هوائي **Draught** يستطيع تحسين الراحة في ظروف درجات الحرارة المرتفعة (Olesen & Parsons, 2002). و التيار الهوائي **Draught** يُعرّف بأنه التبريد غير المرغوب به للطبقة الخارجية لجلد الإنسان. معدل سرعة الرياح يجب أن تكون أقل من 0.15 m/s ضمن الحيز الداخلي للبناء لتفادي الشعور بعدم الراحة للسكان (Myhren&Holmberg, 2008). وفي ظروف قلة الحركة و الجلوس، في الشتاء يجب أن تكون سرعة الرياح أقل من 0.2 m/s و ذلك في درجة حرارة جافة للهواء تتراوح بين $20-23 \text{ C}^\circ$ لشعور الإنسان بالراحة (Fanger, 1970).

2-2-12-2 - الرطوبة النسبية (Relative Humidity, RH) :

تُعتبر الرطوبة النسبية مقياس لمدى رطوبة الهواء، أي أنّها نسبة بين كمية بخار الماء الفعلية في الهواء إلى أقصى كمية يُمكن أن يحتويها الهواء عند نفس درجة الحرارة. في درجات الرطوبة العالية، الرطوبة المتشكلة على الطبقة الخارجية لجلد الإنسان تدفعه للشعور بعد الراحة. و في تلك الدرجات العالية للرطوبة، الإحساس الحراري وحده لا يُعتبر مؤشراً موثقاً به للراحة الحرارية. عدم الراحة تظهر نتيجة الشعور بالرطوبة نفسها، و زيادة الاحتكاك بين طبقة الجلد و الرطوبة ضمنه و الثياب (Gwosdow et al, 1986). يجب التحكم بمستوى الرطوبة النسبية في المساحات المشغولة بالسكان بأقل من 65% لتقليل فرص نمو الميكروبات (ASHRAE55, 2017).

2-2-12-2 - حرارة الإشعاع (Radiant temperature, T_r) :

يحدث التبادل الحراري بين الأجسام في ثلاثة أوضاع، من خلال الإشعاع **Radiation** والحمل الحراري **Convection** والتوصيل **Conduction**. يمكن قياس درجة حرارة الإشعاع بناءً على درجة حرارة الجدران والأسطح المحيطة في الغرفة (Beizaee et al., 2012). في البيئة المناخية الخارجية الباردة، الجدران و النوافذ الباردة قد تسبب الشعور بالبرد للأشخاص الساكنين حتى إذا كانت درجة حرارة الهواء عند المستوى المريح (Atmaca et al., 2007). درجة الإشعاع المرتفعة ضمن بيئة ذات درجة حرارة منخفضة قد تؤدي إلى الإحساس بالراحة الحرارية للسكان. درجة حرارة الإشعاع يُمكن تصنيفها إلى مجموعتين: 1- درجة إشعاع السطح **Plane Radiant Temperature** -2 متوسط درجة الإشعاع **Mean Radiant Temperature** (T_{mrt}). متوسط درجة حرارة الإشعاع تُستخدم في نطاق واسع لقياس الراحة الحرارية و تُعرّف بأنها: درجة الحرارة الموحدة لحيز مغلق وهمي حيث تكون الحرارة الإشعاعية **Radiant Heat** التي تنتقل من جسم الإنسان مساوية لنقل الحرارة الإشعاعية ضمن حيز مغلق غير منتظم فعلي مثل الجدران والسقف والنوافذ وأي مصادر إشعاعية أخرى في الفضاء (Gay et al, 2006). و تُعرّف درجة حرارة السطح بأنها الحرارة على سطحين لجدار **wall** أو أرضية **Floor** أو سقف **ceiling** مما يؤدي إلى عدم تناسق درجة الحرارة الإشعاعية تجاه السكان والذي بدوره يؤدي لعدم الشعور بالراحة الحرارية المحلية **local discomfort**.

إذا كانت المنطقة المحيطة أكثر برودة من درجة حرارة سطح الجلد، والتي تبلغ حوالي 29.4 درجة مئوية، فإن الجسم سيفقد الحرارة من خلال الإشعاع. وبالتالي، فإنه سيجعل جسم الشخص ودرجة حرارة الجلد أكثر برودة لأنه يشع الحرارة إلى المناطق المحيطة. ومع ذلك، عندما تكون المنطقة المحيطة أكثر دفئاً، سيسخن الجسم لأن متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للمنطقة المحيطة سيؤثر على درجة حرارة الهواء الداخلي، لتحديد هذا الجانب من الراحة.

13-2 - مؤشرات قياس الراحة الحرارية Thermal Comfort indices & models

1-13-2 - نموذج فانغر Fanger's PMV/PPD model

تم إجراء الكثير من الأبحاث في العقود القليلة الماضية بهدف إنشاء نماذج ومؤشرات للراحة الحرارية يمكنها التنبؤ بالظروف الحرارية. قد يكون نموذج Fanger للراحة (Fanger, 1970) أحد أوائل نماذج التنبؤ المطورة. تم تطوير هذا النموذج بناءً على فيسيولوجيا تبادل حرارة جسم الإنسان مع البيئة مدعوماً بسلسلة من التجارب على البشر في بيئة خاضعة للرقابة من المختبر وغرفة المناخ. يتم دمج درجة حرارة الهواء ودرجة الحرارة المشعة والرطوبة وسرعة الهواء وعزل الملابس ومعدل الاستقلاب في نموذج فانغر والنتيجة هي مؤشر يسمى PMV (متوسط التصويت المتوقع). PMV هو مقياس فيسيولوجي من سبع نقاط يتراوح من -3 إلى 3 حيث يشير كل مقياس إلى إحساس حراري على النحو التالي (ASHRAE55, 2017):

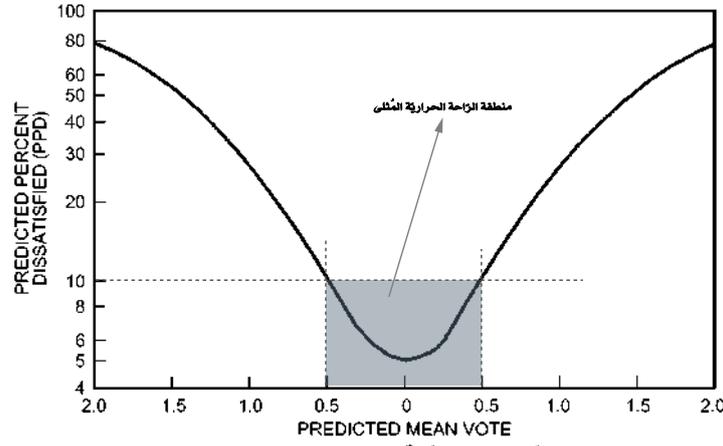
-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly Cool	Neutral	Slightly Warm	Warm	Hot

بارد جداً بارد بارد قليلاً محايد دافئ قليلاً دافئ حار جداً

يتنبأ PMV بمتوسط الإحساس الحراري لتصويت مجموعة من الأشخاص في بيئة معينة. باستخدام البيانات التجريبية. ربط فانغر مؤشر النسبة المئوية المتوقعة لعدم الرضا PPD(Predicted Percentage of Dissatisfaction) بمؤشر PMV. يتم عرض حساب PPD باستخدام PMV في المعادلة التالية (Awbi, 2003).

$$PPD = 100 - 95 \exp - \{0.03353(PMV)^4 + 0.2179(PMV)^2\}$$

يتم عرض العلاقة بين PMV و PPD في (الشكل 2-7). بالنظر إلى $PMV=0$ كإحساس حراري محايد، يُشكل المخطط منحنى مُتماثل حول الصفر. كما يتضح، فإن الحد الأدنى من PPD هو 5% المقابلة لـ $PMV=0$ ، وهذا يعني أنه حتى في الحالة المحايدة هناك بعض الأفراد غير الراضين. يعتبر معيار ASHRAE (ASHRAE55, 2017) بيئة داخل منطقة الراحة عندما تكون نسبة عدم الرضا أقل من 10% وهو ما يعادل $-0.5 < PMV < 0.5$.



شكل(2-7): مؤشر PMV كدالة لـ PPD المصدر (ASHRAE،2013)

كان نموذج **PMV/PPD** أساساً للعديد من دراسات الراحة الحرارية. كما تم اعتماده في عدد من المعايير مثل **ASHRAE 55 (2017, ASHRAE55)**، و **ISO 7730** لتقييم الراحة الحرارية للبيئة. ومع ذلك، هناك بعض أوجه القصور المرتبطة باستخدام نموذج **PMV**. على الرغم من أن نموذج **PMV** مقبول للتنبؤ بالراحة الحرارية للمباني المكيفة، إلا أنه يتنبأ بحالة الراحة الحرارية في المباني ذات التهوية الطبيعية (**Brager & De Dear, 1998**). يرجع هذا في ظل التنبؤ إلى افتراض الحالة الثابتة **steady state** للراحة الحرارية في نموذج **PMV**، بالإضافة إلى إهمال تكيف البشر مع بيئتهم.

2-13-2 - النموذج التكيفي **Adaptive model**:

يقسم **De Dear and Brager (1998)** التكيف الحراري البشري إلى ثلاث فئات رئيسية:

Behavioral

سلوكي

Physiological

فيزيولوجي

Psychological

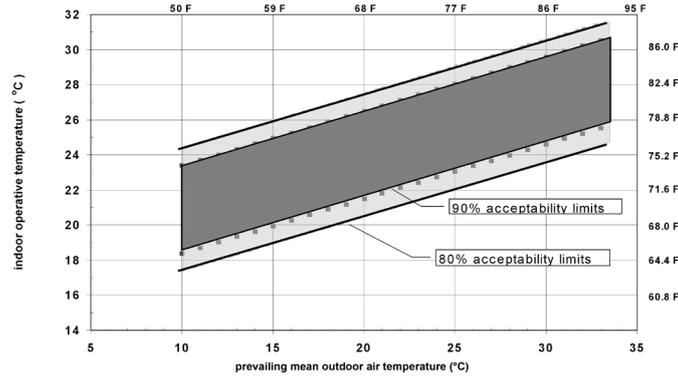
نفسي

تشمل التعديلات السلوكية الإجراءات الواعية واللاواعية التي يتخذها الشخص للتكيف مع بيئته الحرارية عند الشعور بعدم الارتياح مثل فتح النوافذ وإزالة بعض الملابس عنه. التكيف الفسيولوجي هو تغير الاستجابة الفسيولوجية للإنسان نتيجة التعرض للمعايير البيئية الحرارية.

التأقلم **Acclimatization** هو مثال على التكيف الفسيولوجي. التكيف النفسي هو التغيير في الإدراك الحراري بناءً على التوقعات والتجارب السابقة.

يوفر نموذج **PMV** التقليدي نطاقاً ضيقاً جداً من درجة الحرارة كشرط مقبول بينما يمكن لشاغلي المباني ذات التهوية الطبيعية أن تحمل نطاقاً أوسع من درجة الحرارة مقارنة بشاغلي المباني المكيفة مركزياً. لذلك، يمكن اعتبار الحالة الحرارية التي يُنظر إليها على أنها مقبولة من قبل شاغلي المباني الحرة **free-running buildings** حالة غير مريحة للغاية باستخدام نموذج **PMV**. لذلك، تم تطوير نموذج الراحة التكيفية (**Brager & De Dear, 1998**) بناءً على دراسة ميدانية واسعة النطاق للتنبؤ بالحالة الحرارية للمباني ذات التهوية الطبيعية. يُكمل النموذج التكيفي نموذج **PMV** التقليدي من خلال حساب تكيف البشر. على عكس نموذج **PMV**، بدلاً من التنبؤ بتصويت الإحساس الحراري **thermal sensation votes**، فإن النموذج التكيفي هو مُعادلة انحدار تمثل درجة حرارة التشغيل الداخلية **indoor operative temperature** المقبولة كدالة لمتوسط درجة الحرارة الخارجية بين 80% و 90% للحدود المقبولة، الشكل (2-8). اليوم، تمت إضافة نموذج الراحة التكيفية إلى معيار

ASHRAE 55 لتقييم الظروف الحرارية في المباني ذات التهوية الطبيعية (ASHRAE55, 2017).



شكل(8-2): مُعدّل الحرارة التشغيلية المقبولة للمباني ذات التهوية الطبيعية المصدر (ASHRAE55,2004)

14-2 - معايير الراحة الحرارية Thermal Comfort Standards

1-14-2 - معيار ISO7730

ISO7730 هو معيار دولي يستخدم نموذج **Fanger's PMV**. وتم دمج في العديد من المعايير ورموز التصميم (مثل ISO7730:2005) كما هو موضح في الجدول(2-15). يتم تطبيق المعيار على الأشخاص الأصحاء، الذين يتعرضون للبيئات الداخلية من أجل تحقيق الراحة الحرارية أو في البيئات الداخلية حيث يحدث انحراف مُعتدل عن الراحة الحرارية (Markov, 2002).

الفئة	الحالة الحرارية	درجة الحرارة التشغيلية T_{OP} (C°)	متوسط سرعة الهواء القُصوى m/s			
			صيفاً حالة (0.5clo) التبريد	شتاءً حالة (1.0clo) التدفئة	صيفاً حالة (0.5clo) التبريد	شتاءً حالة (1.0clo) التدفئة
A	PPD% <6 PMV -0.2 < PMV < 0.2	23.5 - 25.5	21-23	0.18	0.15	
B	PPD% <10 PMV -0.5 < PMV < 0.5	23 - 26	20-24	0.22	0.18	
C	PPD% <15 PMV -0.7 < PMV < 0.7	22 - 27	19-25	0.25	0.21	

جدول(15-2): الفئات الثلاثة للبيئات الحرارية (ISO 7730:2005)

النموذج مُناسب لظروف مثل المباني المكيفة المغلقة وأقل ملاءمة للمباني ذات التهوية الطبيعية (Nicol & Humphreys, 2002; Oseland, 1996). غلاف المبنى مُحاط تماماً بأبواب ثابتة **non-operable doors** في هذه الأنواع من المباني والسُكان في بيئة داخلية اصطناعية ومنفصلون تماماً عن الخارج. في تحليل ميداني للمناطق الدافئة في باكستان وكالغوري بولدر **Kalgoorlie Boulder** (أستراليا)، اكتُشف عدم وجود دقة عند تطبيق النموذج على المباني المكيفة أو غير المكيفة (Nicol, 2004). وُجد أن النموذج يبالغ في تقدير الأحاسيس الحرارية للشاغلين في المناخ الدافئ ويقلل من شأنها. اقترح جيفوني (Givoni 1992) أن أحد العوامل المهمة في معادلة

التوازن الحراري هو غياب تبخر العرق (Heidari & Sharples, 2002). أشار الباحثون إلى أن المباني المغلقة المكيفة فقط هي التي يجب أن تستخدم تصميم *PMV* (Nicol, 2004). ومع ذلك، يستخدم نموذج *PMV* على نطاق واسع في تصميم مباني المكاتب المكيفة في المناخ البارد. بعد إدخال سخانات المساحة الداخلية، لا يزال مجتمع الأعمال يميل نحو البيئات الداخلية الاصطناعية والهياكل المغلقة (Gay et al., 2006)، وبالتالي، تعزيز استخدام *PMV* في المباني التجارية. يتم استخدام *PMV* نسبيًا في المباني السكنية أيضًا. اقترحت مجموعة ملحق *ISO 7730* أن *PMV* يجب أن تكون بداية جيدة لمعيار الراحة الحرارية نظرًا لحملها عند ± 0.5 وحدة قياسية (Nicol & Humphreys, 2002).

تنقسم معايير *ISO* للراحة الحرارية البشرية إلى ثلاثة مجالات رئيسية، أي الساخنة والمتوسطة والباردة *hot, moderate and cold*. تتعامل معايير بيئة العمل في البيئة الساخنة والباردة مع متطلبات الظروف الحرارية القاسية.

2-14-2 - معيار *ASHRAE 55*

يمكن العثور على عدد آخر من المعايير المتعلقة بالراحة الحرارية في منشور صادر عن الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد (*ASHRAE*). يمكن العثور على المعايير التي تتعامل مع الراحة الحرارية في معيار *ASHRAE 55*: الظروف البيئية الحرارية للإشغال البشري (ASHRAE55, 2017).

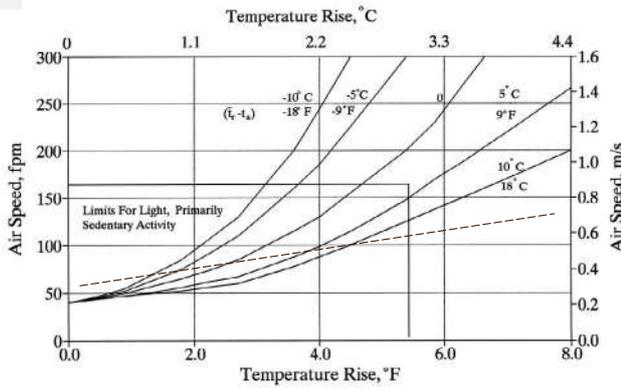
تُحدد هذه المواصفة القياسية الظروف التي سيكشف فيها معظم الشاغلين عن المناخ المقبول حراريًا. داخل المعيار، وصفت أن 80% من الشاغلين تعرضوا لنفس الظروف كما هو الحال في المساحة. من المفروض أن يتم دمج *ASHRAE 55* في التصميم البيئي وتشغيل المنشآت بالإضافة إلى المساحات المشغولة الأخرى بالإضافة إلى أنظمة التبريد والتدفئة الخاصة بها. تخضع الراحة الحرارية التكميلية للفرص التكميلية التي يخلقها شاغلوا المبنى. إنها فرص فسيولوجية ونفسية وسلوكية. في علم وظائف الأعضاء، سوف يتحرك الدم البشري بعيدًا عن محيط الجسم للتحكم في فقدان الحرارة من الجلد ومحاولة الحفاظ على "درجة الحرارة الأساسية *core temperature*" لجسم الإنسان (Nicol et al., 2012). هو رد فعل جسم الإنسان للحفاظ على حرارة الجسم خلال بيئة باردة أو ساخنة. من الناحية النفسية، يميل البشر إلى الشعور بعدم الراحة بسبب الحرارة المفرطة على الجلد أو التعرق بسبب الرطوبة العالية. تلعب الجوانب النفسية في الراحة الحرارية دورًا مهمًا في الراحة الداخلية والخارجية (Hoppe, 2002). على سبيل المثال، إذا قيل للشاغلين الداخليين إن درجة الحرارة أعلى مما هي عليه بالفعل، فإن ذلك سيجعلهم يشعرون بالدفء خلال فصل الشتاء (Hoppe, 2002 ؛ Nicol et al., 2012).

أشار Nicol et al. (2013) إلى أنه يجب دمج العناصر العلمية والبشرية كمبادئ من أجل أن تكون قابلة للتكيف. هذا المعيار مناسب للأشخاص الأصحاء في الأماكن المغلقة ومُخصَّص للإشغال البشري لفترة تقل عن 15 دقيقة عند الضغط الجوي (Markov, 2002).

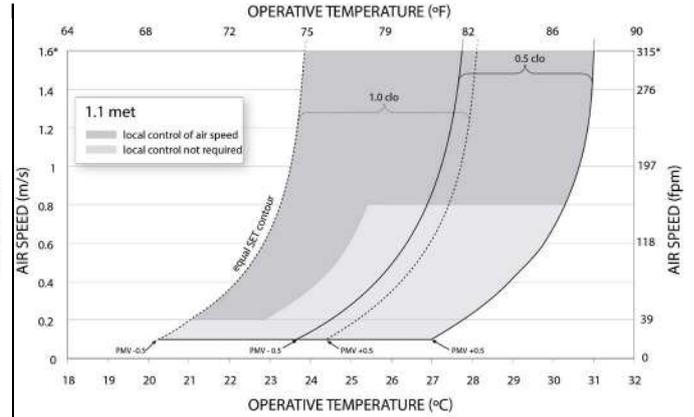
تُحدد *ASHRAE 55* أيضًا طريقة *PMV - PPD* كشكل من أشكال البيئات الحرارية للمباني المكيفة الهواء. بدأت في عام 1995 عندما كان الباحثون مهتمين بإيجاد طريقة بديلة لنموذج *PMV*. ركز مسح ميداني في المشروع الذي ترعاه *ASHRAE (RP-884)* بقيادة *de Dear* على التحليل الإحصائي للبيانات عالية الجودة من المباني القائمة مع الاعتماد على طريقة التوازن الحراري *heat balance method* التي تم إنشاؤها من بيانات تجارب الغرفة المناخية *climate chamber experiments*. تم جمع البيانات من 160 مبنى مكتبي يعتمد التصميم المتفاعل والنشط والمختلط للطاقة *passive, active, and mixed-mode* في العديد من المناطق المناخية، بما في ذلك تلك التي تعتبر حارة ورطبة وجافة (Brager & De Dear, 1998). وفي الوقت نفسه، قبل شاغلوا

المباني ذات التهوية الطبيعية تغيرات أوسع في درجات الحرارة ودرجات حرارة داخلية أعلى من تلك الموجودة في المباني المكيفة الهواء (de Dear and Brager, 2002). وُجد أن شاغلي مبنى المكاتب لديهم حساسية مُنخفضة للتغيرات في درجة الحرارة الداخلية. ولُوحظ أن انحدار التصويت للإحساس الحراري الخاص بهم تبيّن أنه صوت واحد لكل تغيير من 3 إلى 5 درجات مئوية في درجة حرارة التشغيل. يمكن للركاب في المباني المزودة بنظام التدفئة أو التبريد قبول منطقة راحة ± 3.5 درجة مئوية (ASHRAE55, 2017).

نموذج الراحة التكيفية *ASHRAE adaptive comfort model*، المُحدّد في معيار *ASHRAE 55*، مناسب للظروف الخارجية التي تُسجّل درجة حرارة من 10 درجة مئوية إلى 33 درجة مئوية (de Dear and Brager, 2001) مع قيود راحة ثابتة فوق وتحت هذه النطاقات.



شكل (9-2): سرعة الهواء المطلوبة للتعويض عن زيادة درجة الحرارة



شكل (10-2): النطاقات المقبولة لدرجة حرارة التشغيل حسب سرعات الهواء

كما هو موضح في الشكل (9-2)، عند ارتفاع درجة حرارة الإشعاع T_{mrt} وعندما تكون درجة حرارة الهواء مُنخفضة، سرعة الهواء المُرتفعة تكون فعّالة في زيادة فقدان الحرارة. ومع ذلك، إذا كانت T_{mrt} مُنخفضة أو كانت الرطوبة عالية، فإن سرعة الهواء المُرتفعة تكون أقل فعالية. قد لا تكون سرعة الهواء المطلوبة للأنشطة الخفيفة، المستقرة في المقام الأول، أعلى من 0.8 m/s . يوضح الشكل (10-2) أن النطاق المقبول لدرجة حرارة التشغيل T_{op} وسرعة الهواء لمستوى ملابس معين. قامت *ASHRAE* بفصل قاعدة بياناتها عن المبنى الحر مع التبريد أو التدفئة الميكانيكية، واستخدمت فقط المباني ذات التهوية الطبيعية *Natural Ventilation (NV)* للنموذج التكيفي (Nicol, 2009).

2-15 - نمذجة أداء المباني (BPM) Building Performance Modeling

تُشير نمذجة أداء المباني لمجموعة من أنماط وتقنيات التحليل التي يُمكن تطبيقها خلال مرحلة تصميم المباني أو تشغيله. كما أن نمذجة أداء المباني تتطلب معرفة بفيزياء المباني **building physics** ومهارات تقنية لتحليل المباني، أنظمتها، باستخدام برمجيات البرمجة الفيزيائية **physics-based software** لمحاكاة الأداء لعدة بدائل تصميمية. تضم نمذجة أداء المباني **BPM** مجموعة من عمليات التحليل والمحاكاة ومنها:

- نمذجة الطاقة للمبني **Building Energy Modeling**.
- تحليل ومحاكاة الإضاءة الطبيعية والصناعية **Lighting Calculations and Daylight Simulation**.
- تحليل أحمال التبريد والتسخين لأنظمة التكييف **HVAC Heating and Cooling Load Calculations**.
- محاكاة تدفق الهواء **Airflow Simulation**.
- نمذجة الراحة الحرارية للشاغلين **Occupant Thermal Comfort Modeling**.

2-16 - محاكاة أداء المباني (BPS) Building Performance Simulation

تُعد محاكاة أداء البناء **BPS** أداة فعّالة لاتخاذ القرارات المُستنيرة وتقديم المُلاحظات في جميع مراحل عمر البناء نظرًا لقدرتها على تقييم تأثيرات المتغيرات المتعددة وفقًا لمعايير التقييم المتعددة. الطاقة، والطاقة الخارجية، والاقتصاد، والبيئة، وراحة الشاغلين (الحرارية والبصرية) هي معايير تقييم في تصميم المباني عالية الأداء. تشمل مُتغيرات القرار أو المُتغيرات المتعددة المُتغيرات المعمارية، وسمات مواد البناء، والظروف الداخلية والخارجية، والمؤثرات الاقتصادية والبيئية، وخصائص خدمات البناء. ومع ذلك، لا تزال أدوات **BPS** الحديثة بحاجة إلى التغلب على التحديات لتصبح أكثر سهولة في الاستخدام، وتحسين قدرات المحاكاة وقابلية التشغيل البيئي للأداة.

2-17 - تعريف المحاكاة Simulation Definition

تشمل المحاكاة عددًا من المصطلحات المختلفة ولكن المتشابهة - النمذجة أو النماذج والمحاكاة والإسقاط. يُعرّف **Oxford English Dictionary (2008)** النمذجة بأنها "وصف رياضي مبسط لنظام أو عملية، يُستخدم للمساعدة في الحسابات والتنبؤات". يُعرّف **WordNet (2006)** النمذجة بأنها "فعل توضيح/تمثيل شيء ما (عادة على نطاق أصغر)". يأخذ **American Heritage Dictionary (2008)** التعريف إلى أبعد من ذلك:

النموذج **Model**: وصف تخطيطي لنظام أو نظرية أو ظاهرة تُفسر خصائصها المعروفة أو المستنبطة ويمكن استخدامه لمزيد من الدراسة لخصائصه: نموذج للقواعد النحوية التوليدية؛ نموذج للذرة؛ نموذج اقتصادي.

وبالمثل، يُعرّف **WordNet (2006)** المحاكاة بأنها "تقنية تمثيل العالم الحقيقي بواسطة برنامج كمبيوتر، يجب على المحاكاة أن تحاكي العمليات الداخلية وليس مجرد نتائج الشيء الذي يتم محاكاته". يصف **Scott (2003)** الجوانب الأوسع للنماذج الاقتصادية:

المحاكاة: تمرين رياضي يتم فيه إنشاء نموذج لنظام، ثم يتم تغيير متغيرات النموذج لتحديد التأثيرات على المتغيرات الأخرى. على سبيل المثال، قد يقوم المحلل المالي ببناء نموذج للتنبؤ بسعر سوق السهم ثم التلاعب بمحددات مختلفة للسعر بما في ذلك الأرباح وأسعار الفائدة ومعدل التضخم لتحديد كيفية تأثير كل من هذه التغيرات على سعر السوق.

يذهب **Howe (2004)** إلى أبعد من ذلك ويشمل أنواع المحاكاة والنمذجة، من المحاكاة الهادئة إلى المحاكاة الحاسوبية:

المحاكاة: محاولة التنبؤ بجوانب سلوك بعض الأنظمة من خلال إنشاء نموذج تقريبي (رياضي) لها. يُمكن القيام بذلك عن طريق النمذجة الهادئة، عن طريق كتابة برنامج كمبيوتر لأغراض خاصة أو باستخدام حزمة محاكاة أكثر عمومية، ربما لا تزال تهدف إلى نوع معين من المحاكاة (على سبيل المثال، الهندسة، تدفق السوائل). ومن الأمثلة النموذجية على ذلك أجهزة محاكاة طيران الطائرات أو أجهزة محاكاة الدوائر الإلكترونية.

2-18 - أهمية المحاكاة *Importance of Simulation*

المحاكاة هي واحدة من أهم الأدوات المتاحة في عالمنا. إن القدرة على بناء نموذج والتنبؤ بنتيجة بناءً على ما حدث في الماضي أو على الاتجاهات الحالية أمر بالغ الأهمية للنجاح في العديد من المجالات، من الاقتصاد الجزئي والكي، وتصنيع الطائرات، واستكشاف الفضاء، وتصميم الدوائر الإلكترونية إلى تخطيط حركة المرور، ومكافحة الحرائق، والحرب، وتخطيط وتصميم وبناء وتشغيل المباني.

لماذا نمذجة أو محاكاة شيء ما؟ أولاً، يسمح النموذج بتقييم التصميم أو التقنيات أو العمليات البديلة دون الحاجة إلى إنشاء الأداة التي يتم نمذجتها. ثانياً، تتطلب بعض التقنيات نماذج لتقييم الأداء بالنسبة للخيارات المتنافسة. على سبيل المثال، يستخدم مُصنِّعوا الطائرات نماذج ديناميكية هوائية لطائراتهم المقترحة لاختبار الخيارات والتصاميم افتراضياً. إن بناء الطائرات التي تكلف مئات الملايين من الدولارات دون يقين نسبي - بناءً على المحاكاة - بأنها ستطير أمر محفوف بالمخاطر في أحسن الأحوال ومكلف للغاية.

باختصار، من الأرخص إنشاء نموذج للعمليات الهادئة/الفيزيائية الأساسية واختبار التكوينات البديلة بدلاً من بناء نموذج أولي حقيقي وتغييره لاحقاً بناءً على التجربة والخطأ.

2-19 - المحاكاة الحرارية *Thermal Simulation*

2-19-1 - أدوات المحاكاة الحرارية للمباني

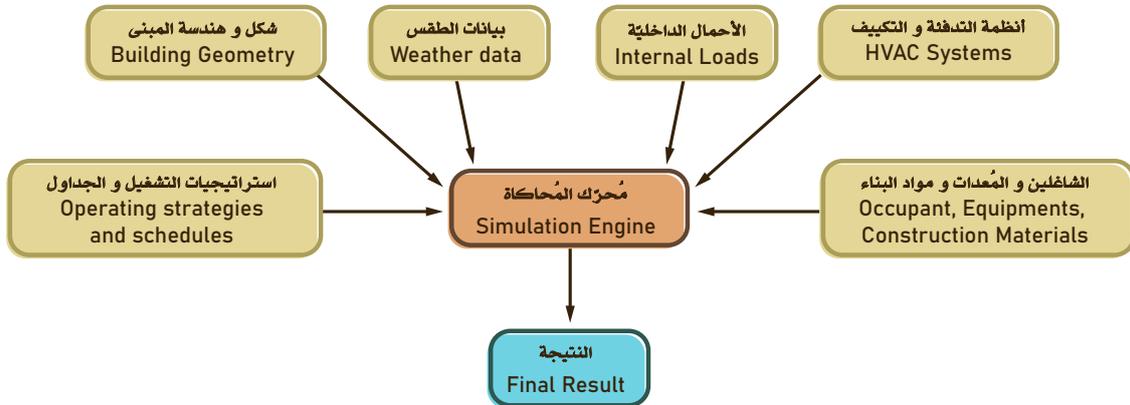
تتنبأ أدوات المحاكاة الحرارية للمبنى بالأداء الحراري لمبنى معين والرّاحة الحرارية لشاغليه. بشكل عام، هي تدعم فهم كيفية عمل مبنى معين وفقاً لمعايير معينة وتمكّن من إجراء مقارنات بين بدائل التصميم المختلفة (**Maile et al., 2007**).

يتضمن تقييم الرّاحة الحرارية تقييم ستة عوامل على الأقل: مستويات النشاط البشري، والمقاومة الحرارية للملابس، ودرجة حرارة الهواء، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية، وسرعة الهواء، وضغط البخار في الهواء المحيط (**Fanger, 1970**).

تتضمن بعض المعلومات المطلوبة للمحاكاة الحرارية بيانات الإدخال **input data** مثل: شكل المبنى **building geometry**، بما في ذلك تخطيط وتكوين المساحة (الأسطح والأحجام)، وتجميع الغرف في مناطق متجانسة حرارياً، واتجاه المبنى **building orientation**، وتشديد المبنى **building construction**، بما في ذلك الخصائص الحرارية لجميع عناصر البناء، ووظيفة المبنى، والأحمال والجداول الداخلية للإضاءة، والشاغلين، والمعدات، والتدفئة، والتهوية، وتكييف الهواء **HVAC** نوع النظام وخصائص التشغيل، ومُتطلبات تكييف الفضاء، ومعدلات المرافق **utility rates**، وبيانات الطقس **weather data**.

ليس من السهل قياس أو تفصيل كل هذه القيم في موقع معين في مبنى لخلق الرّاحة الحرارية. يكاد يكون من

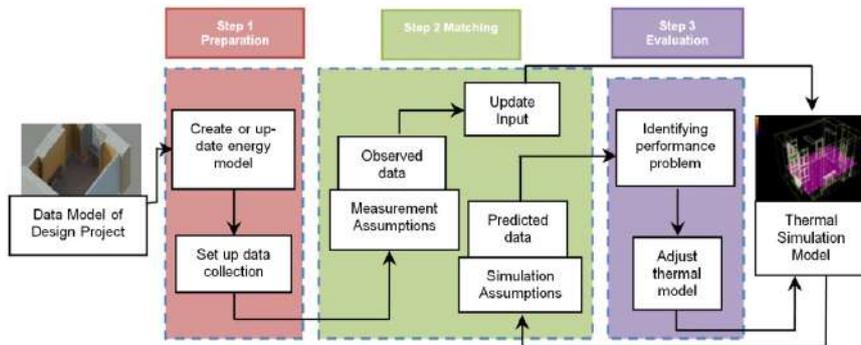
المستحيل الحساب اليدوي لهذه القيم في كل نقطة داخل المبنى. تتمثل إحدى طرق تحليل الأداء الحراري في المباني في استخدام برامج المحاكاة الحرارية القادرة على حساب كل هذه القيم بدقة. يتم تحديد دقة نتيجة المحاكاة الحرارية من خلال بيانات الإدخال الشكل (2-11).



شكل (2-11): بيانات الإدخال العامة لمحرك المحاكاة الحرارية

تتكون معظم برامج المحاكاة الحرارية بما يُشار إليه بالمحرك **Engine**، والذي يتيح المحاكاة الحرارية التفصيلية بناءً على ملفات الإدخال والإخراج البسيطة القائمة على النص **text-based input and output**. تحتوي هذه المحركات على خوارزميات رياضية وديناميكية حرارية تُستخدم لحساب الأداء الحراري وفقاً للنموذج الأساسي للمحرك. يستخدم محرك المحاكاة ملف إدخال (أو ملفات) بتنسيق مُحدد يحتوي على تمثيل للإدخال. بناءً على هذا الإدخال، يقوم المحرك بإجراء محاكاة ويكتب مخرجاته في ملف إخراج واحد أو أكثر (Maile et al., 2007). تُستخدم هذه المحركات بشكل أساسي لدعم عملية تصميم المبنى من خلال مقارنة استهلاك الطاقة ومعدلات الراحة لبدائل التصميم المختلفة.

تأتي البيانات من الأجزاء الداخلية والخارجية للمبنى. تتأثر الأحمال الخارجية، على سبيل المثال، بشدة بالطقس والمناخ، وبالتالي يتم استخدام بيانات الطقس المُجمّعة والمُجمّعة إحصائياً في محاكاة أداء الطاقة. يتم إنشاء ملفات بيانات الطقس لأغراض التصميم في عدد متزايد من المدن والمناطق حول العالم. لا تعكس ملفات الطقس هذه سنة محددة، ولكنها توفر مرجعاً إحصائياً لمعلومات الطقس النموذجية لموقع معين. أثناء تشغيل المبنى، يُمكن في بعض الأحيان قياس معلومات الطقس مباشرة في المبنى المعني أو في محطات الأرصاد الجوية القريبة. تعتمد الأحمال الداخلية مثل الأحمال من الأشخاص والأضواء والمعدات في المسكن بشكل كبير على الاستخدام الفعلي للمسكن وسلوك شاغليه. يوضح الشكل (2-12) الصورة الكبرى لإنتاج النموذج الحراري.



شكل (2-12): إدخال النموذج الحراري (Bahar, 2013)

نتيجة محرك المحاكاة الحرارية هي نموذج متكامل أو معلومات شاملة ويجب أن تسمح لبرنامج آخر بالقراءة أو لمزيد من التحليل. قد يتم تقديم بيانات الإخراج أو نتيجة المحاكاة في نص أو رسم بياني أو رمز.

قد تشمل نتائج المخرجات ما يلي:

- تقييم المساحة والأداء الحراري للمبنى.
- التقدير العام للطاقة المستخدمة في المساحة والمبنى والتقدير العام لتكلفة الطاقة.
- المحاكاة القائمة على الوقت **Time-based simulation** لاستخدام الطاقة في المبنى والتقدير القائم على الوقت لتكاليف المرافق.
- تقدير دورة الحياة لاستخدام الطاقة وتكلفة المبنى.

لا تُقدّم برامج المحاكاة الحرارية في بعض الأحيان النتائج الإجمالية هندسياً، بل بالأحرى أشكال المقياس أو المخططات أو رموز الترميز الأخرى. في بعض الأحيان لا يكون هذا التنسيق قابلاً للقراءة أو يصعب تفسيره بواسطة برامج أخرى، مما يخلق مرة أخرى المزيد من العقبات في عملية تبادل البيانات. يشير هذا إلى أن هذه الأدوات يتم إنشاؤها بشكل عام كمنتج مُتعدد الأغراض أو كأداة قائمة بذاتها وتعمل بشكل مُستقل. تُخزن هذه الأنواع من التطبيقات معلومات المبنى بتنسيق أصلي ومملوك. من أجل إتاحة هذه المعلومات القيمة للمشاركين الآخرين في المشروع، يجب أن تكون هذه التطبيقات البرمجية قادرة على فهم التنسيقات الأصلية للتطبيقات الأخرى.

2-19-2 - أنماط الحساب و التحليل الحراري **Thermal analysis and calculation types**

2-19-2-1 - تحليل الطاقة المفاهيمي **Conceptual Energy Analysis**

يتم استخدامه في مرحلة التصميم الأولي **preliminary design phase**. يسمح التحليل المفاهيمي بتحليل تأثير مقاييس التصميم المختلفة وفقاً لاقتصاد الطاقة في المبنى مثل الاتجاه والنسبة المئوية للأسطح الزجاجية والتأثير البيئي والظل وأشعة الشمس.

2-19-2-2 - المحاكاة الحرارية الديناميكية **Dynamic Thermal Simulation (DTS)**

تُعطي المحاكاة الحرارية الديناميكية المُبسّطة حولة بناء ساعية. تعتمد هذه المحاكاة التي تتم بشكل ساعي طوال فترة الدراسة على بيانات التصميم (الطقس، الإشغال، المناطق...). يتم استخدام المحاكاة الحرارية الديناميكية التفصيلية للمبنى بأداء نشط للغاية. يتضمن هذا النوع من المحاكاة نمذجة مُفصلة للمبنى (الجسور الحرارية والأقنعة الشمسية)، وتستخدم طريقة التوازن الحراري **Heat Balance Method (HBM)** لحساب الحمل.

2-19-2-3 - المحاكاة الحرارية للحالة المُستقرّة **Steady State Thermal Simulation (SSTS)**

نهج الحالة المُستقرّة هو طريقة مُبسّطة ومُشتقة من طريقة التوازن الحراري **HBM**. يتم استخدامه لتقييم الطلب على الطاقة سواء شهرياً أو سنوياً مع درجة حرارة داخلية ثابتة ومناخ خارجي معتدل.

20-2 - برمجيات محاكاة أداء المبنى و خصائصها **BPS Tools and its properties**

يوجد اليوم عدد كبير من أدوات المحاكاة كتطبيقات نمذجة معلومات البناء المتعلقة بالمحاكاة الحرارية في المباني. قام **Crawley et al**. بتفصيل وظائف واختلافات 20 أداة رئيسية لمحاكاة المباني. وصف **Attia** ثماني أدوات لمحاكاة أداء المباني وفقاً لمعايير اختيار مُحددة واستطلاعات آراء المستخدمين. تم تطوير أدوات محاكاة أداء البناء لتقليل تعقيد الخوارزميات الأساسية والحمل الحسابي والمدخلات المتوقعة من المستخدمين. تعمل أدوات

المحاكاة التفصيلية على تطوير نماذج رياضية معقدة وتمثيل كل تدفق طاقة مُمكن في المبنى (Doyle, 2008).

يتم تصنيف أدوات محاكاة أداء البناء وفقاً لمعايير مختلفة مثل طرق الحساب ومستويات النمذجة ومنطقة الاستخدام. قسّمهم (Clarke (2001 إلى مجموعتين وفقاً لطرق الحساب: (1) مُبسّط (ثابت-*static*)، (2) مفصل (ديناميكي-*dynamic*). تستخدم معظم أدوات المحاكاة المُستخدمة على نطاق واسع اليوم طرقاً رقمية ديناميكية. تستخدم الأدوات الديناميكية التي لها نتائج عالية الدقة إما أحد الاختلافات المحدودة *finite difference* والعناصر المحدودة *finite elements* وطرق حدود العناصر *boundary elements* من أجل حساب أحمال طاقة البناء وتفاعلات النظام الحراري. تحسب الأدوات الديناميكية بشكل عام على أساس كل ساعة ولكل منطقة على حدة من أجل مراعاة التفاعلات الديناميكية بين جميع عناصر البناء الحرارية (أي مغلف المبنى، ونظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء، وأنظمة الإضاءة والتحكم) المرتبطة بالراحة واستهلاك الطاقة (Solmaz, 2019).

يُمكن تجميع الأدوات في نوعين: الأول هو أدوات التصميم مثل *Revit* و *Rhino* و *SketchUp*، والثانية هو أدوات المحاكاة التفصيلية مثل *EnergyPlus* و *DOE2* و *TRNSYS* (Hong et al., 2000). بالإضافة إلى ذلك، هناك برامج أخرى (*Green Building Studio*، *DesignBuilder*، *OpenStudio*) تستخدم مُحركات محاكاة الأدوات الأخرى (Han et al., 2018). أدوات التصميم هي برامج ثابتة بشكل عام وتُستخدم في مرحلة التصميم المُبكرة من المشروع. هذه أبسط وتتطلب مُدخلات أقل من البرامج المُعقدة. من ناحية أخرى، عادة ما تكون أدوات محاكاة الأداء التفصيلية ديناميكية، ومُتاملة مع تقنيات الحساب لأحمال البناء وحسابات الطاقة، ويمكنها تحليل أداء المبنى بالكامل. إلى جانب ذلك، تتحقق الأدوات التفصيلية أيضاً من توافق التصميم مع معايير طاقة البناء القائمة على الأداء *performance-based building energy standards*.

2-20-1 - DesignBuilder™

أداة برمجية فريدة لإنشاء وتقييم تصاميم المباني. يُوفّر مجموعة من بيانات الأداء البيئي مثل: استهلاك الطاقة، انبعاثات الكربون، ظروف الراحة، ودرجات الحرارة القصوى في فصل الصيف وأحجام مكونات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء.

يستخدم *DesignBuilder* أحدث مُحرك محاكاة لـ *EnergyPlus* لحساب أداء المبنى وهو مناسب للاستخدام من قبل المهندسين المعماريين ومهندسي خدمات البناء ومستشاري الطاقة وإدارات الجامعة. وفقاً لـ (*DesignBuilder*, 2010)، فإن بعض الاستخدامات النموذجية هي:

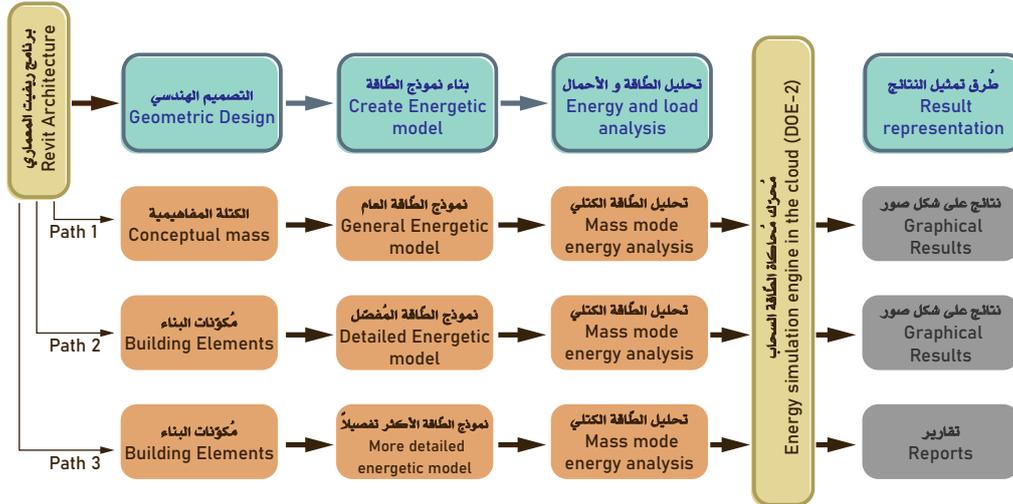
- المحاكاة الحرارية للمباني ذات التهوية الطبيعية.
- تصميم التدفئة والتهوية وتكييف الهواء بما في ذلك قياس معدات التدفئة والتبريد.
- حساب درجة الحرارة والسرعة وتوزيع الضغط داخل المباني وحولها باستخدام طريقة *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.
- تصوّر مخططات الموقع والتظليل الشمسي.
- التحقق من الاستخدام الأمثل للضوء الطبيعي.
- تقييم مجموعة من خيارات الواجهة للتأثير على ارتفاع درجة الحرارة واستخدام الطاقة والمظهر المرئي.

برنامج نمذجة معلومات البناء ثلاثية الأبعاد و المطور من قبل شركة Autodesk لتصميم وتحليل وإنشاء النموذج داخل منصة واحدة. يخزن النموذج البارامترى البارامترات/ المتغيرات والعلاقات والخصائص وبيانات النموذج. يمكن استخدام Revit لبناء نموذج معلومات يحتوي على جميع العناصر الهندسية والمواقع الجغرافية والعلاقات الخاصة والكميات والأصول لجميع مكونات التصميم المختلفة. يحافظ النموذج على قاعدة بيانات واحدة تحتوي على جميع معلومات تصميم المبنى. لا يمكن للنمذجة ثلاثية الأبعاد في Revit تقديم منظور متساوي الأبعاد ثلاثي المحاور فحسب، بل يُمكنه أن يعكس أي تغييرات تحدث في إحدى الواجهات views على الواجهة الأخرى. (Duell et al. 2015).

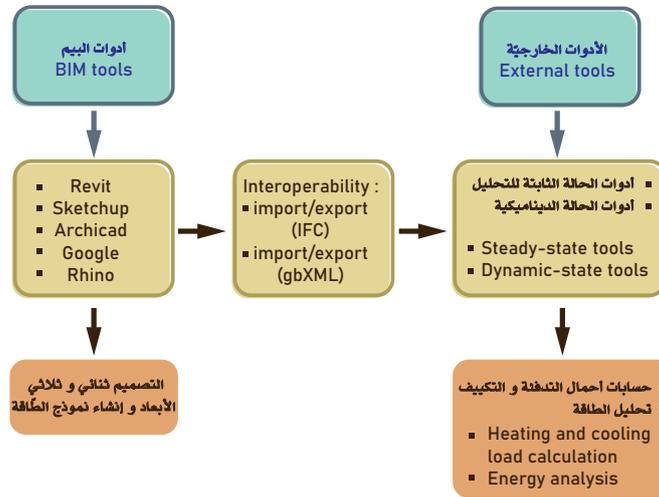
يسمح برنامج REVIT بتحليل البيانات المناخية لبناء تصميم سلبي ومُستدام. يُحلل المتغيرات المناخية على النحو التالي: سرعة الرياح، تردد الرياح، الرطوبة، درجة حرارة الهواء الجاف والرطب. يُوفر مخططات مثل وردة الرياح وبيانات التصميم الشهرية ومتوسطات الطقس اليومية والرطوبة. علاوة على ذلك.

يعتمد تدفق العمل في برنامج REVIT كما هو موضح في الشكل (2-13) على 3 مسارات. يُمثل المساران (1 و 2) تدفق العمل لتحليل الطاقة المفاهيمي **Conceptual Energy Analysis (CEA)** لتحليل الطاقة الذي يعتمد على أدوات "الكتلة المفاهيمية - **Conceptual Mass**" و "وضع عناصر البناء - **Building Elements Mode**". وعادة ما يستخدمه المهندس المعماري لتقدير استهلاك الطاقة السنوي. يُمثل المسار 3 منهجية التدفق ل "أداة التدفئة والتبريد" التي تُستخدم لحساب حمل التدفئة والتبريد. وعادة ما يستخدمه المهندس. يحتاج المسار (1) إلى تصميم الكتلة **mass design** يسمح بإنشاء نموذج طاقة عام **general energetic model**. ومع ذلك، يعتمد المسار (2) على المخطط المعماري للتصميم الهندسي. فهي تمكن من تنظيم نموذج مفصل **detailed energetic model**. ولكن، يسمح لنا سير عمل المسار 3 بالحصول على تقرير مفصل حول الحمل الكهربائي اللازم لحجم معدات التدفئة والتبريد.

تعتمد جميع المسارات على محرك حساب مثل Revit الذي يقترح استيراد وتصدير نتائج الحساب في السحابة من النموذج عبر **GBXML**. يستعيد جميع المعلومات التي تم حسابها من قبل الطرف الثالث - ضمن السحابة - بواسطة برامج متخصصة مثل **DOE-2**. هذا مهم جداً فيما يتعلق بسير العمل وعملية الحساب. بالإضافة إلى ذلك، يُوفر **REVIT** أدوات لمقارنة نتائج التحليل وإرسالها عبر البريد الإلكتروني وتصديرها. يمكن ل **REVIT** أيضاً مقارنة نتائج التحليل داخل أو بين المشاريع. يمكنه إرسال النتائج والمقارنات بالبريد، أو تصديرها بالبريد بتنسيقات شائعة مثل **PDF**. بالنسبة للمحاكاة الديناميكية **dynamic state simulation**، يمكن للمستخدم أيضاً تصدير معلومات نموذج الطاقة بتنسيقات **GBXML** و **DOE2** و **ENERGYPLUS** كما هو موضح في الشكل (2-13)(2-14). باستخدام المسار 1 و 2، يمكن تصدير مخططات البيانات كعرض تقديمي للرسومات وإنشاء رسوم مخصصة. إلى جانب ذلك، يمكننا تنزيل ملف بيانات الطقس من برنامج **Green building Studio (GBS)** لإنشاء الأداة المتخصصة في تحليل بيانات الطقس كبرنامج **ECOTECH**



شكل(2-13): تدفق العمل لتحليل الأداء ضمن برنامج الريفييت



شكل(2-14): تدفق العمل لتحليل الأداء ضمن بيئة البيم

Autodesk Insight™ - 3-20-2

يمكن تحسين عمل نمذجة معلومات البناء من خلال **Insight** وهي أداة تحليل قوية قائمة على السحابة **cloud-based** في مجموعة **AEC**. تساعد **Insight** في تحسين الطاقة والأداء البيئي طوال دورة حياة المبنى، مما يسمح للوحدات بدمج تحليل الطاقة وتحليل الإضاءة والتحليل الشمسي لنهج شامل لتصميم أداء المبنى. أصبحت قرارات التصميم الصديقة للبيئة ممكنة الآن باستخدام أدوات التحليل القائمة على سحابة **Insight** لتكرار وتحسين مُتغيرات المشروع خلال مرحلة التصميم. نظرة ثاقبة قادرة على إنشاء نماذج طاقة تلقائية من خلال **Revit** من المفهوم إلى التصميم التفصيلي. البرمجيات السحابية تسمح بالوصول إلى التحليلات والتصوير في بيئة النمذجة. يُمكن لـ **Insight** تصوير مؤشرات الأداء الرئيسية **key performance indicators** والعوامل والنطاقات والمواصفات والتفاعل معها من خلال التكلفة في الوقت الفعلي والتأثير على التغذية الراجعة. تقوم **Insight** بقياس وتصوير أحمال التدفئة والتبريد، وإجراء دراسات الشمس والظل لمعرفة كيفية تأثير ظروف الإضاءة على النموذج المُصمّم بدقة. يُحاكي **Insight** أيضاً الإضاءة النهارية والوهج **day lighting and glare** بالإضافة إلى حساب الطاقة الشمسية الكهروضوئية **solar PV** داخل بيئة التصميم. يُمكن أن تُقدّم أداة التحليل البيئي

للقاعدة السحابية العديد من الجوانب المترابطة لمتغيرات أداء البناء قبل البناء. تعمل **Insight** على توسيع القدرات والقيمة مع مجموعة **Autodesk AEC** من خلال مستويات غير مسبقة من تحليل الأداء القائم على السحابة (**Autodesk, 2024**).

Green Building Studio™ (GBS) - 4-20-2

هو خدمة تحليل الطاقة القائم على السحابة للمعماريين والمهندسين ومحللي المباني الذين يرغبون في بناء وتحسين أداء الطاقة في المباني الجديدة والقائمة. يُتيح البرنامج تصميم تحليلات طاقة المبنى بالكامل لفهم استخدام الطاقة وتطبيقات البصمة الكربونية لتصميمات المبنى. تستخدم الخدمة معلومات من **Autodesk Revit** كأساس للحسابات التي تعتمد على الهندسة. يُمكن للمنصة عرض وتكرار واختبار أداء بدائل التصميم المتعددة كجزء متكامل من سير عمل التصميم. يمكن للخدمة اختبار اتجاهات البناء المختلفة وزيادة المقاومة الحرارية للجدران دون إنشاء نماذج تصميم مختلفة. يُوفر نتائج رسومية سهلة الفهم تساعد في تشكيل قرارات التصميم. يمكن أن يساعد مخطط توفير الطاقة المحتمل فريق التصميم على فهم ومواءمة كيفية تحسين أداء الطاقة للمشاريع بسرعة بالإضافة إلى المساعدة في توصيل أداء البناء إلى أصحاب المصلحة في المشروع ومالكي المباني. تُساعد الخدمة على تحسين جودة التصميم من خلال المبنى بأكمله، من خلال تحليل الطاقة والمياه والكربون من خلال السعة السحابية **cloud computing capacity** المقدمة من **Autodesk 360**، تُساعد الخدمة المصممين على تحليل التصاميم بسرعة. أخيراً، تُمكن الخدمة المُصمّم من تحسين كفاءة الطاقة، والعمل نحو الحياد الكربوني في وقت مبكر من عملية التصميم (**Autodesk 2024**).

Ecotect™ - 5-20-2

تم تطويره بواسطة **Dr. Andrew Marsh and Square One Research Ltd**. استحوذت عليه **Autodesk**، يُقدّم التحليل الخاص **Ecotect** مجموعة واسعة من وظائف محاكاة وبناء تحليل الطاقة لتصوير ومحاكاة أداء المبنى في سياق البيئة (**Ecotect**).

يتضمن تحليل **Ecotect** الجديد مجموعة موسّعة من قدرات التحليل والمحاكاة البيئية بما في ذلك الظلال والانعكاسات، وتصميم التظليل، والتحليل الشمسي، وتحديد حجم المصفوفة الكهروضوئية ومطابقة الحمل، وتصميم الإضاءة، وتحليل الحق في الضوء للمباني المجاورة، والتحليل الصوتي، والتحليل الحراري، والتهوية وتدفق الهواء. أضافت **Ecotect** الدعم لمخططات **IFC** و **gbXML** منذ إصدار 5.6. يُمكن أن يؤدي **Ecotect** المزيد من التطبيقات: تحليل ضوء النهار وتحليل الصوت والمزيد من التصور. يمكنه استيراد نماذج **BIM - CAD** من معظم برامج **CAD**؛ **Revit** و **AutoCad** و **ArchiCad** و **3DsMax**.

يمكن تصدير **tcetocE** إلى مجموعة واسعة من البرامج الأخرى وتنسيقات **CAD**. وهو مُتوافق مع معظم برامج **CAD** و **GBS** و **EnergyPlus** و **eQUEST**.

Energyplus - 6-20-2

أداة برمجية معيارية لتحليل الطاقة ومحاكاة الحمل الحراري تعتمد على الميزات والقدرات الأكثر شيوعاً لـ **BLAST** و **DOE-2.1E**. إنها في المقام الأول مُحرك محاكاة؛ الإدخال والإخراج عبارة عن ملفات نصية بسيطة. نشأت **EnergyPlus** من الحاجة لتوفير محاكاة متكاملة (أحمال مُتزامنة-**simultaneous load** وأنظمة) للتنبؤ الدقيق بدرجة الحرارة والرّاحة. يتم تمرير الأحمال المحسوبة بواسطة (مُحرك توازن الحرارة-**heat balance**

engine) في الخطوة الزمنية التي يُحددها المستخدم (افتراضياً 15 دقيقة) إلى وحدة محاكاة نظام المبنى **building system simulation module** في نفس الخطوة الزمنية. تحسب وحدة محاكاة أنظمة بناء **EnergyPlus**، مع خطوة زمنية مُتغيرة (تصل إلى دقيقة واحدة حسب الحاجة)، نظام التدفئة والتبريد، واستجابة التجهيزات والأنظمة الكهربائية. يوفر هذا الحل المتكامل تنبؤاً أكثر دقة لدرجة حرارة المكان، وهو أمر بالغ الأهمية لحجم النظام والمنشأة، وحسابات راحة وصحة الشاغلين. كما تسمح المحاكاة المتكاملة للمستخدمين بتقييم عناصر التحكم الواقعية في النظام،

تحتوي **EnergyPlus** على مكونين أساسيين: وحدة محاكاة الحرارة والتوازن الكتلي **heat and mass balance simulation module**، ووحدة محاكاة أنظمة البناء **building systems simulation module**. تعتمد حسابات توازن الحرارة والكتلة على **IBLAST** - نسخة بحثية من **BLAST** مع أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء المتكاملة ومحاكاة أحمال البناء. وحدة توازن الحرارة تُنظّم توازن حرارة السطح والهواء، وتعمل كواجهة بين توازن الحرارة ومدير محاكاة نظام البناء. ترث **EnergyPlus** ثلاثة نوافذ **windows** ونماذج إضاءة نهائية شائعة من أداء النوافذ **DOE-2.1E** استناداً إلى حسابات النافذة رقم خمسة **WINDOW 5**، والإضاءة النهارية باستخدام وحدة انعكاس التدفق المنقسم **split-flux interreflection module**، ونماذج **antistrophic sky models**. بالإضافة إلى ذلك، تم دمج وحدة تحليل ضوء النهار الجديدة المسماة "**Delight**" مع **EnergyPlus** (2024) **Energyplus**.

e QUEST - 7-20-2

هي أداة سهلة الاستخدام لتحليل استخدام الطاقة في المباني توفر نتائج على المستوى الاحترافي مع مستوى معقول من الجهد. يتم تحقيق ذلك من خلال الجمع بين معالج إنشاء المبنى **building creation wizard**، ومعالج قياس كفاءة الطاقة **energy efficiency measure (EEM)** ووحدة عرض النتائج الرسومية، مع برنامج محاكاة استخدام طاقة المبنى المُستمد من **DOE-2.2**.

يتميز **eQUEST** بمعالج إنشاء المباني الذي يُوجّه المستخدم خلال عملية إنشاء نموذج طاقة بناء فعال. يتضمن ذلك اتباع سلسلة من الخطوات التي تُساعد على وصف ميزات التصميم التي من شأنها أن تؤثر على استخدام الطاقة مثل التصميم المعماري، ومعدات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء، ونوع المبنى وحجمه، وخطط المساقط الأفقية، ومواد البناء، واستخدام المنطقة وإشغالها، ونظام البرق **lightning system**. بعد تجميع وصف المبنى، تنتج **eQUEST** محاكاة مفصلة للمبنى، بالإضافة إلى تقدير لكمية الطاقة التي سيستخدمها المبنى.

ضمن **eQUEST**، تقوم **DOE-2.2** بإجراء محاكاة كل ساعة لتصميم المبنى لمدة عام واحد. يحسب أحمال التدفئة أو التبريد لكل ساعة من السنة، بناءً على عوامل مثل الجدران والنوافذ والزجاج والأشخاص وأحمال المآخذ الكهربائية والتهوية. تحاكي **DOE-2.2** أيضاً أداء المراوح والمضخات والمبردات والمراجل والأجهزة الأخرى المستهلكة للطاقة. أثناء المحاكاة، تقوم **DOE-2.2** بجدولة الاستخدام المتوقع للمبنى لمختلف الاستخدامات النهائية.

تقدم **eQUEST** العديد من التنسيقات الرسومية لعرض نتائج المحاكاة. يسمح بإجراء عمليات محاكاة مُتعددة وعرض النتائج البديلة في الرسومات جنباً إلى جنب. يُوفر ميزات مثل: تقدير تكلفة الطاقة، وضوء النهار والتحكم في نظام الإضاءة، والتنفيذ التلقائي لتدابير كفاءة الطاقة المشتركة (عن طريق اختيار التدابير المفضلة من القائمة) (2024) **Doe2.equest**.

تم تطوير **VE** بواسطة **IES** في اسكتلندا، تُستخدم في عمليّات التحليل و التصميم الحراري للمبنى، تحديد و تحليل أحمال التدفئة و التبريد، مستويات انبعاث ثنائي أكسيد الكربون ، بالإضافة للتحليل الشمسي و الظلال و الإضاءة الطبيعية و الصناعيّة، تدفق الهواء ، تكاليف دورة حياة المبنى . يدعم **IES VE** ملفات **gbXML** و **dxf** و يمكنه استيراد الملفات من **Revit** و **ArchiCad** وكمكون إضافي " **plug-in** " لـ **Google SketchUp** .

21-2 - تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة - Classification of architectural sustainable strategies

في هذا القسم سوف يقوم الباحث بتحديد ما هي الممارسات و الاستراتيجيات المعماريّة التي تهدف لتحسين كفاءة الرّاحة الحراريّة ضمن المباني. بناءً على تحليل مُحتوى الدراسات السابقة، تمكّن الباحث من تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة المؤثّرة على الرّاحة الحراريّة إلى فئتين رئيسيتين هُما، مُمارسات على مستوى غلاف المبنى، ومُمارسات على مستوى التصميم المنفعل (السالب)، كما هو مُوضح في الشكل (2-15).

▪ الممارسات على مُستوى غلاف المبنى المُبيّنة في الجدول (2-16).

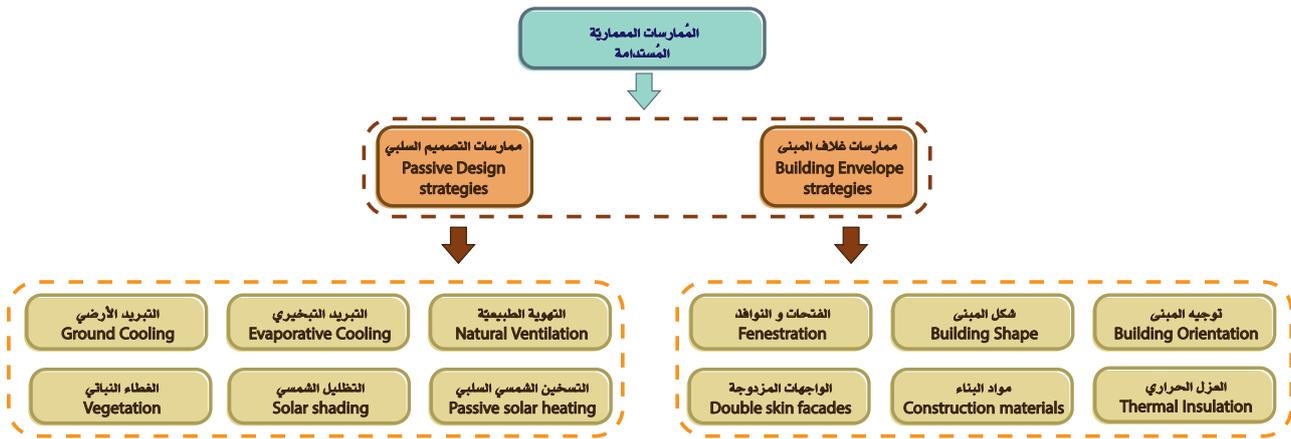
التسلسل	نوع المُمارسة
1	مواد العزل الحراري ضمن الجدران و الأسقف و النوافذ
2	الواجهات المزدوجة
3	تصميم و موقع النوافذ
4	مواد البناء
5	شكل و توجيه المبنى

جدول (2-16): ممارسات غلاف المبنى

▪ الممارسات على مُستوى التصميم المنفعل المُبيّنة في الجدول (2-17).

التسلسل	نوع المُمارسة
1	التظليل الشمسي
2	التهوية الطبيعيّة
3	التبريد الأرضي
4	التبريد التبخيري
5	التسخين الشمسي المنفعل
6	الغطاء النباتي

جدول (2-17): ممارسات التصميم المنفعل



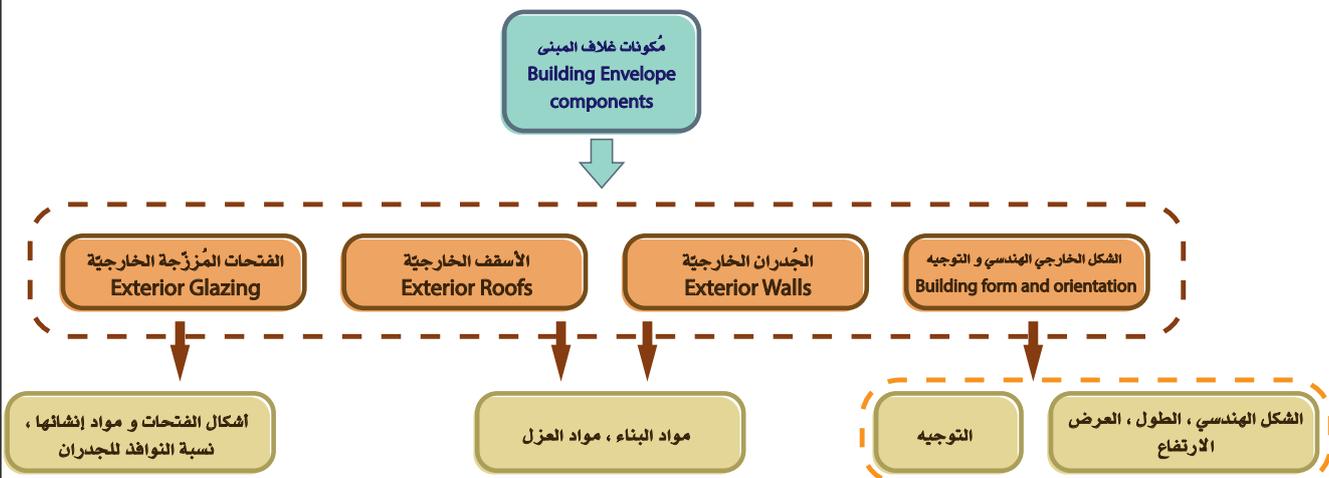
شكل (2-15): تصنيف الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الزاحة الحرارية

22-2 - غلاف المبنى Building Envelope

يُعتبر غلاف المبنى هو المكوّن الأساسي للمبنى، ويُحدّد تصميمه وتشييده كمية الحرارة القادرة على دخول المبنى من خلال التوصيل والحمل الحراري والإشعاع. لذلك، سيكون المحدد الرئيسي لكمية الطاقة اللازمة لإزالة الحرارة من المساحات الداخلية إلى البيئة الخارجية، بالإضافة إلى مستوى راحة شاغلي المبنى (Sadineni et al., 2011).

يتكون غلاف المبنى من مكوّنات غير شفّافة **Opaque** (مثل الجدران والأسطح والأرضيات والعزل) وأنظمة الفّتحات **Fenestration systems** (مثل النوافذ والنوافذ السقفية والأبواب الزجاجية) التي تفصل الجزء الداخلي للمبنى عن البيئة الخارجية. يُوفّر غلاف المبنى الحماية من عناصر البيئة الخارجية مثل الحرارة والإشعاع والرياح والأمطار والضوضاء والتلوّث. يلعب تصميم غلاف المبنى دورًا مهمًا في تقليل استهلاك طاقة التبريد والإضاءة.

تتمثل وظيفة الغلاف الخارجي للمباني في الفصل الفعلي بين الداخل والخارج. لذلك، فإنه يُوفّر حماية خارجيّة للبيئة الداخلية مع تسهيل التحكم في المناخ في نفس الوقت. يجب أن تؤخذ عناصر التحكم البيئي في الاعتبار فيما يتعلق بالحالات الخارجية. من أجل تقليل استهلاك الطاقة المطلوبة لتحقيق الرّاحة الحراريّة، من المهم تقليل كمية اكتساب الحرارة باستخدام الغلاف المبنى (Ralegaonkar & Gupta, 2010).



شكل (2-16): مكوّنات غلاف المبنى، المصدر (Mirrahimi et al., 2016)

23-2 - الممارسات الخاصة بغلاف المبنى بالنسبة للجدران و الأسقف

23-2-1 - مواد العزل الحراري Thermal Insulation Materials

هناك العديد من الفوائد للعزل الحراري. يضيف العزل الحراري الراحة الحرارية إلى المبنى، ويخلق بيئة منزلية أكثر صحة، ويقلل من فواتير الطاقة ويكون له تأثير بيئي إيجابي. يُحافظ العزل الحراري على برودة المنزل في الصيف ودفئه في الشتاء. سيؤدي ذلك إلى تقليل كمية أجهزة التدفئة والتبريد اللازمة للحفاظ على الراحة الحرارية.

العزل الحراري هو تلك المواد التي تمنع أو تُقلل من أشكال نقل الحرارة المختلفة (التوصيل والحمل الحراري والإشعاع). يُقاوم العازل انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل أو بالاتجاه المعاكس سواء كانت درجة حرارة البيئة مُرتفعة أو مُنخفضة. يجعل العزل الحراري درجة الحرارة الداخلية للمبنى مُستقرة وغير مُتطايرة. للحد من انتقال الحرارة، يجب عزل المباني من أجل حمايتها من فقدان الحرارة في الشتاء والحرارة المكتسبة في الصيف. وجد أن حوالي 60% من فقدان الحرارة مباشرة من خلال أسقف وجدران المبنى وأن حوالي 15% من خلال الزجاج وحوالي 25% من الحرارة تتسرب من خلال الشقوق والفتحات والأبواب.

23-2-1-1 - تصنيف العزل الحراري التقليدي

يمكن تصنيف العزل الحراري تبعاً لتركيبه البنيوي **Structure** أو شكله **Shape**.

بالنسبة للتصنيف حسب تركيبه البنيوي فهذه المواد تُصنّف كما يلي :

1. مواد عضوية **Organic**: مثل القطن و الصوف و الفلين و المطاط و السليلوز.
2. المواد غير العضوية **Inorganic**: مثل الزجاج و الأَسْبستوس **Asbestos** و الصوف الصخري **Rockwool** و البيرلايت **Perlite** و الفيرميكلوليت **Vermiculite** و سيليكات الكالسيوم **Calcium silicate**.
3. المواد المعدنية **Metallics**: مثل رقائق الألومنيوم **Aluminum foils** و عاكسات القصدير **Tin reflectors**.

بالنسبة للتصنيف حسب الشكل فهذه المواد تُصنّف كما يلي :

- اللفائف **Rolls**: تختلف في درجة المرونة والقُدرة على الانحناء أو الضغط. يمكن تثبيتها بواسطة المسامير مثل الصوف الزجاجي و الصوف الصخري و البولي إيثيلين **Polyethylene** و لفائف السيراميك **Foil-ceramic rolls**.
- الصفائح **Sheets**: هناك أبعاد و سماكات مُحدّدة مثل طبقات البولي إيثيلين **polyethylene layers** و البوليسترين **Polystyrene**, و الفلين **Cork** و السليلوز **Cellulose**.
- الموائع السائلة أو الغازية: يتم سكبها أو رشها لتشكيل الطبقة العازلة المطلوبة، مثل رغوة البولي يوريثان **Polyurethane foam** و الإيبوكسي **Epoxy**.
- الحبيبات **Grains**: عادة ما يتم وضع مسحوق أو حبيبات في الفراغات بين الجدران ويمكن أيضاً خلطها مع بعض المواد الأخرى. أمثلة على هذه المواد الفلين و البوليمرات الحبيبية **granulated cork and polymers**.

23-2-1-2 - العوازل الحرارية الأكثر شيوعاً The most common insulators

- السليلوز **Cellulose**: مصنوع من الخشب أو الورق المُعاد تدويره ويتميز بقابليته لامتصاص الماء والغبار.

يأتي بشكل أساسي في شكل مائع قابل للانتفاخ و التعبئة **loose-fill form**، أو رولات أو ألواح أيضاً. ويمكن استخدامها للجدران والأرضيات عند تركيبها مع رابط أو شبكة أو تغطية.

▪ الفلين **Cork**: هذا مأخوذ من شجرة الفلين. يمكن تصنيعه من المنتجات البترولية التي تسمى البوليسترين الممدد **Expanded Polystyrene (EPS)**. يوجد على شكل ألواح ويُستخدم كعوازل حرارية وصوتية.

▪ البوليسترين الممدد **Expanded Polystyrene (EPS)**: هو منتج رغوي مصنوع من حبيبات البلاستيك المقولبة. على الرغم من أنه يمتلك أقل قيمة مقاومة حرارية من منتجات الرغوة، إلا أنه أيضاً الأقل سعراً. يُستخدم في عدة منتجات بناء، بما في ذلك الأشكال الخرسانية المعزولة والألواح المعزولة الهيكلية. إنه يؤدي بشكل جيد في التطبيقات تحت مستوى الأرض.

▪ البوليسترين المبثوق **Extruded polystyrene**: وهو منتج رغوي أيضاً، هو منتج بوليسترين متجانس يتم تصنيعه بشكل أساسي من قبل ثلاثة مصنعين بألوان مميزة هي الأزرق والوردي والأخضر. إنه منتج ممتاز للاستخدامات تحت مستوى الأرض أو كعزل خارجي.

▪ الصوف الزجاجي **Glass wool**: يستخدم على نطاق واسع لعزل المباني، وكذلك الغلايات والخزانات.

▪ الصوف الصخري **Rock wool**: تستخدم هذه المادة لعزل المباني، يتوفر بشكل رئيسي بشكل مائع قابل للانتفاخ و التعبئة **loose-fill form** ويمكن نفخه باستخدام طرق الرش الرطب في الجدران.

▪ البولي يوريثين **Polyurethane**: يستخدم عادة كألواح معزولة أو رغوة لملء الشقوق.

▪ فلين البوليسترين **Polystyrene cork**: كلا النوعين، **EPS** و **XPS**

▪ طبقات **Astrofoil (XPE)**: تتكون من رقاقتين من الألومنيوم بما في ذلك فقاعات الهواء المصنوعة من مواد البولي إيثيلين **polyethylene**. تعكس طبقات الألومنيوم الإشعاعات الشمسية في الصيف بينما تقلل فقاعات الهواء من انتقال الحرارة عبر الجدران بسبب عزل الهواء العالي. هذه المادة هي عازل جيد ضد تسرب الماء والهواء.

▪ ألواح البولي كربونات **Polycarbonate panels**: هذه الألواح هي ألواح خفيفة الوزن، وتتكون من عدة طبقات لتكون قادرة على تحمل الصدمات مع وجود تجاويف هوائية لأغراض العزل الحراري.

▪ المواد العاكسة **Reflective materials**: مثل ألواح الألمنيوم والألكوبوند **alu-cobond** والدهانات العاكسة. وتستخدم هذه المواد لعكس الإشعاع الشمسي على الجدران الخارجية.

▪ ألواح مقاومة للحريق **Fire retardant sheets**: هي ألواح خشبية تتميز بقدرتها على تأخير نمو الحريق بالإضافة إلى قدرة العزل الحراري.



شكل(2-17): بعض أنواع مواد العزل الحراري

المادة الخام	قيمة المقاومة الحرارية	طريقة التركيب	نوع العازل الحراري	
الورق و الخشب	3 - 3.7	الرش السائل ، الرش الخبيبي ، ألواح ، النفخ	Cellulose	السيليلوز
الرمل، السيليكات، الحجر الجيري، الرانتج	3 - 4.3	ألواح ، الرش الخبيبي ، رقائق	Fiberglass	فايبر غلاس
الوقود الأحفوري	2.5 - 3.3	ألواح	Expanded Polystyrene	البوليستيرين الممدد
الوقود الأحفوري	3.85 - 5	ألواح	Extruded Polystyrene	البوليستيرين المبثوق
الخبث البركاني	3.1 - 5	الرش الخبيبي	Perlite	البيرلايت

جدول(18-2): أنواع العوازل الحرارية و قيمة مقاومتها للحرارة

2-23-1-3 - مادة الهلام الهوائي Aerogel

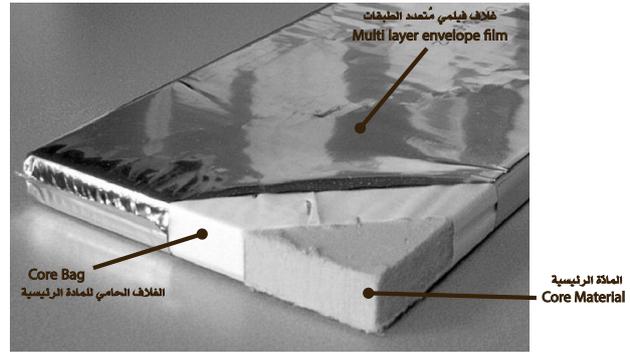
الهلام الهوائي هو مادة موجودة منذ أكثر من 80 عامًا. بتعبير أدق، تم اختراعه في عام 1931 وتم تسميته في عام 1932 من قبل العالم الأمريكي **Samuel Kistler (Klassen, 2023)**. إنها سيليكات خفيفة مُشتقة من هلام **Gel** تم فيه استبدال المكوّن السائل بغاز. بعد استخراج السائل، تكون النتيجة هلام صلب مُنخفض الكثافة للغاية **low-density** ومسامي للغاية **highly porous** مع خصائص ملحوظة، تُعرف بشكل خاص باسم العازل الحراري الفعّال. هذه الخصائص مسؤولة عن مجموعة واسعة من التطبيقات التكنولوجية. نظرًا للطريقة التي يتشربها الضوء في المادة وطبيعته الشفافة، يطلق عليه أيضًا "الدخان المتجمد أو الصلب أو الأزرق" (**Azum et al., 2021**). هذه المادة لها مجموعة واسعة من الاستخدامات وقد استخدمت في مختلف المجالات منذ اكتشافها. على سبيل المثال، في صناعة الفضاء، حيث يتم استخدام مرشحات الهلام الهوائي كمجمعات غبار فضائية (**Burchell et al., 2006**). المجالات الأخرى التي يمكننا العثور على استخدامه فيها هي الطب، وبناء الطائرات، والإلكترونيات، وتنقية النفط، وتكنولوجيا النانو، وفي العديد من المجالات الأخرى، وليس أقلها البناء (**Hrubesh, 1998**).

2-23-1-4 - ألواح العزل الفراغي (VIPs) Vacuum Insulation Panels

تمثل ألواح العزل الفراغي (VIPs) أحد الحدود المستقبلية في مجال العزل الحراري. تتكون هذه التقنية عادةً من غلاف مُحكم متعدد الطبقات يحيط بنواة مسامية تم إخلاء الهواء والغازات الموجودة منها (الشكل 2-18). هذا الهيكل يجعل هذه المادة واحدة من أفضل حلول العزل من حيث نقل الحرارة، وقادرة على الوصول إلى

الموصلية الحرارية التي يُمكن أن تختلف على مدى عمر اللوحة من $0.0015 - 0.0080 \text{ W/mK}$ ، مما يوفر، بنفس السماكة، مقاومة حرارية حوالي 8 إلى 10 مرات أكثر من المواد العازلة التقليدية (Kalmæs & Jelle, 2014).

تم تصنيع أول VIP في عام 1930 من قبل براءة اختراع ألمانية، باستخدام مادة أساسية مسامية مغلقة بالمطاط، بعد حوالي 20 عامًا، تم تقديم براءة اختراع ثانية في الولايات المتحدة، والتي تنص على استخدام الصوف الزجاجي كمادة أساسية، محتومة بألواح فولاذية. في عام 1963، تم إنتاج أول لوحة تحتوي على نواة من مادة ذات بنية نانوية. في السنوات التالية، يستمر تطوير VIP بتجارب على أنواع مختلفة من المواد للنواة والغلاف، من أجل تقليل الموصلية الحرارية وسماكة اللوحة وتحسين نفاذية الغلاف الواقي (Johansson, 2012).



شكل(2-18): ألواح العزل الفراغي

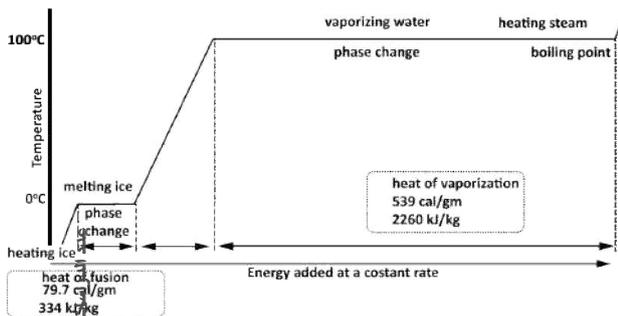
2-23-1-5 - مواد العزل مُتغيرة الطور (PCM) PHASE CHANGE MATERIALS

الطور: هو مجموعة من حالات نظام فيزيائي له تركيبة كيميائية وخصائص فيزيائية موحدة نسبياً (أي الكثافة والبنية البلورية ومؤشر الانكسار وما إلى ذلك).

تغير الطور: تغيير الطور هو تحول النظام الديناميكي الحراري من مرحلة إلى أخرى. الخصائص المميزة لانتقال الطور هي التحولات المفاجئة في واحدة أو أكثر من الخصائص الفيزيائية، ولا سيما السعة الحرارية، مع تحول صغير في المتغير الديناميكي الحراري مثل درجة الحرارة.

المادة مُتغيرة الطور: هي مادة ذات حرارة انصهار عالية بحيث يمكن أن تذوب وتتصلب في درجات حرارة محددة، مما يمنحها القدرة على تخزين وإطلاق كميات كبيرة من الطاقة.

عادة ما تنطوي التحولات بين الأطوار الصلبة والسائلة والغازية على كميات كبيرة من الطاقة مقارنة بالحرارة المحددة. إذا تمت إضافة الحرارة بمعدل ثابت إلى كتلة من الجليد لأخذها من خلال تغيراتها الطورية إلى الماء السائل ثم إلى البخار، فإن الطاقات المطلوبة لاستيعاب تغيرات الطور (تسمى الحرارة الكامنة للاندماج والحرارة الكامنة للتبخير) ستؤدي إلى هضاب في الرسم البياني لدرجة الحرارة مقابل الوقت. يفترض الشكل(2-19) البياني أدناه أن الضغط هو واحد قياسي (Nave, 2015).



شكل(2-19): تحولات تغيير المرحلة للمياه ، المصدر(Nave, 2015)

PCMs هي مواد تخزين الحرارة الكامنة **latent heat**. تغير الطور هو عملية بحث عن الحرارة (امتصاص للحرارة) وبالتالي، تمتص المادة أو تطلق الحرارة اعتماداً على اتجاه تغير الطور. مواد تغيير الطور هي مركبات عضوية أو أملاح غير عضوية وكلاهما يعتمد على التأثيرات الجزيئية. لذلك ليس من المستغرب أن المواد داخل فئة

2-23-2 - الواجهات المزدوجة (DSF) Double Skin Facade System

تمت مناقشة فكرة تطبيق الواجهة المزدوجة البشرة **DSF** بدلاً من واجهة واحدة (**SSF**) **Single Skin** في السنوات الأخيرة من أجل التغلب على تحديات الواجهة الزجاجية في المناخات الحارة (**Radhi et al, 2013**). أدى تطبيق معايير الإضاءة النهارية للراحة البصرية والصحة النفسية للشاغلين إلى جانب الشكل الجمالي للواجهة الزجاجية إلى دفع المهندسين المعماريين إلى استخدام الأغلفة الزجاجية بالكامل وبالتالي الاستخدام المفرط لطاقة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء للراحة الحرارية. ومع ذلك، فإن تأثير الواجهة الزجاجية بالكامل في رفع درجة حرارة المبنى يتناقض مع توصيات التصميم المُنفعل حول مواد الواجهة وتكوينات النوافذ في المناخات الدافئة (**Haase et al., 2009**). لذلك، تم اعتبار **DSF** كحاجز خارجي للتحكم في الإشعاع الشمسي كتقنية بديلة للواجهة الزجاجية في المناخات الحارة.

■ مكونات الواجهة المزدوجة:

يتكون نظام **DSF** من ثلاثة مكونات رئيسية: طبقتان زجاجيتان داخلية وخارجية وفراغ بين هاتين الطبقتين. يمكن أن يلعب الفراغ دوراً مهماً في حماية البيئة الداخلية من تغير الطقس والرياح والأمطار (**Ioannidis et al., 2017**) ويستخدم للتهوية المُتحكم فيها **Controlled ventilation** والحماية من الشمس (**Andelković et al., 2015**).

■ الطبقة الزجاجية الداخلية والخارجية

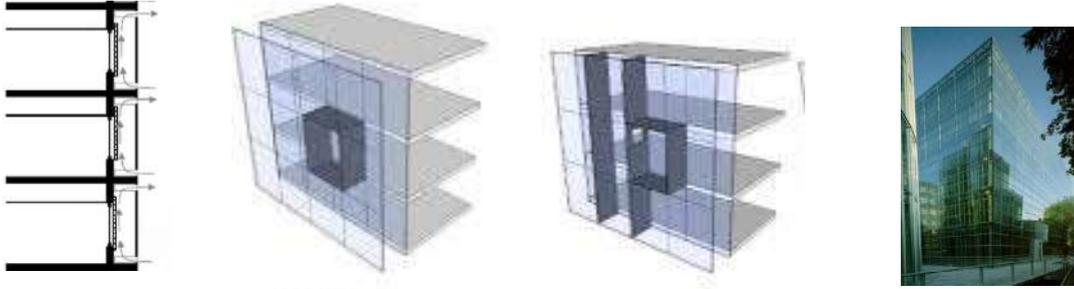
تعد الطبقة الخارجية لـ **DSF** فعالة لحماية هيكل المبنى والبيئة الداخلية من الظروف الجوية وتقليل التلوث الضوئي بشكل ملحوظ (**Nasrollahi & Salehi, 2015**). امتصاص وعكس الإشعاع الشمسي هي الوظائف الحرارية الرئيسية لهذه الطبقة الخارجية (**Zhou & Chen, 2010**). من الشائع النظر في الطبقات الزجاجية للأجزاء الداخلية والخارجية من **DSFs** ولكن خصائصها البصرية الحرارية ونسبة النفاذ إلى الجدار (**WWR**) للطبقة الداخلية يُمكن أن يؤثر على الأداء الحراري والبصري للنظام. وفقاً لذلك، تم إجراء العديد من الدراسات لتقييم وظيفة **DSF** فيما يتعلق بأنواع وخصائص الزجاج. يوصى باستخدام لوح زجاجي واحد للبشرة الخارجية وزجاج مزدوج للبشرة الداخلية (**Joe et al., 2014**). يمكن أن يؤدي اختيار الزجاج هذا إلى اكتساب حرارة عالية في التجويف، وبالتالي زيادة قوة الطفو للتهوية الطبيعية وتقليل النفاذية الحرارية في الفضاء الداخلي (**Barbosa et al., 2015**). يعد **WWR** للطبقة الداخلية عاملاً حاسماً لتقليل حمل التبريد وكسب الحرارة الشمسية للمساحة الداخلية.

■ الفراغ الهوائي

الفراغ الوسيط بين الطبقتين الزجاجيتين هي قناة من الهواء تعمل كمساحة عازلة للتحكم في الأداء الحراري لـ **DSFs**. يمكن أن تكون التهوية في التجويف طبيعية وميكانيكية وهجينة. العامل الرئيسي الذي يسبب التهوية الطبيعية في التجويف هو تأثير الطفو **Buoyancy effect**، وهو نتيجة للفروقات في درجة الحرارة (يُعرف هذا أيضاً باسم **stack effect**). تلعب عناصر أخرى مثل خصائص الرياح (السرعة والاتجاه والضغط) وترتيب أماكن توضع الفتحات (الاتجاه والبعد) دوراً هاماً أيضاً (**Nasrollahi & Salehi, 2015**). ارتفاع التجويف وعرضه (المسافة بين الطبقتين الزجاجيتين) وطوله (المسافة بين الجدران الجانبية البعيدة) هي المتغيرات الهامة الرئيسية التي تحدد تكوينه.

2-23-1 - تصنيف الواجهات المزدوجة *DSF classification*

تم تحديد العديد من التصنيفات لـ *DSFs* بناءً على وضع التهوية وتكوين الفراغ ومسار تدفق الهواء عبر التجويف. يعتمد التصنيف الأكثر شهرة على هندسة *DSFs* (Oesterle et al., 2001): نوافذ الصندوق *Box windows*، الممر *Corridor*، الهيكل الصندوقي *Shaft box*، ومتعدد الطوابق *Multi-storey*. يعتمد مفهوم هذه الأنواع من *DSFs* على استخدام الإشعاع الشمسي الممتص لزيادة تأثير طفو الهواء ومعدل تدفق الهواء في الفراغ مع التحكم في المنطقة العازلة لتقليل فقد حرارة المبنى في المواسم الباردة لتسخين المناخات السائدة.



(a) Corridor facade

(b) Box facade

(c) Shaft Box facade

(d) Multi-story facade

شكل(2-20): أنواع الواجهات المزدوجة المختلفة

2-23-3 - تصميم وتكوين النوافذ *Fenestration*

تعتبر النوافذ العنصر الرئيسي في تبادل الكميات الكبيرة من الحرارة بين غلاف المبنى والبيئة الخارجية. ومع ذلك، ما يقرب من 40% من الحرارة غير المرغوب فيها التي تتراكم في المنزل تأتي من خلال النوافذ، وبالتالي فإن حمايتها من الشمس أمر حتمي.

يتمثل الدور المهم للزجاج في توفير التهوية وضوء النهار والكسب الحراري الشمسي و المظهر الجمالي. هناك ثلاثة معلمات رئيسية تحدد الخصائص الحرارية والبصرية لأي زجاج وهي قيمة *U-value* ومعامل اكتساب الحرارة الشمسية *solar heat gain coefficient* ونقل الضوء المرئي *visible light transmission*.

2-23-3-1 - عامل الناقلية الحرارية للنوافذ *U-value*

يتم استخدام قيمة *U* للتعبير عن قيمة العزل للنافذة. هو معدل فقدان الحرارة من النوافذ، وبالتالي، فإنه يمثل تدفق الحرارة في الساعة لكل متر مربع من منتج النوافذ لفرق $1\text{ }^{\circ}\text{K}$ بين درجة حرارة الهواء الداخلي والخارجي. يتم تقييمه على الهواء لنقل الحرارة من خلال مكونات النافذة (الزجاج والإطار والفواصل والمسافة بين الألواح الزجاجية في حالة وجود المكونين الأخيرين). قيمة *U* هي رقم بين 0 و 1 يُقاس $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{k}$. كلما انخفضت قيمة *U*، زادت مقاومة النوافذ لتدفق الحرارة وكان العزل أفضل (Aguilar-Santana et al., 2020).

2-23-3-2 - مُعامل كسب الحرارة الشمسية *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)*

معامل كسب الحرارة الشمسية هو جزء من الإشعاع الشمسي الساقط المسموح به من خلال النافذة. وهي النسبة بين اكتساب الحرارة الشمسية من خلال النوافذ وإجمالي الإشعاع الشمسي الساقط. إنه يقيس مدى نجاح النوافذ في منع الحرارة من الإشعاع الشمسي الوارد. وهي قيمة بدون وحدة يُعبر عنها برقم بين 0 - 1. كلما كانت قيمة *SHGC* الخاص بالنوافذ مُنخفضاً، كلما كانت الحرارة الشمسية العابرة أقل. (Lawrence Berkeley Nation Laboratory, 2017).

2-23-3-3 - انتقال الضوء المرئي (VT) Visible Light Transmission

تحدد نفاذية الضوء المرئي للزجاج أدائه المرئي، وهي النسبة المئوية للجزء المرئي من الطيف الشمسي المتقل من خلال الزجاج. وهي قيمة بين 1 - 0. كلما ارتفعت قيمة هذا العامل، كلما ارتفع اختراق الضوء للزجاج. لا تؤثر النفاذية المرئية على الأحمال الحرارية في المبنى ولكن من المهم تقييم كفاءة الطاقة الإجمالية لمنتج الزجاج. (Lawrence Berkeley Nation Laboratory, 2017).

2-23-3-4 - الفتحات الزجاجية التقليدية Conventional Glazing

■ الزجاج الشفاف Clear glazing

وهو الزجاج الأكثر شيوعاً في الاستخدام لأنه أرخص من الأنواع الأخرى وله نفاذية ضوئية مرئية تبلغ حوالي 90%. ستؤدي زيادة سماكة الألواح الزجاجية إلى تحسين خصائصها العازلة مثل قيمة U و SHGC. يوضح الجدول 1 الخصائص المختلفة لزجاج شفاف واحد (Rezaei et al., 2017).

■ الزجاج الملون Tinted glazing

الزجاج الملون عبارة عن زجاج شفاف مع إضافة بعض المكونات المعدنية Metal component للمساعدة في الاحتفاظ بشفافية الألواح الزجاجية من الداخل مع امتصاص جزء من الحرارة الشمسية دون حجب ضوء النهار الطبيعي. يُغيّر التلوين لون النوافذ ولكن هذا اللون متين ولا يتغير بمرور الوقت. ليس للصبغة أي تأثير على U-factor ولكنها تغير قيمة SHGC التي يمكن أن تكون مفيدة في الصيف (Lawrence Berkeley Nation Laboratory, 2017).

تسمح الألوان الزرقاء والخضراء باختراق جيد للضوء المرئي وتقليل نقل الحرارة مقارنة بالألوان الأخرى. بالنسبة للألوان البرونزية والرمادية، يكون الانخفاض في نفاذية الضوء المرئي أكبر من معامل اكتساب الحرارة الشمسية، وهذا يمكن أن يقلل من كمية الوهج ولكن أيضاً يقلل من كمية ضوء النهار الذي يخترق المساحة. يوضح الجدول (5-7) قيمة U و SHGC و VT بسماكة وألوان مختلفة من الزجاج الملون. (Rezaei et al., 2017).

■ الزجاج ذو الطبقة الزجاجية العاكسة Reflective coating glazing

يستخدم الزجاج العاكس لزيادة الانعكاسية السطحية للوح الزجاجي مما يقلل من SHGC ولكن قد يقلل أيضاً من VT للنفاذة. تتكون من طبقة معدنية رقيقة يمكن أن يكون لها ألوان معدنية مختلفة (برونزية - فضية ذهبية). يمكن تطبيقه على كل من الزجاج الشفاف والملون. عند تطبيقها على الزجاج الملون، تنخفض نفاذية الضوء المرئي بشكل كبير أكثر من اكتساب الحرارة الشمسية. تعتمد درجة تقليل SHGC على سماكة الزجاج وانعكاسيته وموقعه. يتم تطبيقه بشكل أفضل على السطح الخارجي للزجاج المواجه لأشعة الشمس لأنه يعمل مثل المرآة. (Lawrence Berkeley Nation Laboratory, 2017).

■ الزجاج منخفض الانبعاثية Low-Emissivity coating glazing (Low-E)

الطبقة منخفضة الانبعاثية (Low-E) هي طبقة معدنية رقيقة وشفافة يُطبق على الزجاج مثل القصدير والزنك الفضي لتقليل انبعاثية الزجاج. سيؤدي تقليل انبعاثية النوافذ إلى تحسين خصائصه العازلة بشكل كبير. نظراً للطبقة منخفضة الانبعاثية، فإن تحسين القيمة العازلة يعادل إضافة لوح زجاجي آخر في نافذة متعددة الألواح. تم تصميم الجيل الأول من الزجاج منخفض الانبعاثية لتقليل مكاسب حرارة الصيف ولكن يسمح بضوء النهار الطبيعي

الذي يسمح بالضوء المرئي ولكنه سيحجب جميع الأجزاء الأخرى من الطيف الشمسي مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء القريبة وموجة الأشعة تحت الحمراء الطويلة. تم تصميم الجيل الثاني ليعكس الموجة الشمسية القريبة من الأشعة تحت الحمراء مثل مرآة الحرارة لتقليل إجمالي معامل اكتساب الحرارة الشمسية مع الحفاظ على مستويات عالية من نفاذية الضوء المرئي. (Aguilar-Santana et al., 2019)

2-23-3-5 - الفتحاح الزجاجية المتطورة *Advanced Glazing*

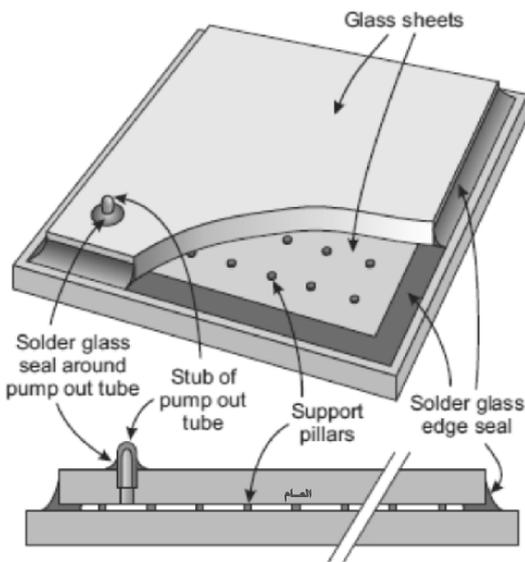
وحدة الزجاج المعزول *Insulated glazing unit (IGU)* هي عبارة عن نافذة تتكون من ألواح زجاجية متعددة (زجاج مزدوج أو ثلاثي) تستخدم فيه المسافات بين الزجاج لزيادة العزل الحراري دون التأثير بشكل كبير على أداء الإضاءة. تتمتع *IGU* بالعديد من الفوائد، فهي تمنع الاتصال المباشر بأشعة الشمس ومع استخدام تكييف الهواء، يكون الفرق في درجة الحرارة بين الداخل والخارج أقل بكثير. بسبب الحمل الحراري *Convection*، يدور الهواء ويعمل كحاجز ويمنع انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل والهواء البارد من الداخل إلى الخارج مما يؤدي إلى توفير الطاقة. نوع الزجاج المستخدم في أي *IGU* ليس فقط زجاجاً شفافاً ولكن يمكن أن يكون زجاجاً منخفض الانبعاثية أو ملوناً عازلاً بشكل عام.

شكل (2-21): رسم توضيحي للزجاج المفرغ

■ الزجاج المملوء بالغاز *Gas Filled Glazing*

عادة، يتم ملء المساحة في وحدة الزجاج المعزولة بالهواء، ولكن عند ملء هذه المساحة بغاز أقل موصلية، فإن هذا سيقلل من نقل الحرارة الكلي بين الطبقتين الزجاجيتين. سيؤدي ملء الفراغات بين الألواح الزجاجية بالغازات النبيلة *Noble gases* أو الغازات الخاملة *Inert gases* مثل الأرجون أو الكريبتون أو الزينون إلى تعزيز أدائها الحراري بشكل كبير. هذه الغازات أكثر كثافة من الهواء ولها موصلية حرارية منخفضة وبالتالي تقلل من كمية نقل الحرارة من خلال *IGU* والقيمة الإجمالية U للنافذة. (Zozuláková & Bagona, 2019).

■ الزجاج المفرغ *Vacuum Glazing*



يعد استخدام الزجاج المفرغ حلاً واعداً للغاية لتقليل نقل الحرارة داخل الفراغ الذي يتم إخلاؤه. يتم استخراج الهواء الموجود في الفراغ بين الألواح الزجاجية لتشكيل فراغ. يتكون من لوحين زجاجيين بسماكة حوالي $3 - 4 \text{ mm}$ مفصولين ضمن مساحة ضيقة مفرغة حوالي $0.1 - 0.2 \text{ mm}$. السطح الداخلي لأحد الألواح الزجاجية أو كليهما مغطى بزجاج منخفض الانبعاثية لتجنب انتقال الحرارة الإشعاعية. التوصيل والحمل الحراري لا يكاد يذكر بسبب انخفاض عدد جزيئات الغاز المسؤولة عن نقل الحرارة (Ali et al., 2017).

■ الزجاج ذو الهلام الهوائي *Aerogel Glazing*

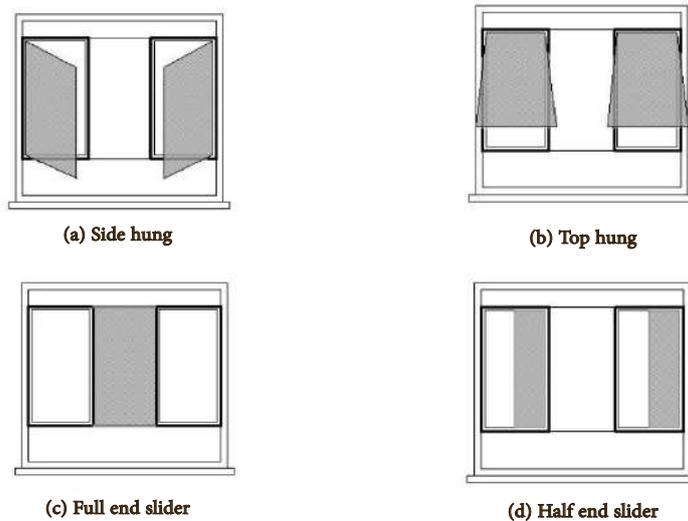
تعتبر المواد الهلامية الهوائية المعروفة أيضًا باسم الهواء الصلب **Solid air** واحدة من أكثر المواد الواعدة التي يمكن استخدامها في النوافذ نظرًا لتكوينها الخفيف (الكثافة $1-150 \text{ kg/m}^3$) الذي يتكون من الهواء ويتم تجفيفها بالهلام مع مسامية عالية بحيث يكون لها موصلية حرارية أقل من الهواء. وهي مادة عازلة شفافة تسمح باختراق ضوء النهار الطبيعي وتعزيز الأداء الحراري والخصائص الشمسية للنافذة. الهلام الهوائي له موصلية حرارية تتراوح بين $0.01 - 0.02 \text{ W/m.k}$ بسبب أحجام المسام الصغيرة. (Berardi, 2015)

2-23-3-6 - تكوين و موضع الفتحات **Opening Configuration**

يمكن أن يشير تكوين الفتحات إلى شكلها وحجمها وموقعها على الواجهة **Configuration of openings**. تُظهر دراسة حول تأثير تكوين الفتحات على معدل التهوية أن وضع فتحتين متقابلتين أو متعامدتين مع بعضها البعض من شأنه أن يعزز أداء التهوية (Gao & Lee, 2011).

خلص **Derakhshan and Shaker (2016)** إلى أن النوافذ المستطيلة ذات نسبة العرض إلى الارتفاع الأصغر من شأنها تحسين التهوية الطبيعية للشعور بالراحة الحرارية.

قام **Heiselberg et al. (2001)**، **Gao and Lee (2011)** بتقييم تأثير أنواع الفتحات المختلفة لأنماط التهوية أحادية الجانب والمتقاطعة. على الرغم من أن كلتا الدراستين تهتمان بتأثير نوع النافذة على تدفق الهواء الداخلي، إلا أن **Heiselberg et al. (2001)** ينظر إلى المشكلة أكثر من منظور مخاطر السحب، بينما تركز دراسة **Gao and Lee (2011)** على تدفق الهواء كعنصر تبريد سلبي. أجرى **Heiselberg et al. (2001)** تجارب معملية على النوافذ المعلقة من الجانب والقاع **side-hung and bottom-hung windows**. وخلصوا إلى أنه في فصل الشتاء، تكون النافذة السفلية هي النوع الأنسب لكل من تكوينات التهوية أحادية الجانب والمتقاطعة. ومع ذلك، في الصيف، لن توفر النوافذ ذات التعليق السفلي ما يكفي من الهواء لغرفة من جانب واحد. قام **Gao and Lee (2011)** بالتحقيق في أربعة أنواع من النوافذ التي تسمى **side-hung**، **top-hung**، **full-end slider**، و **half-end slider**، الشكل (2-22). باستخدام **CFD**، وجد أن النوافذ ذات المنزلق النهائي الكامل **full-end slider** والنوافذ المعلقة على الجانب **side-hung** كانت أفضل للتهوية المتقاطعة، في حين كانت النوافذ المعلقة على الجانب **side-hung** هي النوع الأنسب للتهوية أحادية الجانب.



شكل(2-22): أنواع النوافذ التي فحصها (Gao and Lee 2011)

في الآونة الأخيرة، طوّر **Wang & Greenberg (2015)** نماذج شبيهة تجريبية للتنبؤ بالتهوية من الجانب المعلق **side-hung**، والجانب العلوي المعلق **top-hung**، والجانب السفلي المعلق **bottom-hung** في وضع التهوية

أحادية الجانب. قاموا بتقييم أداء أنواع النوافذ المذكورة أعلاه تحت اتجاهات الرياح المختلفة كجزء من دراستهم. أظهرت نتائجهم أن النوافذ الجانبية المعلقة **side-hung windows** كان أداءها أفضل في ظروف الرياح بينما أظهرت النوافذ السفلية المعلقة **bottom-hung windows** أداءً عاماً أفضل.



شكل(2-23): أنواع النوافذ التي فحصها, von Grabe et al.,
(2014)

2-23-4 - مواد البناء Construction Materials

عند الحديث عن مواد البناء، يمكن تقسيمها إلى فئتين، مواد بناء ذات كتلة حرارية كبيرة **high thermal mass** ومواد ذات كتلة حرارية منخفضة **low thermal mass**. الفئة الأولى وهي ذات الكتلة الحرارية الكبيرة مثل البلوك الإسمنتي، القرميد... هذه المواد تمتص الحرارة من الإشعاع الشمسي بمعدل بطيء وتكون فعالة في مواجهة الانتقال السريع للحرارة. الفئة الثانية وهي المواد ذات الكتلة الحرارية المنخفضة مثل الأخشاب والحديد(الفولاذ)، هذه المواد تمتص الحرارة بسرعة وتطلقها بسرعة أيضاً.

الأبنية المبنية من مواد البناء منخفضة الكتلة الحرارية تستجيب بشكل سريع لنسبات الرياح الباردة، بينما الأبنية المبنية من مواد البناء مرتفعة الكتلة الحرارية تطلق الحرارة التي خزنتها في النهار ببطء خلال الليل.

من التقنيات المستخدمة لمواد البناء الحديثة استخدام مواد بناء خاصة بإكساء الواجهات تكون ذات ألوان فاتحة وانعكاسية عالية. تتعرض الجدران الخارجية للإشعاع الشمسي، ويمكن أن تنقل كمية كبيرة من الحرارة إلى المبنى، ونتيجة لذلك، يمكن أن تتأثر درجة حرارة البيئة الداخلية ومستوى الراحة الحراري. يمكن استخدام الطلاء العاكس للطاقة الشمسية لتقليل انتقال الحرارة وخفض درجة حرارة المساحة الداخلية. ومع ذلك، يعتمد لون الطلاء على المناخ ونوع المادة المستخدمة.

هناك العديد من مواد البناء الحديثة ذات الخواص الفيزيائية والحرارية الجيدة تم تصنيعها والعمل عليها وتطويرها في الآونة الأخيرة، وكمثال على تلك المواد :

■ خرسانة الفيرميكوليت *Vermiculite Concrete*

الخرسانة المصنوعة من الفيرميكوليت هي منتج بناء غير هيكلية مُنخفض الكثافة. إنه عازل (حرارياً وصوتياً) ومقاوم للحريق بشكل جوهري. عادةً ما تصنع ببساطة عن طريق خلط الفيرميكوليت المتوسع **exfoliated vermiculite** كركام مع الأسمت والماء، بالإضافة إلى إضافات مثل المواد البلاستيكية إذا لزم الأمر. يبلغ معامل التوصيل الحراري لهذه المادة قيمة من $0.09-0.16 \text{ W/m.C}^\circ$.

تطبيقات خرسانة الفيرميكوليت :

- طبقة سبابة للأرضيات والأسقف **Floor and roof screeds**.
- خليط عزل للماء الفراغات حول المداخن، والمرجل، وظهر المدفأة
- وحدات البناء **Blocks** والبلاطات **Slabs**.
- الأساس الخاص بالمسابع.

■ الخرسانة المُحكّمة التهوية (*Autoclaved Aerated Concrete (AAC)*)

تشمل المكونات الرئيسية (الرماد المتطاير **fly ash**، الماء، الرماد السريع **quicklime**، والأسمت، ومسحوق الألمنيوم، والجص **gypsum**). يتم تحقيق صلابة الكتل من خلال قوة الأسمت، وآلية الشفاء الفوري عن طريق التبخير. يعمل الجص كعوامل زيادة قوة على المدى الطويل. التفاعل الكيميائي الناتج عن معجون الألمنيوم يمنح خرسانة **AAC** هيكلها المسامي المميز، وخفتها، وخصائص العزل، التي تختلف تمامًا عن مواد الخرسانة الخفيفة الأخرى. المنتج النهائي هو كتلة أخف بمقدار 2.5 مرة مقارنةً بالطوب التقليدي.

بعض مميزات هذه المادة :

- يستهلك الرماد المتطاير، والذي يُعد مشكلة كبيرة لمحطات الطاقة الحرارية في التخلص منه. إنه صديق للبيئة، لأنه لا يحتاج إلى الحرق.
- قوة أعلى، عزل حراري أفضل وامتصاص ممتاز للصوت، ومقاومة للاهتزاز مقارنةً بالطوب الأحمر. خفة وزن منتج **AAC** وسهولة التعامل معه تعني أنه يمكن تركيبه بسرعة كبيرة في الموقع ونقله مع تقليل الكسر.
- يمكن ترك جدران كتل **AAC** مكشوفة (دون مونة) وتكسب قوتها مع مرور الوقت. إنها توفر تكاليف الهيكل بنسبة 35% وتساهم في إعادة تدوير الكسر والرفض أيضًا.

2-23-5 - شكل و توجيه المبنى *Building Form & Orientation*

2-23-5-1 - شكل المبنى *Building Form*

يُعتبر شكل المبنى عاملاً مهماً في المباني المستدامة والخضراء بسبب تأثيره الكبير على أداء الطاقة والاستهلاك الكلي للطاقة (Wang et al., 2006). علاوة على ذلك، لاحظ (Lomas, 2007) و (Okeil, 2010) أن شكل المبنى له تأثير مهم على التهوية، مما يساعد في التحكم في حركة الهواء داخل المبنى وبالتالي تحسين الراحة الحرارية. ترتبط قدرة المبنى على تخزين أو إطلاق الحرارة بحجمه (وبكثافته وشكله)، حيث يحدث الفقدان أو الكسب من خلال أسطحه. وبالتالي، فإن نسبة السطح إلى الحجم **surface to volume ratio** تُحدّد معدل التدفئة خلال النهار ومعدل التبريد خلال الليل.

عند حجم ثابت، تزداد خسائر الحرارة وكسبها كلما ابتعدنا عن الشكل الأكثر كثافة، وهو المكعب.

علاوة على ذلك، فإن تقليل نسبة السطح إلى الحجم (S/V) يُقلل أيضًا من كمية المواد اللازمة لصنع الغلاف، مما يؤدي إلى انخفاض تكاليف البناء وكمية أقل من الطاقة المستثمرة. من ناحية أخرى، لأغراض الإضاءة الطبيعية والتهوية الطبيعية، فإن الشكل الطويل والضيّق أفضل من الشكل المربع.

تمتلك المباني العالية نسبة سطح إلى حجم (S/V) أقل من المباني المنخفضة؛ علاوة على ذلك، فإنها تُعرض مساحة سقف أقل لأشعة الشمس، مع نفس الحجم، أي مساحة الأرضية. نظرًا لأن الكسب الشمسي من السقف يعد قضية حاسمة في البلدان الاستوائية، ينبغي تفضيل المباني المتوسطة الارتفاع (4-5 طوابق). يجب أيضًا أن نأخذ في الاعتبار الآثار السلبية للتوسع الحضري، والذي يتفاقم بسبب استخدام المباني المنخفضة.

أبرزت دراسة **Al Anzi et al., (2009)** أداء الأشكال الأساسية للمباني. تم إجراء دراسة حالة في مباني المكاتب. وقد توصل إلى ثلاثة عوامل رئيسية تؤثر على شكل المبنى. الأول هو المسافة التي تقف فيها المباني بجوار بعضها البعض، مما يؤثر على سرعة الهواء حول المبنى، خاصة في حالة المباني العالية. العامل الثاني هو نسبة الزجاج إلى الجدار **Glazing to wall ratio**، وأخيرًا نوع نظام الزجاج المستخدم في المبنى **Type of glazing system**. علاوة على ذلك، قد تكون المساحة الإجمالية لشكل المبنى مسؤولة أيضًا عن الفروق الكبيرة في كمية الطاقة المطلوبة للتبريد والتدفئة، وذلك بسبب مساحة الجدار الخارجي المعرضة للهواء الطلق. من المقبول في أداء الطاقة للمباني والراحة الحرارية أن أحد العناصر الأكثر فعالية في نقل الحرارة هو المساحة الإجمالية للجدار الخارجي. بالإضافة إلى ذلك، سيزداد التبادل مع الهواء الخارجي كلما زادت المساحة الإجمالية (**AlAnzi et al., 2009**).

2-23-2-5 - توجيه المبنى **Building Orientation**

تعظيم كفاءة الطاقة والأداء الحراري العام أمر بالغ الأهمية في تصميم العمارة المستدامة. إن توجيه المباني **Building orientation** يُثبت أنه حجر الزاوية في الاستراتيجية لتحقيق هذه الأهداف.

توجيه المباني ليس مجرد فكرة لاحقة، بل هو اعتبار دقيق يجب على المماريين والمصممين دمجها في عملية التصميم منذ بدايتها. من خلال دراسة عوامل مثل مسار الشمس والرياح السائدة بعناية، يمكن للخبراء تحديد الاتجاه الأمثل للمبنى للاستفادة من الموارد الطبيعية وتقليل استهلاك الطاقة. يسمح هذا الترتيب الاستراتيجي للمباني باستخدام الطاقة الشمسية بشكل سلبي للتدفئة في المناخات الباردة أو استخدام استراتيجيات التهوية الطبيعية لتبريد المساحات الداخلية في المناطق الأكثر حرارة، مما يقلل الاعتماد على أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (**HVAC**).

2-23-2-5-3 - أهمية توجيه المبنى في التصميم المُستدام

■ كفاءة الطاقة **Energy efficiency**

يلعب توجيه المباني دورًا رئيسيًا في تعظيم كفاءة الطاقة في التصميم المستدام. من خلال فهم شامل لمسار الشمس على مدار اليوم وتغيراتها الموسمية، يمكن للمماريين وضع المباني بشكل استراتيجي للاستفادة من الإشعاع الشمسي لأغراض التدفئة والتبريد والإضاءة. يعمل هذا التخطيط الاستراتيجي على تحسين الاستفادة المُتفعلة من الطاقة الشمسية، حيث أن وضع النوافذ والمناطق الزجاجية على الجانب الجنوبي من المبنى في نصف

الكرة الشمالي يسمح بالامتصاص الأمثل لحرارة الشمس خلال أشهر الشتاء، مما يقلل الاعتماد على أنظمة التدفئة الاصطناعية. بالمقابل، فإن تقليل التعرض للشمس على الجانبين الغربي والشرقي يساعد في التخفيف من الزيادات الحرارية المفرطة في الصيف، وبالتالي يقلل من متطلبات التبريد.

■ التصميم الشمسي المُنفعل *Passive solar design*

تشكل دمج توجيه المباني مع مبادئ التصميم الشمسي المُنفعل حجر الزاوية في العمارة المستدامة. من خلال محاذاة المحور الطويل للمبنى في اتجاه الشرق-الغرب، يمكن للمعماريين تحسين استغلال الطاقة الشمسية مع تقليل التعرض للرياح السائدة القاسية. تعتمد تقنيات التصميم الشمسي المُنفعل، مثل دمج الكتلة الحرارية وتحديد حجم النوافذ وأجهزة التظليل بشكل مناسب، على فهم دقيق لتوجيه المبنى. يمكن أن يؤدي الدمج السليم لاستراتيجيات التصميم الشمسي المُنفعل في تصميم المباني وتخطيطها إلى تقليل الاعتماد على أنظمة التدفئة والتبريد النشطة بشكل كبير، مما ينتج عنه توفير كبير في الطاقة وتقليل البصمة الكربونية.

■ التظليل و المناخ المحلي *Shading and micro-climate*

يؤثر توجيه المبنى بشكل عميق على إنشاء المناخ المحلي المحيط بالمبنى. من خلال التخطيط الاستراتيجي للمباني، والنباتات، والميزات الطبيعية الأخرى، يمكن للمعماريين تنظيم المناطق المظللة وبالتالي تقليل اكتساب الحرارة الشمسية خلال الفترات الأكثر حرارة. لا يقتصر هذا على تخفيف حمل التبريد للمبنى فحسب، بل يوفر أيضاً مساحات خارجية مُريحة للمقيمين للاستمتاع بها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يساعد التوجيه الحكيم للمباني في التخفيف من تأثيرات الرياح على المساحات الخارجية، مما يجعلها أكثر ملاءمة للعيش وملائمة للأنشطة الخارجية، وبالتالي زيادة قابلية الاستخدام العامة وراحة البيئة المبنية.

24-2 - الممارسات الخاصة بالتصميم المُنفعل *Passive Strategies*

يشير مصطلح "التصميم المُنفعل - *Passive Design*" إلى مبنى تتميز معالمه المعمارية بأنها تستفيد من الموارد المناخية المحليّة لتوفير بيئة داخلية مُريحة قدر الإمكان، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة بسبب الحاجة إلى التدفئة الميكانيكية أو التبريد.

24-2-1 - ممارسات التظليل الشمسي *Solar Shading Strategies*

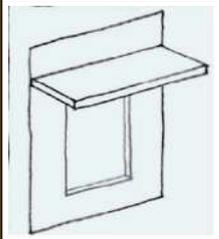
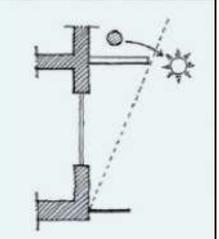
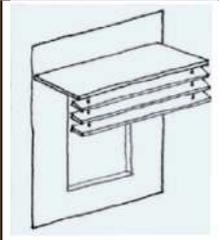
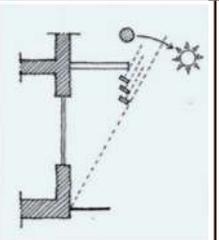
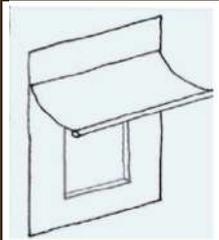
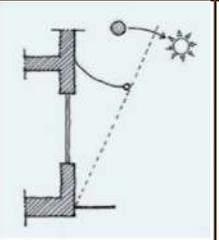
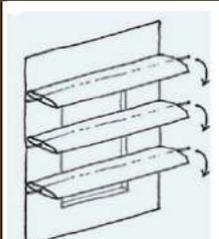
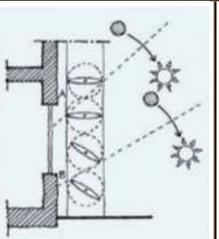
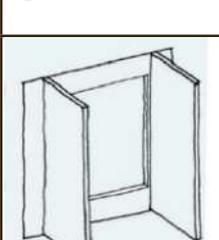
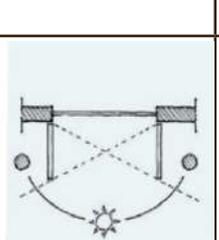
التظليل هو أحد التقنيات السلبية التي تحمي المبنى من مكاسب الحرارة الشمسية *Solar heat gains*. وبالتالي، تُعتبر تقنية التظليل جانباً مهماً في تصميم المباني الموفرة للطاقة؛ لا سيما لتقليل حمل التبريد وتوفير الراحة الحرارية.

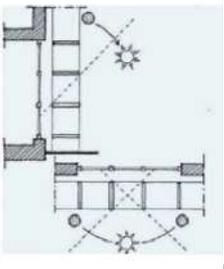
أحد تقنيات التظليل هي تظليل الواجهات، يمكن توفير التظليل من خلال عناصر البناء مثل البروزات *overhangs*، أو الكاسرات الأفقية *horizontal louvers* أو البروز ذو فراغ علوي للإضاءة *Light shelf* أو أنظمة الستائر *Blind system* أو البروزات مع الدعائم الجانبية *overhangs with side fins*.

الأنواع العامة لعناصر التظليل الخارجي هي عناصر التظليل الرأسية والأفقية وقصص البيض *Egg-crate* الجدول (2-19). عناصر التظليل الأفقي هي الأكثر ملاءمة للواجهات الجنوبية. وهي تهدف إلى تقليل الإشعاع الشمسي بزوايا الميل العالية وتكون أكثر فعالية عندما يكون موضع الشمس معاكساً تقريباً للنافذة المظللة. يتم تحقيق أفضل النتائج إذا تم تثبيت أجهزة التظليل خارجياً، يجب أن تكون البروزات في الواجهات الشرقية أو الغربية عميقة للغاية لتحقيق تأثير التظليل، وبالتالي لا يُنصح باستخدامها في هذه الاتجاهات ما لم يكن من

الممكن استخدام البروزات العميقة كمظلة توفر مساحة خارجية مريحة وقابلة للاستخدام للركاب. نظراً لأن الحاجة إلى التظليل على مدار العام ذات طبيعة قابلة للتغيير، فإن استخدام أجهزة التظليل المتحركة يثبت أنه حل عملي. يمكن تعديل المظلات، على سبيل المثال، التي تتمثل وظيفتها في توفير الحماية في فصل الصيف أو طيها بالكامل في فصل الشتاء.

أجهزة التظليل الرأسية، مثل الفتحات **Louvers** أو الدعائم البارزة، **Projecting fins** هي الأكثر ملاءمة للواجهات الشرقية والغربية المعرضة للإشعاع الشمسي من زوايا الميل السفلية التي تصل إلى الواجهة من الاتجاه الجنوبي الشرقي أو الجنوبي الغربي. كما تحجب عناصر التظليل الرأسية شمس الصباح الباكر القادمة من الشمال الشرقي أو شمس المساء المتأخرة القادمة من الاتجاه الشمالي الغربي، وهي ظاهرة فترة الصيف النموذجية لمناطق جغرافية معينة. في الواقع، مع أشعة الشمس في الصباح الباكر ذات الكثافة المنخفضة، يعمل هذا النوع من التظليل كوقاية من الوهج بدلاً من السخونة الزائدة.

شكل النظام	مقطع/مسقط توضيحي	نوع النظام
		البروز الأفقي : يُستخدم بشكل فعال في الواجهات الجنوبية Straight overhang
		الكاسرات المُتدليّة من البروز الأفقي: فعّالة في الواجهات الجنوبيّة الشرقيّة والغربيّة Horizontal louvers hung from solid overhang
		الكاسرات المائلة: يُمكن التحكم بميولها و تكون فعّالة في الواجهة الجنوبيّة Awning
		الكاسرات الدوّارة الأفقيّة: يمكن التحكم بميولها و تكون فعّالة في الواجهات الجنوبيّة و الشرقيّة و الغربيّة. Rotating horizontal Louvers
		الكاسرات الشاقوليّة: تكون فعّالة في الواجهات الشرقيّة و الغربيّة Vertical Fins

شكل النظام	مقطع/مسقط توضيحي	نوع النظام
		كاسرات طبق البيض: تحتوي على كاسرات شاقوليّة و أفقيّة، تكون فعّالة في المناخات الحارّة في الواجهات الشرقيّة و الغربيّة

جدول(2-19): عناصر التظليل الأفقية و الشاقولية

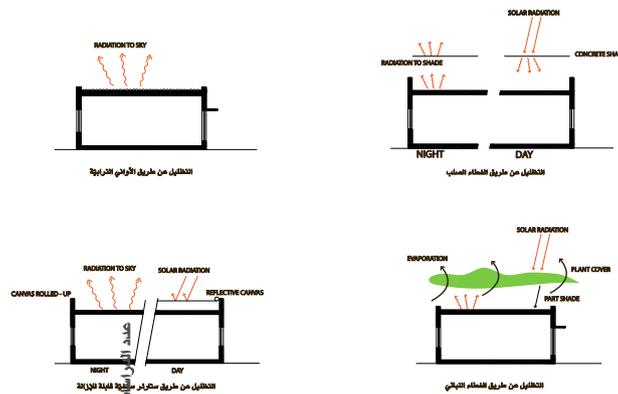
طريقة أخرى من طرق التظليل هي التظليل الخاص بالسطح **Roof Shading**، يعد تظليل السطح طريقة مهمة جداً لتقليل اكتساب الحرارة. يمكن تظليل الأسطح من خلال توفير غطاء سقف من الخرسانة أو النباتات أو القماش أو الأواني الترابية **Earthen pots** وما إلى ذلك. يجب ألا يتداخل التظليل الذي توفره الوسائل الخارجيّة مع التبريد الليلي.

■ غطاء فوق السطح **Cover over the roof**، مصنوع من الخرسانة أو صفائح الحديد المجلفن، يوفر الحماية من الإشعاع المباشر. عيب هذا النظام هو أنه لا يسمح بهروب الحرارة إلى السماء في الليل، الشكل(2-24).

■ يُعد غطاء النباتات المتساقطة **Cover of deciduous plants** بديلاً أفضل. يؤدي التبخر من أسطح الأوراق إلى خفض درجة حرارة السقف إلى مستوى أعلى من درجة حرارة الهواء أثناء النهار. في الليل، يكون أقل من درجة حرارة السماء، الشكل(2-24).

■ إن تغطية مساحة السطح بأكملها بأواني **Earthen pots** خزفيّة مقلوبة ومعبّأة بشكل وثيق، كما هو الحال في المباني التقليدية، يزيد من مساحة السطح للانبعاثات الإشعاعيّة. الغطاء العازل فوق السقف يعيق تدفق الحرارة إلى المبنى. ومع ذلك، فإنه يجعل السقف غير صالح للاستخدام والصيانة صعبة (الشكل 2-24). يمكن أيضاً استخدام بلاط السيراميك كأعلى طبقة في السقف لعكس الإشعاع الساقط.

■ جهاز آخر غير مكلف وفعال هو غطاء قماش قابل للإزالة مثبت بالقرب من السقف. خلال النهار يمنع دخول الحرارة وإزالتها في الليل، التبريد الإشعاعي. يوضح الشكل(2-24) مبدأ عمل ظلال السقف القابلة للإزالة. يقلل طلاء القماش الأبيض من اكتساب الحرارة الإشعاعية والموصلة.



شكل(2-24): أنواع تظليل السقف

2-24-2 - التهوية الطبيعية *Natural Ventilation*

تُعد التهوية الطبيعية، إحدى الطرق الأساس لتوفير الراحة الحرارية و الهواء النقي لشاغلي البيئات الداخلية للأبنية، لا سيما إذا تم تصميم المبنى لتدوير الهواء فيه بشكل صحيح، وبالأخص في ظروف المناخات الحارة الجافة والرطبة.

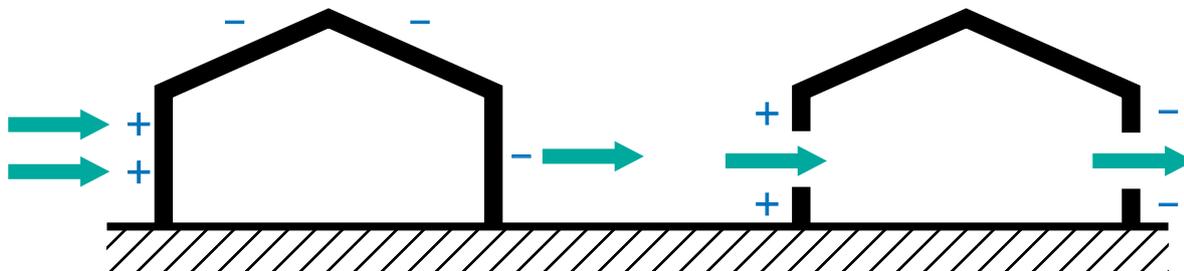
إجمالاً، تُستخدم التهوية الطبيعية في المبنى أثناء النهار لثلاثة أهداف عند تعلق الأمر بالراحة الحرارية (*Kleiven*, 2003)

- تبريد هواء البيئات الداخلية للمبنى عن طريق استبدال هواءها بالهواء الخارجي طالما كانت درجات حرارة الهواء الطلق أقل من درجات الحرارة في البيئات الداخلية للمبنى.
- تبريد هيكل المبنى.
- تأثير التبريد المباشر عمى الجسم البشري عن طريق الحمل الحراري والتبخّر.

2-24-2-1 - القوى الطبيعية الدافعة لإحداث التهوية الطبيعية في الأبنية:

القوى الدافعة للتهوية الطبيعية هي اختلافات الضغط الديناميكي *Dynamic pressure* والضغط الثابت *Static pressure*. وفقاً لذلك، تؤدي فروق الضغط المرتفعة إلى ارتفاع معدل التهوية. فرق الضغط الديناميكي هو نتيجة للرياح الساقطة *Incident wind* في حين أن فرق الضغط الثابت يرجع إلى تدرج درجة الحرارة *Temperature gradient*، والذي يعرف أيضاً باسم الطفو *buoyancy* أو تأثير المكس *Stack effect*. يمكن أيضاً أن تكون التهوية الطبيعية مدفوعة بمزيج من اختلافات الضغط الثابتة والديناميكية (*BS 5925*, 1991).

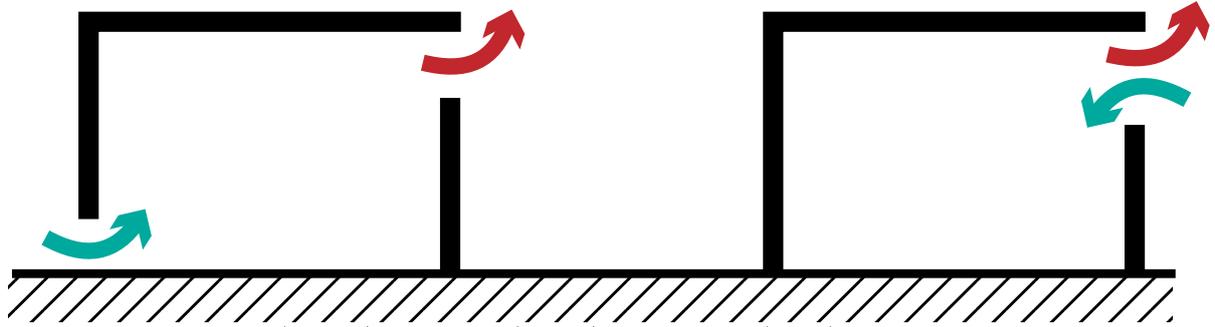
تسبب الرياح التي تضرب سطح المبنى فرقاً في الضغط من خلال خلق ضغط إيجابي على الجانب المقابل للرياح وضغط سلبي على الجانب المعاكس والجدران الجانبية الشكل (2-25). وبالتالي، فإن وجود فتحات في الجدران الخارجية يوجه الهواء الخارجي للتدفق عبر الفراغات الداخلية من المنطقة بضغط إيجابي إلى المنطقة بضغط سلبي (*Linden*, 1999). يؤدي اختلاف الضغط الأكبر إلى ارتفاع معدل تدفق الهواء الداخلي. متغيرات مثل شكل المبنى وسرعة الرياح، يؤثر اتجاه الرياح والبيئات المحيطة على توزيع الضغط على واجهة المبنى (*Linden*, 1999).



شكل(2-25): مناطق الضغط الموجب والسالب نتيجة لقوة الرياح.

يؤثر فرق درجة الحرارة على كثافة الهواء وينتج قوى الطفو *Buoyancy forces* التي تدفع الهواء من المناطق عالية الكثافة (درجة حرارة أقل) إلى المناطق منخفضة الكثافة (درجة حرارة أعلى). يمكن تصنيف التهوية القائمة على الطفو إلى مجموعتين رئيسيتين: التهوية المختلطة *Mixing ventilation* وتهوية الإزاحة *Displacement*

ventilation . تتميز التهوية المُختلطة عادة بفتحة واحدة تعمل كإمداد وعادم حيث يدخل الهواء البارد إلى العلبة من الجزء السفلي من الفتحة ويهرب الهواء الدافئ من الجزء العلوي. ومع ذلك، تعمل تهوية الإزاحة مع فتحتين تقعان على ارتفاعات مختلفة، حيث يتدفق الهواء البارد من الفتحة السفلية ويتدفق الهواء الدافئ من الفتحة العلوية الموجودة عادة بالقرب من السقف (Linden & Cooper, 1996)، الشكل (2-26).

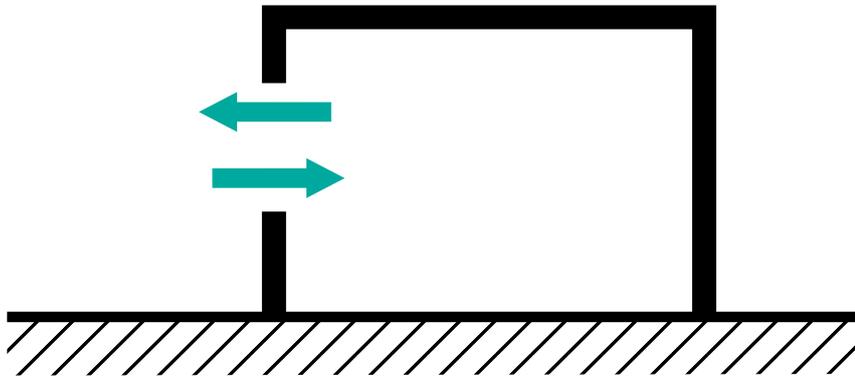


شكل(2-26): التهوية القائمة على الطفو: التهوية بالإزاحة (يسار) - التهوية المُختلطة (يمين).

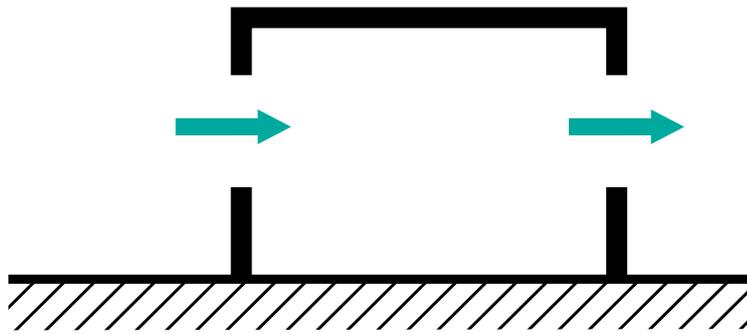
2-2-24-2 - أنماط التهوية الطبيعية *Natural ventilation modes*

من بين المتغيرات المتعلقة بالتصميم التي تؤثر على التهوية الطبيعية، فإن نمط التهوية له أكبر تأثير. يُمكن تحديد نمط التهوية الطبيعية بناءً على مواضع الفتحة وآلية التهوية. لذلك، يمكن تقسيم أنماط التهوية الطبيعية إلى ثلاث فئات رئيسية:

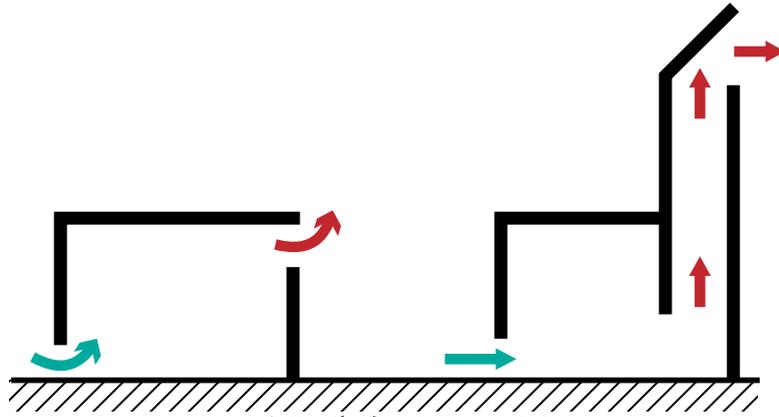
- التهوية من جانب واحد **Single-Sided Ventilation**. الشكل (2-27).
- التهوية المتقاطعة **Cross-Flow Ventilation**. الشكل (2-28).
- التهوية بتأثير المدخنة **Stack ventilation**. الشكل (2-29).



شكل(2-27): التهوية من جانب واحد



شكل(2-28): التهوية المتقاطعة



شكل (29-2): التهوية بتأثير المكندس

3-2-24-2 - تقنيات التهوية الطبيعية

هناك العديد من الطرق و التقنيات لزيادة كفاءة التهوية الطبيعية و بالتالي تحسين الراحة الحرارية و منها :

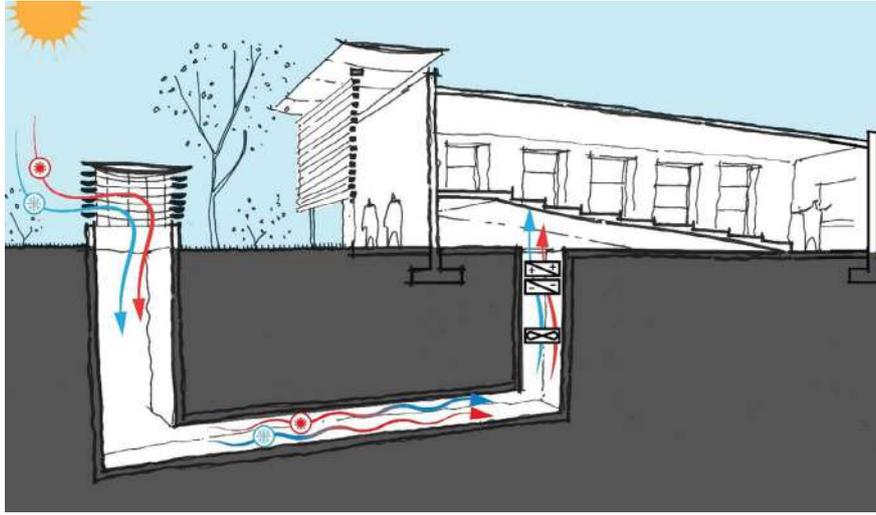
- أبراج الرياح **Wind Towers** .
- المداخن الشمسية **Solar chimneys**
- الأفنية الداخلية **Atrium** .

3-24-2 - التبريد الأرضي **Ground Cooling**

القنوات الأرضية الخاصة بالتبريد الأرضي هي مبادلات حرارية بسيطة تنقل الحرارة من الهواء الخارجي إلى الأرض عن طريق الحمل الحراري وآليات نقل الحرارة التوصيلية. يتم تبريد الهواء لأنه يلامس مع السطح الداخلي للقناة، التي لها درجة حرارة أقل، قبل دخول وجهتها المطلوبة داخل فتحة توصيل الهواء أو المساحة المشغولة. هذه القنوات كبيرة القطر، حوالي 900 مم، مما يسمح بمرور أفقي للهواء من عمود تهوية خارجي موضوع على مسافة مناسبة بعيداً عن المبنى. يجب أن يكون مسار تدفق الهواء مُنخفض المقاومة قدر الإمكان حيث يتم استخدام التهوية الطبيعية فقط. الهدف من مجرى الهواء الأرضي هو تقليل درجة حرارة الهواء الداخل قدر الإمكان بالوسائل المُفعلة. تحتاج هذه أيضاً إلى مصارف للسماح بالرطوبة المكثفة من الهواء.

تصميم هذا النظام المُفعل بسيط نسبياً: حدّد القناة الأرضية ونوع المادة (الطين أو الخرسانة) ثم حدّد العمق والطول المطلوبين لكل قناة أرضية. يعدّ الطول الأفقي مهماً حيث أنه كلما طالت الأنابيب الأرضية، زادت سعة التبريد بسبب زيادة مساحة سطح التلامس. التأثير السلبي هو انخفاض الضغط، وبالتالي يتم استخدام أنابيب كبيرة القطر ذات أسطح داخلية ملساء. يمكن أن يختلف عمود مجرى الهواء الأرضي في التصميم ولكنه عادة ما يكون حوالي 2 إلى 3 أمتار ومستطيل مع شبكات كبيرة في جميع الاتجاهات الأربعة ($W - S - E - N$).

في فصل الشتاء، عندما تكون درجات الحرارة مُنخفضة في البيئة الخارجية للمبنى، تساهم قنوات الهواء المُدمجة بتسخين الهواء والتهوية بسبب أن الأرض تكون نسبياً أكثر دفئاً (قانون حفظ الطاقة في باطن الأرض). من ثم، يتدفق الهواء الدافئ إلى الأعلى اعتماداً على: معدل تدفق الهواء خلال القناة، وعلى كمية الهواء المسحوبة. وعلى العكس يكون عليه الحال في فصل الصيف الحار، حيث توفر قنوات الهواء المُدمجة التبريد المناسب لفضاءات المبنى.



شكل(2-30): استراتيجية التبريد الأرضي

2-24-4 - التبريد التبخيري *Evaporative Cooling*

التبريد التبخيري هو واحدة من أكثر الممارسات المستدامة فعالية لتحسين الراحة الحرارية. هو تقنية تبريد سلبية يتم فيها تبريد الهواء الخارجي عن طريق تبخير الماء قبل إدخاله في المبنى. يكمن مبدأها الفيزيائي في حقيقة أن حرارة الهواء تستخدم لتبخير الماء، وبالتالي تبريد الهواء، والذي بدوره يُبرّد مساحة المعيشة في المبنى. ومع ذلك، يمكن أن يكون التبريد التبخيري المنفعل غير مباشر أيضًا. يمكن تبريد السقف بركة أو بطانات مبللة أو رذاذ، ويتحول السقف إلى عنصر تبريد يبرد المساحة أدناه عن طريق الحمل الحراري والإشعاع دون رفع الرطوبة الداخلية.

من التقنيات التي تستخدم التبريد التبخيري هي التبريد التبخيري المنخفض المنفعل *Passive downdraft evaporative cooling (PDEC)* والتي تتكون من برج تبريد سُفلي مع منصات سليلوز مبللة في الجزء العلوي من البرج. يتم توزيع المياه على الجزء العلوي من الوسادات، ويتم جمعها في الجزء السفلي في حوض وإعادة تدويرها بواسطة مضخة. تستبعد بعض التصميمات مضخة إعادة الدوران وتستخدم الضغط في خط مياه الإمداد لزيادة المياه بشكل دوري فوق الوسائد، مما يلغي الحاجة إلى أي مدخلات طاقة كهربائية. في بعض التصاميم، يتم رش الماء باستخدام أجهزة دقيقة أو فوهات بدلاً من الفوط، وفي حالات أخرى، يتم تقطير الماء. وبالتالي، فإن الأبراج مجهزة بأجهزة تبريد تبخيري في الأعلى لتوفير هواء بارد عن طريق تدفق الجاذبية. غالبًا ما توصف هذه الأبراج بأنها مداخن عكسية *Reverse chimneys*. تم استخدام برج التبريد التبخيري المنفعل بنجاح في مركز أبحاث تورنت في أحمد آباد الشكل(2-31). تم تسجيل درجات الحرارة الداخلية من 29 - 30 درجة مئوية عندما كانت درجات الحرارة الخارجية 44 - 43 درجة مئوية.



شكل(2-31): استراتيجية التبريد التبخيري المنخفض السلبي في مركز أبحاث تورنت

تسخين المباني بالطاقة الشمسية المُنفعله يعني استخدام الطاقة الإشعاعية للشمس لتوفير الحرارة من خلال تحويل الطاقة الإشعاعية إلى طاقة حرارية عند امتصاصها بواسطة المبنى. قد يتم استخدام بعض من الطاقة الحرارية الداخلة لتسخين المبنى مباشرة، وقد يتم تخزين بعضها في مكونات المبنى. في نظام سالب بالكامل، يتم تدفق الطاقة داخل المبنى بوسائل طبيعية فقط (التوصيل، الحمل الطبيعي، والإشعاع). من ناحية أخرى، يستخدم نظام تسخين الطاقة الشمسية المُنفعل أجهزة مثل المراوح، والمضخات، و/أو المراوح لتحريك الموائع الساخنة من المجمعات إلى المساحة المدفأة، ومن التخزين الحراري إلى المساحة المدفأة، ومن المجمعات إلى التخزين الحراري **(Bengtson, 2009) Thermal storage**.

يتكون النظام الشمسي المُنفعل من مكونات لها وظائف مُشابهة جدًا لمكونات نظام تسخين الطاقة الشمسية النشط، لكن هذه المكونات تبدو مختلفة تماماً وتُرتب بطريقة مختلفة. المكونات النموذجية سواء في النظام الشمسي المُنفعل أو النشط تشمل:

■ فتحة **aperture** (فتحة للسماح بمرور الإشعاع الشمسي)

في نظام تسخين الطاقة الشمسية المُنفعل، تكون الفتحة والامتصاص مفصولتين جسدياً، بينما في النظام النشط عادةً ما يكون كلاهما جزءاً من المجمعات. ستكون الفتحة (أو الفتحات) في نظام تسخين الطاقة الشمسية المُنفعل نوافذ مواجهة للجنوب. من المهم أن لا تكون هذه النوافذ مظلمة بواسطة مباني أخرى أو أشجار من الساعة 9:00 صباحاً حتى 3:00 مساءً خلال موسم التدفئة **(Bengtson, 2009)**.

■ الامتصاص **absorber** (لامتصاص الطاقة الإشعاعية وتحويلها إلى طاقة حرارية)

في النظام المُنفعل، يكون الامتصاص والكتلة الحرارية للتخزين جزءاً من نفس الوحدة (أو الوحدات)، وهي مكونات من المبنى مثل الأرضيات والجدران التي تقع في المسار المباشر لأشعة الشمس. عادةً ما تكون أسطح الأرضيات أو الجدران داكنة اللون بحيث تمتص الإشعاع الشمسي بشكل جيد وتحوّله إلى طاقة حرارية، والتي تُخزن في كتلة الأرضيات أو الجدران **(Bengtson, 2009)**.

■ الكتلة الحرارية **thermal mass** (لتخزين فائض الطاقة الحرارية للاستخدام لاحقاً)

■ نظام التوزيع **distribution system**

يتم استخدام نظام التوزيع لتدوير الحرارة من نقاط الجمع والتخزين إلى مناطق مختلفة من المنزل. في نظام سلبي بحت، سيتم تدوير الحرارة فقط بواسطة واحدة أو أكثر من طرق تدفق الحرارة الطبيعية الثلاثة: التوصيل، الحمل الطبيعي، والإشعاع. أحياناً تُستخدم المراوح و/أو النفاثات للمساعدة في توزيع الحرارة في جميع أنحاء المنزل في نظام سلبي آخر **(Bengtson, 2009)**.

■ أنظمة التحكم **Control**

في نظام التدفئة المُنفعل، تشمل عناصر التحكم أشياء مثل فتحات، وعزل نوافذ قابل للحركة، و بروتات السقف أو المظلات التي تظل الفتحة خلال أشهر الصيف. بالنسبة للأنظمة النشطة والأنظمة شبه المُنفعله التي تستخدم المراوح والنفاثات، تشمل عناصر التحكم عادةً أجهزة استشعار إلكترونية، مثل منظم حرارة تفاضلي يُشير إلى تشغيل المروحة أو إيقافها أو فتح المصراع أو إغلاقه **(Bengtson, 2009)**.

■ نظام تسخين احتياطي **backup heating system**

يمكن أن يكون نظام التدفئة الاحتياطي لأي نظام سلبي أو نشط من أي نوع من أنظمة التدفئة غير الشمسية (Bengtson, 2009).

2-24-6 - الغطاء النباتي Vegetation

يمكن أن يكون الغطاء النباتي المناسبة أحد العوامل المهمة لتحسين الراحة الحرارية في المباني. الغطاء النباتي والأشجار على وجه الخصوص، تمنح تظليل فعال للغاية وتقليل اكتساب الحرارة. يمكن استخدام الأشجار مع ميزة تظليل السقف والجدران والنوافذ. يمكن أن يؤدي التظليل والتفتح (العملية التي يطلق بها النبات بخار الماء بنشاط) من الأشجار إلى تقليل درجات حرارة الهواء المحيطة بما يصل إلى 5 درجات مئوية. يمكن اختيار أنواع مختلفة من النباتات (الأشجار والشجيرات والكروم) على أساس عادة نموها (طويل القامة، منخفض، كثيف، منفذ للضوء) لتوفير الدرجة المطلوبة من التظليل لمختلف اتجاهات ومواقف النوافذ. يجب مراعاة النقاط التالية للتظليل الصيفي (Kamal, 2003):

- توفر الأشجار المتساقطة والشجيرات الظل الصيفي ولكنها تسمح بالوصول في فصل الشتاء. تقع أفضل المواقع للأشجار المتساقطة على الجانب الجنوبي والجنوبي الغربي من المبنى. عندما تسقط هذه الأشجار أوراقها في فصل الشتاء، يمكن أن يصل ضوء الشمس إلى الداخل لتسخين المناطق الداخلية.
- الأشجار ذات أوراق الشجر الثقيلة فعالة للغاية في عرقلة أشعة الشمس وإلقاء ظلال كثيفة. الظل الكثيف أكثر برودة من ضوء الشمس المصفى. يمكن استخدام أشجار المظلة المتفرعة العالية لتظليل السقف والجدران والنوافذ.
- توفر الأشجار دائمة الخضرة على الجانبين الجنوبي والغربي أفضل حماية من غروب شمس الصيف ورياح الشتاء الباردة.
- التظليل العمودي هو الأفضل للجدران والنوافذ الشرقية والغربية في الصيف، للحماية من أشعة الشمس الشديدة بزوايا منخفضة، مثل الفحص بواسطة الشجيرات الكثيفة والأشجار والكروم المتساقطة المدعومة على إطار والشجيرات المستخدمة مع الأشجار.
- يمكن توفير التظليل والعزل للجدران عن طريق النباتات المتصقة بالجدار، مثل اللبلاب الإنجليزي، أو عن طريق النباتات المدعومة بالجدار، مثل الياسمين.
- التظليل الأفقي هو الأفضل للنوافذ المواجهة للجنوب، على سبيل المثال يمكن زراعة الكروم المتساقطة (التي تفقد أوراق الشجر في فصل الشتاء) مثل العنب الزخرفي **Ornamental grape** على عريشة للتظليل الصيفي. وفقاً لـ (Jaffal et al (2012). يمكن تعريف السقف الأخضر على أنه "سقف مبنى مغطى بالأعشاب أو النباتات التي تقع فوق غشاء مقاوم للماء". أشارت مراجعة الأدبيات إلى أن الأسطح الخضراء هي الطريقة الأكثر فعالية لعزل الأسطح. يُعد السقف أحد الأسطح الرئيسية للمبنى التي تتعرض لحرارة شمسية عالية، لذا فإن استخدام كمية عالية من العزل يمكن أن يساعد في الحد من انتقال الحرارة إلى الداخل. إلى جانب ذلك، هناك مزايا مستدامة مهمة أخرى يمكن أن توفرها الأسطح الخضراء مثل توفير الأكسجين للبيئة، وتقليل تأثير جزيرة الحرارة الحضرية **Urban heat island effect**، وخفض درجة حرارة الهواء.

2-25 - الخلاصة

تبرز الاستدامة كأولوية قصوى في العمارة الحديثة، مدفوعة بالتحديات البيئية المتزايدة. فلم تعد عملية البناء مجرد

تشديد، بل أصبحت مسؤولية مجتمعية تهدف إلى تحقيق التوازن بين الحاجة إلى المسكن والمحافظة على البيئة. وتتجلى أهمية هذه المسؤولية في تزايد الوعي بأثر المباني على استهلاك الطاقة والموارد الطبيعية وتلويث البيئة.

تلعب الممارسات المعمارية المستدامة دوراً محورياً في تقليل الأثر البيئي للمباني على مدار دورة حياتها الكاملة. وتشمل هذه الممارسات مجموعة واسعة من التقنيات والاستراتيجيات التي تهدف إلى تحسين كفاءة الطاقة، والراحة الحرارية، وتعزيز جودة الهواء الداخلي، وتوفير بيئة صحية ومريحة للمستخدمين.

يعتبر غلاف المبنى عنصراً أساسياً في تحقيق الاستدامة، حيث يحدد تصميمه وتشيدته كمية الحرارة القادرة على دخول المبنى. ويتكون غلاف المبنى من مكونات غير شفافة وأنظمة الفتحات التي تفصل الجزء الداخلي للمبنى عن البيئة الخارجية. ويلعب تصميم غلاف المبنى دوراً مهماً في تقليل استهلاك طاقة التبريد والإضاءة.

يبرز العزل الحراري كأحد أهم عناصر غلاف المبنى المستدام، حيث يضيف الراحة الحرارية إلى المبنى ويخلق بيئة منزلية أكثر راحة. ويمكن تصنيف مواد العزل الحراري تبعاً لتركيبها البنيوي أو شكلها، مما يوفر مجموعة واسعة من الخيارات للمصممين والمهندسين.

في الختام، يتضح أن تبني الممارسات المعمارية المستدامة، وخاصة فيما يتعلق بتصميم غلاف المبنى والعزل الحراري، يمثل خطوة حاسمة نحو تحقيق التوازن بين احتياجات البناء والحفاظ على البيئة. وتفتح هذه الممارسات آفاقاً جديدة للابتكار في مجال العمارة، مع الحفاظ على الموارد الطبيعية وتحسين جودة الحياة للمستخدمين.

الفصل الثالث

الاستبيان و تحليله

3-1 - مقدمة

تُعتبر منهجية الدراسة محوراً رئيسياً يتم عن طريقه الحصول على البيانات المطلوبة لإجراء التحليل الإحصائي بُغية التوصل إلى النتائج التي سيتم تفسيرها، بالإضافة للاستفادة من هذه النتائج في دراسة الحالة الدراسية العلمية و بالتالي إنجاز الأهداف التي تسعى إليها الدراسة.

بعد القيام بتصنيف الممارسات المعمارية المُستدامة إلى ممارسات خاصة بغلاف المبنى و أخرى خاصة بالتصميم السلبي، و تحديد عدد مرّات تكرارها ضمن الدراسات السابقة، كان لأبّد من سؤال الخبراء عن طريق الاستبيان، حيث يُعد الغرض الرئيسي منه ترتيب الممارسات المعمارية المُستدامة بناءً على معيار الأكثر تحسناً للراحة الحرارية ضمن المباني، عن طريق طرح مجموعة من الأسئلة على مجموعة من الخبراء في مجال التصميم المُستدام بهدف المساعدة في تقييم و ترتيب تلك الممارسات بناءً على خبرتهم الشخصية.

3-2 - أسلوب الدراسة

تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي القائم على جمع البيانات و تحليلها إحصائياً. قام الباحث بسحب البيانات من عيّنة واحدة و تمّ تصميم الاستبيان باستخدام مقياس ليكرت الخماسي.

1 = غير مهمة أبداً 2 = غير مهمة 3 = حيادية 4 = مهمة 5 = مهمة جداً

3-3 - عيّنة الدراسة

تم توزيع الاستبيان على مجموعة من الخبراء في مجال الاستدامة و الراحة الحرارية، سواء كانوا (مدرسين أكاديميين في الكليات الهندسية — طلاب دراسات عليا [ماجستير- دكتوراه] — مهندسين بكافة الاختصاصات).

■ **حجم العيّنة** : تم الحصول على 52 استجابة على الاستبيان الإلكتروني الذي تم توزيعه.

■ **نوع العيّنة** : تم اعتماد العيّنة العشوائية البسيطة المتجانسة.

3-4 - أسئلة الاستبيان

قام الباحث بتقسيم أسئلة الاستبيان إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

■ **القسم الأول** : البيانات الشخصية المتعلقة بعيّنة البحث .

■ **القسم الثاني** : الممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مستوى غلاف المبنى .

■ **القسم الثالث** : الممارسات المعمارية المُستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مستوى التصميم المُنفعل .

الغرض الرئيسي من هذه الأسئلة هي إعطاء قيم دقيقة من أجل ترتيب تلك الممارسات حسب الأكثر تأثيراً على الراحة الحرارية.

3-4-1 - القسم الأول

يتضمن هذا القسم أسئلة حول البيانات الشخصية للمُستجيبين لمعرفة تحصيلهم العلمي و مدى خبرتهم في مجال التصميم المُستدام، الجدول(3-1)

الرقم	السؤال
1	الجنس
2	التحصيل العلمي
3	عدد سنوات الخبرة في مجال التصميم المستدام

جدول(3-1): أسئلة البيانات الشخصية

3-4-2 - القسم الثاني

يتضمن هذا القسم أسئلة عن الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مُستوى غلاف المبنى و هو يتكون من خمس أسئلة، الجدول(3-2).

الرقم	السؤال
1	مواد العزل الحراري ضمن الجدران و الأسقف و النوافذ
2	الواجهات المُزدوجة
3	تصميم و موقع النوافذ
4	مواد البناء
5	شكل و توجيه المبنى

جدول(3-2): أسئلة المحور الأول

3-4-3 - القسم الثالث

يتضمن هذا القسم أسئلة عن الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مُستوى التصميم المُنفعل و هو يتكون من ست أسئلة، الجدول(3-3).

الرقم	السؤال
1	التظليل الشمسي
2	التهوية الطبيعية
3	التبريد الأرضي

جدول(3-3): أسئلة المحور الثاني

الرقم	السؤال
4	التبريد التبخيري
5	التسخين الشمسي المُنفعل
6	الغطاء النباتي

جدول(3-3): أسئلة المحور الثاني

5-3 - جمع البيانات و تحليلها

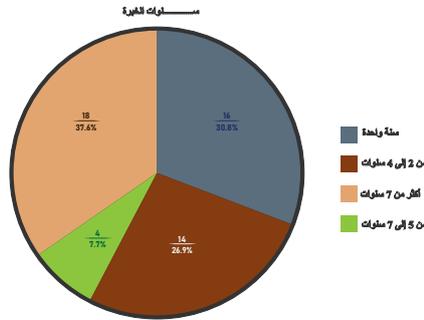
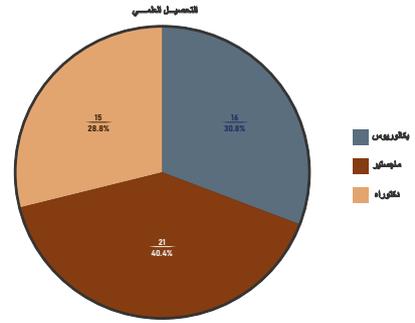
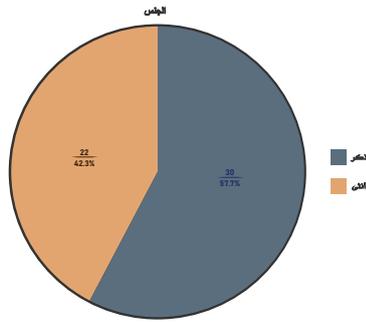
بعد جمع البيانات عن طريق الاستبيان الموزع إلكترونياً، تم تفرغ هذه البيانات باستخدام برنامج SPSS الخاص بتحليل البيانات.

3-5-1 - وصف أفراد عينة الدراسة

الجدول(3-4) يُبين لنا وصف للمتغيرات الديموغرافية لأفراد العينة.

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
الجنس	ذكر	30	57.7%
	أنثى	22	42.3%
التحصيل العلمي	بكالوريوس	16	30.8%
	ماجستير	21	40.4%
	دكتوراه	15	28.8%
سنوات الخبرة	سنة واحدة	16	30.8%
	من 2 إلى 4 سنوات	14	26.9%
	من 5 إلى 7 سنوات	4	7.7%
	أكثر من 7 سنوات	18	37.6%

جدول(3-4): وصف للمتغيرات الديموغرافية لأفراد العينة



شكل(3-1): المخططات البيانية الخاصة بالمتغيرات الديموغرافية لعينة البحث

تشير النتائج إلى أن نسبة الذكور في العينة 57.7% تفوق نسبة الإناث التي تمثل 42.3% ، مما قد يعكس التوزيع الديموغرافي للمشاركين في هذا البحث. كما أنها تُبين أن غالبية المشاركين يحملون درجة الماجستير بنسبة 40.4% ، تليها فئة المشاركين التي تحمل درجة الدكتوراه بنسبة 28.8% .

توضح البيانات أن هناك تنوعاً في سنوات الخبرة بين المشاركين، حيث أن النسبة الأكبر منهم لديه أكثر من سبع سنوات من الخبرة العملية بنسبة 37.6% ، بينما النسبة الأقل من المشاركين لديه خبرة من 5 إلى 7 سنوات بنسبة 7.7% .

3-5-2 - الإحصاءات الوصفية

تم استخدام مقياس ليكرت الخماسي و الذي يُعد مقياس رُتبي . و قد تناولت فقرات الاستبيان أجوبة على مقياس ليكرت الخماسي وفق الشكل التالي.

1 = غير مهمة أبداً = 2 غير مهمة = 3 حيادية = 4 مهمة = 5 مهمة جداً
طول الفترة في هذا المقياس تعادل 0.80 و ذلك ضمن الجدول (3-5).

مقياس ليكرت				
غير مهمة أبداً	غير مهمة	حيادية	مهمة	مهمة جداً
1 - 1.79	1.8 - 2.59	2.6 - 3.39	3.4 - 4.19	4.2 - 5

جدول(3-5): تفسير النتائج وفق مقياس ليكرت الخماسي

3-6 - نتائج المتوسط الحسابي للمحاور ضمن الاستبيان

يُبين فيما يلي جدول المتوسط الحسابي لمحورَي الاستبيان و بالتفصيل لكل فقرة من فقرات المحاور .

1-6-3 - المحور الأول : الممارسات المعماريّة المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مستوى غلاف المبنى

يُبين الجدول(3-6) نتائج فقرات المحور الأول.

التسلسل	نوع الممارسة	المتوسط الحسابي	القيمة العليا	القيمة الدنيا	الانحراف المعياري	النتيجة
1	مواد العزل الحراري ضمن الجدران و الأسقف و النوافذ	4.67	5	3	0.58	مهمة جداً
2	الواجهات المزدوجة	4.17	5	2	0.88	مهمة جداً
3	تصميم و موقع النوافذ	4.63	5	3	0.60	مهمة جداً
4	مواد البناء	4.44	5	3	0.73	مهمة جداً
5	شكل و توجيه المبنى	4.46	5	2	0.90	مهمة جداً

جدول(3-6): نتائج المتوسط الحسابي لممارسات غلاف المبنى

تشير النتائج إلى أن القيمة الأعلى للمتوسط الحسابي تعود لممارسة العزل الحراري ضمن الجدران و الأسقف و النوافذ بقيمة 4.67 ، بينما القيمة الدنيا للمتوسط الحسابي تعود لممارسة مواد البناء بقيمة 4.44. جميع الممارسات الخاصّة بغلاف المبنى قد حصلت على قيمة تفوق 4.2 وهذا يعني أن جميعها تُعتبر مهمّة جداً.

2-6-3 - المحور الثاني : الممارسات المعماريّة المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية على مستوى التصميم المنفعل

يُبين الجدول(3-7) نتائج ممارسات المحور الثاني.

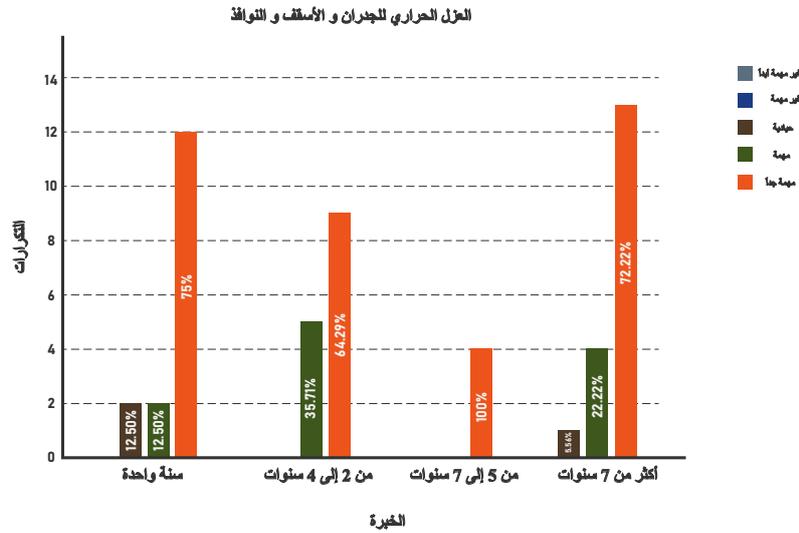
التسلسل	نوع الممارسة	المتوسط الحسابي	القيمة العليا	القيمة الدنيا	الانحراف المعياري	النتيجة
1	التظليل الشمسي	4.31	5	3	0.70	مهمة جداً
2	التهوية الطبيعية	4.56	5	2	0.70	مهمة جداً
3	التبريد الأرضي	3.54	5	2	0.96	مهمة
4	التبريد التبخيري	3.25	5	1	0.97	حيادية
5	التسخين الشمسي المنفعل	3.77	5	2	0.96	مهمة
6	الغطاء النباتي	4.31	5	2	0.83	مهمة جداً

جدول(3-7): نتائج المتوسط الحسابي لممارسات التصميم المنفعل

تشير النتائج إلى أن القيمة الأعلى للمتوسط الحسابي تعود لممارسة التهوية الطبيعيّة بقيمة 4.56 ، بينما القيمة الدنيا للمتوسط الحسابي تعود لممارسة التبريد التبخيري بقيمة 3.25. الممارسات الخاصّة بالتصميم المنفعل تتراوح بين

3-6-3 - نتائج تكرارات الممارسات المعمارية المستدامة على مستوى غلاف المبنى حسب سنوات الخبرة لعينة الدراسة

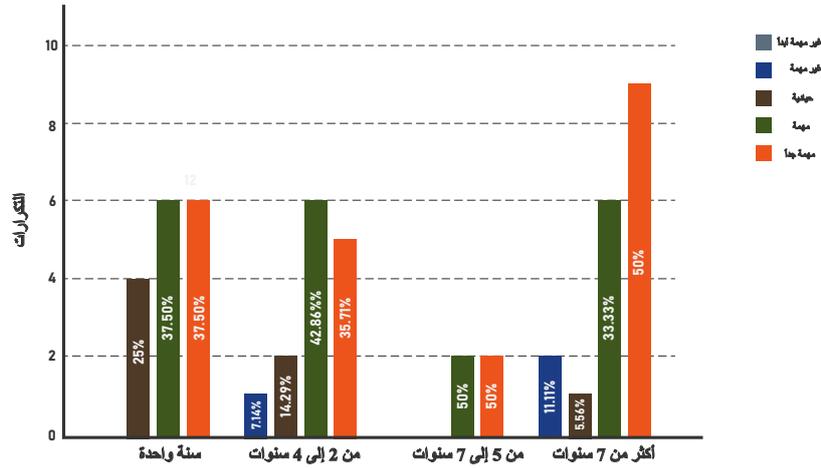
تشير نتائج ممارسة مواد العزل الحراري ضمن الجدران والأسقف والنوافذ من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات وبنسبة 72.22% قد اختاروا أنها مهمة جداً و 22.22% اختاروا أنها مهمة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات وبنسبة 100% قد اختاروا أنها مهمّة جداً، وكذلك الأمر ضمن العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت الآراء تتراوح بين مهمّة جداً ومهمة، وأخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمّة جداً بنسبة 75%. وهذا إن دل على شيء فهو يدل على الأهمية الكبيرة لهذه الممارسة وإجماع جميع أفراد العينة على أنها مهمّة جداً، الشكل (3-2).



شكل (3-2): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة العزل الحراري

تشير نتائج ممارسة الواجهات المزدوجة من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات وبنسبة 50% قد اختاروا أنها مهمة جداً، و 11.11% اختاروا أنها غير مهمّة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات وبنسبة متساوية قد اختاروا أنها مهمّة جداً ومهمّة، أما العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمّة بنسبة 42.86% وغير مهمّة بنسبة 7.14%، وأخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمّة جداً بنسبة 37.5% وحيادية بنسبة 25%. وهذا يدل على أن آراء الخبراء في ممارسة الواجهة المزدوجة متفاوتة بين المهمّة جداً وغير مهمة وهذا ما يُعطيها أدنى قيمة للمتوسط الحسابي ضمن ممارسات غلاف المبنى. الشكل (3-3).

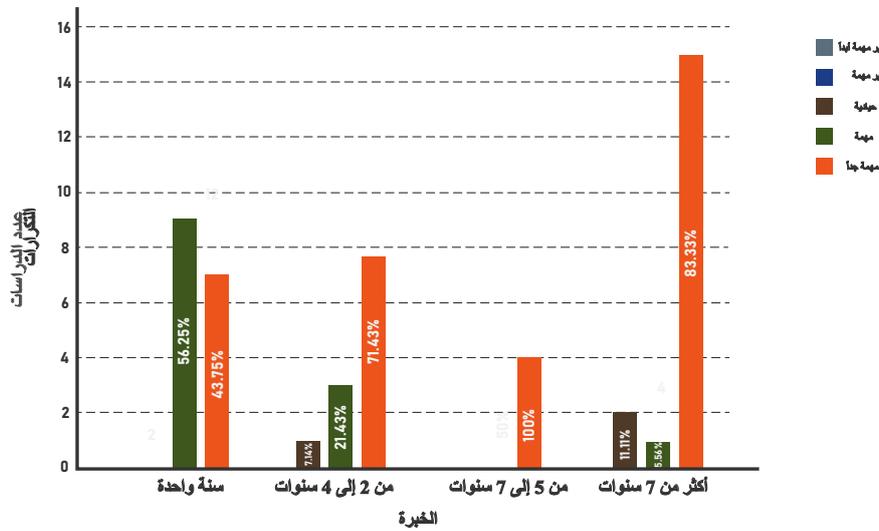
الواجهات المزدوجة



شكل(3-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة الواجهات المزدوجة

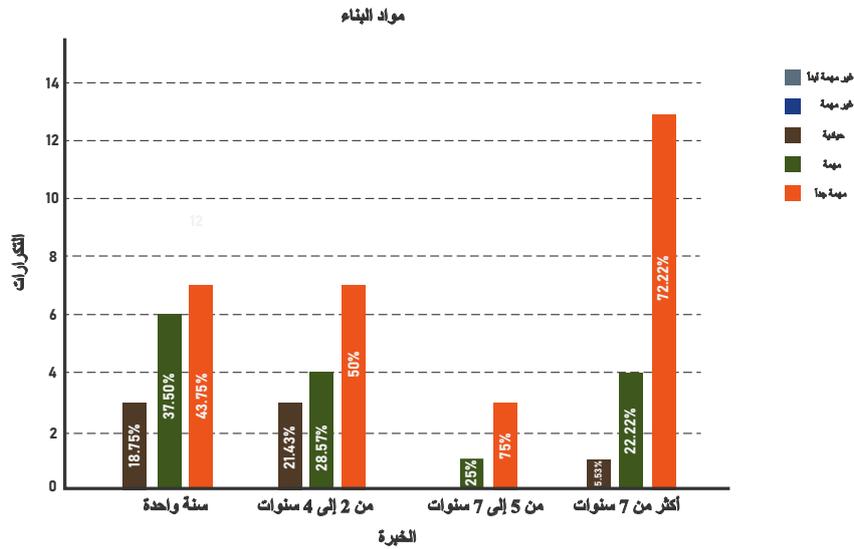
تشير نتائج مُمارسة موقع و تصميم النوافذ من ناحية سنوات الخبرة لدى العيّنة، أنّ العيّنة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة 83.33% قد اختاروا أنها مهمة جداً، و 11.11% اختاروا الحياد، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة 100% قد اختاروا أنها مُهمّة جداً، أما العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مُهمّة جداً بنسبة 71.43% و حيادية بنسبة 7.14%، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مُهمّة جداً بنسبة 43.75% و مهمة بنسبة 56.25%. و هذا يدلّ أن آراء الخبراء في ممارسة موقع و تصميم النوافذ تدل على الأهمية الكبيرة لهذه الممارسة. الشكل (3-4).

تصميم و موقع النوافذ



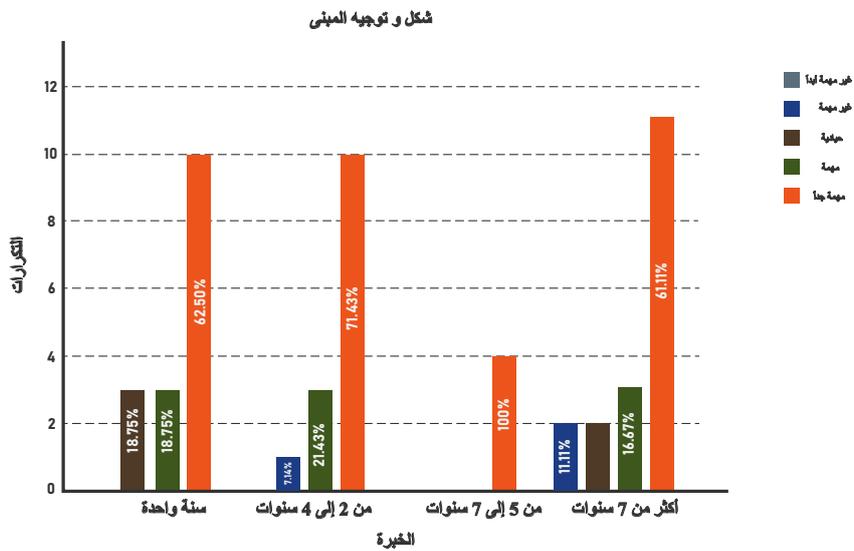
شكل(3-4): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة موقع و تصميم النوافذ

تشير نتائج مُمارسة مواد البناء من ناحية سنوات الخبرة لدى العيّنة، أنّ العيّنة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة 72.22% قد اختاروا أنها مهمة جداً، و 5.53% اختاروا الحياد، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة 75% قد اختاروا أنها مُهمّة جداً، أما العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مُهمّة جداً بنسبة 50% و حيادية بنسبة 21.43%، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مُهمّة جداً بنسبة 43.75% و حيادية بنسبة 18.75%. الشكل (3-5).



شكل(3-5): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة مواد البناء

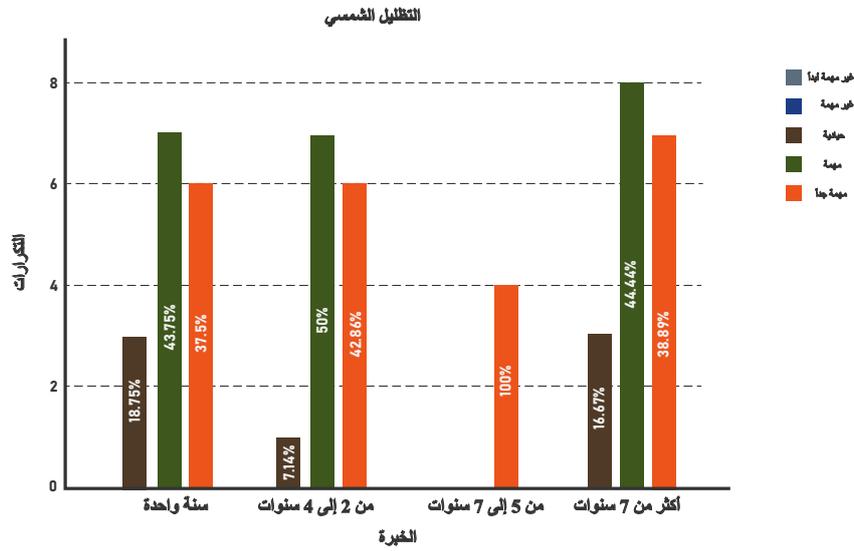
تشير نتائج ممارسة شكل و توجيه المبني من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة **61.11%** قد اختاروا أنها مهمة جداً، و **11.11%** اختاروا أنها غير مهمة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة **100%** قد اختاروا أنها مهمة جداً، أما العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمة جداً بنسبة **71.43%** و غير مهمة بنسبة **7.14%** ، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمة جداً بنسبة **62.50%** و حيادية و غير مهمة بنسبة **18.75%** لـكليةها. الشكل(3-6).



شكل(3-6): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة شكل و توجيه المبني

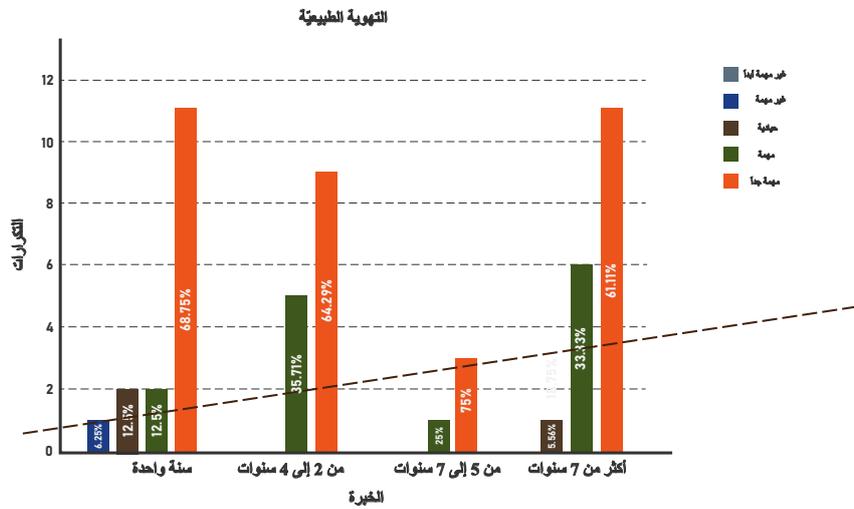
3-6-4 - نتائج تكرارات الممارسات المعمارية المستدامة على مستوى التصميم المُنفعل حسب سنوات الخبرة لعينة الدراسة

تشير نتائج ممارسة التظليل الشمسي من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة **44.44%** قد اختاروا أنها مهمة، و **16.67%** اختاروا الحياد، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة **100%** قد اختاروا أنها مهمة جداً، العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمة بنسبة **50%** و حيادية بنسبة **7.14%** ، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمة بنسبة **43.75%** و حيادية بنسبة **18.75%**. الشكل(3-7).



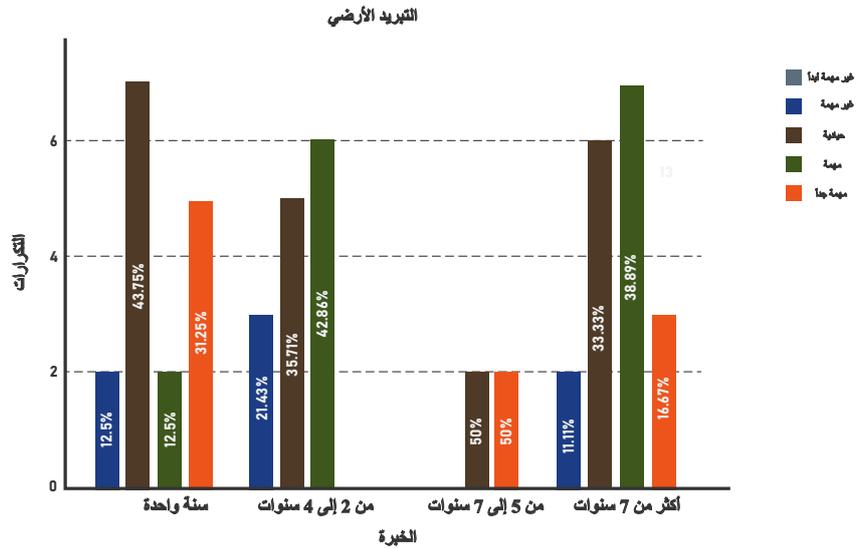
شكل(3-7): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التظليل الشمسي

تشير نتائج ممارسة التهوية الطبيعية من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة **61.11%** قد اختاروا أنها مهمة جداً، و **5.56%** اختاروا الحياد، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة **75%** قد اختاروا أنها مهمة جداً، العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمة جداً بنسبة **46.29%** و مهمة بنسبة **35.71%**، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمة جداً بنسبة **68.75%** و غير مهمة بنسبة **6.25%**. وهذا إن دل على شيء فهو يدل على الأهمية الكبيرة لهذه الممارسة و إجماع جميع أفراد العينة على أنها مهمة جداً و هذا ما أعطاها المرتبة الأولى ضمن ممارسات التصميم المنفعل. الشكل (3-8).



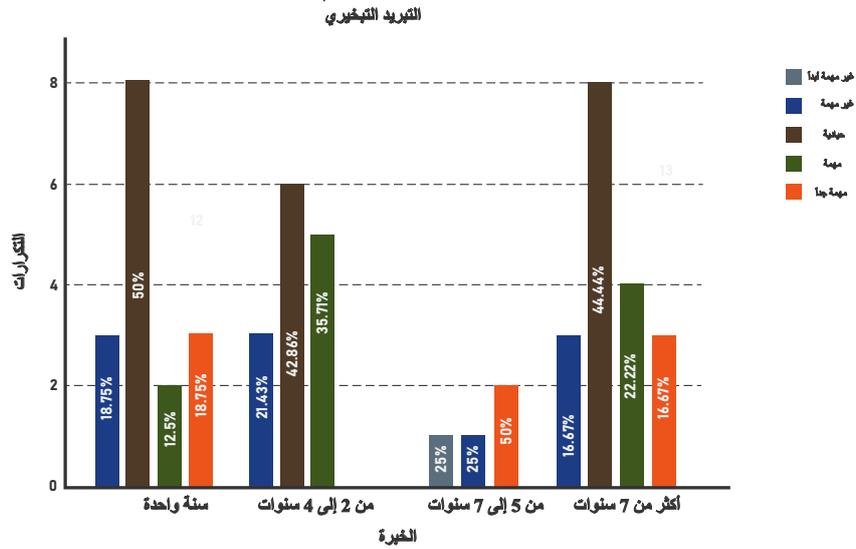
شكل(3-8): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التهوية الطبيعية

تشير نتائج ممارسة التبريد الأرضي من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة **38.89%** قد اختاروا أنها مهمة، و **11.11%** اختاروا أنها غير مهمة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة **50%** قد اختاروا أنها مهمة جداً، العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمة بنسبة **42.86%** و غير مهمة بنسبة **21.43%**، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة حيادية بنسبة **43.75%** و غير مهمة بنسبة **12.5%**. فكان الإجماع على حيادية هذه الممارسة، الشكل (3-9).



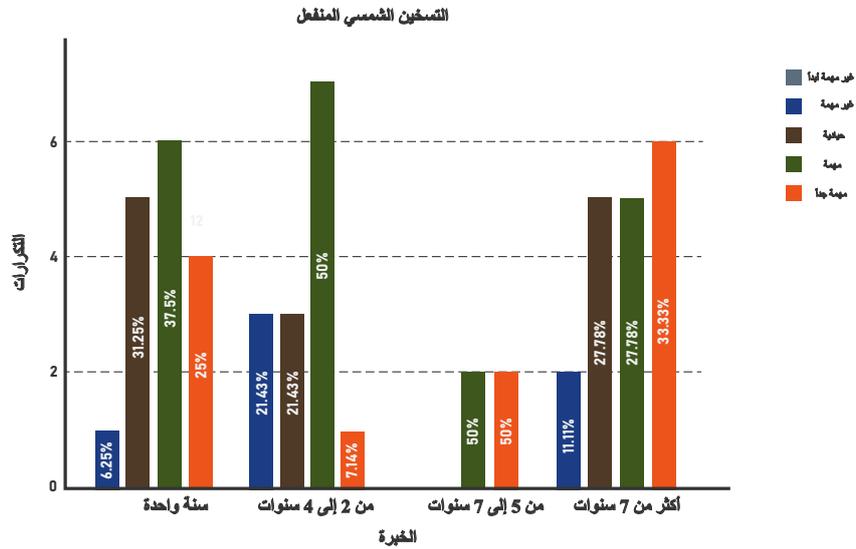
شكل(9-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التبريد الأرضي

تشير نتائج ممارسة التبريد التبخيري من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة 44.44% قد اختاروا الحياد، و 16.67% اختاروا أنها غير مهمة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة 50% قد اختاروا أنها مهمة جداً و 25% غير مهمة أبداً، العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها حيادية بنسبة 42.86% و غير مهمة بنسبة 21.43% ، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة حيادية بنسبة 50% و غير مهمة بنسبة 18.75%. فكان الإجماع على حيادية و عدم أهميتها هذا ما أعطاها المركز الأخير ضمن ممارسات التصميم المنفعل و غلاف المبنى أيضاً، الشكل (3-10).



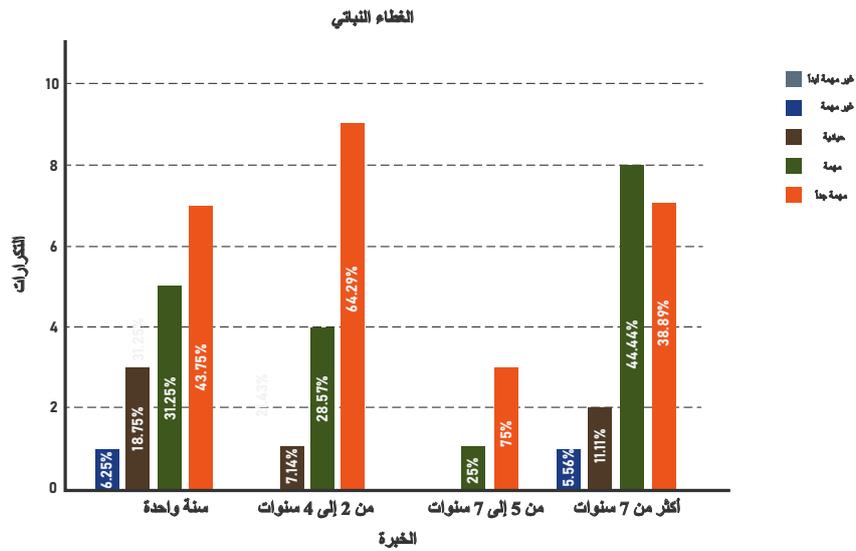
شكل(10-3): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التبريد التبخيري

تشير نتائج ممارسة التسخين الشمسي المنفعل من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات و بنسبة 33.33% قد اختاروا أنها مهمة جداً، و 11.11% اختاروا أنها غير مهمة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات و بنسبة 50% مناصفةً قد اختاروا أنها مهمة جداً و مهمة، العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمة بنسبة 50% و غير مهمة بنسبة 21.43% ، و أخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمة بنسبة 37.5% و غير مهمة بنسبة 6.25%. الشكل (3-11).



شكل(3-11): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة التسخين الشمسي المنفعل

تشير نتائج ممارسة الغطاء النباتي من ناحية سنوات الخبرة لدى العينة، أن العينة التي تزيد سنوات خبرتها عن 7 سنوات وبنسبة 44.44% قد اختاروا أنها مهمة، و 5.56% اختاروا أنها غير مهمة، بينما العينة ذات الخبرة من 5 إلى 7 سنوات وبنسبة 75% قد اختاروا أنها مهمة جداً، العينة ذات الخبرة من 2 إلى 4 سنوات فكانت النسبة الأعلى للآراء على أنها مهمة جداً بنسبة 64.29% وحيادية بنسبة 7.14%، وأخيراً العينة ذات سنة واحدة من الخبرة اختاروا أن الممارسة مهمة جداً بنسبة 43.75% وغير مهمة بنسبة 6.25%. الشكل(3-12).



شكل(3-12): نتائج آراء العينة حسب سنوات الخبرة على ممارسة الغطاء النباتي

7-3 - ترتيب الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية

فيما يلي الجدول الخاص بترتيب الممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية من الأكثر أهمية إلى الأقل أهمية وذلك حسب المتوسط الحسابي الناتج عن كل ممارسة. الجدول(3-8).

الترتيب	الممارسات	المتوسط الحسابي	التصنيف
1	العزل الحراري Thermal Insulation	4.67	غلاف المبنى
2	تصميم و موقع النوافذ Fenestration	4.63	غلاف المبنى
3	التهوية الطبيعية Natural Ventilation	4.56	التصميم المُنفعل
4	شكل و توجيه المبنى Building Form & Orientation	4.46	غلاف المبنى
5	مواد البناء Construction materials	4.44	غلاف المبنى
6.5	التظليل الشمسي Solar Shading	4.31	التصميم المُنفعل
6.5	الغطاء النباتي Vegetation	4.31	التصميم المُنفعل
8	الواجهات المزدوجة Double Skin Facades	4.17	غلاف المبنى
9	التسخين الشمسي المنفعل Passive Solar Heating	3.77	التصميم المُنفعل
10	التبريد الأرضي Ground Cooling	3.54	التصميم المُنفعل
11	التبريد التبخيري Evaporative Cooling	3.25	التصميم المُنفعل

جدول(8-3): تكرار الممارسات المعمارية المُستدامة ضمن الدراسات السابقة

8-3 - الفرق في ترتيب الممارسات المعمارية المستدامة بين الاستبيان و تكرارها ضمن الدراسات السابقة

فيما يلي الجدول(3-9)، الخاص بمقارنة الترتيب للممارسات المعمارية المستدامة المؤثرة على الراحة الحرارية حسب الاستبيان و الدراسات السابقة.

الترتيب	الاستبيان	الدراسات السابقة	الترتيب
1	العزل الحراري	التهوية الطبيعية	1
2	تصميم و موقع النوافذ	العزل الحراري	2
3	التهوية الطبيعية	مواد البناء	5
4	شكل و توجيه المبنى	تصميم و موقع النوافذ	5
5	مواد البناء	التظليل الشمسي	5
6.5	التظليل الشمسي	توجيه و شكل المبنى	5

5	التسخين الشمسي المنفعل	الغطاء النباتي	6.5
8	التبريد التبخيري	الواجهات المزدوجة	8
9	الغطاء النباتي	التسخين الشمسي المنفعل	9
10	الواجهات المزدوجة	التبريد الأرضي	10
11	التبريد الأرضي	التبريد التبخيري	11

جدول(9-3): ترتيب الممارسات المعمارية المستخدمة ضمن الاستبيان و الدراسات السابقة

تُظهر مقارنة نتائج الاستبيان مع الدراسات السابقة اختلافات واضحة في ترتيب الممارسات المعمارية المستخدمة، مما يعكس تنوع الآراء والاعتبارات في كل منهما. ففي الاستبيان كانت ممارسة العزل الحراري في المرتبة الأولى، مع إجماع جميع المُستبنيين حسب سنوات خبرتهم على أنها مُهمّة جداً، بينما في الدراسات السابقة فقد أخذت المركز الثاني وهي نتيجة مُقاربة جداً لنتيجة الاستبيان، وهذا يدل بشكل عام على الأهمية الكبيرة لمُمارسة العزل الحراري في تحقيق الرّاحة الحراريّة. بينما التهوية الطبيعية والتي احتلت المرتبة الأولى في الدراسات السابقة، كانت قد احتلت المركز الثالث في قسم الاستبيان، وهذه أيضاً نتيجة مُقاربة، مما يدل أيضاً على أهمية تلك الممارسة في تحقيق الرّاحة الحراريّة وخاصة في فصل الصيف.

تصميم و موقع النوافذ أيضاً لا يوجد فروقات كبيرة بترتيبه بين الاستبيان و التي حصلت على المركز الثاني، و الدراسات السابقة و التي حصلت على المركز الرابع.

ممارسة التبريد التبخيري في قسم الاستبيان قد حصلت على المركز الأخير، بينما في قسم الدراسات السابقة فقد حصلت على المرتبة الثامنة أي أنّ هناك فرق بين الترتيبين بين الاستبيان و الدراسات السابقة لأسباب مُختلفة.

9-3 - الخلاصة

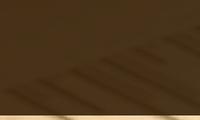
تمّ في هذا الفصل إجراء تحليل إحصائي للبيانات التي جُمعت عبر الاستبيان الإلكتروني الموزّعة على عيّنة البحث باستخدام برنامج التحليل الإحصائي **SPSS**. و قد أظهرت النتائج مدى أهمية الممارسات المعمارية المؤثرة على الرّاحة الحراريّة. بالإضافة إلى ذلك تم ترتيب تلك الممارسات حسب الأهمية من الأكثر أهمية إلى الأقل، و تمّت مقارنتها بعدد مرّات تكرار تلك الممارسات في الدراسات السابقة، و على أساس الترتيب الجديد الناتج من التحليل الإحصائي سنقوم بالتطبيق العلمي لأهم تلك الممارسات على برنامج **DesignBuilder** في الفصل التالي و ذلك لحالة مبنى جامعي في مدينة اللاذقية و هو مبنى الأكاديمية العربية للعلوم و التكنولوجيا و النقل البحري.

الفصل الرابع

النمذجة و مناقشة نتائج الرّاحة الحراريّة للحالة الدراسيّة



البيانات



4- النمذجة و مناقشة نتائج الرّاحة الحراريّة للحالة الدراسية

4-1 - مقدّمة

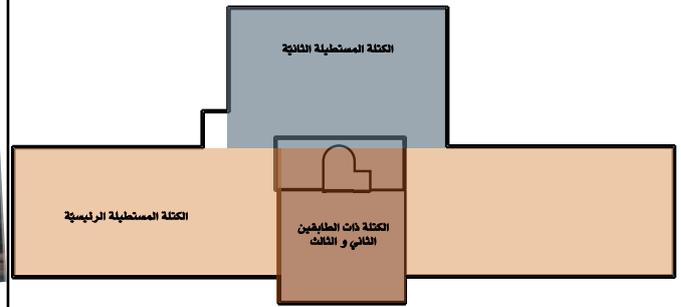
يتناول هذا الفصل استخدام نتائج التحليل الإحصائي للاستبيان الخاص بالممارسات المعماريّة المُستدامة المؤثّرة على الرّاحة الحراريّة وتطبيقها على حالة دراسيّة عمليّة لمبنى الأكاديمية العربيّة للعلوم والتكنولوجيا و النقل البحري في مدينة اللاذقيّة/سورية. حيث سنتطرق في هذا القسم إلى تطبيق ممارسات العزل الحراري ضمن الجدران، الأسقف و النوافذ بالإضافة إلى تغيير في الشكل الخارجي للفتحات الزجاجيّة (النوافذ)، و تطبيق ممارسات التظليل الشمسي و التهوية الطبيعيّة، و ذلك باستخدام برنامج **DesignBuilder** كأحد أدوات تحليل أداء المباني **BPS** للاستفادة منه في عمليّات التحليل الحراري و قياس مدى التحسّن الناتج من تطبيق تلك الممارسات على الرّاحة الحراريّة، وصولاً إلى استخلاص النتائج النهائيّة.

4-2 - تعريف بالحالة الدراسية

المبنى المدروس هو مبنى تعليمي خاص بالفترة الجامعيّة، يقع ضمن مدينة اللاذقيّة. المبنى عبارة عن تقاطع كتلتين مستطيلتين الشكل (1-4) الضلع الطويل للكتلة الرئيسيّة تكون على محور شمال -جنوب (الضلع الطويل يُواجه الجهة الشرقيّة و الغربيّة)، يتكوّن المبنى من أربعة طوابق فوق الأرض و طابق تحت الأرض، الطابق الأرضي يتكوّن من عُرف إداريّة و قاعات درسيّة بمساحة إجمالية 2240 م²، و كذلك الطابق الأول و لكن بمساحة إجماليّة 2124 م². و الطابق الثاني و الثالث يتكونان من قاعات درسيّة فقط بمساحة إجماليّة لكل طابق 240 م². المبنى هيكلي مبني من بلاطات و سقف نهائي من البيتون المسلّح و البلوك الإسمنتي المفرغ و نوافذ من الألمنيوم ذات طبقة زجاجيّة مفردة مع كاسرات شمسية جانبيّة شاقوليّة و بروزات أفقيّة و مائلة عليها الشكل (2-4). المبنى ضمن الموقع العام لا يحيط به أي أبنية قريبة تُؤثر على التشميس الخاص به.

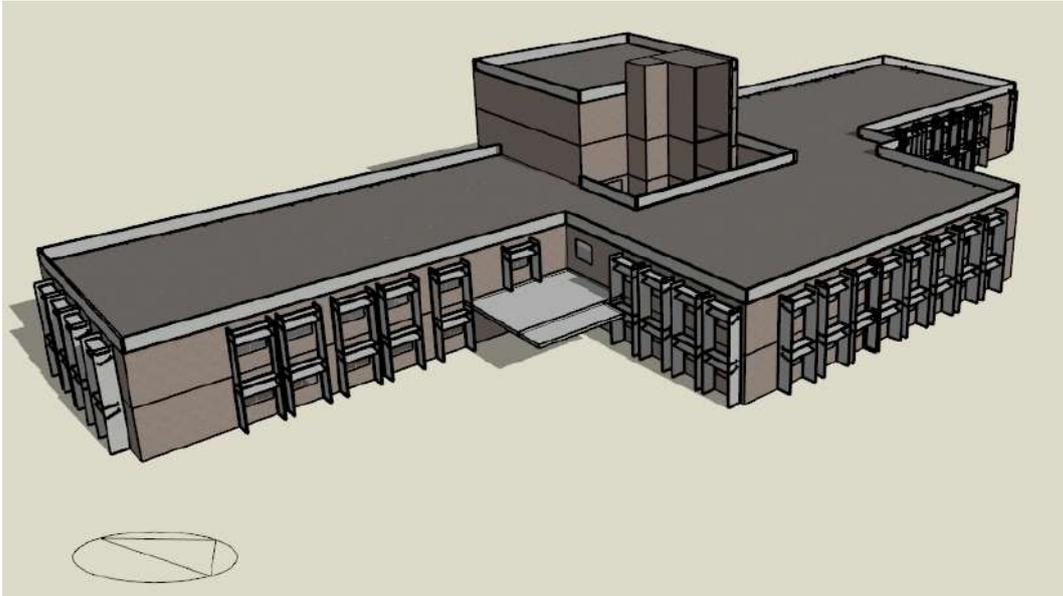


شكل(2-4): كاسرات الشمس الموجودة ضمن الحالة الدراسية



شكل(1-4): شكل المبنى الخاص بالحالة الدراسية

نظام التبريد و التدفئة المُستخدم في المبنى هو النظام وحدات التكييف المنفصلة ضمن كل القاعات الدرسيّة و الغرف الإداريّة. الشكل (3-4) يُبيّن المبنى ضمن برنامج **DesignBuilder**.



شكل(4-3):شكل المبنى(الوضع الراهن) ضمن برنامج DesignBuilder

4-2-1 - معلومات عن شاغلي المبنى

يتم وضع معلومات عن أعداد الشاغلين في كل فراغ للمبنى المدروس و حساب كثافة الأفراد ضمن كل فراغ من فراغات المبنى (شخص/م²). انظر الملحق 2 .

المبنى يكون في حالة الإشغال الكامل من الساعة الثامنة صباحاً إلى الساعة السادسة مساءً 8:00 - 18:00 من يوم السبت إلى يوم الخميس مع عطلة يوم واحد في الأسبوع (يوم الجمعة). من الأول من شهر كانون الثاني/الأول إلى الواحد و الثلاثين من شهر كانون الأول/الثاني عشر.

4-3 - قيمة الراحة الحرارية المثلى ضمن مدينة اللاذقية.

القيمة المثلى للراحة الحرارية حسب المعيار العالمي **ASHRAE standard 55** ، يجب أن تكون أعلى قيمة لدرجة الراحة الحرارية صيفاً 26.7° درجة مئوية، و أخفض قيمة لدرجة الراحة الحرارية شتاءً 20.3° درجة مئوية، و القيمة العظمى للرطوبة 84.6% حسب مؤشر **PMV** الخاص بـ **Fanger** .

4-4 - مقاييس و مؤشرات الراحة الحرارية التي سيتم استخدامها في التحليل

- درجة حرارة الهواء الداخلي **Internal air temperature** : وهي قيمة المتوسط لدرجة حرارة الهواء داخل المبنى.
- درجة الإشعاع الداخليّة **Internal radiant temperature**: وهي قيمة المتوسط لدرجة حرارة الإشعاع **Mean Radiant Temperature (MRT)** لكل فراغ من المبنى، و يتم حسابها على أساس أن الشخص يقف في منتصف الفراغ، دون وزن لأي سطح خاص.
- درجة حرارة التشغيل **Internal operative temperature**: وهي قيمة المتوسط لمجموع درجة حرارة الهواء الداخلي و درجة حرارة الإشعاع مقسوماً على اثنين.
- درجة الحرارة الخارجيّة الجافة **Outside dry-bulb temperature** : معلومة من المناخ للمنطقة المدروسة.

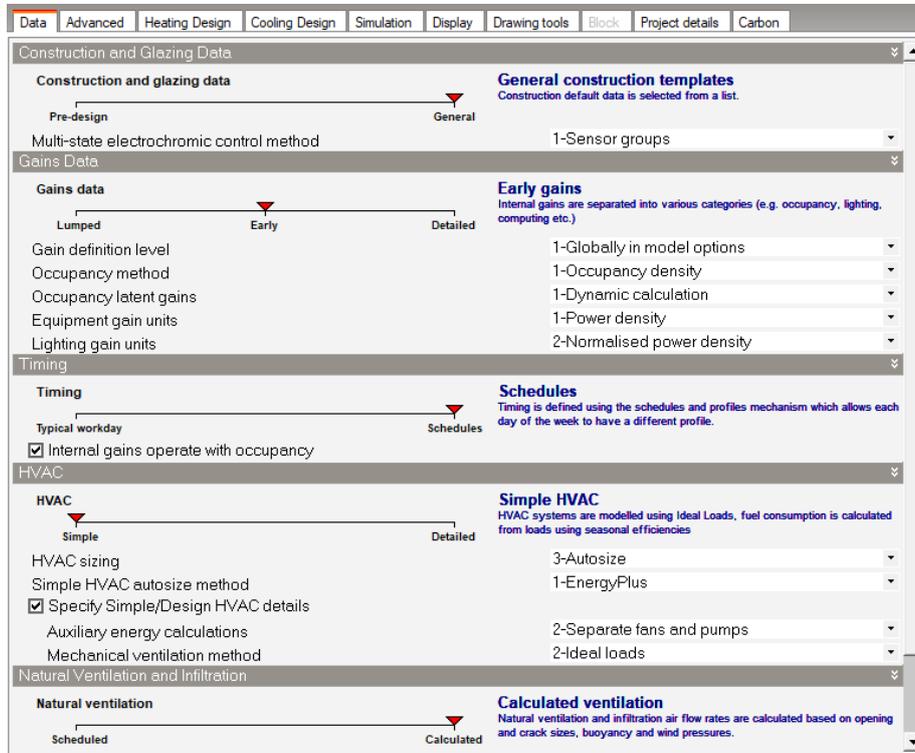
■ الرطوبة النسبية **Relative Humidity**: وهي قيمة المتوسط للرطوبة النسبية للهواء.

■ مؤشر **PMV** لفانغر **Fanger PMV**: قيمة متوسط التصويت المتوقع **Predicted Mean Vote (PMV)** محسوبة بالاعتماد على معيار الآيزو 7730.

■ عدد ساعات عدم الراحة (كل الملابس) **(Discomfort hrs (all clothing))**: الوقت الذي يكون فيه المزيج بين الرطوبة المطلقة ودرجة حرارة التشغيل (درجة الراحة) ليست ضمن معيار **ASHRAE 55-2004** لمنطقة الملابس الصيفيّة و الشتويّة. أي أن الملابس الخاصّة بالشاغلين ليست ضمن المعيار (ثياب حسب إختيار الشاغل).

4-5 - نمذجة مبنى الأكاديمية البحرية (الوضع الراهن) على برنامج **DesignBuilder**

من المخططات المعماريّة الموجودة ضمن الملحق 3، تمّت نمذجة المبنى بالكامل ضمن برنامج **DesignBuilder** و طوابق المبنى تم تقسيمها إلى مناطق حراريّة مختلفة **thermal zones**. بعد عمليّة النمذجة، خيارات النموذج التي تم اختيارها موجودة ضمن الشكل (4-4).



شكل (4-4): ضبط خيارات النموذج ضمن برنامج **DesignBuilder**

■ مواد الإنشاء و بيانات الأسطح الزجاجيّة **Construction and glazing data**: تم اختيار القيمة "عام" **general**.

■ بيانات الكسب الحراري **Gains data**: تم اختيار الخيار "مُبكر" **Early**.

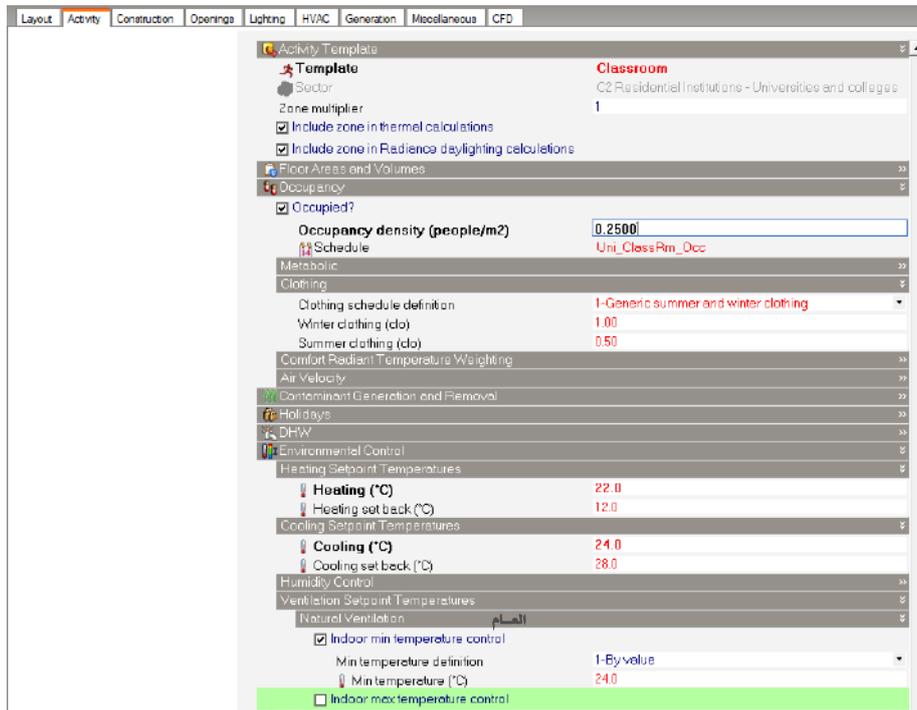
■ الوقت **Timing**: تم اختيار الخيار "ضمن البرنامج الموضوع" **Scheduled** والذي يستفيد من أيام الإشغال التي تم وضعها له ضمن البرنامج الإشغال.

■ نظام التكييف و التهوية **HVAC**: تم اختيار الخيار "بسيط" **Simple**.

■ التهوية الطبيعية **Natural ventilation**: تم اختيار الخيار "المحسوبة" **calculated** ، حيث أن التهوية و دخول الهواء من الفتحات و الفراغات ضمن غلاف المبنى **Infiltration** تكون محسوبة بالاعتماد على سرعة الرياح و حجم الفتحات و الشقوق ضمن المبنى و تأثير الطفو **buoyancy**.

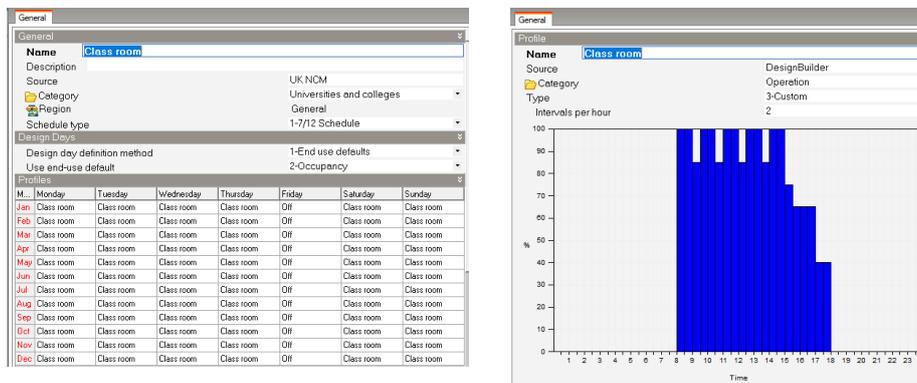
4-5-1 - النشاط التشغيلي ضمن المبنى **Building activity**

تم نمذجة النشاط الخاص بالمبنى مثل تحدثنا سابقاً لكل فراغ على حدى، حيث تم وضع كثافة الشاغلين لكل فراغ بوحدة شخص/م². تم اختيار الملابس بقيمة **1 clo** للملابس الشتوية و **0.5 clo** للملابس الصيفية. و تم ضبط قيمة درجة الحرارة الخاصة بالتسخين على قيمة **22 C°** و درجة الحرارة الخاصة بالتبريد على **24 C°** و القيمة الدنيا للتهوية الطبيعية على درجة **24 C°**، الشكل (4-5).



شكل (4-5): ضبط معلومات قسم النشاط ضمن برنامج DesignBuilder

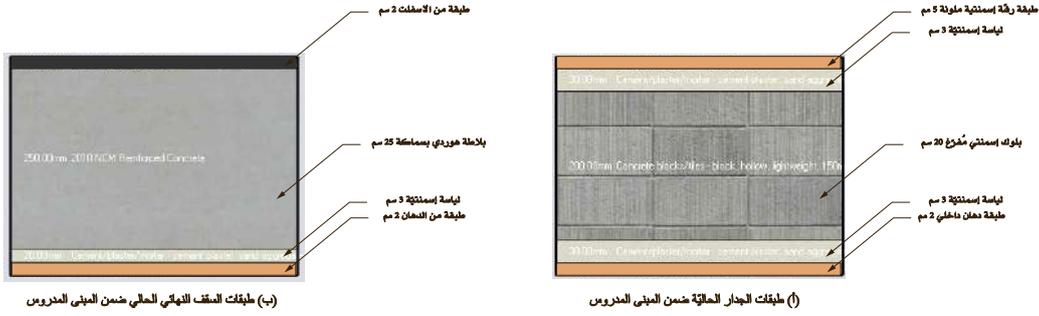
أما بالنسبة لجدول الإشغال فهو من الساعة الثامنة صباحاً و حتى الساعة السادسة مساءً **8:00 - 18:00** و كثافة الإشغال ضمن الفراغ موزعة كما في الشكل (4-6).



شكل (4-6): جدول ساعات الإشغال ضمن برنامج DesignBuilder

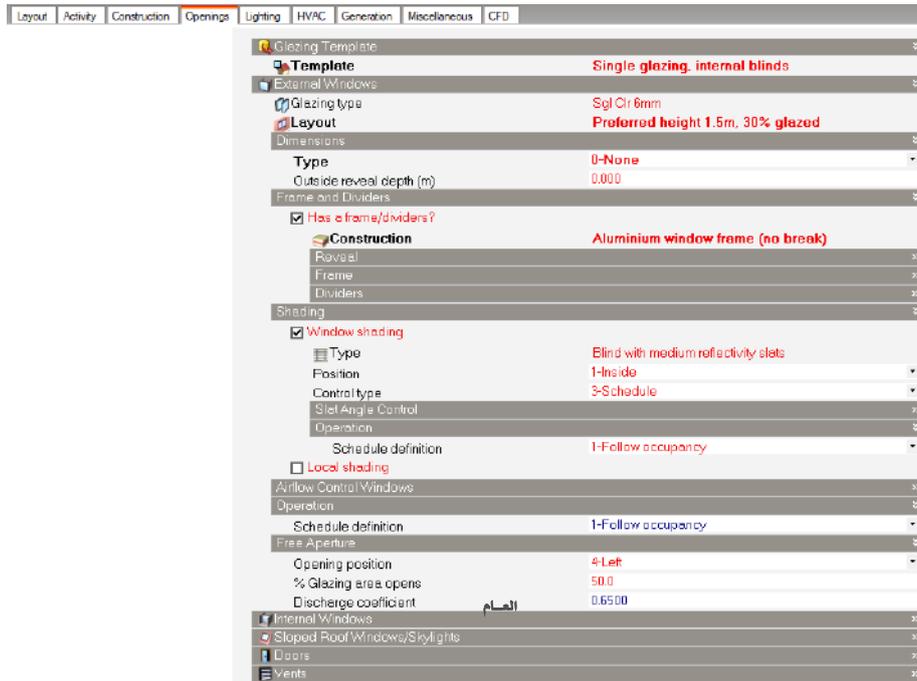
4-5-2 - مواد البناء الحالية الخاصة بالجدران و السقف النهائي و النوافذ

الجدران الخارجية للمبنى مبنية من البلوك الإسمنتي المُفَرَّغ مع طبقتين من اللياسة الإسمنتية من الداخل والخارج، الطبقة الخارجية عبارة عن رشة إسمنتية ملونة بلون فاتح. كاسرات الشمس من البيتون مطلية بلون غامق. السقف النهائي مُكون من بلاطة إسمنتية (هوردي) بسماكة 25 سم، الشكل (4-7) يوضح طبقات الجدران و الأسقف النهائية ضمن برنامج **DesignBuilder**.



شكل(4-7): طبقات الجدران و الأسقف النهائية ضمن برنامج **DesignBuilder**

النوافذ من قطعاً من الألمنيوم و ألواح زجاجية من الزجاج الشفاف ذات طبقة واحدة فقط بسماكة 6 مم. تحتوي على ستائر داخلية يتم التحكم بها عن طريق جدول الإشغال. يتم فتح 50% من مساحة كل نافذة، الشكل (4-8).



شكل(4-8): ضبط معلومات قسم الفتحات ضمن برنامج **DesignBuilder**

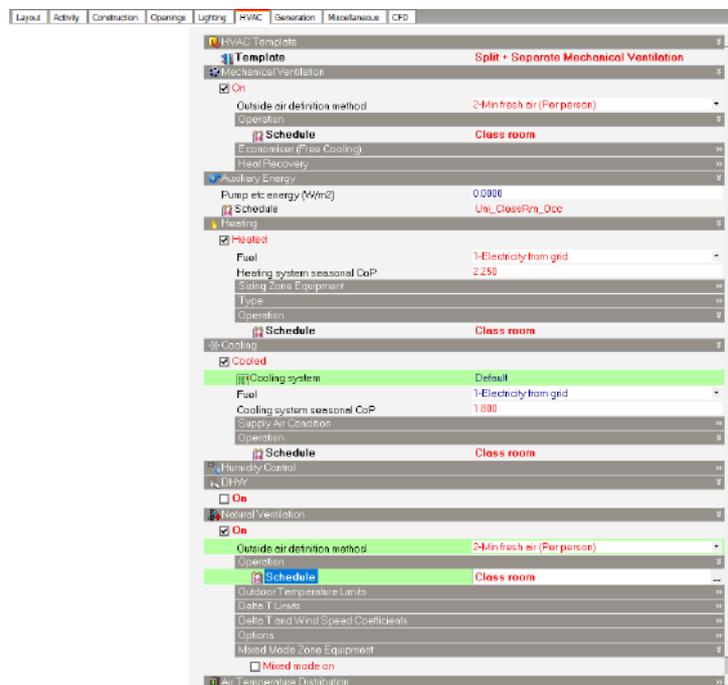
الجدول (4-1) يُبين قيمة **R-Value** و **U-Value** و معامل الاكتساب الحراري **SHGC** للجدران و السقف النهائي و النوافذ ضمن برنامج **DesignBuilder**.

مُعامل الاكتساب الحراري	قيمة <i>U-Value</i>	قيمة <i>R-Value</i>	المُكوّن
<i>SHGC</i>	<i>W/m².K</i>	<i>m².K/W</i>	
-	3.422	0.292	السقف النهائي
-	1.484	0.674	الجدران الخارجية
0.819	5.778	-	النوافذ

جدول(1-4): قيمة المقاومة و الموصليّة الحرارية للسقف النهائي و الجدران الخارجية و النوافذ

4-5-3 - نظام التبريد و التسخين و التكييف HVAC

تمّ اختيار نظام التبريد و التسخين بالاعتماد على وحدات التكييف المنفصلة بكل غرفة، و تمّ تفعيل التهوية الميكانيكية (مراوح....). تمّ تفعيل نظام التسخين و التبريد بالاعتماد على وحدات التكييف المنفصلة *Split* و التي بدورها تستمد الطاقة من شبكة الكهرباء حصراً (لا يوجد قود للتسخين مثل الديزل). و تم ضبط نظام التهوية الخارجية باستخدام خيار *Minimum Fresh air per person* و التي تعتمد على جدول الكثافة الذي تمّ وضعه لكل فراغ.



شكل(4-9): ضبط معلومات قسم التبريد و التسخين ضمن برنامج DesignBuilder

4-6 - مُخرجات المُحاكاة للراحة الحرارية ضمن برنامج DesignBuilder

بعد نمذجة المبنى و ضبط القيم على الخيارات الصحيحة ، تمّ تحليل الراحة الحرارية للحالة الدراسية (الوضع الراهن) ضمن برنامج DesignBuilder من قائمة *simulation* . الشكل(4-10) يُبين خيارات التحليل

المُستخدمة في المُحاكاة. الشكل (554) يُبين المُخرجات التي سيتم إخراجها بعد انتهاء عملية المُحاكاة.

شكل(4-10): ضبط بيانات المُحاكاة ضمن برنامج DesignBuilder

شكل(4-11): نتائج المُحاكاة المطلوبة ضمن برنامج DesignBuilder

7-4 - نمذجة مبنى الأكاديمية البحرية (الممارسات المُقترحة) ضمن برنامج Design-Builder

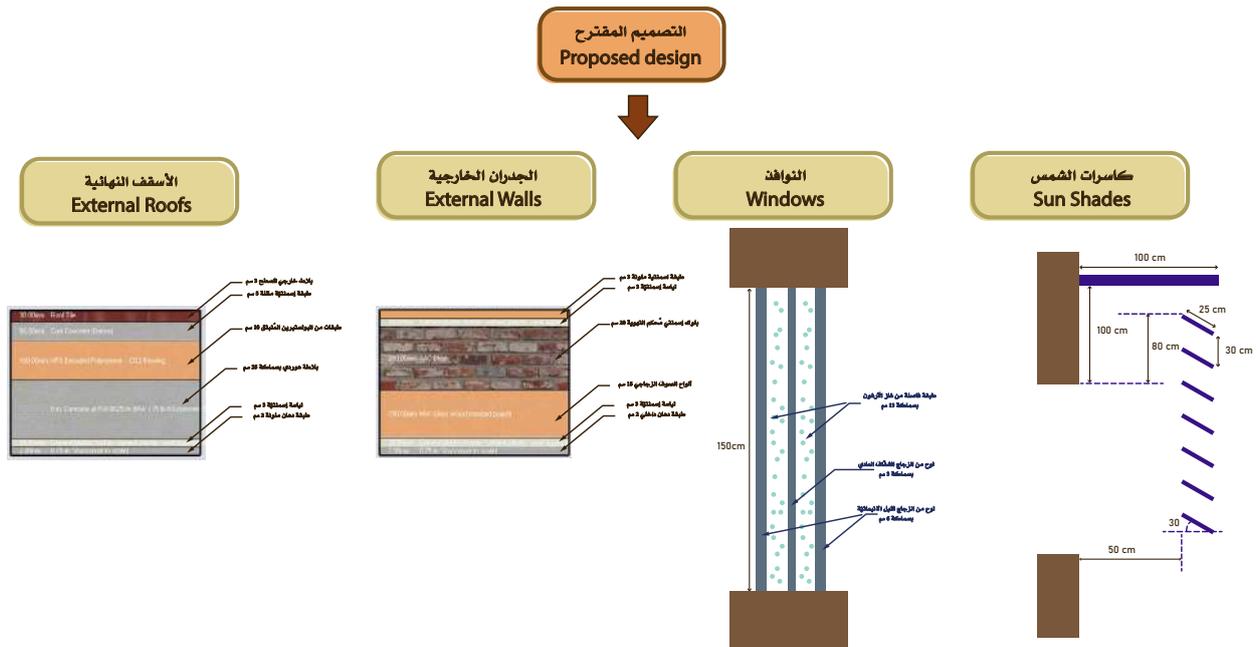
بالنسبة لخيارات النموذج تم استخدام نفس الخيارات السابقة للحالة الدراسية (الوضع الراهن) من دون أي تعديل. وتم نمذجة الممارسات التالية:

■ **مواد العزل الحراري للجدران و الأسقف و النوافذ:** حيث تم وضع مواد عزل للجدران و هي مادة الصوف الزجاجي بسماكة 15 سم، و مادة البوليستيرين المبثوق XPS ضمن السقف النهائي، و غاز الأرغون بسماكة 13 مم بين طبقتي الزجاج في النوافذ.

■ **تصميم و نوع الفتحات و قياسها :** حيث تم تغيير مساحة الفتحات الحالية لتُغطّي نسبة أكبر من الواجهات للمبنى (زيادة نسبة النوافذ بالنسبة للجدران) من 15% إلى 25%، و ذلك للاستفادة من التهوية الطبيعية بشكل أكبر و زيادة الإنارة الطبيعية. و تم اختيار النوافذ التي تفتح بشكل جانبي **Casement Window** بنسبة 80% لمدى الفتح لتلك النوافذ، النافذة ذات ثلاثة طبقات من الزجاج، تم اختيار زجاج من نوع قليل الانبعائية **Low-E** للطبقة الخارجية و الداخلية، بينما الطبقة الوسطية من الزجاج الشفاف العادي.

■ **التظليل الشمسي:** حيث تم استخدام كاسرات شمسية على الواجهات الجنوبية و الغربية و الشرقية. بينما النوافذ على الواجهات الشمالية فلم يتم وضع كاسرات شمس عليها.

■ **مواد البناء :** حيث تم تغيير مادة البناء الرئيسية للجدران من البلوك الإسمنتي المُصْرغ إلى البلوك المُحكم التهوية AAC.

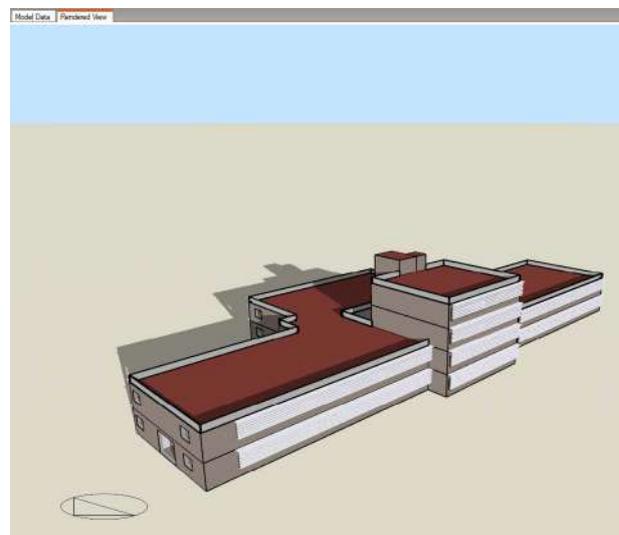
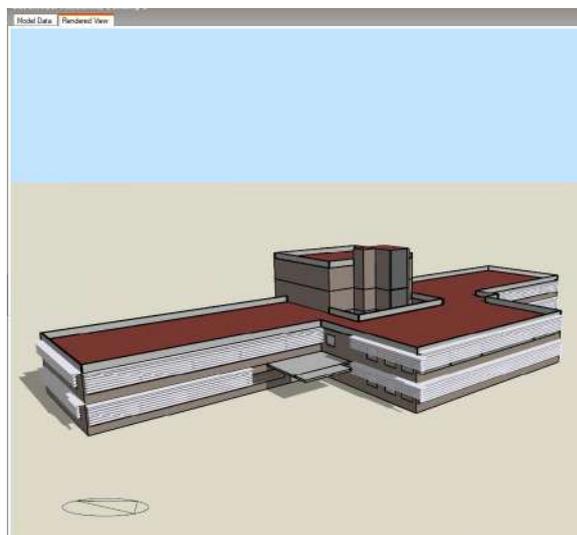


شكل (4-12): طبقات الجدران و الأسقف النهائية و النوافذ و كاسرات الشمس المُقترحة ضمن برنامج DesignBuilder

الجدول (4-2) يُبين قيمة **R-Value** و **U-Value** و معامل الاكتساب الحراري **SHGC** للجدران الخارجية و السقف النهائي و النوافذ ضمن برنامج **DesignBuilder**.

مُعامل الاكتساب الحراري	قيمة <i>U-Value</i>	قيمة <i>R-Value</i>	المُكوّن
<i>SHGC</i>	<i>W/m².K</i>	<i>m².K/W</i>	
-	0.301	3.326	السقف النهائي
-	0.160	6.242	الجدران الخارجيّة
0.568	1.493	-	النوافذ

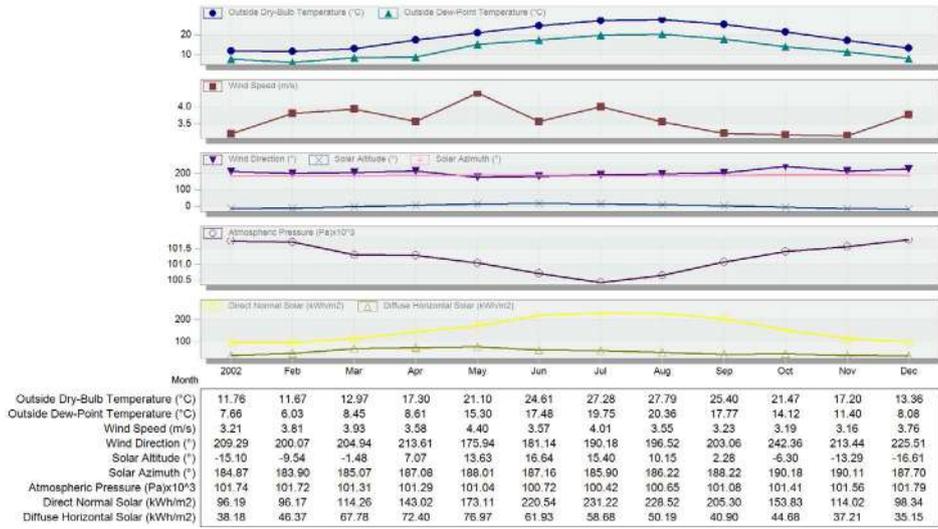
جدول(2-4): قيمة المقاومة و الموصلية الحرارية للسقف النهائي و الجدران الخارجيّة و النوافذ للتصميم المقترح



شكل(4-13): التصميم المقترح للحالة الدراسية ضمن برنامج DesignBuilder

8-4 - مناقشة نتائج بيانات الطقس في مدينة اللاذقية (موقع الحالة الدراسية)

تقع مدينة اللاذقية عند خط طول 35.401° شمالاً و خط عرض 35.949° شرقاً، ترتفع عن مستوى سطح البحر سبعة (7) أمتار. بالنسبة لدرجات الحرارة، درجة الحرارة الأعلى تكون في شهر آب/الثامن صيفاً بمتوسط 27.8° درجة مئوية، بينما تكون أخفض درجة حرارة خلال شهر شباط/الثاني شتاءً بمتوسط 11.7° درجة مئوية. سرعة الرياح تتراوح بين $3.21 - 4.40$ متر/ثانية الشكل (4-14)، و جهة الرياح السائدة هي الجهة الجنوبية الغربية. الفترة الباردة تكون مُتمثلة بالأشهر التالية (3-1-2-12)، و الفترة الحارة تكون مُتمثلة بالأشهر (9-8-7-6). أعلى قيمة لمتوسط الإشعاع الشمسي المباشر **Direct normal solar** تكون في شهر تموز/السابع 231.22 KWh/m^2 و متوسط القيمة الدنيا 96.17 KWh/m^2 (Energyplus Website).



شكل(14-4): بيانات الطقس لمدينة اللاذقية ضمن برنامج DesignBuilder

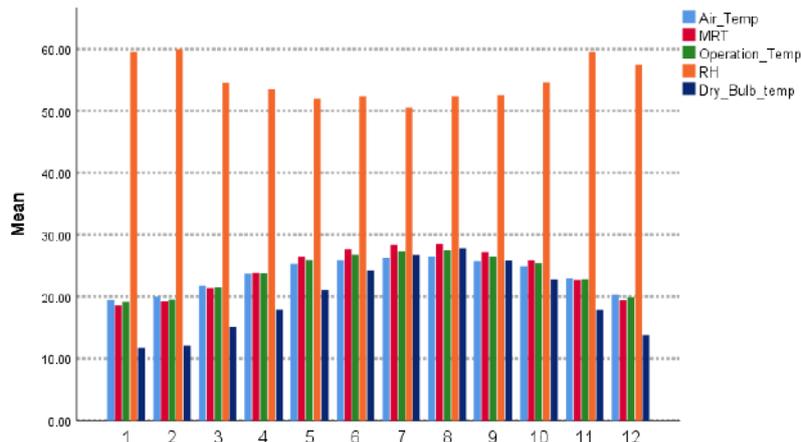
9-4 - نتائج التحليل و المحاكاة الحالة الدراسية (الوضع الراهن)

1-9-4 - نتائج مؤشرات الراحة الحرارية

النتائج الخاصة بالراحة الحرارية ضمن برنامج المحاكاة تشمل قيم متوسطات درجات الحرارة المختلفة خلال السنة (درجة حرارة الهواء- درجة حرارة الإشعاع- درجة الحرارة التشغيلية)، بالإضافة لمؤشرات قياس الراحة الحرارية وهي **PMV - PPD** و عدد ساعات عدم الراحة **Discomfort hrs** خلال أشهر السنة.

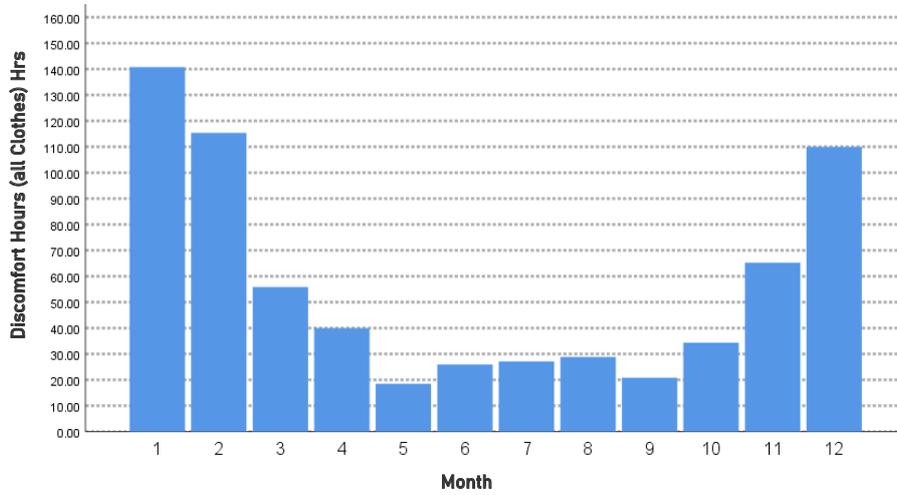
الشكل (5-2) يُبين بيانات الراحة البيئية المُتمثلة بدرجات الحرارة الداخلية و الخارجية. أعلى قيمة لدرجات الحرارة الخارجية كانت في شهر آب/ الثامن بمتوسط $27.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ والقيمة الدنيا كانت في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط $11.72\text{ }^{\circ}\text{C}$. أعلى قيمة لدرجة الحرارة الداخلية للمبنى كانت في شهر آب/ الثامن بمتوسط $26.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ و أدنى قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط $19.54\text{ }^{\circ}\text{C}$. درجة حرارة الإشعاع **MRT** كانت بأعلى قيمة أيضاً في شهر آب/ الثامن بمتوسط $28.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ و أخفض قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط $18.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، بينما كانت درجة الحرارة التشغيلية (درجة الراحة الحرارية) بأعلى قيمة لها بمتوسط $27.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ في شهر آب و أخفض قيمة بمتوسط $19.09\text{ }^{\circ}\text{C}$ في شهر كانون الثاني، الشكل(4-15).

كانت أعلى قيمة للرطوبة النسبية في شهر شباط/ الثاني بمتوسط **59.98%**، بينما كانت أخفض قيمة في شهر تموز/ السابع بمتوسط **50.50%**.



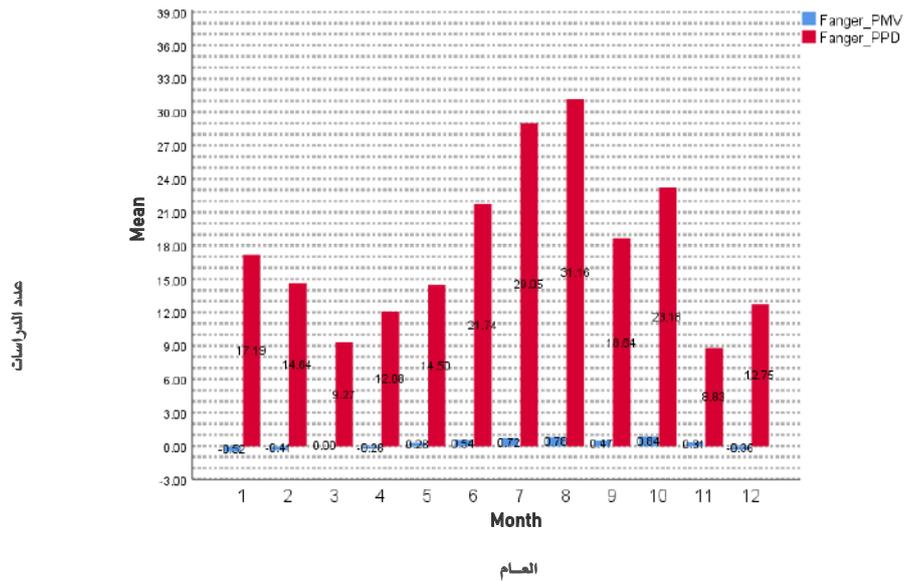
شكل(15-4): نتائج التحليل الخاص بدرجات الحرارة الداخلية و الخارجية ضمن برنامج DesignBuilder

بالنسبة لساعات عدم الراحة، تبين أن هناك متوسط 683 ساعة عدم راحة مُقابل 2880 ساعة خلال العام. خلال أشهر السنة فقد كان لشهر كانون الثاني/الأول القيمة الأعلى لعدد الساعات غير المريحة بمتوسط 140.73 ساعة خلال الشهر، بينما كانت أخفض قيمة في شهر أيار/الخامس بمتوسط 18.48 ساعة، الشكل (4-16).



شكل(4-16): نتائج التحليل الخاص بعدد ساعات عدم الراحة ضمن برنامج DesignBuilder

وأخيراً فيما يخص مؤشر متوسط التصويت المتوقع لفانغر PMV و النسبة المئوية المتوقعة للأشخاص غير الراضين PPD فقد كانت القيمة الأعلى لمؤشر PMV في شهر تشرين الأول/العاشر بمتوسط 0.84 أي الشعور بالقليل من الدفء، بينما القيمة الدنيا كانت في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط -0.52 وهي قيمة قريبة للقيمة المقبولة وهي -0.5. بينما كانت القيمة الأعلى لمؤشر PPD في شهر آب/الثامن بمتوسط 31.16%، بينما كانت القيمة الدنيا في شهر تشرين الثاني/الحادي عشر بمتوسط 8.83% وهي قيمة ضمن القيم المقبولة وهي 10% كحد أقصى، أي أن متوسط النسب المئوية للأشخاص غير الراضين خلال العام تكون 17.75% أي أن هناك تلك النسبة من الأشخاص فقط لا تشعر بالرضا الحراري.

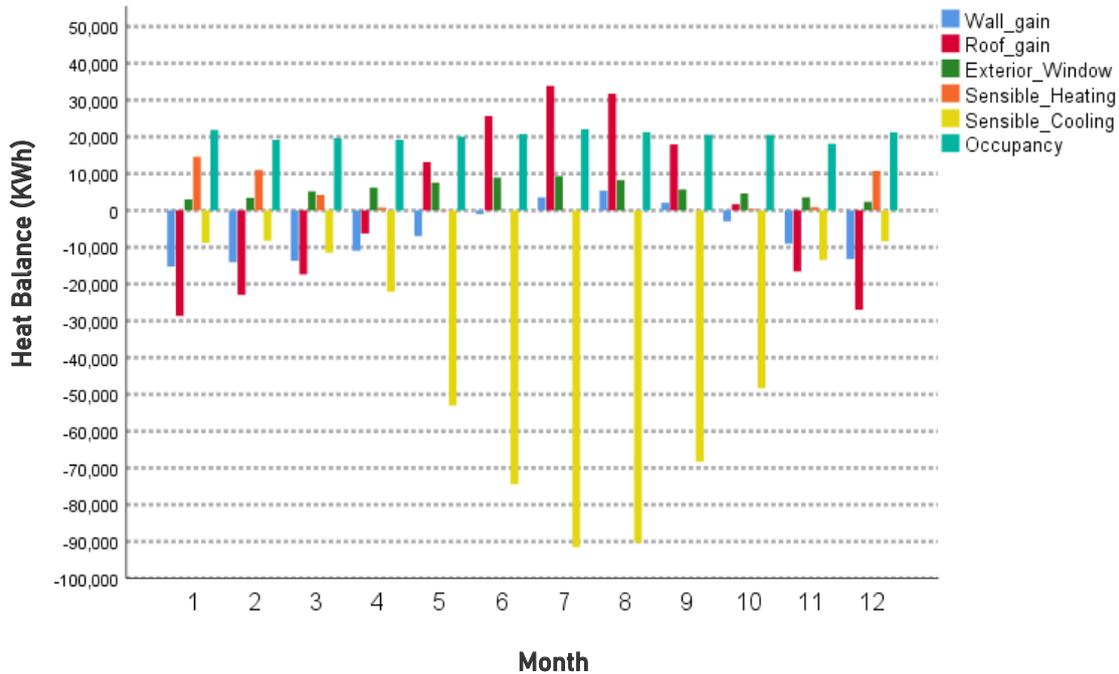


شكل(4-17): نتائج التحليل الخاص بمؤشرات الراحة الحرارية ضمن برنامج DesignBuilder

4-9-2 - نتائج الاكتساب الحراري الشمسي و الطاقة المطلوبة لتحقيق الرّاحة الحراريّة

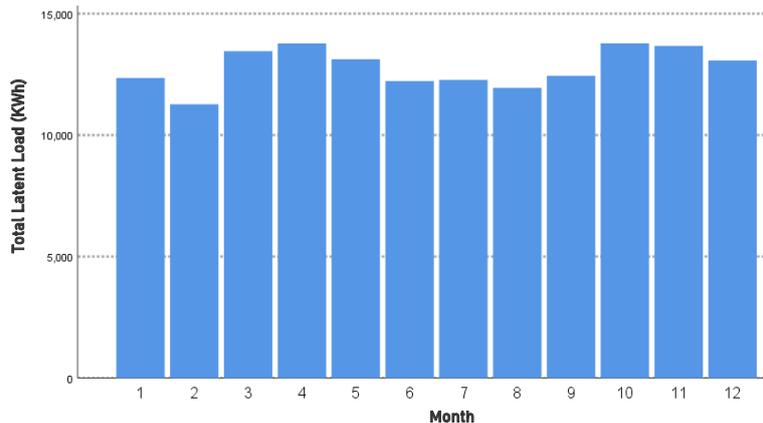
النتائج الناتجة عن برنامج **DesignBuilder** الخاصة بالاكتساب الحراري الشمسي تشمل قيم الاكتساب الحراري من الجدران والنوافذ والأسطح الخارجيّة وغيرها إلى الفراغ الداخلي وما هي القيمة المكافئة من التبريد والتدفئة لتحقيق التوازن الحراري للمبنى المدروس الشكل (4-18).

كانت أعلى قيمة للحرارة المنبعثة من الجدران إلى الفراغ الداخلي للمبنى في شهر آب/الثامن بمتوسط **5369.28 KWh** ، ومن النوافذ كانت متوسط القيمة العليا خلال شهر تموز/ السابع **9317.07 KWh** وأقل قيمة كانت في شهر كانون الأول/الثاني عشر **2330.72 KWh** . بالنسبة للتبريد المحسوس (الطاقة اللازمة لخفض درجة حرارة الهواء الجافة) ضمن المبنى فكانت أعلى قيمة في شهر تموز/السابع بمتوسط **91480.72 KWh** - ، أما فيما يخصّ التسخين المحسوس فكانت أعلى قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بقيمة **14595.54 KWh** . فيما يخص الحرارة المنبعثة من الأسقف النهائية إلى الفراغ الداخلي للمبنى فكان متوسط القيمة الأعلى في شهر تموز/السابع **33870.84 KWh** .



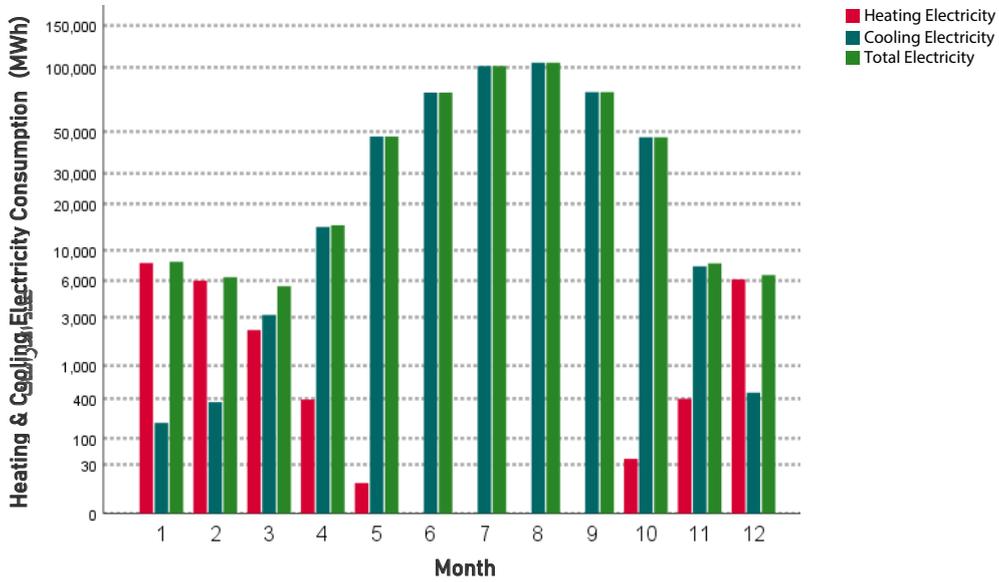
شكل(4-18): نتائج الاكتساب الحراري لمكونات المبنى ضمن برنامج DesignBuilder

فكان متوسط القيمة العليا في شهر تشرين الأول/ **Latent load** بالنسبة للطاقة المطلوبة عن طريق إزالة الرطوبة من الهواء (الشكل(6-5) ، **11269.16 KWh** و القيمة الدنيا كانت في شهر شباط/الثاني بمتوسط **13779.73 KWh** العاشر



شكل(4-19): نتائج الطاقة المطلوبة لإزالة الرطوبة(الحمل الكامن) ضمن برنامج DesignBuilder

من ناحية أخرى فإن الطاقة المطلوبة لتبريد المبنى للوصول للراحة الحرارية كانت بأعلى قيمة خلال شهر آب/ الثامن بمتوسط 104.92 MWh . و كانت أعلى متوسط لقيمة للطاقة المطلوبة لتدفئة المبنى خلال شهر كانون الثاني/الأول 8.12 MWh . أي أنّ أعلى قيمة للطاقة الكلية الخاصة بالتبريد و التدفئة المصروفة كانت خلال شهر آب/الثامن بمتوسط 104.92 MWh الشكل (4-20).



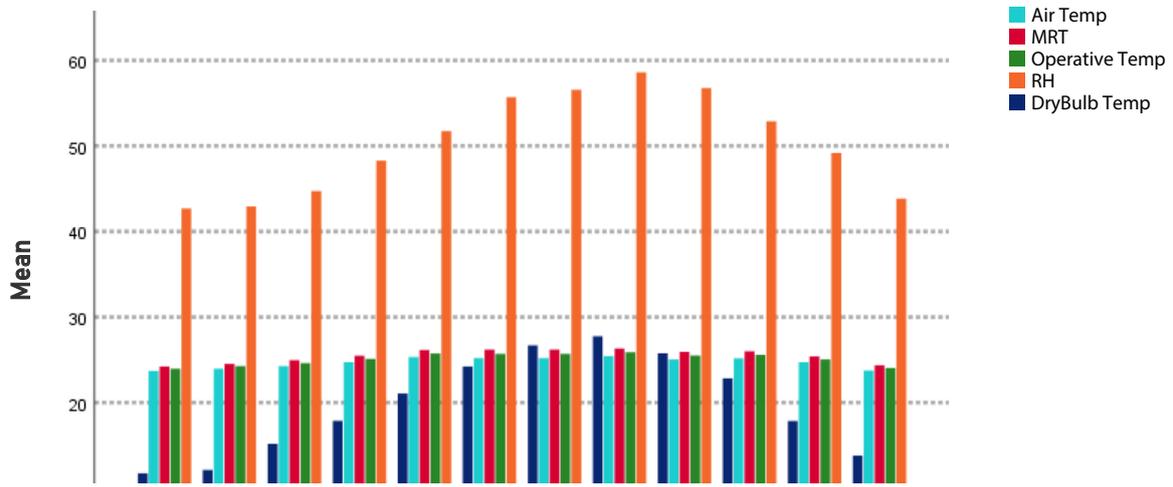
شكل(4-20): نتائج الطاقة المطلوبة لتبريد و تدفئة المبنى و الحمل الطاقم المطلوب ضمن برنامج DesignBuilder

4-10-10 - نتائج التحليل و المحاكاة للمبنى (التصميم المقترح)

4-10-10-1 - نتائج مؤشرات الراحة الحرارية

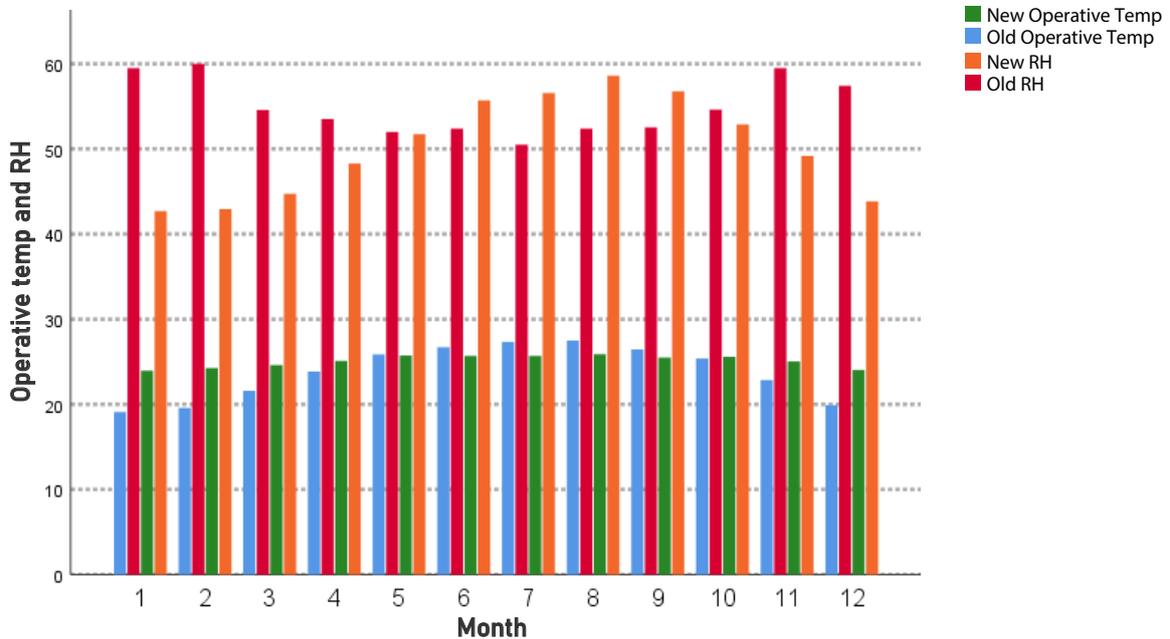
الشكل (5-8) يبين بيانات الراحة البيئية المتمثلة بدرجات الحرارة الداخلية و الخارجية . أعلى قيمة لدرجة الحرارة الداخلية للمبنى كانت في شهر آب/ الثامن بمتوسط 25.43 C° أي أنها انخفضت بنسبة 3.89% و أدنى قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط 23.70 C° أي أنها ارتفعت (تحسنت) بنسبة 21% و هذا من شأنه تقليل الأحمال الناتجة عن التدفئة. درجة حرارة الإشعاع MRT كانت بأعلى قيمة أيضاً في شهر آب/ الثامن بمتوسط 26.33 C° أي أنها انخفضت بنسبة 7.6% ، و أخفض قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط 24.22 C° أي أنها ارتفعت بنسبة 30% ، بينما كانت درجة الحرارة التشغيلية (درجة الراحة الحرارية) بأعلى قيمة لها بمتوسط 25.88 C° في شهر آب بانخفاض بنسبة 5.8% ، و أخفض قيمة بمتوسط 23.96 C° في شهر كانون الثاني بارتفاع بنسبة 25.5% ، الشكل (4-21).

كانت أعلى قيمة للرطوبة النسبية في شهر آب/ الثامن بمتوسط 58.61% ، بينما كانت أخفض قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط 42.68% .



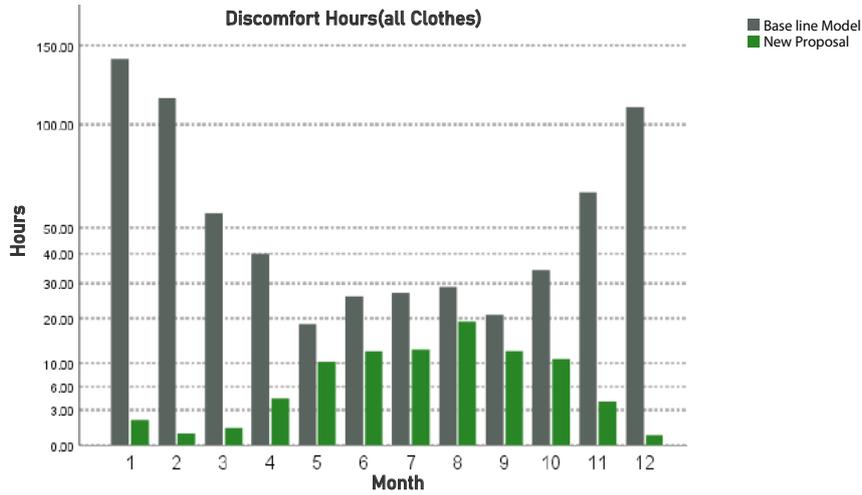
شكل(4-21): نتائج التحليل الخاص بدرجات الحرارة الداخلية و الخارجية للتصميم المقترح ضمن برنامج DesignBuilder

الشكل (4-22) يُبين الاختلافات بين درجة حرارة التشغيل و الرطوبة النسبية في الحالة الدراسية بين الوضع الراهن و التصميم المقترح.



شكل(4-22): نتائج التحليل الخاص بمؤشرات الراحة الحرارية للتصميم المقترح ضمن برنامج DesignBuilder

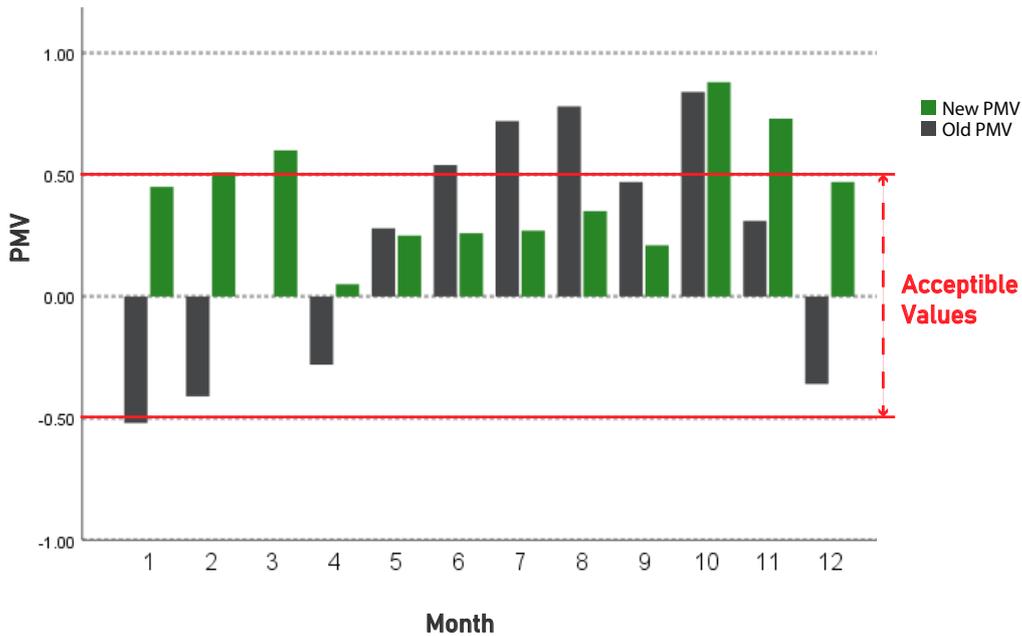
بالنسبة لساعات عدم الراحة، تبين أن هناك متوسط 90 ساعة عدم راحة مُقابل 2880 ساعة خلال العام، أي أن هناك تحسّن عن القيمة في الوضع الراهن بنسبة 86.82%. خلال أشهر السنة فقد كان لشهر آب/ الثامن القيمة الأعلى لعدد الساعات غير المُريحة بمتوسط 19.04 ساعة خلال الشهر أي أنها انخفضت بنسبة 34% عن القيمة القديمة لنفس الشهر، بينما كانت أخفض قيمة في شهر كانون الأول/ الثاني عشر بمتوسط 0.66 ساعة أي أن هناك انخفاض بنسبة 99.4% عن القيمة القديمة لنفس الشهر أيضاً، الشكل (4-23).



شكل(4-23): نتائج التحليل الخاص بعدد ساعات عدم الراحة للتصميم المقترح و مقارنتها مع قيم

الوضع الراهن ضمن برنامج DesignBuilder

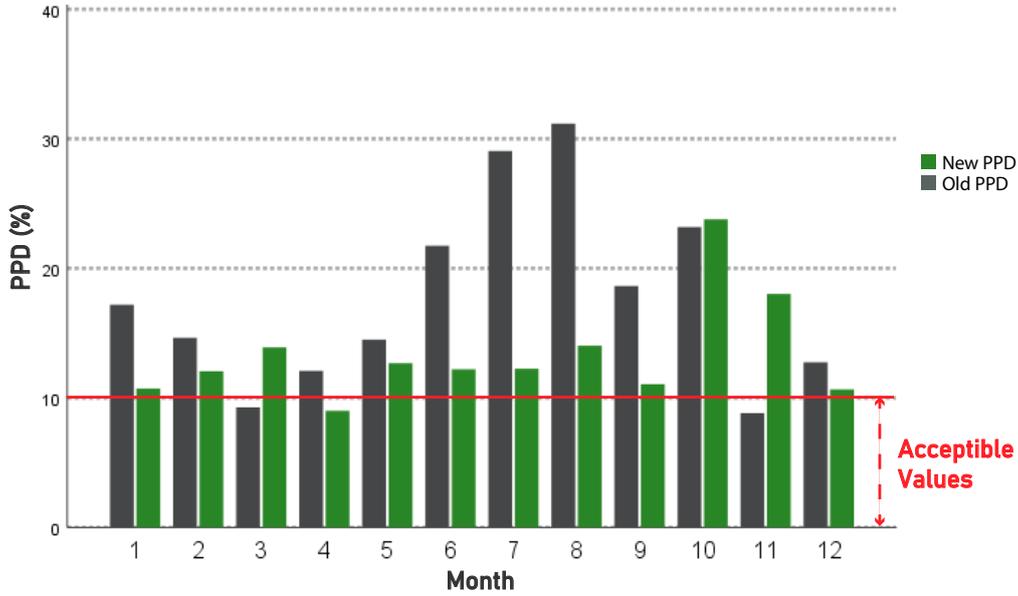
و أخيراً فيما يخص مؤشر متوسط التصويت المتوقع لفانغر PMV و النسبة المئوية المتوقعة للأشخاص غير الراضين PPD ، فقد كانت القيمة الأعلى لمؤشر PMV في شهر تشرين الأول/العاشر بمتوسط 0.88 أي الشعور بالقليل من الدفء حيث أنها ارتفعت بنسبة 4.76% ، بينما القيمة الدنيا كانت في شهر نيسان/الربيع بمتوسط 0.05 وهي قيمة قريبة للحياد(الصفر)، أي أن هناك تحسّن بتلك القيمة بنسبة 82.14% و انتقال من الشعور بالقليل من البرد للشعور الحيادي، الشكل(4-25).



شكل(4-25): نتائج التحليل الخاص بمؤشر PMV للتصميم المقترح و مقارنتها مع القيم القديمة للوضع الراهن ضمن

برنامج DesignBuilder

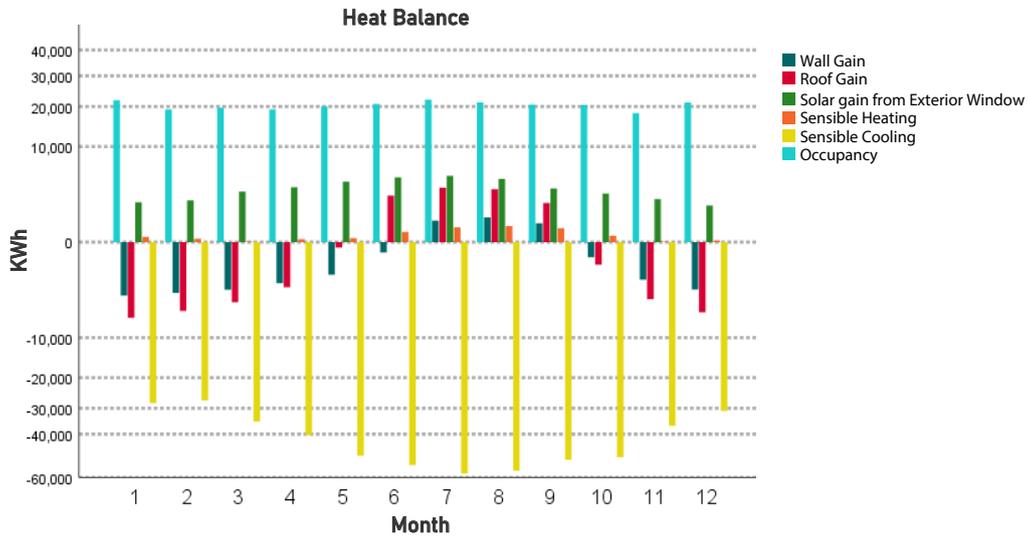
بالنسبة لمؤشر النسبة المتوقعة للأشخاص غير الراضين PPD كانت القيمة الأعلى في شهر تشرين الأول/العاشر بمتوسط 23.79% وهي أعلى من القيمة القديمة بنسبة طفيفة 2.63% ، بينما كانت القيمة الدنيا في شهر نيسان/الربيع بمتوسط 9.01% وهي قيمة ضمن النطاق المقبول وهو كحد أقصى 10% ، أي أن هناك تحسّن بنسبة 25.4% عن القيمة القديمة لنفس الشهر و التي كانت خارج النطاق المقبول. متوسط النسب المئوية للأشخاص غير الراضين خلال العام تكون 13.37% أي أن هناك تحسّن عن النسبة السابقة بقيمة 24.68% ، الشكل(4-26).



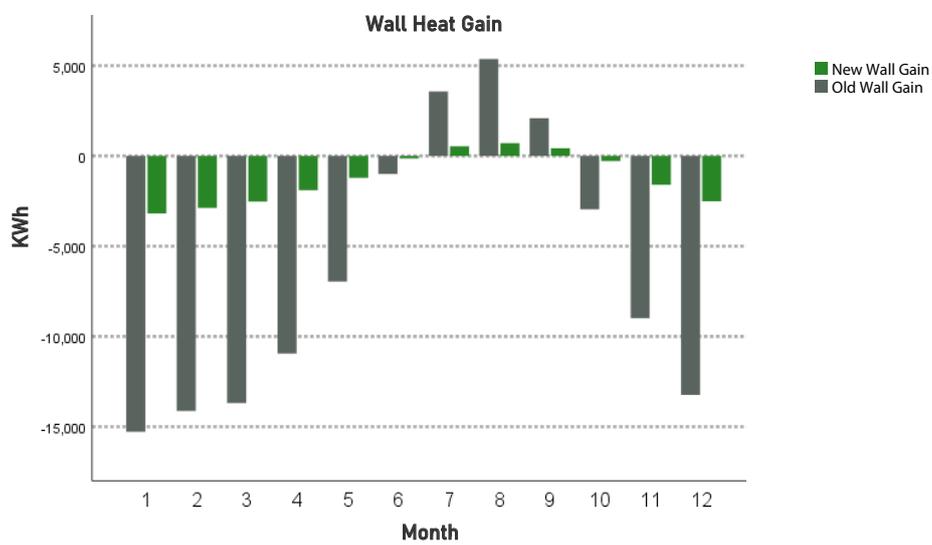
شكل(4-26): نتائج التحليل الخاص بمؤشر PPD للتصميم المقترح و مقارنتها مع القيم القديمة للوضع الراهن ضمن برنامج DesignBuilder

4-10-2 - نتائج الاكتساب الحراري الشمسي و الطاقة المطلوبة لتحقيق الرّاحة الحراريّة

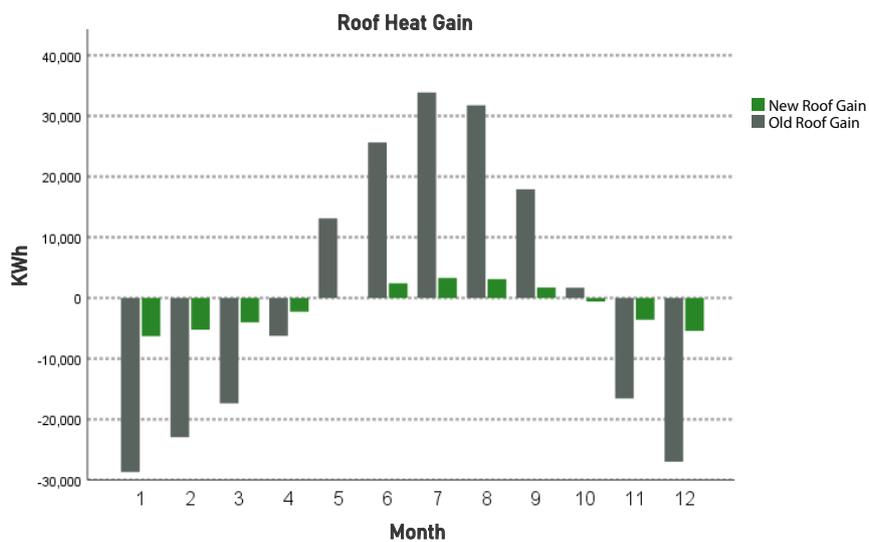
كانت أعلى قيمة للحرارة المنبعثة من الجدران إلى الفراغ الداخلي للمبنى في شهر آب/الثامن بمتوسط 707.4 KWh ، أي أن هناك تحسّن ملحوظ من ناحية فقدان و اكتساب الحرارة من الجدران نتيجة إضافة مواد العزل و مواد البناء المقترحة، حيث كانت نسبة التحسّن 86.83% ، و أقل قيمة في شهر كانون الثاني/الأول بقيمة 3187.39 - أي أن هناك فقد في الحرارة، وهذا تحسّن بقيمة 79.13% . و من الحرارة الناتجة عن الإشعاع الشمسي و المتوغل عن طريق النوافذ كان متوسط القيمة العليا خلال شهر تموز/ السابع 4859.15 KWh ، أي أن هناك تحسّن أيضاً من ناحية النوافذ نتيجة إضافة غاز الأرجون و جعلها ذات ثلاث طبقات زجاجية بدلاً من طبقة واحدة، حيث كانت نسبة التحسّن بمقدار 47.85% . بالنسبة للتبريد المحسوس (الطاقة اللازمة لخفض درجة حرارة الهواء الجافة) ضمن المبنى فكانت أعلى قيمة في شهر تموز/ السابع بمتوسط 57990.6 KWh ، أي أن هناك تحسّن (انخفاض) عن القيمة السابقة للوضع الراهن بنسبة 36.61% ، أما التسخين المحسوس فكانت أعلى قيمة في شهر آب/الثامن بدلاً من كانون الثاني/الأول في الوضع الراهن بقيمة 309.65 KWh . فيما يخص الحرارة المنبعثة من الأسقف النهائية إلى الفراغ الداخلي للمبنى فكان متوسط القيمة الأعلى في شهر تموز/ السابع 3286.46 KWh أي أن هناك تحسّن بقيمة 90.30% عن القيمة السابقة، أما القيمة الدنيا فكانت في شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط 6311.81 - أي أن هناك تحسّن بقيمة 78.01% .



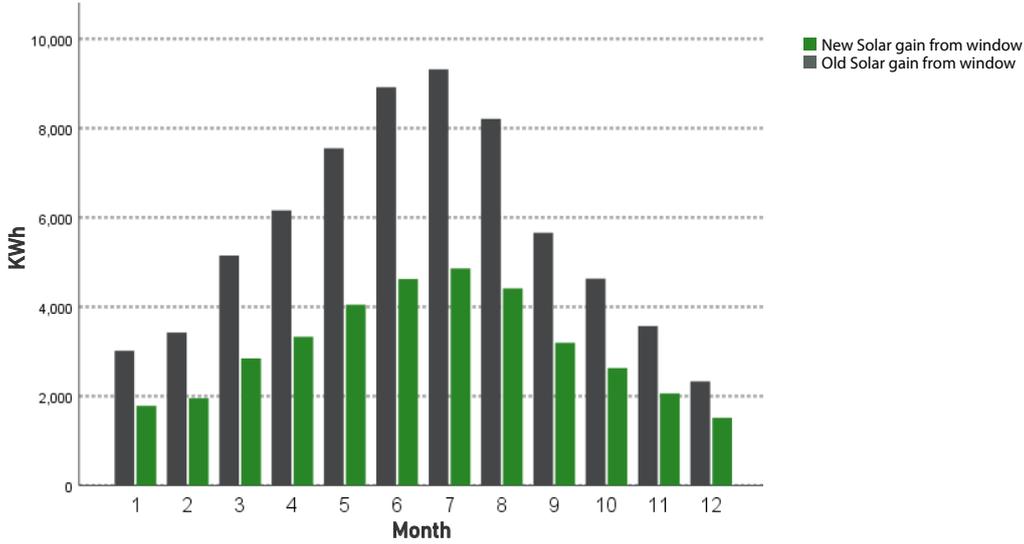
شكل(4-27): نتائج الاكتساب و الفقدان الحراري لمكونات المبنى للتصميم المقترح ضمن برنامج DesignBuilder



شكل(4-28): نتائج الاكتساب و الفقدان الحراري لجدران المبنى للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن ضمن برنامج DesignBuilder

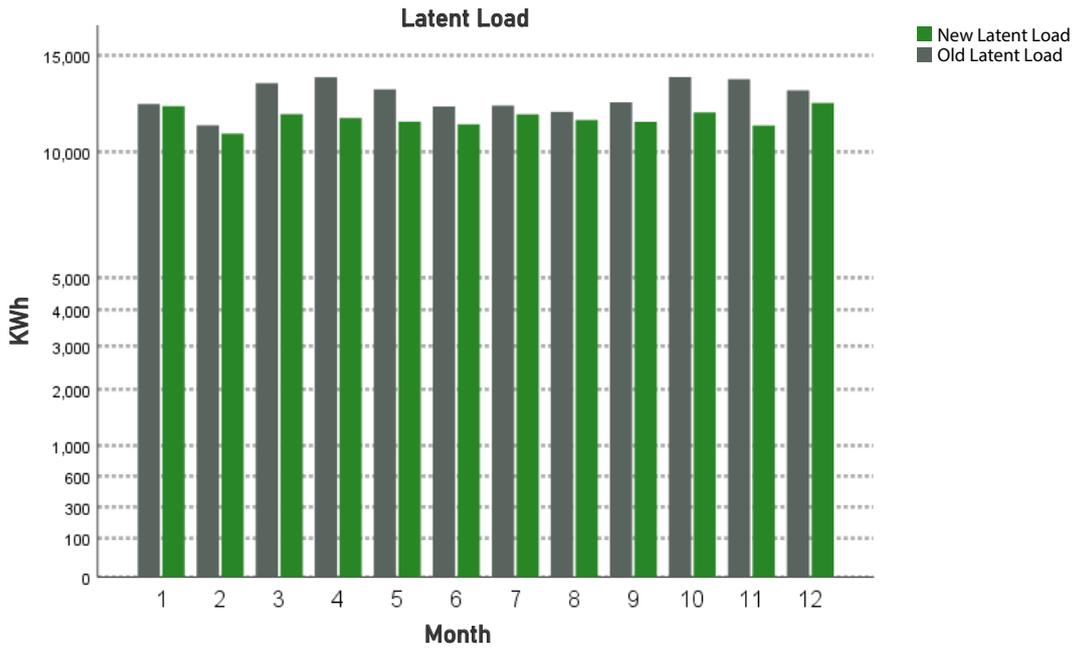


شكل(4-29): نتائج الاكتساب و الفقدان الحراري لسقف المبنى للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن ضمن برنامج DesignBuilder



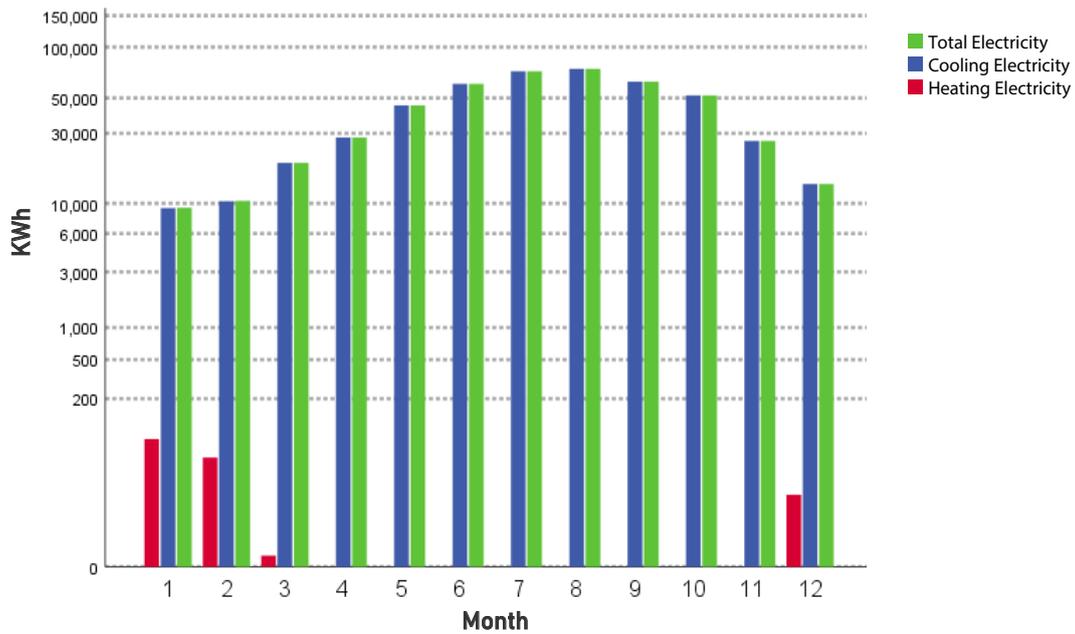
شكل(4-30): نتائج الاكتساب الحراري الشمسي من خلال نوافذ المبنى الخارجية للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن ضمن برنامج DesignBuilder

بالنسبة للحمل الكامن **Latent load** فكان متوسط القيمة العليا في شهر كانون الأول/الثاني عشر بقيمة **12407.58 KWh** ، أي التحسّن بنسبة **5.05%** . وأخفض قيمة في شهر شباط/الثاني بمتوسط **10870.98 KWh** بنسبة تحسّن **3.53%** ، الشكل (4-31).

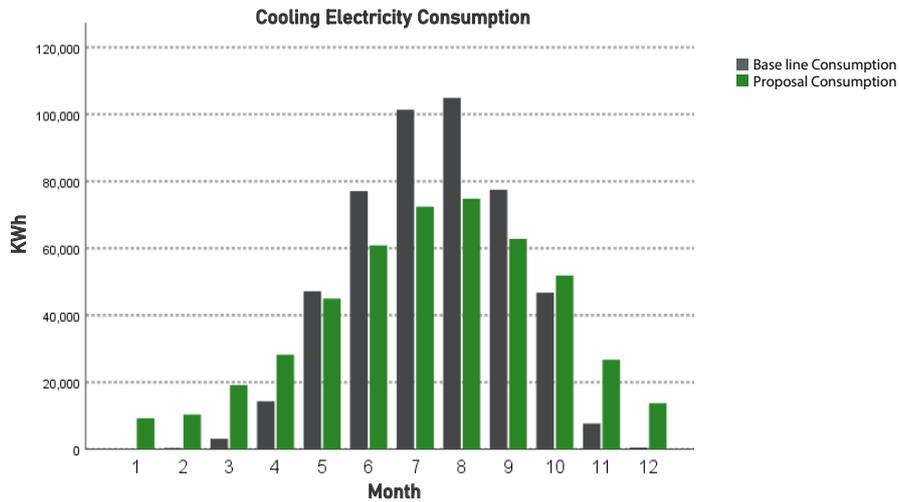


شكل(4-31): نتائج الطاقة الخاصة بالحمل الكامن للتصميم المقترح المطلوب و مقارنته مع نتائج الوضع الراهن ضمن برنامج DesignBuilder

من ناحية أخرى فإن الطاقة الكهربائية المطلوبة لتبريد المبنى للوصول للراحة الحرارية كانت بأعلى قيمة خلال شهر آب/الثامن بمتوسط **74808.23 KWh** ، أي هناك تحسّن كبير في استهلاك الطاقة الخاصة بالتبريد في شهر آب بالمقارنة مع الوضع الراهن بنسبة **28.70%** . وكانت أعلى قيمة للطاقة المطلوبة لتدفئة المبنى خلال شهر كانون الثاني/الأول بمتوسط **69.94 KWh** ، أي أنّ التحسّن هنا بنسبة **99.14%** . أعلى قيمة للطاقة الكهربائية الكلية للتبريد و التدفئة كانت خلال شهر آب/الثامن **74808.23 KWh** الشكل (4-32).

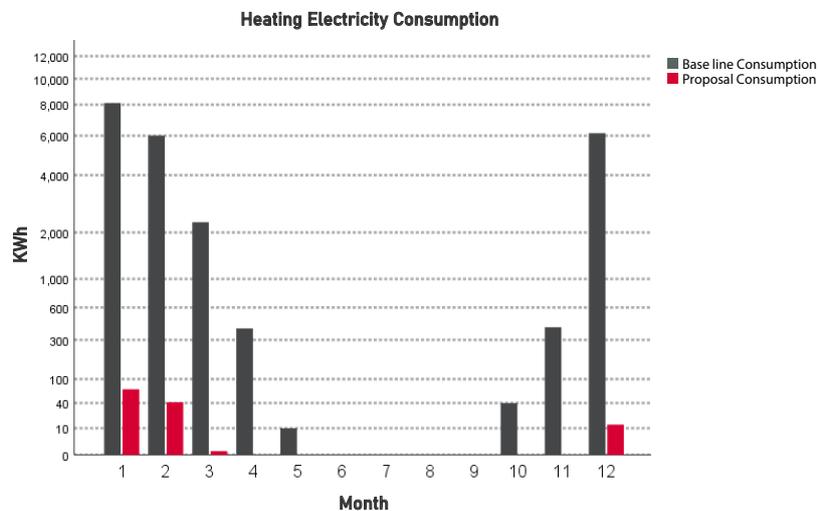


شكل(4-32): نتائج الطاقة الكهربائية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح ضمن برنامج DesignBuilder



شكل(4-33): نتائج الطاقة الكهربائية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن ضمن برنامج

DesignBuilder

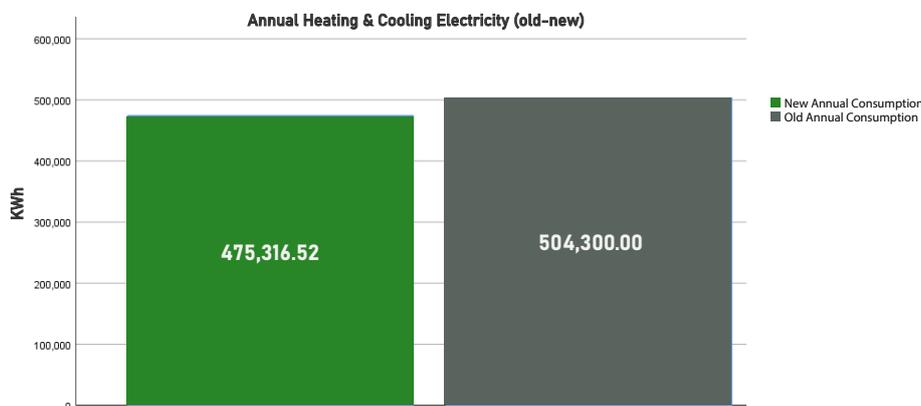


شكل(4-34): نتائج الطاقة الكهربائية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح و مقارنته مع الوضع الراهن ضمن برنامج

DesignBuilder

4-5 - مقارنة نتائج الطاقة الكلية الخاصة بالتبريد و التدفئة للتصميم المقترح و الوضع الراهن

إنّ الطاقة الكهربائية المطلوبة لتبريد و تدفئة المبنى للوصول للرّاحة الحراريّة خلال العام كلّ كانت في حالة الوضع الراهن بمتوسط **504300 KWh**، بينما كانت قيمة الطاقة الكهربائيّة ضمن التصميم المقترح بمتوسط **475316.52 KWh**، أي أنّ هناك تحسّن بين القيمتين بنسبة **5.75%** سنوياً، الشكل (4-35).



شكل(4-35): نتائج الطاقة الكهربائيّة الكلية الخاصة بالتبريد و التدفئة خلال العام للوضع الراهن و التصميم المقترح ضمن برنامج

DesignBuilder

وقد قام الباحث بحساب التوفير الحاصل مالياً نتيجة تطبيق تلك الممارسات عن طريق ضرب سعر الكيلووات الواحد بالقيمة الإجماليّة للحالتين قبل و بعد تطبيق الممارسات. حيث أنّ سعر الكيلووات الواحد التجاري **15,000** ليرة سورية، هذا يعني أنّ القيمة السنويّة للوضع الراهن في الحالة الدراسيّة تكون **7,564,500,000** ليرة سورية، بينما القيمة السنويّة للتصميم المقترح للحالة الدراسيّة يكون **7,129,747,800** ليرة سورية، التوفير مالياً يكون بقيمة **434,752,200** ليرة سورية سنوياً.

5-5 - الخلاصة

تمّ في هذا الفصل نمذجة الحالة الدراسيّة وهو مبنى الأكاديمية العربية للعلوم و التكنولوجيا و النقل البحري ضمن برنامج **DesignBuilder** الخاص بتحليل أداء المبنى. تمّت النمذجة للوضع الراهن و كذلك للتصميم المقترح بالاعتماد على الممارسات الأكثر أهميّة التي تم الحصول عليها من الاستبيان و الدراسات السابقة. وُضعت قيم خاصة بالنموذج ضمن البرنامج للتهوية الطبيعيّة و أنظمة التكييف و التبريد و التسخين كذلك للأنشطة التي تُستخدم في المبنى، و نسبة الإشغال ضمن كل فراغ في المبنى المدروس، بالإضافة إلى وضع مواد البناء الخاصة بالجدران و الأسقف النهائيّة و الفتحات الخاصة بالحالة الدراسيّة سواء في الوضع الراهن و التصميم المقترح، و ذلك لتجهيز النموذج للقيام بعملية المحاكاة النهائيّة لاستخلاص القيم و النتائج منه.

ثمّ تمّ تحليل النتائج التي حصلنا عليها من إجراء المحاكاة للمبنى قبل و بعد تطبيق الممارسات المُختارة و مناقشة تلك النتائج، و إظهار مدى التحسّن ضمن مؤشرات قياس الرّاحة الحراريّة، مؤشرات التوازن الحراري و الطّاقة الكهربائيّة المُنفقة من أجل التبريد و التدفئة. فيما يخص درجة الحرارة التشغيليّة (درجة حرارة الرّاحة) الداخليّة للمبنى فقد حصل انخفاض فيها بنسبة **5.82%** في شهر آب (أعلى قيمة خلال العام) نتيجة تطبيق الممارسات المُتقرحة. أما من ناحية ساعات عدم الرّاحة خلال العام فحصل تحسّن واضح بنسبة **86.82%** نتيجة تطبيق الممارسات. فيما يخص مؤشر **PMV** فكان هناك تحسّن أيضاً بوجود ثلاثة قيم خارج حدود النطاق، بينما في الوضع الراهن كان لدينا خمسة قيم خارج النطاق. أما مؤشر **PPD** فكان هناك تحسّن أيضاً بنسبة **24.68%** بعد تطبيق الممارسات.

فيما يخص الاكتساب و الفقدان الحراري من خلال الجدران، فقد كان هناك تحسّن كبير بنسبة %86.83، في شهر آب و الذي يُمثّل أعلى شهر في اكتساب الحرارة من الجدران. من ناحية أخرى تم استنتاج بأن السقف النهائي هو المسؤول الأعلى عن الاكتساب و الفقدان الحراري، حصل أيضاً تحسّين كبير بقيمة %90.30 خلال شهر تموز من ناحية اكتساب الحرارة. أما فيما يخص الاكتساب الحراري الشمسي عن طريق النوافذ فقد تحسّن العزل بنسبة جيدة و لكنها الأقل بالمقارنة مع نسب الجدران و الأسقف النهائية وهي %47.85. الطاقة الكهربائية المُنفقة للتبريد و التدفئة حصل فيها تحسّن أيضاً بنسبة %5.75 سنوياً، بتوفير مالي بقيمة 434,752,200 ليرة سورية سنوياً.

الفصل الخامس

النتائج و التوصيات

5-1 - النتائج

- من خلال تحليل المحتوى الخاص بالدراسات السابقة، تم تصنيف الممارسات المعماريّة المؤثرة على الرّاحة الحراريّة إلى ممارسات على مُستوى غلاف المبنى و تضم خمس ممارسات، و أُخرى على مستوى التصميم المنفعل و تضم ست ممارسات.
- تُظهر إجابات الخبراء في مجال الاستدامة أنّ الممارسات المعماريّة على مُستوى غلاف المبنى لها أهميّة أكبر من الممارسات الخاصّة بالتصميم المنفعل، و نستطيع إثبات ذلك بالنظر إلى المتوسط الحسابي للإجابات التي كانت مُتقاربة إلى حد ما و ذات أهميّة كبيرة (مهمة جداً) بالنسبة لغلاف المبنى مُقارنةً بممارسات التصميم المنفعل التي تراوح متوسط الإجابات بين أنها مهمة جداً إلى حياديّة.
- الممارسة الأهم على الإطلاق ضمن الممارسات المدروسة كانت حسب رأي الخبراء ممارسة العزل الحراري لجدران و أسقف و نوافذ المباني، حيث أنّ نطاق إجاباتهم حسب سنوات الخبرة لديهم كانت بين 63% إلى 100% أنّها مُهمّة جداً، و لذلك حصلت على المركز الأول مُقارنةً بالمركز الثاني ضمن مرّات تكرارها ضمن الدراسات السابقة.
- ممارسة التبريد التبخيري حصل على المرتبة الأخيرة/الحادية عشرة حسب رأي الخبراء، حيث تم اعتبارها ممارسة حياديّة، بينما احتلّت المرتبة الثامنة بحسب تكرارها في الدراسات السابقة و التي كانت ممارسة التبريد الأرضي الأخيرة فيها، هذا يدل بشكل عام على الحياد في أهميّة تلك الممارسات بالنسبة للممارسات الأخرى على مستوى غلاف المبنى.
- تصنيف و ترتيب تلك الممارسات سيساعد أصحاب العلاقة بكافة مراكزهم فعلاً في اختيار الممارسات الأهم و الأكثر ملاءمة لتصميمهم ضمن مرحلة التصميم مُروراً بمرحلة الصيانة.
- عند تطبيق بعض الممارسات على برامج نمذجة و تحليل أداء المباني (ممارسة العزل الحراري، مواد البناء، تصميم النوافذ و توزيعها، التظليل الشمسي، التهوية الطبيعية)، تبين فعلاً أنّ ممارسة العزل الحراري ضمن الجدران و الأسقف و النوافذ كانت الأهم بين تلك الممارسات و التي ساعدت بشكل كبير على التقليل من فقدان و اكتساب الحرارة من غلاف المبنى و بالتالي تحقيق الرّاحة الحراريّة.
- عند مقارنة نتائج الوضع الراهن و التصميم المُقترح للمبنى، ظهرت الأهميّة الكبيرة لاستخدام برمجيات تحليل و نمذجة أداء المباني في اتخاذ القرار الأفضل و تحديد الممارسة الأفضل للمبنى ضمن المناخ الموجود فيه.
- أظهرت النتائج أنّ درجة الحرارة التشغيليّة (درجة الرّاحة) كانت خلال الفصول الصيفيّة، خارج القيم المقبولة للرّاحة الحراريّة للمبنى (الوضع الراهن) ضمن مدينة اللاذقية. و عند تطبيق الممارسات المُقترحة كان هناك تحسّن (انخفاض) واضح لدرجة الحرارة بنسبة 4.84% أي أنّها أصبحت ضمن القيمة المقبولة.
- أظهرت النتائج أنّ السطح النهائي للمبنى (الوضع الراهن) قبل تطبيق الممارسات، مسؤول بشكل كبير عن فقدان و اكتساب الحرارة من خلال الإشعاع الشمسي، حيث أنّ النسبة الأكبر لاكتساب و فقدان الحرارة كانت من

خلاله، تليه النوافذ ثم الجدران.

- من خلال النتائج تبين أن التحسّن الناتج لتطبيق مواد العزل و البناء للجدران كانت نسبته كبيرة تصل إلى **80.84%**، بينما كان التحسّن لتطبيق مواد العزل للسطح النهائي بنسبة تصل إلى **84%**، وهذا دليل على أهمية مواد العزل الحراري لكل مكونات المبنى.
- نسبة النوافذ للجدران ضمن الوضع الراهن للحالة الدراسية **15%** للمبنى ككل، عند تطبيق ممارسة تصميم النوافذ تمت زيادتها بنسبة **10%**. ومع ذلك نتيجة تطبيق عزل لتلك النوافذ بغاز الأرغون وزيادة طبقاتها الزجاجية إلى ثلاث طبقات، قلّ اكتسابها الحراري من الشمس بمقدار **45.15%**.
- تطبيق الممارسات المقترحة أدى إلى تحسين (انخفاض) في استهلاك الطاقة بنسبة **5.75%** سنوياً.
- تبين من خلال نتائج التحليل أن هناك قيم خارج النطاق المقبول بالنسبة لمؤشر **PMV** و لكن بنطاق صغير جداً عند تطبيق الممارسات، وذلك في الشهر الثالث، الشهر العاشر و الشهر الحادي عشر، و السبب يعود لأنها فصول تغيير مناخ بين الفصول الباردة و الحارة و أيضاً بسبب ضبط التكييف عند الدرجة **24 C°** بدلاً من درجات أقل من ذلك.
- انتقال جهة مؤشر **PMV** في كل الفصول بعد تطبيق الممارسات إلى الجهة العلوية و التي تمثّل القليل من الدفء بدلاً من تعدد الجهات بين البارد و الدافئ في الوضع الراهن. و هذا يدل على التحسّن الذي حققته تلك الممارسات للمبنى.
- تطبيق الممارسات المقترحة ساعد في زيادة ساعات الراحة بالنسبة لساعات عدم الراحة بنسبة كبيرة وهي **86.82%**.

2-5 - التوصيات

- يفضل تطبيق أكثر من ممارسة واحدة للمبنى، و ذلك لزيادة الكفاءة الحرارية بشكل مُنفع و مُستدام ، و بالتالي التقليل من استهلاك المبنى للطاقة الكهربائية.
- تطبيق مواد عزل حراري أكثر تقدماً من ناحية الأداء الحراري و المساحة من مقطع الجدران، لتقليل مساحة الجدران و زيادة الفعالية الحرارية، مثل مواد عزل من الجيل الهوائي **Aerogel** و المواد متغيرة الطور بالإضافة إلى الألواح العازلة المُقرّعة، و ذلك باعتبارها مواد عزل حديثة و متطورة و لها قيم مقاومة حرارية أكبر من المواد التقليدية.
- بما أن الأسقف النهائية كان لها الأثر الأكبر على فقدان و اكتساب الحرارة عن طريق الإشعاع الشمسي، فينصح بالقيام بدراسات مُستقبلية عن ممارسات و تقنيات تزيد من المقاومة الحرارية للأسقف النهائية و تزيد أيضاً من الشكل الجمالي للمبنى، مثل استخدام الغطاء النباتي أو مواد عزل ذات تقنيات عالية.
- التهوية الطبيعية للمبنى بعد تطبيق الممارسات لم يكن لها أثر كبير على تحسين الراحة الحرارية و حتى بعد زيادة نسبة النوافذ بالنسبة للجدران، لذلك يُمكن إجراء دراسات مُستقبلية عن تطبيق ممارسات خاصة بالتهوية الطبيعية ضمن مناخات مُتعددة و ذلك لتقليل استهلاك الطاقة و تحسين الراحة الحرارية بشكل مُستدام.
- من النتائج تبين أنه من الضروري استخدام الأنظمة الذكية للتحكم بأنظمة التكييف و التدفئة و التحكم بالرطوبة

داخل المبنى، للتقليل من الحمل الكهربائي الناتج عنها وزيادة فعاليتها بشكل مُستدام.

- استخدام أنظمة التحكّم الذكية بكاسرات الشمس لزيادة كفاءتها خاصّة بين الفصول الباردة التي تحتاج إلى تشميس جيد، والحارّة التي تحتاج إلى ظل كافٍ.
- زيادة الوعي ونشر ثقافة استخدام برمجيات نمذجة وتحليل أداء المباني بشكل عام ضمن قطاع البناء والعمارة في مرحلة التصميم والصيانة، للتقليل من الهدر في الموارد قبل البدء بتنفيذه وزيادة فعالية أداء المبنى حرارياً وبالتالي زيادة راحة الشاغلين له.
- القيام بالمزيد من الدراسات عن الممارسات المعماريّة المُستدامة ومدى توافقها وتعارضها مع أنماط المناخ المختلفة.

1. Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.
2. Humphreys, M. A., Nicol, F., & Roaf, S. (2015). Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis.
3. Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
4. Korsavi, S., Montazami, A., & Mumovic, D. (2020). The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach. *Building and Environment*, 185.
5. Haldane, J. S., & Priestley, J. G. (1905). The regulation of the lung-ventilation. *The Journal of Physiology*.
6. Houghton, F.C. and Yaglou, C.P. (1923). Determining Equal Comfort Lines. *J. Am. Soc. Heating and Ventilation in England*.
7. Vernon, H. M., & Warner, C. G. (1932). The Influence of the Humidity of the Air on Capacity for Work at High Temperatures.
8. Winslow, C. A., Herrington, L. P., & Gagge, A. P. (1937). Physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. *American Journal of Physiology-Legacy Content*.
9. Olgyay, V. (1963) *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, Princeton.
10. Frontczak, M., Schiavon, S., Goins, J., Arens, E., Zhang, H., & Wargocki, P. (2012). Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. *Indoor Air*, 22(2), 119-131.
11. ASHRAE Standard 55.(2017).Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
12. Watson, A. C., Corrigan, P., Larson, J. E., & Sells, M. (2007). Self-stigma in people with mental illness. *Schizophr Bull*, 33(6), 1312-1318.
13. ISO 7730:2018.Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
14. Gay, R., Ken, B. and Joy, R. (2006). A single copy of this document is licensed to. CIBSE K6,Construction Research and Innovation. CIBSE K6. CIBSE.ISO 8996:2021.Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate.
15. Olesen, P. (1979). A quantum liquid model for the QCD vacuum: gauge and rotational invariance of domain and quantized homogeneous color fields. *Nuclear Physics B*, 160(2), 380-396.
16. Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83-96.

- 17.** Gagge, A.P., Fobelets, A.P. and Berglund, L.G. (1986) A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment. *ASHRAE Transactions*, 92, 709-731.
- 18.** Auliciems, A. and Szokolay, S. (2007) *Thermal Comfort*. 2nd Revised Edition, Brisbane, PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland.
- 19.** Olesen, B. W. and Parsons, K. C. (2002) 'Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730', *Energy and Buildings*.
- 20.** Myhren, J. A., & Holmberg, S. (2008). Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating. *Energy and Buildings*, 40(4), 524-536.
- 21.** Gwosdow, A. R., Stevens, J. C., Berglund, L. G., & Stolwijk, J. A. J. (1986). Skin Friction and Fabric Sensations in Neutral and Warm Environments. *Textile Research Journal*, 56(9), 574-580.
- 22.** Beizaee, A., Firth, S.K., Vadodaria, K. and Loveday, D. (2012) Assessing the Ability of PMV Model in Predicting Thermal Sensation in Naturally Ventilated Buildings in UK. 7th Windsor Conference: The Changing Context of Comfort in an Unpredictable World, Windsor, 12-15 April 2012, Network for Comfort and Energy Use in Buildings, London.
- 23.** Atmaca, I., Kaynakli, O., & Yigit, A. (2007). Effects of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*, 42(9), 3210-3220.
- 24.** Awbi, H. B.(2003). *Ventilation of buildings*. Spon. Book.
- 25.** Markov, D. (2002). Standards in thermal comfort. *Annual International Course: Ventilation and Indoor Climate*, Sofia, 147-157.
- 26.** Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563-572.
- 27.** Oseland, N.A. (1996) A Review of Thermal Comfort and its Relevance to Future Design Models and Guidance. *Proceedings of the BEPAC Conference Building Environmental Performance: Facing the Future*, York, 1996, 205-216.
- 28.** Nicol, F. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, 36(7), 628-637.
- 29.** Heidari, S. and Sharples, S. (2002) A Comparative Analysis of Short-Term and Long-Term Thermal Comfort Surveys in Iran. *Energy and Buildings*, 34, 607-614.
- 30.** Hoppe, P. (2002) Different Aspects of Assessing Indoor and Out-Door Thermal Comfort. *Energy and Buildings*, 34, 661-665.
- 31.** Nicol, F., Humphreys, M., & S, R. (2012). *Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice*.
- 32.** de Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549-561.
- 33.** de Dear, R., & Schiller Brager, G. (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International Journal of Biometeorology*, 45(2), 100-108.
- 34.** Nicol, J. F. (2009). Cooling in a low carbon world. *Building Research & Information*, 37(4), 345-347.

- 35.** Howe, K. R. (2004). A Critique of Experimentalism. *Qualitative Inquiry*, 10(1), 42-61.
- 36.** Maile, T., Fischer, M., & Bazjanac, V. (2007). Building energy performance simulation tools—a life-cycle and interoperable perspective. Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) Working Paper, 107, 1-49.
- 37.** Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., & Brodeur, D. (2014). Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach.
- 38.** Doyle, M. D. (2008). Investigation of Dynamic and Steady State Calculation Methodologies for Determination of Building Energy Performance in the Context of the EPBD.
- 39.** Attia, S., Hensen, J. L. M., Beltrán, L. O., & De Herde, A. (2012). Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects' and engineers' needs. *Journal of Building Performance Simulation*, 5, 155 - 169.
- 40.** Clarke, J.A. (2001), *Energy simulation in building design*, Butterworth Heinemann, Oxford, England.
- 41.** Senel Solmaz, A. (2019). A critical review on building performance simulation tools. 12, 7-21.
- 42.** Hong, T., Chou, S. K., & Bong, T. Y. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment*, 35(4), 347-361.
- 43.** Han, T., Huang, Q., Zhang, A., & Zhang, Q. (2018). Simulation-Based Decision Support Tools in the Early Design Stages of a Green Building—A Review. *Sustainability*, 10(10).
- 44.** designbuilder(2024). <https://designbuilder.co.uk/simulation/>
- 45.** Ryan Duell, Tobias Hathorn, Tessa Reiß, H 2015, Autodesk Revit Architecture 2016 ESSENTIALS.
- 46.** Autodesk (2024). <https://www.autodesk.com/>
- 47.** EnergyPlus (2024). <https://energyplus.net/>
- 48.** eQUEST (2024). <https://doe2.com/equest/>
- 49.** Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617-3631.
- 50.** Ralegaonkar, R. V., & Gupta, R. (2010). Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2238-2242.
- 51.** Mirrahimi, S., Mohamed, M. F., Haw, L. C., Ibrahim, N. L. N., Yusoff, W. F. M., & Aflaki, A. (2016). The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot–humid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1508-1519.
- 52.** Kalnæs, S. E., & Jelle, B. P. (2014). Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways. *Applied Energy*, 116, 355-375.
- 53.** Harald Mehling, Luisa F. Cabeza. (2008). Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications.

- 54.** Klassen, F. (2023) *Material Innovations: Transparent, lightweight, malleable & responsive*. Toronto Metropolitan University.
- 55.** Azum, N., Rub, M.A., Khan, A., Khan, A.A.P. & Asiri, A.M. (2021) Chapter 19 – Aerogel applications and future aspects. In: Khan, A.A.P., Ansari, M.O., Khan, A. & Asiri, A.M. (Eds.) *Advances in Aerogel Composites for Environmental Remediation*. Elsevier, 357-367, ISBN 978-0-12-820732-1.
- 56.** Burchell, M.J., Graham, G. & Kearsley, A. (2006) Cosmic dust collection in aerogel. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34, 385-418.
- 57.** Hrubesh, L.W. (1998) Aerogel applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 225, 335-342, ISSN 0022-3093.
- 58.** Johansson, P. (2012). *Literature Review of High Performance Thermal Insulation*. Chalmers University of Technology.
- 59.** Mehling, H. & Cabeza, L.F. (2008). Heat and cold storage with PCM. An up to date introduction into basics and applications.
- 60.** Haase, M., Marques da Silva, F., & Amato, A. (2009). Simulation of ventilated facades in hot and humid climates. *Energy and Buildings*, 41(4), 361-373.
- 61.** Ioannidis, Z., Buonomano, A., Athienitis, A., & Stathopoulos, T. (2017). Modeling of Double Skin Façades Integrating Photovoltaic Panels and automated roller shades: Analysis of the Thermal and Electrical Performance. *Energy and Buildings*, 154.
- 62.** Andjelkovic, A., Gvozdenc Urošević, B., Kljajić, M., & Ignjatovic, M. (2015). Experimental research of the thermal characteristics of a multi-storey naturally ventilated double skin façade. *Energy and Buildings*, 86, 766-781.
- 63.** Nasrollahi, N., & Salehi, M. (2015). Performance enhancement of double skin facades in hot and dry climates using wind parameters. *Renewable Energy*, 83.
- 64.** Andjelkovic, A., Gvozdenc Urošević, B., Kljajić, M., & Ignjatovic, M. (2015). Experimental research of the thermal characteristics of a multi-storey naturally ventilated double skin façade. *Energy and Buildings*, 86, 766-781. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.007>
- 65.** Haase, M., Marques da Silva, F., & Amato, A. (2009). Simulation of ventilated facades in hot and humid climates. *Energy and Buildings*, 41(4), 361-373. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.11.008>
- 66.** Ioannidis, Z., Buonomano, A., Athienitis, A., & Stathopoulos, T. (2017). Modeling of Double Skin Façades Integrating Photovoltaic Panels and automated roller shades: Analysis of the Thermal and Electrical Performance. *Energy and Buildings*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.046>
- 67.** Nasrollahi, N., & Salehi, M. (2015). Performance enhancement of double skin facades in hot and dry climates using wind parameters. *Renewable Energy*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.019>
- 68.** Zhou, J., & Chen, Y. (2010). A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1321-1328.

- 69.** Joe, J., Choi, W., Kwak, Y., & Huh, J.-H. (2014). Optimal design of a multi-story double skin facade. *Energy and Buildings*, 76, 143-150.
- 70.** Barbosa, S., Ip, k., & Southall, R. (2015). Influence of key site parameters on the thermal performance of double skin façades in naturally ventilated buildings in a tropical climate.
- 71.** Oesterle, E., Lieb, R.-D., Lutz, M., & Heusler, W. (2001). Double-skin facades : integrated planning, building physics, construction, aerophysics, air-conditioning, economic viability.
- 72.** Aguilar-Santana, J., Jarimi, H., Velasco-Carrasco, M., & Riffat, S. (2020). Review on window-glazing technologies and future prospects. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15, 112-120.
- 73.** Lawrence Berkeley National Laboratory's High Energy Physics Program May 23 - 25, 2017.
- 74.** Zozuláková, S., & Bagoňa, M. (2019). Gas filling in glass system. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 10, 1-8.
- 75.** Ali, H., Hayat, N., Farukh, F., Imran, S., Kamran, M. S., & Ali, H. M. (2017). Key design features of Multi-Vacuum glazing for windows a review. *Thermal Science*, 21(6), 2673-2687.
- 76.** Berardi, U. (2015). Development of Glazing Systems with Silica Aerogel. *Energy Procedia*, 78.
- 77.** Gao, C. F., & Lee, W. L. (2011). Evaluating the Influence of Window Types on the Natural Ventilation Performance of Residential Buildings in Hong Kong. *International Journal of Ventilation*, 10(3), 227-238.
- 78.** Derakhshan, S., & Shaker, A. (2016). Numerical Study of the Cross-ventilation of an Isolated Building with Different Opening Aspect Ratios and Locations for Various Wind Directions. *International Journal of Ventilation*, 1-19.
- 79.** Heiselberg, P., Svidt, K., & Nielsen, P. V. (2001). Characteristics of airflow from open windows. *Building and Environment*, 36(7), 859-869.
- 80.** Wang, L., & Greenberg, S. (2015). Window operation and impacts on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 92, 313-321.
- 81.** von Grabe, J., Svoboda, P., & Bäumlner, A. (2014). Window ventilation efficiency in the case of buoyancy ventilation. *Energy and Buildings*, 72, 203-211.
- 82.** Wang, W., Rivard, H., & Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), 363-378.
- 83.** Lomas, K. J. (2007). Architectural design of an advanced naturally ventilated building form. *Energy and Buildings*, 39(2), 166-181.
- 84.** Okeil, A. (2010). A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and Buildings*, 42(9), 1437-1444.
- 85.** AlAnzi, A., Seo, D., & Krarti, M. (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. *Energy Conversion and Management*, 50(3), 822-828.
- 86.** Kleiven, T. (2003) *Natural Ventilation in Buildings: Architectural Concepts, Consequences and Possibilities*. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

87. BS 5925:1991 Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation (AMD 8930).

88. Linden, P. F. (1999). THE FLUID MECHANICS OF NATURAL VENTILATION. Annual Review of Fluid Mechanics, 31, 201-238.

89. Linden, P. F., & Cooper, P. (1996). Multiple sources of buoyancy in a naturally ventilated enclosure. Journal of Fluid Mechanics, 311, 177-192.

90. Bengtson, H.(2009). Passive Solar Heating Basics. PhD.

91. Kamal, M. A. (2003). Energy Conservation with Passive Solar Landscaping, Proceedings on National Convention on Planning for Sustainable Built Environment, M.A.N.I.T., Bhopal, pp. 92-99.

A person wearing a light-colored, button-down shirt is shown from the chest down. They are holding a pen in their right hand, positioned over a document. The document features various data visualizations, including a pie chart and several tables with columns and rows. The scene is set against a dark, semi-transparent background that allows the underlying image to be visible. The entire composition is framed by a thin black border.

الملاحق

يقوم الباحث " طارق فراس قيراطه " بإشراف الدكتور " علاء قاضي " بإجراء دراسة ماجستير حول
(تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة المؤثرة على الرّاحة الحراريّة)

يهدف هذا الاستبيان إلى جمع آراء الخبراء، حول الممارسات المعماريّة المُستدامة، وتصنيفها و ترتيبها وفقاً للأكثر تأثيراً على تحسين الرّاحة الحراريّة. من خلال تحليل البيانات المستخلصة من الاستبيان، نأمل في تقديم رؤى قيمة تسهم في تعزيز استخدام الممارسات المُستدامة في العمارة الحديثة.

المعلومات التي سيتم جمعها، هي لأغراض البحث العلمي فقط لاستكمال الدراسة في ماجستير إدارة نمذجة معلومات البناء **BIMM**.

نُقدّر حقاً وقتك وجهودك في إكمال هذا الاستبيان. إن مشاركتك القيّمة ستساعدنا في تصنيف الممارسات المعماريّة المُستدامة السابقة وتوظيفها بشكل أكثر فعالية. شكراً لمساهمته في تعزيز جهودنا نحو الاستدامة في حال وجود أي استفسار يُرجى التواصل مع :

م. طارق فراس قيراطه (طالب ضمن برنامج إدارة و نمذجة معلومات البناء في الجامعة الافتراضيّة السوريّة)

عنوان الايميل : tarek_237294@svuonline.org

The researcher Tarek Firas Kirata, under the supervision of Dr. Alaa Kadi, is conducting a Master's study on

(the classification of sustainable architectural practices that affect thermal comfort).

This Questionnaire aims to gather expert opinions on sustainable architectural practices, categorizing and ranking them according to their impact on improving thermal comfort. By analyzing the data obtained from the Questionnaire . we hope to provide valuable insights that contribute to enhancing the use of sustainable practices in modern architecture.

The information collected will be used solely for scientific research purposes to complete a study for a Master's degree in Building Information Modeling Management (BIMM).

We truly appreciate your time and effort in completing this Questionnaire. Your valuable participation will help us categorize previous sustainable architectural practices and employ them more effectively.

Thank you for contributing to our efforts towards sustainability

For any inquiries, please contact:

Eng. Tarek Firas Kirata (a student in the Building Information Management program at the Syrian Virtual University)

Email: tarek_237294@svuonline.org

Demographic Information

المحور الأول : المعلومات الديموغرافية

Gender الجنس ■

 Male ذكر

 Female أنثى

Academic achievement التحصيل العلمي ■

 PHD دكتوراه Bachelor بكالوريوس

 Master ماجستير

Years of experience in sustainable design سنوات الخبرة في مجال التصميم المُستدام ■

 from(5-7) years من (5-7) سنوات one year سنة واحدة

 More than 7 years أكثر من 7 سنوات from(2-4) years من (2-4) سنوات

المحور الثاني : أسئلة خاصّة بتصنيف الممارسات المُستدامة على مستوى غلاف المبنى .

فيما يلي بعض الممارسات المُستدامة على مستوى غلاف المبنى، الرجاء تقييم تلك الممارسات وفقاً للخبرة الشخصية للمستبين وفق المعيار التالي :

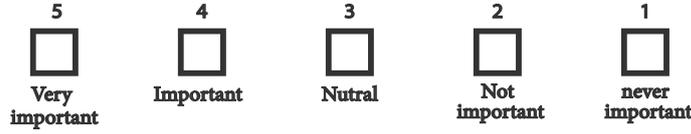
■ تحسين الراحة الحرارية : مدى تحسين الممارسة المُختارة للراحة الحرارية (الممارسة الأكثر تحسناً للراحة الحرارية تأخذ القيمة الأعلى).

5 4 3 2 1

 مُهمة جداً مُهمة حيادية غير مُهمة غير مُهمة أبداً

Below are some sustainable practices at the building envelope level. Please evaluate these practices based on your personal experience according to the following criteria.

Improvement in thermal comfort: The extent to which the selected practice improves thermal comfort (the practice that provides the greatest improvement in thermal comfort receives the highest value).



Thermal Insulation (Walls - النوافذ و الأسقف و الجدران و العزل الحراري ضمن الجدران و الأسقف و النوافذ - Roofs - Windows)



Double Skin Facade System (DSF) الواجهات المزدوجة

الواجهات المزدوجة هي نظام عازل حراري متطور يهدف إلى تحسين كفاءة الطاقة في المباني وتعزيز الراحة الحرارية. تتكون هذه الواجهات من طبقتين من الزجاج أو المواد الشفافة الأخرى، بمسافة بينهما تسمح بتدفق الهواء. يعمل هذا الفراغ الهوائي كعازل حراري ممتاز، حيث يقلل من انتقال الحرارة بين الداخل والخارج. بالإضافة إلى ذلك، يمكن التحكم في تدفق الهواء داخل هذا الفراغ لتنظيم درجة الحرارة والرطوبة داخل المبنى، مما يساهم في خلق بيئة داخلية مريحة طوال العام.

Double-skin facades are a type of advanced window system that helps to keep buildings warmer in winter and cooler in summer. They have two layers of glass with a space of air in between. This air acts as an insulator, reducing heat loss or gain. The airflow within this space can be controlled to regulate the temperature and humidity inside the building.



Fenestration تصميم و موقع النوافذ

تصميم النوافذ وكيف يؤثر على الراحة الحرارية. نتطرق إلى عدة جوانب مثل: عدد النوافذ وحجمها، واتجاهها (شرق، غرب، ...)، وشكلها (مربع، مستطيل، ...)، ونوع الزجاج المستخدم، نسبة النوافذ إلى الجدران وطريقة فتحها وإغلاقها. هذه العناصر جميعها تلعب دوراً هاماً في تنظيم دخول الضوء والحرارة إلى الغرفة، مما يؤثر بشكل مباشر على راحتك الحرارية.

how window design affects thermal comfort, focusing on several aspects such as the number of windows, their size, orientation (east, west, etc.), shape (square, rectangular, etc.), type of glass used, and the ratio of windows to walls, and opening and closing methods. All of these elements play a significant role in regulating the entry of light and heat into a room, which directly impacts your thermal comfort.



مواد البناء Construction Materials

اختيار مواد البناء المناسبة يُساهم بشكل كبير في تحقيق الراحة الحرارية. المواد ذات الكثافة العالية والمقاومة للحرارة تساعد في عزل المبنى عن التغيرات المناخية الخارجية، مما يقلل من استهلاك الطاقة المستخدمة في التبريد والتدفئة. كما أن بعض المواد الحديثة مثل خرسانة الفيرميكلوليت و الخرسانة المحكّمة التهوية و الطوب الناتج عن الرماد المتطاير تساهم في تحسين الأداء الحراري للمباني.

Selecting suitable building materials is crucial for achieving thermal comfort and sustainability. High-density, heat-resistant materials provide excellent insulation, minimizing energy consumption. Innovative materials such as vermiculite concrete, autoclaved aerated concrete, and fly ash bricks offer enhanced thermal performance while contributing to a more sustainable built environment



شكل و توجيه المبنى Building Shape & Orientation

شكل المبنى وتوجيهه هما عاملان أساسيان يؤثران بشكل كبير على الراحة الحرارية داخل المبنى. يتضمن شكل المبنى حجمه، كتله، نسبة السطح إلى الحجم، ووجود أي زوايا أو انحناءات. أما توجيه المبنى فيشير إلى اتجاه واجهاته الرئيسية بالنسبة لشمال وجنوب وشرق وغرب. يؤثر هذان العاملان على كمية أشعة الشمس التي يستقبلها المبنى، وتوزيعها على مدار اليوم والفصول، مما يؤثر بدوره على درجة الحرارة الداخلية والرطوبة والإشعاع الحراري.

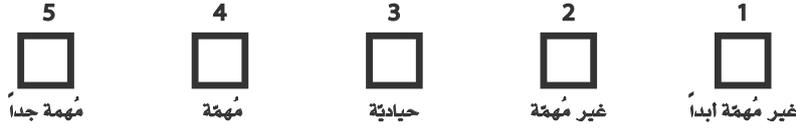
A building's design, including its shape and orientation, plays a key role in thermal comfort. Factors like size, mass, and the ratio of surface area to volume, as well as the direction the building faces, affect how much sunlight it absorbs. This, in turn, influences indoor temperature, humidity, and radiant heat.



المحور الثالث : أسئلة خاصة بتصنيف الممارسات المُستدامة على مستوى التصميم المُنفعل.

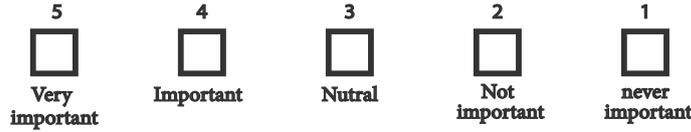
فيما يلي بعض الممارسات المُستدامة على مستوى التصميم المُنفعل، الرجاء تقييم تلك الممارسات وفقاً للخبرة الشخصية للمستبين وفق المعيار التالي :

- تحسين الراحة الحرارية : مدى تحسين الممارسة المُختارة للراحة الحرارية (الممارسة الأكثر تحسناً للراحة الحرارية تأخذ القيمة الأعلى).



Below are some sustainable practices at the Passive Design level. Please evaluate these practices based on your personal experience according to the following criteria.

Improvement in thermal comfort: The extent to which the selected practice improves thermal comfort (the practice that provides the greatest improvement in thermal comfort receives the highest value).



Solar Shading التظليل الشمسي

التظليل الشمسي هو عملية تقليل كمية أشعة الشمس التي تسقط على المبنى أو جزء منه. يهدف التظليل إلى التحكم في درجة الحرارة والإضاءة داخل المبنى، مما يساهم في تحسين الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة. تتضمن عناصر التظليل الشمسي العديد من الوسائل مثل الستائر، المظلات، الزجاج الملون، الشرفات، والأسقف المزودة بزوايا انحدار، بالإضافة إلى العناصر الطبيعية مثل الأشجار والنباتات.

Solar shading refers to techniques used to reduce the solar radiation incident on a building. It aims to regulate indoor temperature and lighting, thereby enhancing thermal comfort and minimizing energy consumption. Shading elements encompass a wide range of devices and features, including curtains, awnings, tinted glazing, balconies, and sloped roofs, along with natural elements such as trees and vegetation



Natural Ventilation التهوية الطبيعية

التهوية الطبيعية هي عملية تبادل الهواء بين داخل المبنى وخارجه بشكل طبيعي، دون الحاجة إلى أنظمة ميكانيكية. تلعب التهوية الطبيعية دوراً حيوياً في تحقيق الراحة الحرارية داخل المباني، حيث تساعد على تنظيم درجة الحرارة والرطوبة وتجديد الهواء الداخلي. من خلال فتح النوافذ والأبواب وتصميم المباني بشكل يسمح بتدفق الهواء بحرية، يمكن تحقيق بيئة داخلية صحية ومريحة، وتقليل الاعتماد على أنظمة التكييف والتدفئة التقليدية، مما يساهم في توفير الطاقة.

Natural ventilation is the process of air exchange between the indoor and outdoor environments without the need for mechanical systems. Natural ventilation plays a crucial role in achieving thermal comfort within buildings by regulating temperature, humidity, and providing fresh air. By opening windows and doors and designing buildings to allow for free airflow, a healthy and comfortable indoor environment

can be created, reducing reliance on traditional air conditioning and heating systems, and thus conserving energy.



التبريد الأرضي Ground Cooling

هو طريقة تستغل كتلة الأرض الحرارية لتبريد المباني. تتضمن هذه التقنية عادةً تدوير الهواء البارد أو السوائل عبر أنابيب مدفونة تحت السطح، مما يمكن أن يقلل من درجة حرارة الهواء الذي يتم إدخاله إلى المبنى. غالباً ما يتم استخدامه كحل تبريد فعال من حيث استخدام الطاقة في التصاميم السلبية للتبريد، ويمكن أن يقلل بشكل كبير من الاعتماد على أنظمة تكييف الهواء التقليدية.

Ground cooling is a method that leverages the thermal mass of the earth to cool buildings. This technique typically involves circulating cool air or fluids through underground pipes, which can reduce the temperature of the air introduced into a building. It is often used as an energy-efficient cooling solution in passive cooling designs and can significantly reduce reliance on conventional air conditioning systems.



التبريد التبخيري Evaporative Cooling

عملية تستخدم تبخر الماء لتبريد الهواء. يعمل عن طريق سحب الهواء المحيط عبر وسادات مشبعة بالماء، مما يُقلل من درجة حرارة الهواء.

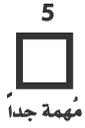
A process that cools air by evaporating water. It works by drawing ambient air through water-soaked pads, which lowers the air temperature.



التسخين الشمسي السالب Passive Solar Heating

طريقة تستخدم أشعة الشمس لتسخين المبنى. تتضمن التقاط واستخدام الطاقة الحرارية من أشعة الشمس من خلال آليات مثل الامتصاص، والتحكم في الفتحات، وتخزين الكتلة الحرارية داخل هيكل المبنى.

A passive solar heating system that utilizes solar radiation to heat a building. This involves capturing and storing solar energy through various mechanisms, including absorption, aperture control, and thermal mass.



تَحسِين الرَاحَة الحَرارِية

Vegetation الغطاء النباتي

الغطاء النباتي يلعب دورًا حاسمًا في تحسين الراحة الحرارية داخل المباني. من خلال تظليل المباني وتبريد الهواء المحيط بها، يقلل الغطاء النباتي من الحاجة إلى أنظمة التبريد الاصطناعية. كما يساهم في عزل المباني حراريًا وتحسين جودة الهواء الداخلي. يمكن تحقيق ذلك من خلال تقنيات متنوعة مثل الجدران الخضراء والأسطح الخضراء والمساحات الخضراء.

Vegetation plays a crucial role in enhancing thermal comfort within buildings. By shading buildings and cooling the surrounding air, vegetation reduces the need for artificial cooling systems. It also contributes to thermal insulation of buildings and improves indoor air quality. This can be achieved through various techniques such as green walls, green roofs, and green spaces.



تَحسِين الرَاحَة الحَرارِية

و لَكم جَزِيل الشَكر

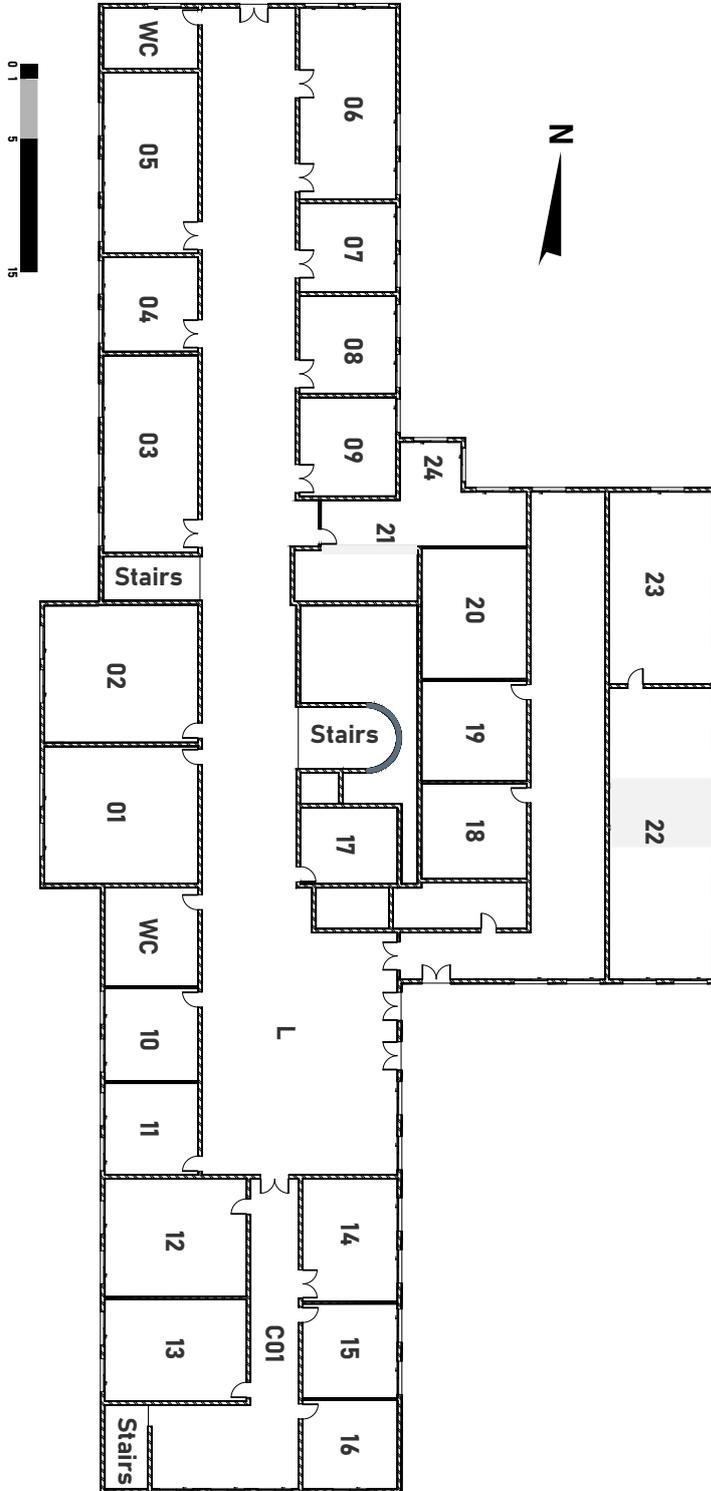
رقم الفراغ	اسم الفراغ	عدد الشاغلين	مساحة الفراغ (م ²)	الإشغال (شخص/م ²)
الطابق الأرضي				
L	فسحة المدخل الرئيسي و الممرات المؤدية إلى القاعات	70	665	0.105
02	قاعة دراسية	30	79	0.384
03	قاعة دراسية	30	78	0.384
04	قاعة دراسية	20	33	0.606
05	قاعة دراسية	30	69	0.434
06	مُدْرَج	50	67	0.746
07	قاعة دراسية	20	35	0.571
08	قاعة دراسية	20	32	0.625
09	قاعة دراسية	20	37	0.540
10	مكتب	1	43	0.023
11	مكتب	2	32	0.063
12	مكتب	3	65	0.046
13	مكتب	2	50	0.04
14	مكتب	2	47	0.042
15	مكتب	2	34	0.058
16	مكتب	1	32	0.031
C01	بهو	3	78	0.038
17	استراحة مُدرسين	8	25	0.320
18	مكتب رئيس قسم	1	36	0.027
19	مكتب رئيس قسم	1	38	0.026
20	مكتب رئيس قسم	1	50	0.027

0.08	61	5	غرفة سكرتاريا	21
0.026	113	3	سكرتاريا رئيس فرع	22
0.014	69	1	مكتب رئيس الفرع	23
0.111	9	1	رئيس سكرتاريا	24
الطابق الأول				
0.136	515	70	فسحة المدخل الرئيسي و الممرات المؤدية إلى القاعات	L2
0.240	125	35	مرسم	25
0.444	45	20	قاعة حاسوب	26
0.588	34	20	قاعة درسيّة	27
0.588	34	20	قاعة درسيّة	28
0.588	34	20	قاعة درسيّة	29
0.476	63	30	قاعة درسيّة	30
0.588	34	20	قاعة درسيّة	31
0.588	34	20	قاعة درسيّة	32
0.588	34	20	قاعة درسيّة	33
0.588	34	20	قاعة درسيّة	34
0.588	34	20	قاعة درسيّة	35
0.088	34	20	مكتب امتحانات	36
0.442	68	30	مرسم	37
0.555	36	20	قاعة درسيّة	38
0.588	34	20	قاعة درسيّة	39
0.540	37	20	قاعة درسيّة	40
0.540	37	20	قاعة درسيّة	41
0.500	40	20	قاعة درسيّة	42
0.588	34	20	قاعة درسيّة	43
0.277	36	10	مختبر	44
0.378	66	25	مرسم	45
0.380	79	30	قاعة درسيّة	46

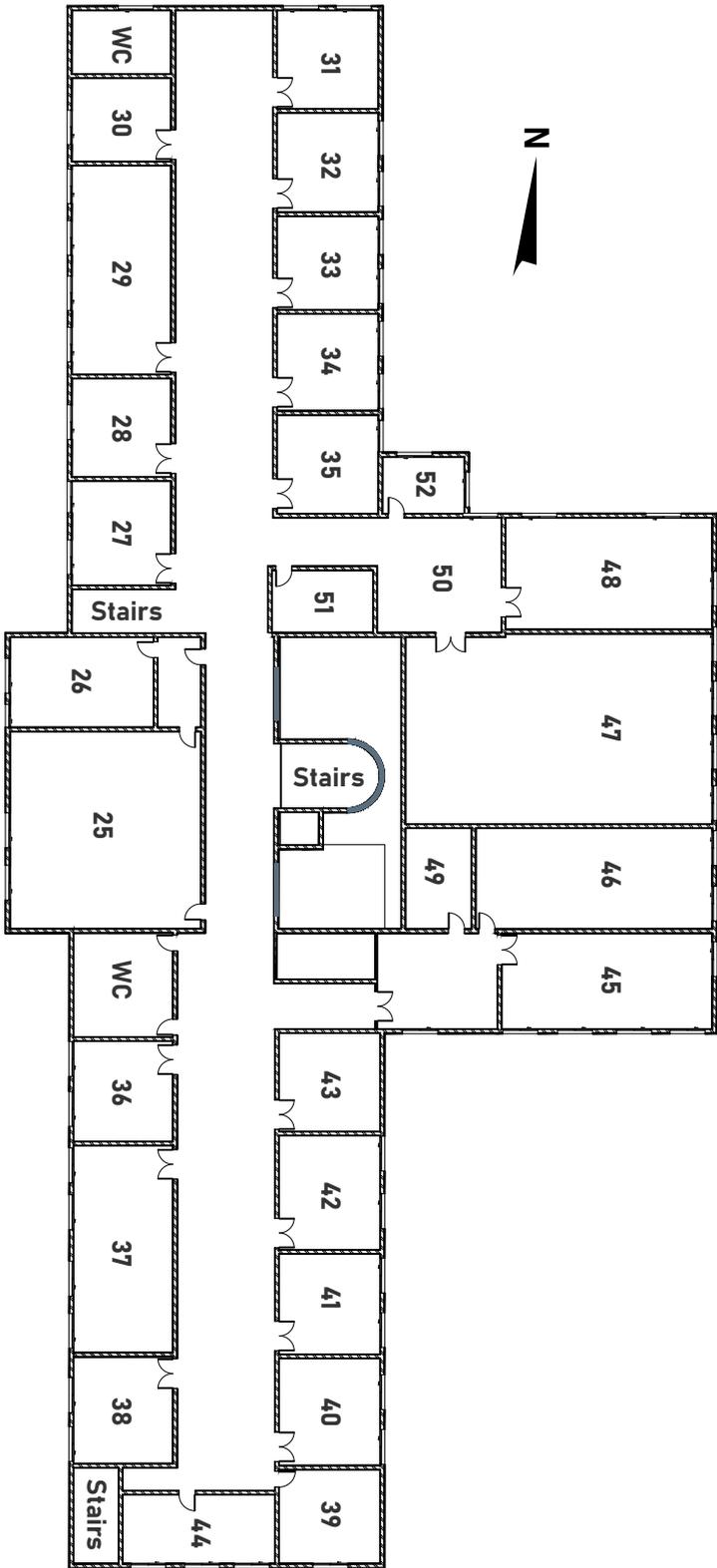
0.200	200	40	مكتبة	47
0.400	75	30	مرسم	48
0.090	22	2	مكتب	49
0.200	40	8	بهو	50
0.052	19	1	مكتب	51
0.071	14	1	مكتب	52
الطابق الثاني				
0.183	82	15	فسحة المدخل الرئيسي و الممرات المؤدية إلى القاعات	53
0.657	38	25	قاعة دراسية	54
0.657	38	25	قاعة دراسية	55
0.653	46	30	قاعة دراسية	56
0.653	46	30	قاعة دراسية	57
الطابق الثالث				
0.183	82	15	فسحة المدخل الرئيسي و الممرات المؤدية إلى القاعات	58
0.657	38	25	قاعة دراسية	59
0.657	38	25	قاعة دراسية	60
0.653	46	30	قاعة دراسية	61
0.653	46	30	قاعة دراسية	62

جدول(6-1): إشغال فراغات المبنى

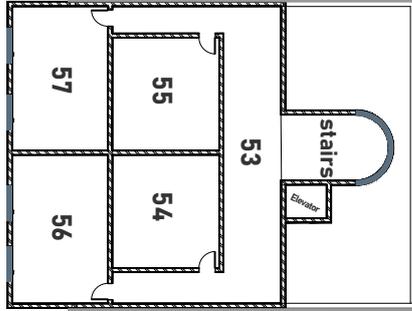
عدد الدراسات



مسقط الطابق الأرضي



مسقط الطابق الأول



مسقط الطابق المتكرر- الثالث و الرابع